

Zu Anwendungsgrenzen von FE-Modellen bei der Simulation von Erschütterungen in Kernkraftbauwerken bei Stoßbelastungen

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEURS

von der Fakultät für

Bauingenieur- und Vermessungswesen
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

vorgelegte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Norbert J. Krutzik

aus Malapane (Hüttendorf)
Oberschlesien

Tag der mündlichen Prüfung: 6. Februar 2002

Hauptreferent: Prof. Dr. Dr. Dr.-Ing. Josef Eibl (Universität Karlsruhe)

Referenten: Prof. Dr.-Ing. Wieland Ramm (Universität Kaiserslautern)

Prof. Dr.-Ing. Lothar Stempniewski (Universität Karlsruhe)

Karlsruhe, Februar 2002

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den zurückliegenden Jahren meiner beruflichen Tätigkeit in der Reaktor-Industrie (Siemens und Framatome - FANP). Sie basiert auf mehreren eigenen technischen Ausarbeitungen und Publikationen zu dieser Problematik, die z. T. auch schon in einschlägigen Fachzeitschriften bzw. bei internationalen Konferenzen veröffentlicht wurden, sowie einer Reihe von in den letzten Jahren eigens durchgeführten problem-orientierten Untersuchungen und Parameterstudien.

Die Vollendung dieser Arbeit wäre jedoch nicht möglich gewesen ohne die entgegenkommende und konstruktive Unterstützung durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Josef Eibl, dem ich nicht nur für die kritische Durchsicht und die wegweisenden Vorschläge zur endgültigen Strukturierung der Arbeit sowie die Übernahme des Hauptreferates, sondern vor allem auch für seine ermutigende Haltung und Motivierung zu diesem eher späten Schritt in meinem Berufsleben ganz besonders herzlich danken möchte.

Verbindlichst danken möchte ich zugleich Herrn Professor Dr.-Ing. Wieland Ramm und Herrn Professor Dr.-Ing. Lothar Stempniewski für die Begutachtung der Arbeit und die Erstellung der Korreferate sowie die Nachsicht für die während des Prüfungsvorganges nachgereichten Korrekturen.

Kollegialen Dank schulde ich Frau Ruth Margies und Frau Jana Soucek für die Unterstützung bei den textlichen und grafischen Bearbeitungen, sowie Herrn Dipl.-Ing. Nikolai Metzler für einige Zuarbeiten bei der Generierung von Rechenmodellen und Datenverarbeitungen, besonders jedoch auch Herrn Dr.-Ing. Klaus Brandt sowie Herrn Dr.-Ing. Eberhard Haas für die Durchsicht der Druckversion und die wertvollen Vorschläge bei den Endkorrekturen.

Aufrichtig danken möchte ich in diesem Zusammenhang ebenfalls dem Management der Siemens AG und der Framatome-ANP GmbH für das wohlwollende Entgegenkommen sowie für die Nutzungsmöglichkeit der zur Durchführung von Studien und zur Dokumentationserstellung erforderlichen technischen Ressourcen.

Nicht zuletzt möchte ich auch meiner gesamten Familie für das erbrachte Verständnis und die Akzeptanz meines Handelns danken, besonders auch im Hinblick auf die notwendig gewordenen Einschränkungen bei den Freizeit- und Urlaubsplanungen. Ganz besonderer Dank gebührt dabei meiner lieben Ehefrau, die mir während der langen Zeit den Rücken frei gehalten und mich somit auf die beste Weise unterstützt hat.

Karlsruhe, Februar 2002

Norbert J. Krutzik

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Stand der Erkenntnis	3
1.2.1	Charakteristik typischer Stoßbelastungen	3
1.2.1.1	Druckwellenbelastungen	4
1.2.1.2	Tornado	7
1.2.1.3	Anlageninterne Wrackteile	7
1.2.1.4	Geschosse rotierender Maschinen	9
1.2.1.5	Fahrzeugaufprall	9
1.2.1.6	Fallgewichte	10
1.2.1.7	Sprengtechnische Belastungen	11
1.2.2	Relevante Stoßbelastungen von Bauwerken	11
1.2.3	Berechnungspraxis von Bauwerken bei Stoßbelastungen	12
1.3	Zielsetzung	14
2	Lastfall Flugzeugabsturz	15
2.1	Relevante Genehmigungsaufgaben	15
2.2	Grundlagen der Lastdefinition	17
2.3	Vorausberechnungen der Referenz-Lastfunktion	18
2.4	Verifikation der Referenz-Lastfunktion	21
2.5	Charakteristiken der Referenz („Hartstoß“)-Lastfunktion	25
2.6	Auswirkungen der Hartstoß-Lastfunktion auf typische Bauwerke	27
2.6.1	Rechenmodelle	28
2.6.2	Bauwerk-Boden-Wechselwirkungseffekte	30
2.6.3	Annahmen zum Materialverhalten und Dämpfungsvermögen	31
2.6.4	Repräsentative Lastfunktion	32
2.6.5	Festlegung maßgebender Aufprallbereiche	33
2.6.6	Charakteristische Ergebnisse	33

3	Erschütterungen von Bauwerken bei linear-elastischen Berechnungsannahmen (Zustand I)	44
3.1	Analyse des Einflusses maßgebender Parameter auf das Erschütterungsübertragungsverhalten von Bauwerken bei Stoßbelastungen	44
3.1.1	Globales Strukturverhalten	44
3.1.1.1	Detaillierungsgrad der Modellabbildungen	45
3.1.1.2	Einfluss von Bodeneigenschaften	53
3.1.1.3	Wechselwirkung benachbarter Bauwerke	53
3.1.1.4	Dämpfungsvermögen von Bauwerken sowie von Boden-Bauwerk-Systemen	55
3.1.1.5	Annahmen zum Frequenzband der Berechnung	65
3.1.1.6	Lage der Flugzeug-Aufprallbereiche	65
3.1.1.7	Charakter der Lastfunktionen	65
3.2	Experimentelle Absicherung linear-elastischer FE-Berechnungen von Bauwerken bei Stoßbelastungen	70
3.2.1	Versuchsbeschreibung	71
3.2.2	Voraus- und Nachberechnungen für das Reaktorgebäude des HDR	75
3.2.2.1	Diskretisierung und Lastannahmen	75
3.2.2.2	Charakteristische Ergebnisse	76
3.2.3	Vergleich von Mess- und Rechenergebnissen	86
3.2.3.1	Beschleunigungszeitverläufe	86
3.2.3.2	Maximalwerte der Beschleunigung	88
3.2.3.3	Beschleunigungsantwortspektren	99
3.2.3.4	Bewertung des Ergebnisvergleichs	101
3.3	Eignungsgrenzen von FE-Modelldiskretisierungen bei der Simulation von Erschütterungs-Übertragungsvorgängen in Baustrukturen bei Stoßbelastungen	103
3.3.1	Allgemeines	103
3.3.2	Unzulänglichkeiten konventioneller Rechenmodelle	103
3.3.3	Problembezogene Aufgabenstellung	105
3.3.4	Festlegung repräsentativer Lastfunktionen	106
3.3.5	Einfluss von Modelldiskretisierungen auf die Ergebnisse der FE-Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Bauwerksteilstrukturen und Modellbauwerken bei Stoßbelastungen	114

3.3.5.1	Eindimensionale Rechenmodelle	115
3.3.5.1.1	Modellbalken	115
3.3.5.2	Zweidimensionale Rechenmodelle von Bauwerksteilstrukturen	130
3.3.5.2.1	Modellwandscheibe	131
3.3.5.2.2	Modelldeckenplatte	140
3.3.5.2.3	Räumliche Rechenmodelle kastenförmiger Modellbauwerke	151
3.3.5.2.4	Axisymmetrische Rechenmodelle kreisförmiger Modellbauwerke	168
4	Einfluss nichtlinearer Effekte (Zustand II) im bewehrten Beton auf stoßinduzierte Erschütterungen von Bauwerken	184
4.1	Bewertung der Aussagekraft analytischer nichtlinearer Rechenverfahren durch Vergleich mit experimentellen Ergebnissen	184
4.1.1	Stoßversuche an Betonbalken	185
4.1.1.1	Versuchsordnung, Versuchskörper, Eingangsdaten	185
4.1.1.2	Untersuchungen zur Erfassung des elasto-plastischen Materialverhaltens beim Stoßbelastungsvorgang	186
4.1.1.3	Ergebnisse von Voraus- und Nachberechnungen	190
4.1.2	Stoßversuche an Betonplatten	194
4.1.2.1	Ertüchtigung von Materialmodellen	196
4.1.2.2	Versuchsstand und Versuchsobjekte	198
4.1.2.3	Lösungsverfahren	198
4.1.2.4	Modellabbildung	199
4.1.2.5	Charakteristische Ergebnisse	206
4.1.2.6	Ergebnisvergleich der Plattenversuche, maßgebende Einflussparameter	217
4.1.3.	Stand der Erkenntnis zum nichtlinearem Betonverhalte	227
4.2	Strukturantworten typischer Bauwerke bei Berücksichtigung nichtlinearer Effekte im Aufprallbereich	229
4.2.1	Einleitung	229
4.2.2	Konservativitäten vorgegebener Lastfunktionen	229
4.2.3	Modifikation der vorgegebenen Lastfunktion für die Gegebenheiten am Aufprallort	230
4.2.3.1	Charakteristische Strukturbereiche	231
4.2.3.2	Rechenmodelle	231
4.2.3.3	Berechnungsverfahren und Materialmodelle	236

4.2.3.4	Ableitung modifizierter Lastfunktionen	237
4.2.3.5	Modifizierte, einhüllende Lastfunktionen	239
4.2.3.6	Absicherung der modifizierten Lastfunktionen	242
4.2.4	Strukturantworten bei Berücksichtigung nichtlinearer Effekte	243
4.2.4.1	Axisymmetrische Bauwerke	243
4.2.4.2	Kastenförmige Bauwerke	243
5	Diskussion der Ergebnisse und Beiträge zur Erweiterung des Erkenntnisstandes	248
5.1	Allgemeines	248
5.2	Beiträge zur Erweiterung des Standes der Erkenntnis	249
5.2.1	Aussagekraft linear-elastischer FE-Berechnungen und Stand der experimentellen Absicherung	249
5.2.2	Wertung des Einflusses maßgebender Systemparameter auf das Ergebnis von Stoßberechnungen	250
5.2.3	Eignungsgrenzen von FE-Modelldiskretisierungen zur Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen bei Stoßbelastungen	250
5.2.4	Stand der Verifikation von Rechenverfahren zur Erfassung nichtlinearer Effekte bei Stoßbelastungen	253
5.2.5	Ableitung modifizierter Lastfunktionen für Flugzeugaufpralllasten an Bauwerken	254
5.2.6	Strukturantworten bei realistischer Erfassung nichtlinearer Effekte am Aufprallor	254
6	Zusammenfassung und Ausblick	255
6.1	Erzielte Ergebnisse und Empfehlungen für praktische Anwendungen	256
6.2	Ausblick	256
6.2.1	Stoßmindernde Baukonzepte	256
6.2.2	Ertüchtigung vorhandener schutzbedürftiger Bauwerke	259
7	Referenzen	260
8	Unveröffentlichte Referenzen (Anhänge zu dieser Arbeit)	277
8.1	Inhaltsverzeichnis von Anhang 1	278

Inhaltsverzeichnis

8.2	Inhaltsverzeichnis von Anhang 2	280
8.3	Inhaltsverzeichnis von Anhang 3	281
9	Nomenklatur	282

1 Problemstellung

1.1 Allgemeines

Neue Entwicklungen der Technik führen sowohl zu ständiger Erhöhung der Massen und Geschwindigkeiten beweglicher Objekte (Flugzeuge, Eisenbahn, Lastzüge, Schiffe) als auch zu neuen Produktionsabläufen, die mit Transportvorgängen von schweren Ausrüstungsteilen, Werkzeugen, Containern und unter Umständen ganzen Gebäudeteilen verbunden sind.

Trotz der ständig zunehmenden Sicherheitsvorkehrungen und regulativen Maßnahmen zur Handhabung beweglicher Objekte bzw. Verbesserung der Qualität der transportierenden Einrichtungen kann das Eintreten eines Versagens und in der Konsequenz das Eintreten eines stoßartigen Belastungsfalls nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Aufgrund der ständig zunehmenden Anzahl und Aktionsdichte verschiedener Flugkörper wird wohl künftig die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Aufprall-Lastfällen eher höher eingestuft werden müssen.

Die beim Aufprall eines Flugzeuges auf ein sicherheitstechnisch relevantes Bauwerk zu erwartenden Belastungen erfordern bei der Konzipierung und Errichtung sowohl der schützenden Außenstrukturen (Penetrationsschutz) als auch der Aufstellbereiche schwerer Komponenten und Systeme (Lastübertragung und Standsicherheit) einen beachtlichen Mehraufwand.

Von großer Bedeutung ist hier, neben der Notwendigkeit ausreichender Bemessung der Außenstrukturen und der Verankerungen für die im Bauwerk untergebrachten technologischen Einrichtungen, die Absicherung der Funktionssicherheit aller sicherheitstechnisch relevanten Systeme gegen die durch den Flugzeugaufprall induzierten Erschütterungen.

Die dynamische Auslegung und Bemessung von Systemen und Anlagenteilen unterliegt dabei in einigen Industriezweigen, z. B. im Reaktorbau oder in der Raumfahrt, im allgemeinen strengeren Vorschriften und Genehmigungsaufgaben als im konventionellen Anlagen- bzw. Zivilbau.

Im Reaktorbau beziehen sich diese Auflagen dabei nicht nur auf die Ermittlung und Handhabung von Belastungen aus Normalbetrieb und außergewöhnlichen Betriebsbelastungen, sondern verstärkt auf die dynamische Auslegung der sicherheitstechnisch relevanten Strukturen und Systeme unter Berücksichtigung von Erschütterungen, die infolge von Naturereignissen (Erdbeben, Sturm) sowie zivilisationsbedingten Belastungen (Explosionswellen, Flugzeugabsturz, Fahrzeugaufprall u.dgl.) und nicht zuletzt durch störfallbedingte Lastfälle (Druckstöße, anlageninterne Wrackteile, Fallgewichte, berstende Behälter u.dgl.) zu erwarten sind.

Die hierdurch gestellten sicherheitstechnischen Anforderungen führten in den letzten drei Jahrzehnten zu einer rapiden Weiterentwicklung von Rechenmethoden und Verfahren, die zur Erfassung des dynamischen Verhaltens von Strukturen bei den o.g. transienten Belastungen geeignet sind.

Basierend auf diesen zwischenzeitlich etablierten Rechenverfahren und abgesicherten DV-Werkzeugen sowie den ständig wachsenden Fähigkeiten der DV-Hardware können erst jetzt die o.g. transienten Belastungsvorgänge sowie das Verhalten der hiervon betroffenen Strukturen z. Z. mit dem erforderlichen Detaillierungsgrad untersucht werden.

Schritt für Schritt gestiegen sind auch die Erfahrungen auf dem Gebiet der Modellabbildungstechniken der zu untersuchenden Strukturen /2-41/.

Problemstellung

Aufgrund der Komplexität der Erschütterungsübertragungsvorgänge und Wechselwirkungen zwischen Systemen, Teil- und Unterstrukturen sowie den benachbarten Bauwerken am Standort einer Anlage untereinander, erstrecken sich bei einer dynamischen Berechnung eines Bauwerks die zu berücksichtigenden Strukturmodelle in der Regel von der Unterkante des ortsbezogenen Bodenprofils bis zum Aufstellort der Anlagenteile oder sogar dem Spannungs-Konzentrationsbereich des zu betrachtenden kleinsten Anlagenteils (Fig.2-13).

Die erste, im mathematischen Modell zu erfassende (am „festen Horizont“ beginnende) Struktur besteht im Normalfall aus einem entsprechend geschichteten Kontinuum – dem Baugrund am Standort der Anlage. Im allgemeinen Fall eines geschichteten Profils muss auch der Baugrund ausreichend detailliert erfasst und abgebildet werden.

Der eigentliche Teil des zu untersuchenden Gesamtsystems, d. h. die auf der Oberfläche des Baugrundes angeordneten (zum Teil bzw. gänzlich eingebetteten) Bauwerke (Gebäude, Kanäle, Pfahlgründungen etc.) müssen in der Regel anhand von entsprechend detaillierten Rechenmodellen abgebildet werden.

Alle Teilstrukturen (Gebäudeteile, Tragwerke, Großkomponenten) und Unterstrukturen (elektromechanische Anlagenteile und Rohrleitungssysteme) werden unter Anwendung problemorientierter Software in der Regel im Nachgang zu den Berechnungen der Hauptstrukturen unter Anwendung von Substrukturmodellen gesondert untersucht.

Ausgangspunkt dieser Untersuchungen sowie die Beanspruchungs- und Funktionsnachweise der sicherheitstechnisch relevanten technologischen Systeme sind hier natürlich die für die entsprechenden Kopplungspunkte an den Hauptstrukturen (Bau- und Tragwerken) ermittelten Strukturantworten (Zeitverläufe bzw. Antwortspektren der Bewegungsgrößen). Sie stellen nämlich die maßgebenden, die Güte der Auslegung einer Anlage bestimmenden Belastungsvorgaben dar. Die Zuverlässigkeit der Ableitung der Strukturantworten wird wiederum durch die **Richtigkeit** der Erfassung **aller Parameter**, die auf ihren Charakter und ihre Größenordnung einen praktischen Einfluss haben, bestimmt.

Bei der Bewertung stoßinduzierter Erschütterungen ist dabei die **getreue Erfassung der Übertragungsmechanismen** der Erschütterungen von der Lasteinleitungsstelle bis zu den Aufstellorten von Komponenten von ausschlaggebender Bedeutung.

Trotz umfangreicher Erfahrungen, die im Laufe der letzten 25 – 30 Jahre auf dem Gebiet der Untersuchung von stoßinduzierten Erschütterungen gesammelt wurden, konnten bis heute aufgrund spärlicher experimenteller Ergebnisse einige zum Erschütterungsübertragungsmechanismus gehörende Phänomene nach wie vor nicht gänzlich ergründet und geklärt werden.

Dies bezieht sich speziell auf Erschütterungsübertragungsvorgänge in Bauwerken mit großen Abmessungen und Abständen zwischen den Lasteinleitungs- und Komponenten-Verankerungsbereichen. Ungeklärt sind insbesondere die **Anwendungsgrenzen** von Finite-Elemente-Rechenmodellen (FE-Modellen) aufgrund der Diskretisierungsabhängigkeit der Resultate. Analytische Untersuchungen von Erschütterungsübertragungsvorgängen bei Stoßbelastungen führen zu der Erkenntnis, dass FE-Modelle elementgrößenabhängige Tiefpassfilter- und Dispersionseigenschaften haben.

Durch Auswertung der in den siebziger und achtziger Jahren durchgeführten Großversuche an naturgetreuen Testobjekten (BAM-, HDR-, MEPPEN-Versuche) und Vergleiche mit Ergebnissen analytischer Voraus- und Nachberechnungen wurde zwischenzeitlich jedoch ein merklicher Beitrag zur Klärung der o. g. Phänomene und Ergründung einiger Zusammenhänge erreicht.

1.2 Stand der Erkenntnis

1.2.1 Charakteristik typischer Stoßbelastungen

Im allgemeinen gibt es mehrere Hauptquellen von Impuls- bzw. Stoßbelastungen, die ihren Ursprung in natur- bzw. zivilisationsbedingten Ereignissen haben. Sie können nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifiziert werden. Geht man vom Ursprung des Ereignisses aus, so ergibt sich die folgende Zuordnung:

Transiente Vorgänge, die durch Energiezufuhr aus einer unbegrenzten Quelle bestimmt werden, deren Belastungscharakter von den Eigenschaften der beaufschlagten Struktur unbeeinflussbar ist, werden als **Impulsbelastungen** bezeichnet. Obwohl die Energie des Impulses unbeschränkt sein kann (z. B. Tornadowinde), hat die daraus resultierende maximale Kraft stets eine begrenzte Größe.

Der Ursprung von Impulsbelastungen ist auf Naturereignisse (Tornado, Seegang) bzw. zivilisationsbedingte Ereignisse (Gaswolkenexplosionen, Massenstrahlbelastung infolge Wasserstrahl bei Rohrleitungs- bzw. Behälterbruch u. dgl.) zurückzuführen.

Vorgänge dagegen, die durch Zufuhr einer endlichen kinetischen Energie an eine Struktur durch ein auftreffendes Geschoss ausgelöst werden (Tornado-Objekte, Flugkörper, Flugzeuge und deren Wrackteile, Schiffs- und Eisenbahnaufprall, Geschosswirkung druckführender oder rotierender Bauteile), werden als **Stoßbelastungen** bezeichnet. Der Charakter der Stoßbelastungstransiente (Lastfunktion) wird durch die Trägheits- und Steifigkeitseigenschaften des Geschosses (Projektils) sowie der beaufschlagten Struktur bestimmt.

Die Charakteristik von Impuls- und Stoßbelastungsvorgängen ist jedoch die gleiche und deren Energie wird durch das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit (den Impuls) beschrieben.

Stoßbelastungen unterscheiden sich von anderen transienten bzw. stochastischen dynamischen Belastungen wie Erdbeben, Windbelastungen, Unwuchtbelastungen rotierender Maschinen durch ihren typischen sprunghaften in der Dauer begrenzten Zeitverlauf. Sie können allgemein anhand des während des Stoßvorganges übertragenen Impulses beschrieben werden. Man unterscheidet dabei zwischen hartem und weichem Stoß.

Bei harten Stößen bleibt der Stoßkörper weitgehend unverformt. Impuls und Energie werden fast vollständig in die beaufschlagten Betonbauteile übertragen und erzeugen dort Zerstörungen, die durch Materialverdrängung gekennzeichnet sind (Fig.1-6). Eine allgemein gültige theoretische Erfassung der Vorgänge beim *harten Stoß* ist bisher nicht möglich gewesen.

Die Energie des Stoßes ist insbesondere bei hoher Aufprallgeschwindigkeit des Geschosses für die Belastung der beaufschlagten Struktur von untergeordneter Bedeutung, da ein großer (schwer zu bestimmender) Anteil dieser Energie schon beim Aufprall in Verformungsarbeit, Schall und Wärme dissipiert wird.

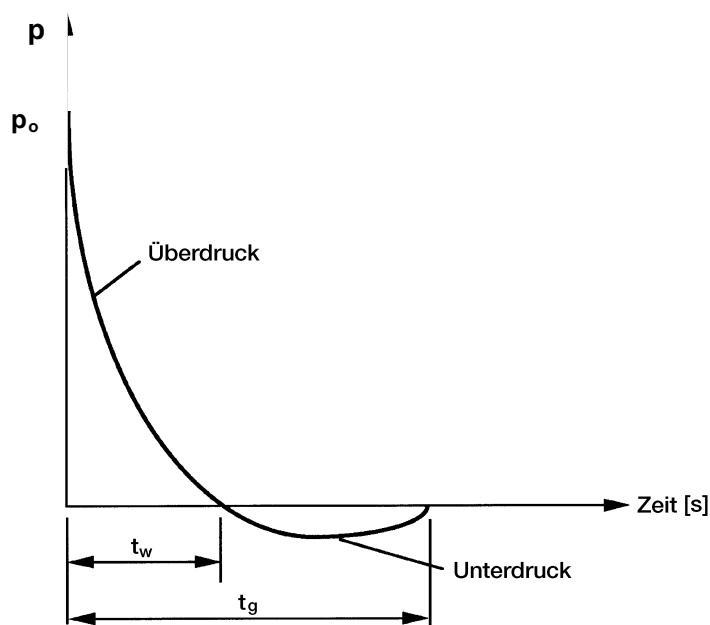
Bei *weichen Stößen* wird davon ausgegangen, dass die Modellvorstellungen der technischen Mechanik angewendet werden können. Der beaufschlagte Bauteil behält seine Oberfläche bei und versagt in gleicher Form wie bei statischen Versuchen. Die sehr starke Verformung des aufprallenden Stoßkörpers und die verhältnismäßig gering bleibenden Deformationen der Baustrukturen am Aufprallort lassen die Entkopplung des Vorgangs zu. Unter der Annahme, dass der Aufprallort starr sei, kann ein Stoßkraft-Zeit-Diagramm ermittelt werden, das als Belastung auf die beaufschlagte Baustruktur wirkt. Die geringe Rückwirkung, die aus den Bewegungen des beaufschlagten Bauteils auf den Stoßkraft-Zeit-Verlauf folgt, wird vernachlässigt. Die Behandlung des Stoßproblems kann damit entkoppelt und wesentlich vereinfacht werden.

Problemstellung

1.2.1.1 Druckwellenbelastungen

Druckwellen werden ausgelöst durch Gaswolkenexplosionen, Bersten von Druckbehältern, Explosion von Sprengladungen und dergleichen. Unter einer Gasexplosionsdruckwelle wird eine Luftdruckwelle, die sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet, verstanden. Sie wird als mögliche Folge einer Tankschiff- bzw. Tankzugkollision, Freisetzung von Flüssiggas mit nachfolgender Zündung angesehen. Der Druckverlauf bei einer Gaswolkenexplosion ist charakterisiert /2-4/, /1-20/ durch einen hohen momentan entstehenden Überdruck, dem aufgrund der Expansion des Luftraumes ein Unterdruck folgt (Fig.1-1).

Bei der Belastung einer ebenen Gebäudewand, die von einer normal zur Oberfläche wirkenden Druckwelle direkt beaufschlagt wird, kann eine gleichmäßig verteilte Flächenlast erwartet werden. Beim Aufprall einer Druckwelle auf ein axisymmetrisches Gebäude handelt es sich dagegen um eine ungleichmäßig verteilte Flächenlast (Fig.1-2), deren Belastungsprofil sich aufgrund der Fortbewegung der Druckwelle mit der Zeit ändert /2-4/.



t_w = Wirkungsdauer der positiven Phase

P_0 = maximaler Überdruck

t_g = Gesamtdauer

Fig. 1-1: Charakteristik von Explosionsvorgängen im Luftraum /2-4/

Problemstellung

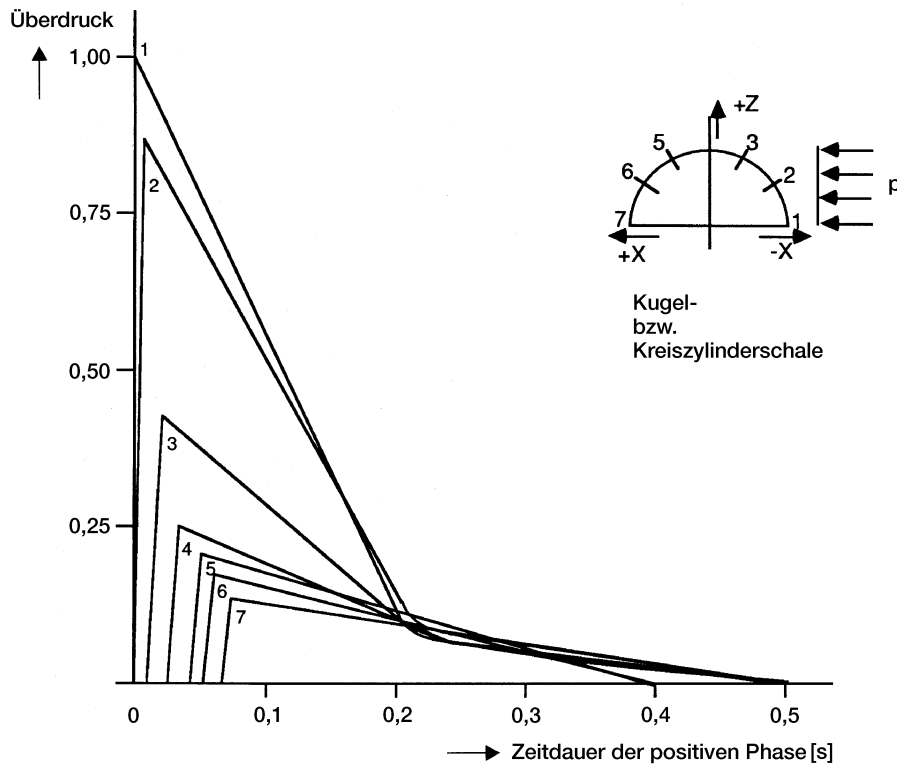


Fig. 1.2: Charakteristik von Druck-Zeitfunktionen für die Oberfläche einer Halbkugel- bzw. Kreiszyllinderschale bei einem Reflexionsdruck von 1 bar [2-4]

Es ist zu erkennen, dass zu Beginn des Vorganges die Belastung an der zur der ankommenden Druckwelle zugewandten Fläche des axisymmetrischen Gebäudes (Stirnfläche) am größten ist (Fig.1-2). Dagegen sind die Seitenflächen und die Rückflächen noch unbelastet. Während des Stoßvorganges breitet sich die Druckwelle weiter mit Schallgeschwindigkeit aus und umströmt das axisymmetrische Gebäude.

Hierbei ändern sich die Belastungsverhältnisse, und zwar derartig, dass zuerst die Belastung an den Seitenflächen und danach die an der Rückfläche ansteigt, wobei gleichzeitig die Belastung an der Stirnfläche abnimmt, d. h. an der Stirnfläche erfolgt eine Entlastung und an den Seitenflächen und der Rückfläche eine zunehmende Belastung.

An den Seitenflächen und der Rückfläche steigt die Belastung jedoch nicht bis auf den maximalen Wert, wie er an der Stirnfläche aufgrund des senkrechten Aufpralls auftritt, an. Nach Erreichen der für die Seitenflächen und die Rückfläche spezifischen maximalen Belastung sinkt auch diese wieder auf Null ab. Die für die Auslegung von axisymmetrischen und kastenförmigen Bauwerken vorgegebenen /2-6/ Lastfunktionen sind in Fig. 1-3 und 1-4 dargestellt worden.

Problemstellung

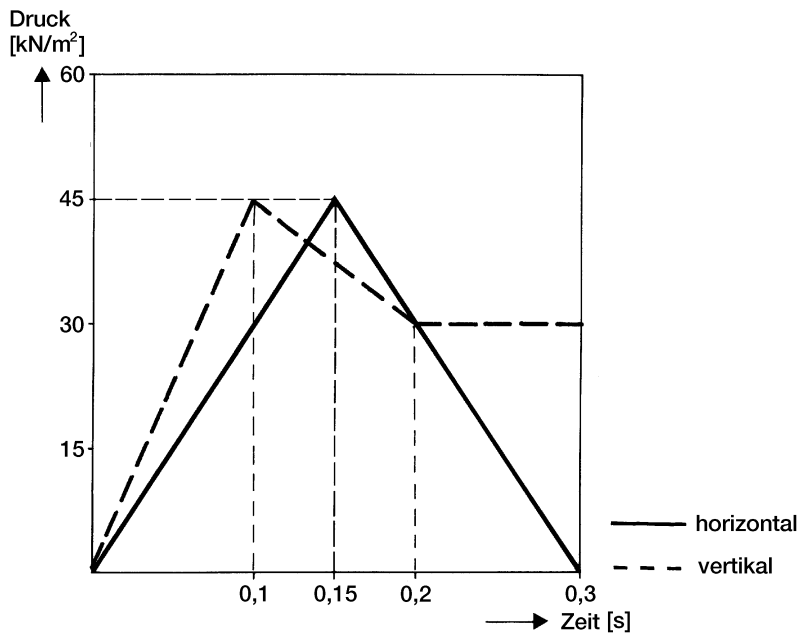


Fig. 1-3: Repräsentative Druck-Zeitfunktionen für axisymmetrische Bauwerke (IfBt-Vorgabe [2-6] für den Lastfall Explosionsdruckwelle)

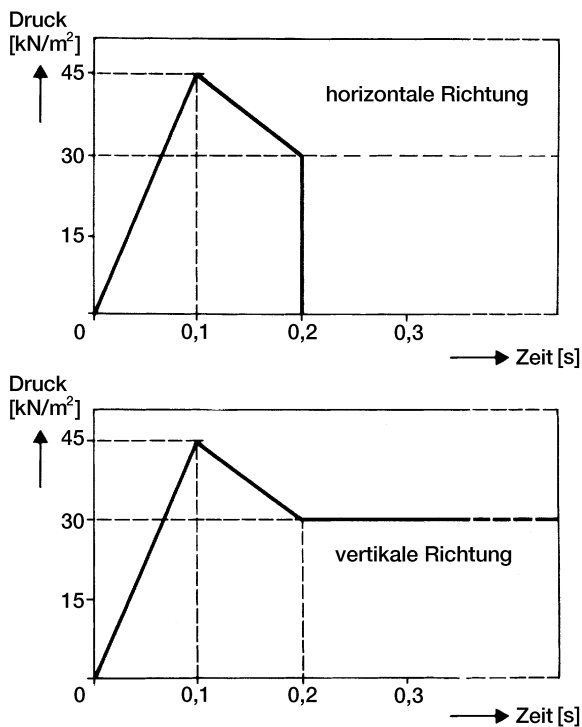


Fig. 1-4 Repräsentative Druck-Zeitfunktionen für rechteckige Bauwerke (IfBt-Vorgabe [2-6] für den Lastfall Explosionsdruckwelle)

1.2.1.2 Tornado

Tornados können in der gesamten Welt erwartet werden. Sie betreffen in der Regel kleinere Regionen und treten am stärksten am nordamerikanischen Kontinent auf. Die jährliche Rate beträgt hier über 1000.

Ähnlich wie in der Praxis der Beschreibung und Festlegung von Erdbebenintensitäten wurden in den USA die Tornados nach Größe und Intensität für alle Gebiete des Kontinents erfasst und katalogisiert. Die für die einzelnen geografischen Gebiete festgelegten Tornado-Auslegungsparameter wurden in Regelwerken (US-Regulatory Guide) erfasst /1-21/.

Die Tornado-Windlasten sind bei der Auslegung sicherheitstechnisch relevanter Bauwerke zu berücksichtigen. Sie werden bei der Auslegung von Bauwerken und Containments als externe Störfalllasten betrachtet und als solche in der statischen Lastkombination berücksichtigt. Tornado-Windlasten haben jedoch eine untergeordnete Bedeutung in bezug auf Anregungen bzw. Erschütterungen von Bauwerken. Im Falle des Tornados hat man sowohl mit harten (hölzerne Pfähle) als auch weichen (Autowrackteile) Stoßbelastungen zu rechnen.

Auf der Basis bisheriger Erkenntnisse und Festlegungen /1-4/ bis /1-6/ werden für jeden Standort einer sicherheitstechnisch relevanten Anlage mindestens zwei Tornadogeschosse spezifiziert. Das erste Geschoss wird dabei so gewählt, dass hiermit die relevante, im Extremfall zu erwartende Penetrationsbelastung abgedeckt wird. Es ist daher durch die höchsten errechneten Geschwindigkeiten und kleine Aufprallflächen charakterisiert. Das zweite Geschoss soll im Gegenteil so gewählt werden, dass hiermit Geschosse mit möglichst großer Aufprallfläche abgedeckt sind. Charakteristisch ist hier daher eine große Masse und niedrigere Geschwindigkeit.

Als Geschosse werden gewöhnlich Telegrafmasten oder Autowracks definiert, die sich in etwa mit der maximalen Tornadowindgeschwindigkeit von 60 km/h bewegen. Durch Tornado-Geschosse induzierte Erschütterungen sind vernachlässigbar.

1.2.1.3 Anlageninterne Wrackteile

Ausrüstungsgegenstände wie Ventile, Spannschrauben, Ventilstiele, Ventildeckel, Behälterteile, Rohrleitungen und dgl. gehören zu den wahrscheinlichsten anlageninternen Geschossen /1-3/.

Sie stellen eine generelle Bedrohung dar, wenn sie z.B. in druckfesten Containments untergebracht sind, bei denen Dichtigkeit sowie strukturelle Integrität erhalten werden muss. Die Nachweise von Strukturen gegen mögliche anlageninterne Geschosse beziehen sich daher auf Penetrationsfragen der beaufschlagten Systeme bzw. Umschließungen.

Die durch anlageninterne Geschosse induzierten Erschütterungen der Baustrukturen sind in der Regel vernachlässigbar. Nicht ohne Bedeutung auf die Erschütterungen von Bauwerken können jedoch Stoßbelastungen sein, die durch das Bersten großer unter Druck stehender Behälter ausgelöst werden. Die Größe der Stoßbelastung ist dabei abhängig von der Masse der mitbewegten Behälterteile sowie dem Störfalldruck.

Die beim Bruch eines unter Betriebsdruck (ca. 8 bar) stehenden ca. 50 m langen Speisewasserbehälters mit einem Durchmesser von ca. 4000 mm zu erwartende Lastfunktion wurde in Fig. 1-5 dargestellt /1-16/. Der aufgebrauchte Impuls ist beachtlich. Er kann, abhängig von der Masse (bruchstellenabhängig) des Wrackteils, eine Größenordnung erreichen, die dem Aufprall eines Militärflugzeuges nahe kommt.

Problemstellung

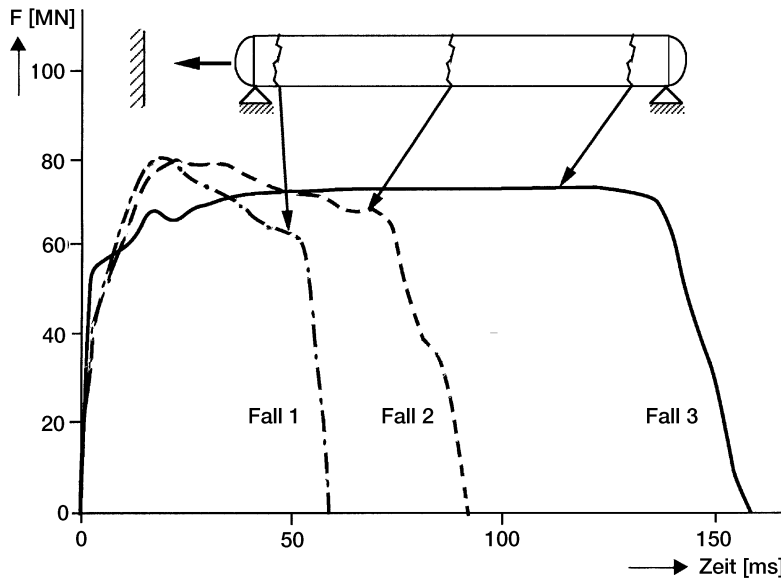


Fig. 1-5: Lastfunktion beim Aufprall von Teilen eines Speisewasserbehälters auf eine starre Gebäudewand für verschiedene Bruchstellen [1-16]

Die Deformationsvorgänge im Stoßkörper (Fig.4-14) wurden detaillierter im Abschnitt 4.1.2 abgehandelt. Der mögliche Versagensmechanismus am Aufprallort ist abhängig von den Eigenschaften des Stoßkörpers und der beaufschlagten Struktur (Fig.1-6).

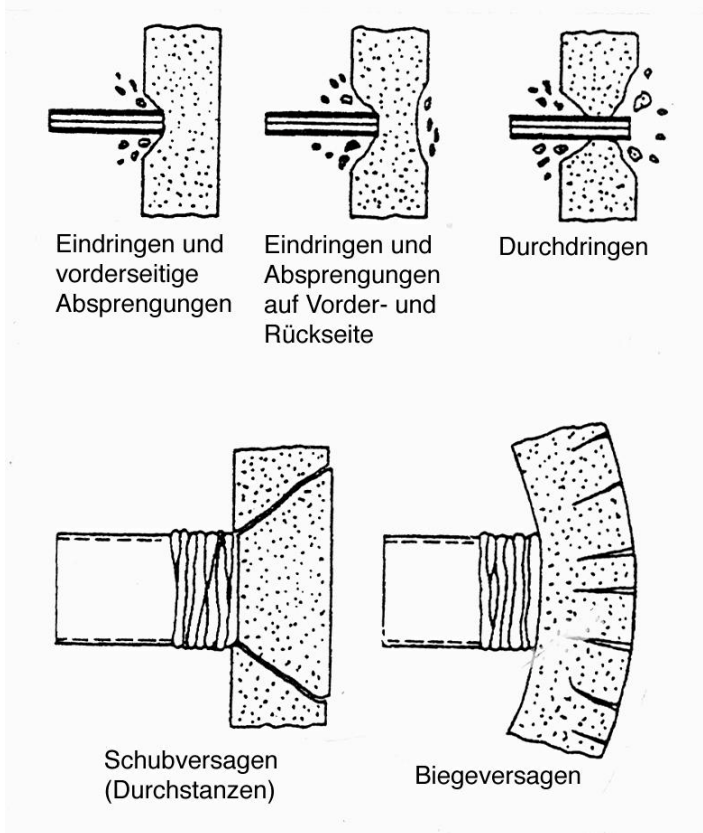


Fig. 1-6: Versagensmechanismen von Stahlbetonbauteilen bei Einwirkung von starren („harter“ Stoß) oder stark deformierbaren („weicher“ Stoß) Stoßkörpern [4-18]

1.2.1.4 Geschosse rotierender Maschinen

Unter bestimmten postulierten Bedingungen können Turbinen, Pumpen, Ventilatoren und andere rotierende Maschinenteile als Quellen energiereicher Geschosse angesehen werden /1-3/, /1-5/ und /1-10/.

Durch Überdrehen von Turbinen kann es zur Verschiebung des Arbeitspunktes des Systems in den Resonanzbereich und zu großen Schwingungen kommen, im Grenzfall zur Überbeanspruchung und zum Bruch der rotierenden Teile sowie zur Entstehung von Geschossen.

Abgesehen vom Freiwerden komplexer Turbinen- bzw. Generatoranlagen, die in der Konsequenz zum Zerstören ganzer Bauwerke führen können, sind Stoß- und Impulsbelastungen von kleinen rotierenden Teilen in der Regel ohne Relevanz, sowohl für die Auslegung eines Bauwerks als auch die bei einem derartigen Ereignis zu erwartenden Erschütterungen.

Von Bedeutung könnten ggf. Erschütterungen sein, die durch Aufprall einer freigelösten Turbine auf benachbarte sicherheitstechnisch relevante Bauwerke ausgelöst werden.

1.2.1.5 Fahrzeugaufprall

Beim Aufprall von Kraftfahrzeugen gegen Bauwerke und Brückenpfeiler [1-1], [1-2], [1-7] und [1-11] oder beim Anprall von Elektrozügen bzw. Schiffen gegen Kaianlagen bzw. Prellböcke [1-12] bis [1-15], [3-30] handelt es sich um komplizierte, im allgemeinen schwer überschaubare Vorgänge. Bei einem solchen Anprall wird sowohl das anprallende Fahrzeug als auch das beaufschlagte Bauteil deformiert. Allgemein gültige Kraft-Zeit-Verläufe können hier deshalb aufgrund der Verschiedenheit der lokalen Gegebenheiten nicht angegeben werden. Für die Behandlung des Lastfalls Fahrzeuganprall sind in mehreren Literaturstellen vereinfachte Verfahren dokumentiert worden.

Die Auslegung von Bauwerken gegen Fahrzeugaufprall-Belastungen erfolgt meistens auf der Basis von statistisch bzw. experimentell abgeleiteten Ersatzlasten.

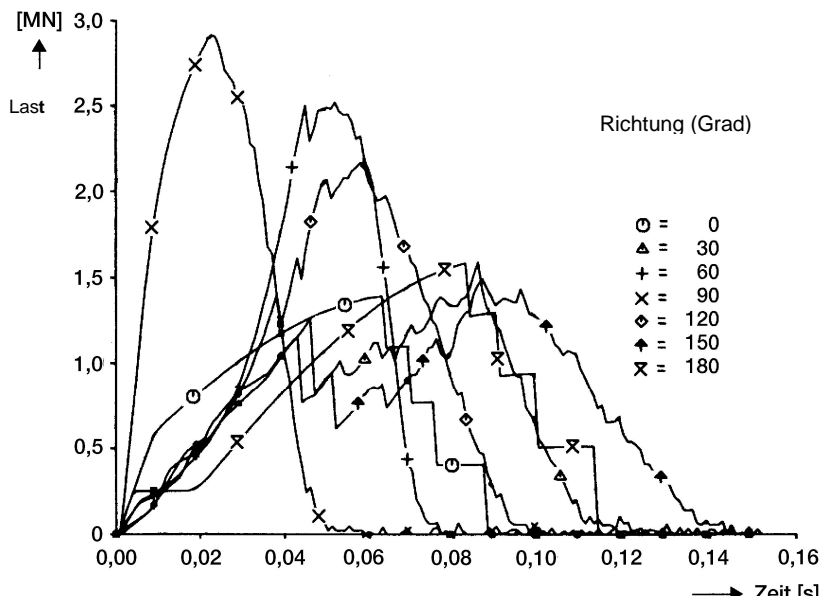


Fig. 1-7: Fahrzeugaufprall Last-Zeitfunktionen in Abhängigkeit vom Aufprallwinkel (PLYMOUTH bei 40 m/s Aufprallgeschwindigkeit) [1-12]

1.2.1.6 Fallgewichte

In einigen Prozessgebäuden, z. B. in der Reaktor- bzw. Entsorgungstechnik oder auch in anderen Industriezweigen werden im Rahmen normaler Betriebsvorgänge planmäßige Umstellungen vorgenommen bzw. bei Service-Vorgängen schwere Komponententeile oder sogar ganze Systeme räumlich versetzt. Bei diesen Vorgängen kann nicht ausgeschlossen werden, dass die transportierten Lasten u. U. aus großer Höhe auf die Gebäudedecken bzw. die Fundamentplatte abstürzen. Hypothetisch anzunehmen sind auch Abstürze schwerer Lastenaufzüge /1-9/.

Die hierbei zu erwartenden Stoßbelastungen werden in den entsprechenden Bereichen auf das Bauwerk übertragen. Die Größe der Stoßkräfte wird insbesondere durch das Fallgewicht, die Fallhöhe sowie die Eigenschaften des herabfallenden Körpers und des Aufprallortes bestimmt. Die Zeitdauer des Stoßes ist extrem kurz.

Von nicht vernachlässigbarer Bedeutung ist ebenfalls der Aufprallort und die Aufprallfläche.

Lokale plastische Verformungen sowohl des Fallkörpers selbst, als auch des beaufschlagten Gebäudebereiches bzw. speziell eingebaute Knautschelemente führen im allgemeinen zur Reduktion der auf das Bauwerk weitergeleiteten Stoßlast.

Zwecks Begrenzung der Größe der Stoßlasten werden oft in maßgebenden Gebäudebereichen entsprechende Stoßdämpfer bzw. stoßreduzierende Konstruktionen vorgesehen.

Die durch Fallgewichte induzierten Erschütterungen sind stark abhängig von der Größe des im Bauwerk angesetzten Impulses und der Entfernung vom Aufprallort. Sie können Größenordnungen erreichen, die beim Nachweis der Funktionssicherheit sensitiver Einbauten berücksichtigt werden müssen.

1.2.1.7 Sprengtechnische Belastungen

Bei Explosionen von Sprengladungen (z. B. Bauwerks-Zerlegungsvorgänge) sind Lastfunktionen zu erwarten, die durch einen hohen kurzzeitigen Spitzendruck gekennzeichnet sind. Der in Fig. 1-8 dargestellte Druckzeitverlauf wurde an der Wand des Innenzylinders des HDR während der Modellschildversuche mit einer Sprengstoffmenge von 22,5g registriert. Der Spitzenwert der berechneten und gemessenen Drücke beträgt ca. 100 bis 150 kPa. Die Größe des Drucks und die Zeitdauer der Belastung sind von der Entfernung zur Sprengstelle und der Sprengstoffmenge abhängig /1-18/. /4-68/. Die Zeitdauer liegt zwischen wenigen Mikrosekunden bis zu mehreren Millisekunden.

Bewertungen von Erschütterungen infolge sprengtechnischer Belastungen oder von unterstellten Objektschutzanforderungen /1-20/ werden künftig zunehmend im Zusammenhang mit Abbauaktivitäten an stillgelegten Reaktoranlagen erforderlich sein. Die Genehmigungsaufgaben erfordern hier die Erhaltung der Funktionstüchtigkeit mehrerer Systeme (Kräne, Lüftung, Leittechnik) bis zur vollständigen Beseitigung aller radioaktiven Stoffe aus den Innenbereichen der Bauwerke. Die Größen der durch Sprengungen ausgelösten Erschütterungen müssen daher im voraus berechnet und bewertet werden.

Unter bestimmten Umständen können bekanntlich Wasserstoffdetonationen im Inneren eines Reaktors zu erwarten sein. Der hierfür prognostizierte Belastungsvorgang hat einen kurzzeitigen Charakter, der in etwa der in Fig.1-8b dargestellten Lastfunktion entspricht.

Problemstellung

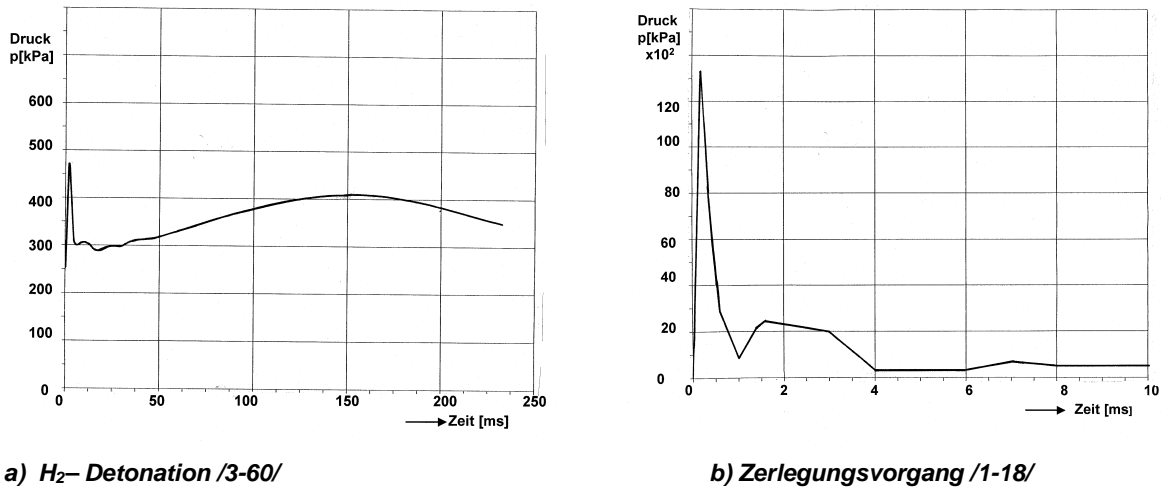


Fig. 1-8: Stoßbelastungen bei Wasserstoffexplosionen in Containments bzw. Zerlegungsvorgängen

1.2.2 Relevante Stoßbelastungen von Bauwerken

Jeder der unter Punkt 1.1.2 kurz beschriebenen stoßartigen Lastfälle kann situations- und standortbezogen aus Sicht der Auslegung der Bauwerke sowie der dort untergebrachten Systeme maßgebende Bedeutung gewinnen. Berücksichtigt man jedoch die geringere Energie freiwerdender anlageninterner Bauteile bzw. rotierender Maschinenteile (große Druckbehälter ausgenommen), so kann deren Fähigkeit zur Induzierung nennenswerter Erschütterungen eines Bauwerks sowie der dort untergebrachten Systeme als vernachlässigbar angesehen werden. Zerstörungen von Turbinenhallen durch freigewordene rotierende Wellen gehören (aus Sicht der zu erwartenden Erschütterungen) nicht zu nachzuweisenden Auslegungsfällen.

Nicht von ausschlaggebender Relevanz für die Auslegung von in Gebäuden untergebrachten Komponenten und Systemen sind ebenfalls alle bekannten Druckwellenbelastungen, da selbst in Gebieten niedriger seismischer Aktivität beim Lastfall Erdbeben höhere Bauwerks- und Komponentenerschütterungen erwartet werden. Weltweit gesehen, besonders am amerikanischen Kontinent, können für die Auslegung von Bauwerken (zumindest aus Sicht der Bemessung der Außenstrukturen) jedoch Stoßbelastungen durch Tornadogeschosse von Relevanz sein.

Von zentraler Bedeutung unter allen angeführten impuls- bzw. stoßartigen Belastungen ist zweifelsohne der **Lastfall Flugzeugabsturz**. An Standorten, an denen aufgrund von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen /3-14/ ein derartiges Ereignis nicht ausgeschlossen werden kann, bestimmt dieser Lastfall sowohl die Bemessung der Außenstrukturen als auch die Stärke von im Bauwerk induzierten Erschütterungen. Aufgrund der im allgemeinen niedrigen Erdbebenbelastungen in Europa sowie der relativ großen Dichte des Flugverkehrs hat dieser Lastfall für die Auslegung von sicherheitstechnisch relevanten Bauwerken eine **auslegungsbestimmende Bedeutung** gewonnen. Dies bezieht sich sowohl auf die Bemessung und Bewehrung der Außenwände des Bauwerks als auch auf die Auslegung von Komponenten und Systemen gegen durch einen Aufprall induzierte Erschütterungen.

Der Lastfall Flugzeugabsturz wird daher in den weiteren Betrachtungen zum Struktur- und Erschütterungsübertragungsverhalten von Bauwerken als **maßgebende Stoßbelastung** angesehen.

1.2.3 Berechnungspraxis von Bauwerken bei Stoßbelastungen

Die Bemessungsgrundlagen von Bauwerken bei Flugzeugabsturzbelastungen werden bestimmt durch die zum Erreichen der vorgegebenen Schutzziele /2-2/, /2-5/, /2-47/ erforderlichen Schutzmaßnahmen, insbesondere die Standsicherheit (lokal und global), Dichtheit sowie die Begrenzung von Verformungen und Rissweiten.

Ausgehend von den o. g. Schutzzielen wird insbesondere in /2-47/ festgelegt, wie bauliche Anlagen auszulegen sind, um beim Lastfall Flugzeugabsturz den Wirkungen des Flugzeugs und seiner Wrackteile zu widerstehen und die dynamischen Schnittgrößen weiter zu verfolgen /2-7/.

Im einzelnen ist für den Flugzeug- und Wrackteilaufprall nachzuweisen, dass das Bauwerk sowohl an den Auftreffstellen als auch insgesamt diesen Wirkungen innerhalb der definierten Anforderungen stand halten kann.

Bei der Auslegung von Bauwerken gemäß geltender Regelwerke wird ein bautechnischer Vollschutz angestrebt, d.h. größere Ablösungen von Beton auf der Rückseite von betroffenen Bauteilen sind nicht zulässig. Hieraus resultieren die entsprechenden Anforderungen an die Mindestwandstärken der Außenschalen.

Der Standsicherheitsnachweis bezieht sich in der Regel auf den Nachweis der Tragfähigkeit des gesamten Bauwerks sowie der maßgebenden Teilstrukturen, die nicht direkt beaufschlagt werden.

Die dynamischen Schnittgrößen werden in der Regel unter Annahme von physikalisch linear-elastischen Materialgesetzen ermittelt. Ausgangspunkt dieser Nachweise waren oft vereinfachte, problemorientierte Rechenmodelle. Bei deren Anwendung können die Schwankungsbereiche der Eingangsparameter sowie die Berechnungsannahmen in der Konzipierungsphase effektiver untersucht und das globale Baukonzept festgelegt werden.

Örtliche Überschreitungen der Grenztragfähigkeit führen bei hochgradig statisch unbestimmten Tragwerken (insbesondere Flächentragwerken) nicht zum Zusammenbruch des Gesamtsystems (Fähigkeit zur Kraftumlagerung). Bei derartigen Tragwerken ist die statische Grenztragfähigkeit erst dann erreicht, wenn die Kapazität der Betondruckzone ausgeschöpft ist und das Gesamtsystem dadurch in einen kinematisch instabilen Zustand gerät. Damit verbunden ist der Verlust der Gebrauchsfähigkeit und die schnelle Zunahme der Verformungen. Bei stoßartigen Belastungen können solche Tragwerkzustände durchaus akzeptiert werden, sofern das Verformungsmaß begrenzt bleibt.

Die Bemessung von lokal beaufschlagten Bauwerksbereichen wird in der Regel auf der Basis von Rechenmodellen mit elastischen oder elasto-plastischen Annahmen zum Materialverhalten vorgenommen.

Grundlagen der Auslegung von Strukturbereichen, die überwiegend auf Biegung beansprucht werden, sind dabei Spannungs-Dehnungsdiagramme mit entsprechend durch Versuche festgelegten Dehnungsbegrenzungen (zulässige Betondehnung $\varepsilon_b = 5 \text{ ‰}$, zulässige Stahldehnung $\varepsilon_s = 2,3 \text{ ‰}$) /2-47/.

Der Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen wird in der Konzipierungsphase näherungsweise anhand einer statischen Berechnung mit dem Maximalwert der Stoßkraft in der vorgegebenen Lastzeitfunktion erbracht. Für den Nachweis der erforderlichen Schubbewehrung werden dabei als Form der Bruchfigur die Konturen eines Kegelstumpfmantels zugrunde gelegt.

Problemstellung

Der Nachweis ausreichender Bewehrung zur Verhinderung des Durchstanzens muss im nachhinein anhand nichtlinearer Berechnungsverfahren erbracht werden.

Der Beginn der strukturdynamischen Untersuchungen von Bauwerken, insbesondere von Reaktoranlagen zum Lastfall Flugzeugabsturz, geht auf Anfang der siebziger Jahre erlassene Behördenaufgaben (Absatz 2.1) zurück. Zu diesem Zeitpunkt wurden die ersten Nachweise zum dynamischen Verhalten der Anlagen und Systeme anhand von vereinfachten Feder-Massen-Systemen erbracht. Die steigenden Anforderungen der Gutachter sowie die rasche Entwicklung auf dem Gebiet der finiten Elementverfahren führten jedoch bald zu der Erkenntnis, dass die Anwendung komplexer FE-Rechenmodelle und spezialisierter Rechenprogramme unumgänglich ist.

Bald wurden auch diese Rechenmethoden und entsprechend verfeinerte Rechenmodelle zur Ermittlung von flugzeugabsturzinduzierten Erschütterungen herangezogen.

In dieser Phase der Konzipierung und Erprobung von Rechenmodellen wurde eine Reihe von Testberechnungen unter Anwendung verschiedener Idealisierungsarten und unterschiedlicher Rechenprogramme durchgeführt und gegenübergestellt. Von besonderer Bedeutung waren dabei die Untersuchungen für rotationssymmetrische und kastenförmige Gebäudestrukturen von Siedewasser (SWR)- und Druckwasser (DWR)-Anlagen /2-11/, /2-13/ und /2-15/.

Die Eignung von FE-Verfahren zur Simulation flugzeugabsturzinduzierter Erschütterungen wurde damals nicht angezweifelt.

Wie auch heute noch wurden die dynamischen Berechnungen unter Anwendung von Rechenmodellen durchgeführt, deren Diskretisierungsgrad das Eigenverhalten der Strukturen des Bauwerks bis zu einem Frequenzbereich von ca. 80 Hz erfassen lässt.

Abhängig von der gewählten Art des Rechenmodells werden die Steifigkeiten der Strukturbereiche in der Regel mittels finiter Elemente äquivalenter Steifigkeit (Balken-Platten-Scheiben- bzw. axisymmetrische Schalenelemente) erfasst. Die Massenverteilung wird dagegen in der Regel über diskrete Punktmassen oder als kontinuierlich über die Elemente verteilt angenommen.

Kastenförmige aus vertikalen und horizontalen Platten zusammengesetzte Gebäude werden üblicherweise mittels finiter Flächenelemente (Dreiecks- bzw. Rechteckselemente) äquivalenter Steifigkeit nachgebildet /2-11/, /2-27/. Das Diskretisierungsmaß wird u. U. durch Voruntersuchungen festgelegt /2-9/. Die Eigenschaften der elastischen Bettung der Gebäude im Baugrund wurden mittels äquivalenter Steifigkeiten (Halbraumtheorie) oder durch eine detaillierte FE-Abbildung repräsentiert.

Die Anordnung der Aufprallbereiche wurde für repräsentative axisymmetrische bzw. kastenförmige Bauwerke anhand von vorangegangenen Parameterstudien festgelegt. Ausgangspunkt der Berechnungen zur Festlegung von Baukonzepten und Nachweise der Standsicherheit war jeweils die vorgegebene Hartstoß-Lastfunktion (Fig. 2-1).

Bei Berechnungen zur Ermittlung der induzierten Erschütterungen werden dagegen modifizierte das lokale Strukturverhalten am Aufprallrot berücksichtigende Lastfunktionen angesetzt, die für verschiedene repräsentative Aufprallbereiche abgeleitet wurden (Absatz 4.2).

1.3 Zielsetzung

Von ausschlaggebender Bedeutung für eine zuverlässige und rationelle Auslegung und Absicherung der Funktionsfähigkeit technisch relevanter Komponenten und Systeme einer wichtigen Anlage (z. B. einer Reaktoranlage) gegen die vorher genannten außergewöhnlichen Belastungen sind die Qualität und Zuverlässigkeit der analytisch ableitbaren Erschütterungen (Strukturantworten).

Die Absicherung der Aussagekraft von Strukturantworten kann dabei nur über eine kritische Bewertung aller Einflussparameter (Konservativitäten bzw. Unsicherheiten) auf dem gesamten Übertragungsweg der Erschütterungen vom Anregungs- bzw. Stoßeinleitungsbereich bis zum Aufstellort des betroffenen Anlagenteils bzw. des System erfolgen. Von ausschlaggebender Bedeutung sind hier dabei die angewandten Rechenmodelle und Modelldiskretisierungen sowie deren **Anwendungsgrenzen** zur Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen **bei Stoßvorgängen**.

Ausgangspunkt und Grundlage der einleitenden Betrachtungen dieser Arbeit sind Ergebnisse zahlreicher Studien und Berechnungen, die im Rahmen vieler Genehmigungsverfahren von Reaktoranlagen zum Lastfall Flugzeugabsturz erarbeitet wurden, einschließlich der Ergebnisse gutachterlicher Vergleichsrechnungen sowie Ergebnisse punktuell durchgeführter experimenteller Nachweise.

Die in den letzten 25 Jahren gewonnenen umfangreichen rechnerischen und leider spärlichen experimentellen Ergebnisse zu Stoßbelastungen, insbesondere zum Lastfall Flugzeugabsturz, wurden dabei nach den folgenden Kriterien ausgewertet und analysiert.

- Veranschaulichung des Strukturverhaltens von Bauwerken beim repräsentativem Stoßlastfall Flugzeugabsturz (Kap.2)
- Analyse des Einflusses maßgebender Parameter auf das Erschütterungsübertragungsverhalten von Bauwerken bei Stoßbelastungen unter Anwendung linear-elastischer mathematischer Rechenmodelle (Absatz 3.1)
- Verifikation angewandter Rechenmodelle und Verfahren anhand von Ergebnissen experimenteller Untersuchungen (Absatz 3.2)
- Bewertung der Aussagekraft angewandter nichtlinearer Rechenverfahren auf der Basis vorhandener Messergebnisse (Absatz 4.1)
- Flugzeugabsturzinduzierte Strukturantworten bei realistischer Erfassung des lokalen nichtlinearen Verhaltens im Lasteinleitungsbereich (Absatz 4.2).

Zusätzlich wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Reihe neuer, systematischer Parameterstudien an Teilstrukturen und Modellbauwerken mit breiter Variation von Modelldiskretisierungen durchgeführt (Absatz 3.3).

Angestrebtes Ziel war es, den erforderlichen Diskretisierungsgrad (die Grenzdurchlasselementlängen) von FE-Modellen herauszustellen, die zu unverfälschter (augrund von Tiefpassfiltereffekten) Übertragung von stoßinduzierten Erschütterungen erforderlich ist sowie Erkenntnisse zur Erläuterung von weiteren noch ungeklärten Phänomenen von FE-Modellen (z.B. der Dispersionseffekte) bei numerischer Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen bei Stoßbelastungen zu mehrten.

Basierend auf den neuen Erkenntnissen sollte schließlich eine zusammenfassende Bewertung des erreichten Standes der Nachweisverfahren zur Erfassung von stoßinduzierten Erschütterungen insbesondere zum Lastfall Flugzeugabsturz vorgenommen und die **Anwendungsgrenzen** sowie Aussagekraft von **FE-Modelldiskretisierungen** abgesteckt werden.

2 Lastfall Flugzeugabsturz

Der Lastfall Flugzeugabsturz entspricht einer starken kurzzeitig auf ein Bauwerk wirkenden Stoßbelastung in einer einzigen im Raum angeordneten Richtung. Im Unterschied zum Lastfall Erdbeben wird die Belastung nicht direkt über den Fundamentbereich auf die tragenden Strukturen übertragen, sondern in einer beliebigen Stelle des Bauwerks eingeleitet.

Die durch einen Flugzeugaufprall eingeleiteten Stoßwellen bestehen im allgemeinen aus einer Kombination von Längswellen und Scherwellen im Gegensatz zu transienten seismischen Anregungen, die gewöhnlich aus Scherwellen bzw. Rayleigh-Wellen bestehend angenommen werden (Fig.3-56). Die Längs- und Scherwellen, die durch eine Flugzeugaufprall-Belastung ausgelöst werden, können sich in jeder Richtung durch die Struktur auf eine Art ausbreiten, die dem Vorgang der Ausbreitung seismischer Scherwellen vom Epizentrum zu der Baustruktur ähnlich ist. Sie können auch durch die verschiedenen Teile der Struktur reflektiert werden, bevor sie den Aufstellort von Gebäudeeinbauten erreichen. Der Beitrag der Längswellen zur Erregung der Gesamtstruktur kann sich dabei von dem der Scherwellen sehr unterscheiden.

Im allgemeinen bestimmt jedoch die kurzzeitige Flugzeugaufprall-Belastung den Charakter der lokalen sowie der globalen dynamischen Antwort. Bereits Studien an einfachen Systemen (siehe werden in Absatz 3.1 analysiert) führen zu der Erkenntnis, dass flugzeugabsturzinduzierte Strukturantworten einen anderen eindeutig höher frequenten Charakter als erdbebeninduzierte Erschütterungen haben.

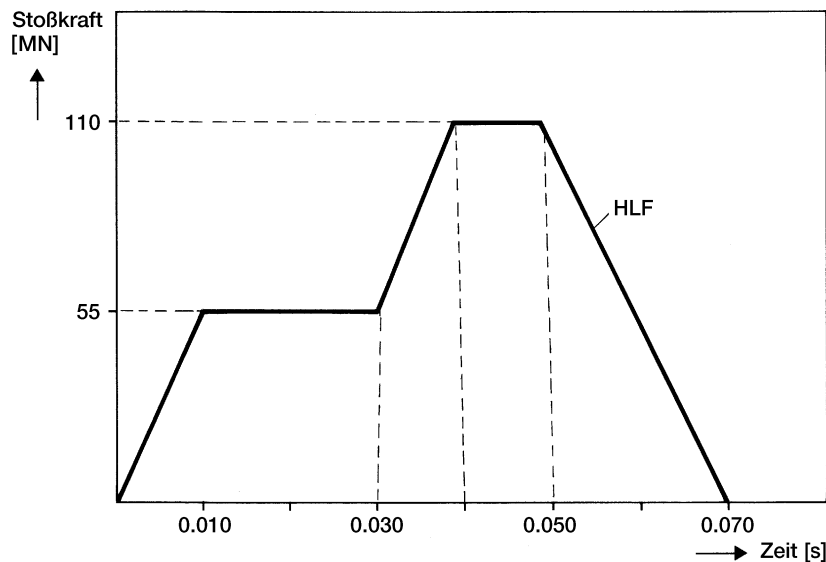


Fig. 2-1: Referenz-Lastfunktionen „RLF“ (oder Hartstoß-Lastfunktion „HLF™) [2-10] Gutachtervorgabe [2-22] für den Lastfall Flugzeugabsturz beim Aufprall auf starre Hindernisse

Anhand der von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) durchgeführten Untersuchungen /2-10/ wurde der beim Aufprall eines Militärflugzeuges (PHANTOM RF-4E) zu erwartende Stoßvorgang erstmals analysiert und die Belastungen durch Vorgabe einer Referenz-Last-Zeitfunktion RLF definiert (Fig.2-1). Die Belastungsangaben zum Lastfall Flugzeugabsturz wurden somit für

Standorte in der BRD nicht indirekt (durch Flugzeugtyp, Fluggeschwindigkeit usw.), sondern direkt durch ein Last-Zeit-Diagramm mit dazugehöriger Auftrefffläche und Auftreffwinkel definiert.

Die Referenz Lastzeitfunktion (RFL) wurde im nachhinein als verbindliche Lastangabe für alle Standorte in Deutschland vorgeschrieben /2-22/.

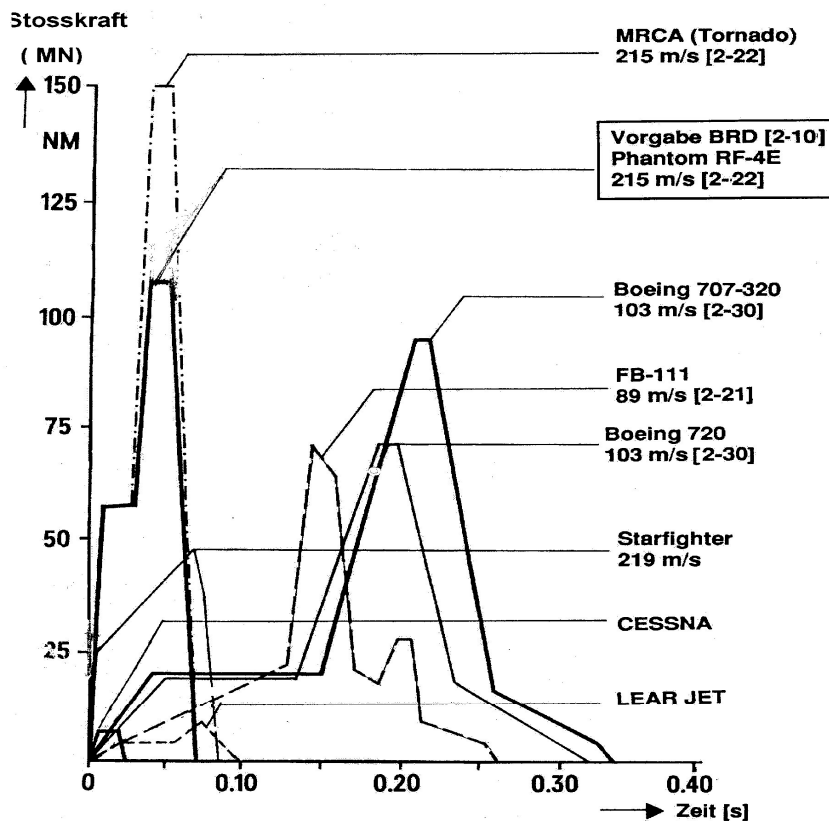


Fig. 2-2: Kraft-Zeitfunktionen für verschiedene Flugzeugtypen /2-23/

Bei der Festlegung von Lastvorgaben für die BRD wurde vom Aufprall eines Flugzeuges vom Typ Phantom ausgegangen, dessen Gesamtmasse bei Vollast ca. 20 t beträgt. Es wurde dabei unterstellt, dass die Maschine in der Tiefflugphase noch eine maximale Geschwindigkeit von 215 m/s erreichen kann. Die o.g. Zeitfunktion gilt für die Annahme, dass die getroffene Struktur unendlich steif ist, der Stoß senkrecht zur Oberfläche erfolgt und die Belastung auf eine kreisförmige Fläche von 7 m² aufgebracht wird. Eine Differenzierung der Lastfunktion, bezogen auf Gebäudebereiche (Steifigkeit des Auftreffortes), war nicht vorgesehen.

In Fig. 2-2 wurden Lastfunktionen zusammengestellt, die in den Jahren 1965 bis 1975 von verschiedenen Stellen abgeleitet wurden /2-1/, /2-3/, /2-4/, /2-23/, /2-24/, /2-30/ und /2-31/, /2-32/, /2-42/. Es ist zu erkennen, dass sowohl der Kraft-Zeit-Charakter als auch die Zeitdauer des Vorganges verschiedener Flugzeuge beachtlich variieren, und dass die in /2-10/ und /2-22/ vorgegebene Referenz-Lastfunktion (Phantom) die kürzeste Zeitdauer (0,07 s) hat.

Die Lastfunktionen für größere Zivilflugzeuge /2-1/ und /2-31/ haben eine vier- bis fünfmal längere Zeitdauer. Die Lastfunktionen für kleinere Militärflugzeuge, wie Starfighter bzw. FB 111 sind durch Lastvorgaben für die zwei o.g. Hauptgruppen in etwa abgedeckt.

Vergleiche der Flugzeugmerkmale, besonders die Anfluggeschwindigkeiten sowie die beim Ausfall von Triebwerken nicht mehr vorhandene Segelfähigkeit und Steuerbarkeit waren für die deutschen Genehmigungsbehörden ausschlaggebend für die Festlegung des Militärflugzeugs Phantom als das maßgebende in den Flugzeugabsturnachweisen zu berücksichtigende Flugzeug.

2.1 Relevante Genehmigungsaufgaben

Die historische Entwicklung der Genehmigungsaufgaben zur Auslegung von Kernkraftwerken gegen den Aufprall von Flugzeugen in Deutschland begann 1968. Ab diesem Zeitpunkt stiegen die Anforderungen dann schrittweise sehr schnell.

- 1968 Beginn der Diskussion über Gefährdung von Kernkraftwerken durch Flugzeugabsturz (Betrachtung von Absturzwahrscheinlichkeiten)
- 1969 Richtlinie zur Auswahl von Kernkraftwerksstandorten außerhalb von An- und Abflugbereichen von Flughäfen KKP 1 (der ursprüngliche Standort der Anlage KKP 1 wurde von Eichenau nach Philippsburg verlegt)
- 1972 Auflagen zur Berücksichtigung der Absturzwahrscheinlichkeit von Militärmaschinen auf Kernkraftwerke
- 1972 Außenwände der Reaktorgebäude sollen gegen den Absturz der Militärmaschinen vom Typ Starfighter ausgelegt werden (72. Sitzung der RSK, Auslegung der SWR-Anlagen KKI und KKP 1)
- 1972 Feststellungen zu Mindestwandstärken (1,2 m) von Containments zum Schutz gegen Penetration (75.Sitzung der RSK, Auslegung des SNR 300, Kalkar)
- 1973 Ergänzende Auflagen für Auslegung des Reaktorgebäudes gegen Flugzeugabsturz werden angekündigt (85.Sitzung der RSK über die Reaktoranlage KKK 1)
- 1974 Herausgabe der RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren (Auslegung gegen Militärflugzeug Phantom und gegen induzierte Erschütterungen)
- 1975 Herausgabe der IRS-Durchführungserläuterungen zu den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke
- 1979 Herausgabe der RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren
- 1981 Freigabe von Ersatzlastverfahren für die Auslegung von Komponenten, die im Inneren von Bauwerken auf der Basis ingenieurmäßiger Behandlung der flugzeugabsturzinduzierten Erschütterungen (grenzfrequenz-relevante Beschleunigung) RSK-Leitlinien für die Auslegung von Druckwasserreaktoren (3.Ausgabe, Oktober 1981)

2.2 Grundlagen der Lastdefinitionen

Bei der Ableitung von Stoßbelastungen wird, aufgrund der geringen Rückwirkung der Bewegungen der Baustruktur auf den Deformationsvorgang der Projektile, das Problem in der Regel in zwei Untersuchungsschritte zerlegt. Im ersten Schritt wird dabei der Stoßvorgang des aufprallenden Stoßkörpers (Projektils), dessen Steifigkeitseigenschaften als elastisch, elasto-plastisch oder idealplastisch beschrieben werden, behandelt. Ermittelt wird die beim Aufprallvorgang auf ein in Ruhe befindliches Hindernis (Bauwerk) zu erwartende Reaktionskraft.

Im zweiten Schritt wird das Verhalten des Tragwerkes bei Belastung mit o.g. Stoßzeitfunktion untersucht. Diese Vorgehensweise ist zulässig, da das Verhältnis der zu erwartenden Verschiebung der Aufprallstelle des Tragwerkes im Verhältnis zur Deformation (Längenveränderung) des aufprallenden Projektils klein ist.

Den maßgebenden Einfluss auf die Größe sowie den zeitlichen Verlauf der beim Aufprall zu erwartenden Reaktionskräfte am Bauwerk hat naturgemäß das Verformungsverhalten des Projektils.

Zur Bestimmung des o. g. Reaktionskraftverlaufs (d.h. der im Aufprallbereich des Bauwerks wirkenden Belastungsfunktion) werden daher Rechenmodelle angewendet, welche die Projektilsteifigkeit und das Verformungsverhalten möglichst getreu erfassen. Basierend auf diesen Ansätzen wurde auch eine Reihe von Studien und Untersuchungen zur Ableitung von Stoßzeitfunktionen /2-1/, /2-10/, /2-30/, /2-31/, /2-32/, /2-35/, /4-22/ durchgeführt.

Basis dieser Untersuchungen waren dabei die folgenden Parameter:

- Fluggeschwindigkeit 215 m/s
- Max. Landemasse 20000 kg
- Gesamtlänge 19,2 m
- Rumpfhöhe 1,91 m
- Rumpfbreite 3,05 m

2.3 Vorausberechnungen der Referenz-Lastfunktion

Im Zeitraum von Anfang bis Mitte der siebziger Jahre wurde eine Reihe verschiedener analytischer Vorausberechnungen zum Aufprall der repräsentativen Militärflugzeuge durchgeführt.

Den Grundstein für diese Betrachtungen setzte Riera mit seiner allgemeinen richtungsweisenden Abhandlung /2-1/ auf diesem Gebiet. Ausgangspunkt seiner Untersuchungen waren die Geometriedaten und Parameter der am häufigsten eingesetzten zivilen Verkehrsflugzeuge.

Alle späteren Studien zu diesem Thema bezogen sich schon direkt auf die Simulation des Aufpralls des repräsentativen Militärflugzeuges (Phantom R4).

Die durchgeführten Studien /2-10/, /2-24/, /2-29/ bis /2-31/ und /2-35/ basieren zwar auf verschiedenen Verfeinerungen hinsichtlich der Erfassung der Steifigkeiten und Massenbelegung des Flugzeugtyps Phantom sowie damals angewandter unterschiedlicher Rechencodes. Grundlage aller Untersuchungen ist jedoch die Riera-Formulierung zur Erfassung der Beullast des Rumpfes sowie der Belastung durch den ankommenden Massenstrom.

$$F_{(t)} = F_{B(t)} + \mu_{(t)} \cdot v_{(t)}^2$$

oder :

$$F_{(t)} = F_{B(t)} [X_{(t)}] + \mu_{(t)} [X_{(t)}] v_{(t)}^2 \cdot$$

mit: $F_{(t)}$ – Gesamte Stoßlast [N]

$F_{B(t)}$ – Beullast [N]

$v_{(t)}$ – Aufprallgeschwindigkeit [m/s]

$\mu_{(t)}$ – Massenstrom [kg/m]

$$[X_{(t)}] = \int_0^t v(\xi) d\xi [m]$$

t – Zeit [s]

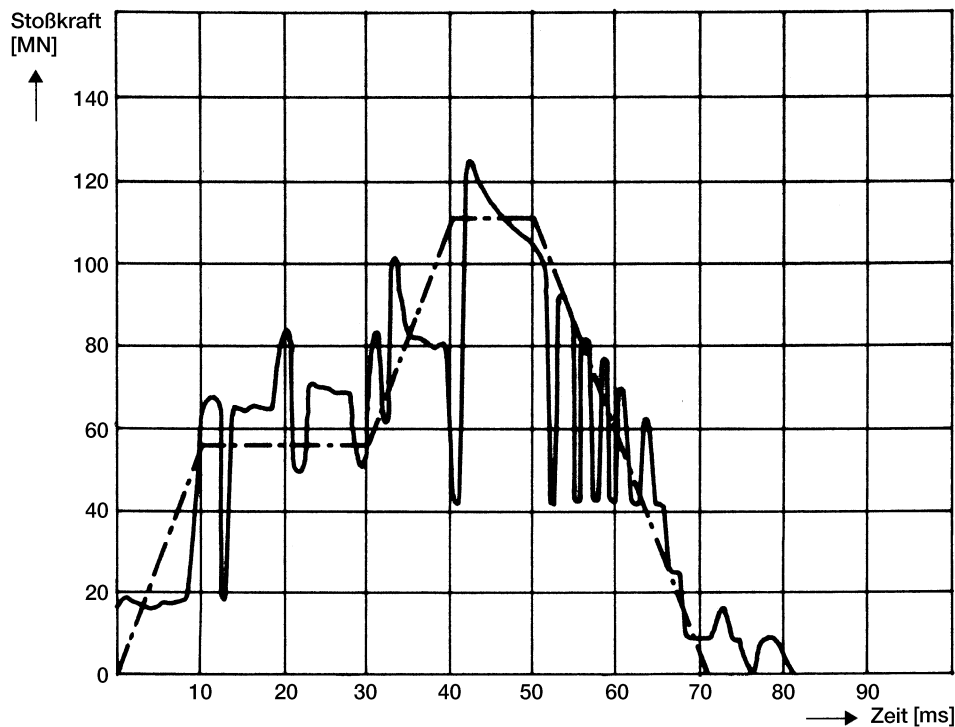


Fig. 2-3: Errechnete und geglättete Kraft-Zeitfunktion nach Drittler und Gruner [2-10]

Die von Drittler und Gruner [2-10] ermittelte Referenz-Lastzeitfunktion (Fig. 2-3) wurde als allgemein für Standorte in Deutschland, Referenzvorgabe [2-22], festgeschrieben. Der Gesamtimpuls setzt sich zusammen aus dem Impuls, eingeleitet durch den Rumpf der Maschine sowie dem Massenstrom der Wrackteile und Triebwerke.

In Fig. 2-4 wurde eine für den Aufprall der Phantom von Riera [2-24] selbst ermittelte Lastfunktion dargestellt. Sie stimmt weitgehend mit den von Drittler/Gruner abgeleiteten Ergebnissen überein. Ausgehend von anderen Ansätzen wurde von IABG [2-35] ebenfalls eine Referenz-Lastzeitfunktion (Fig. 2-5) abgeleitet. Der Verlauf der Lastfunktion hat ähnlichen Charakter wie in beiden o.g. Fällen. Obwohl man hier im allgemeinen von guten Quellen ausgegangen ist, scheint jedoch, dass die Massen und die Steifigkeitswerte im Rumpfvorderteil weniger zutreffend angenommen wurden als in den anderen Studien.

Die Berechnungen von Riera basierten gewiss auf genaueren Erhebungen von Eingangsdaten und Details des Flugzeuges. Signifikant ist, dass man anhand des Vergleichs der Riera- und IABG-Lastfunktionen mit der RLF zu der Feststellung gelangt, dass der maßgebende Impulsanstieg nicht erst nach ca. 42 bis 45 ms (Drittler), sondern schon unterhalb von 40 ms zu erwarten ist. Diese Feststellung wurde auch durch die realitätsnahen Großversuche mit einem naturgetreuen Flugzeug [2-44] bestätigt (Fig. 2-7).

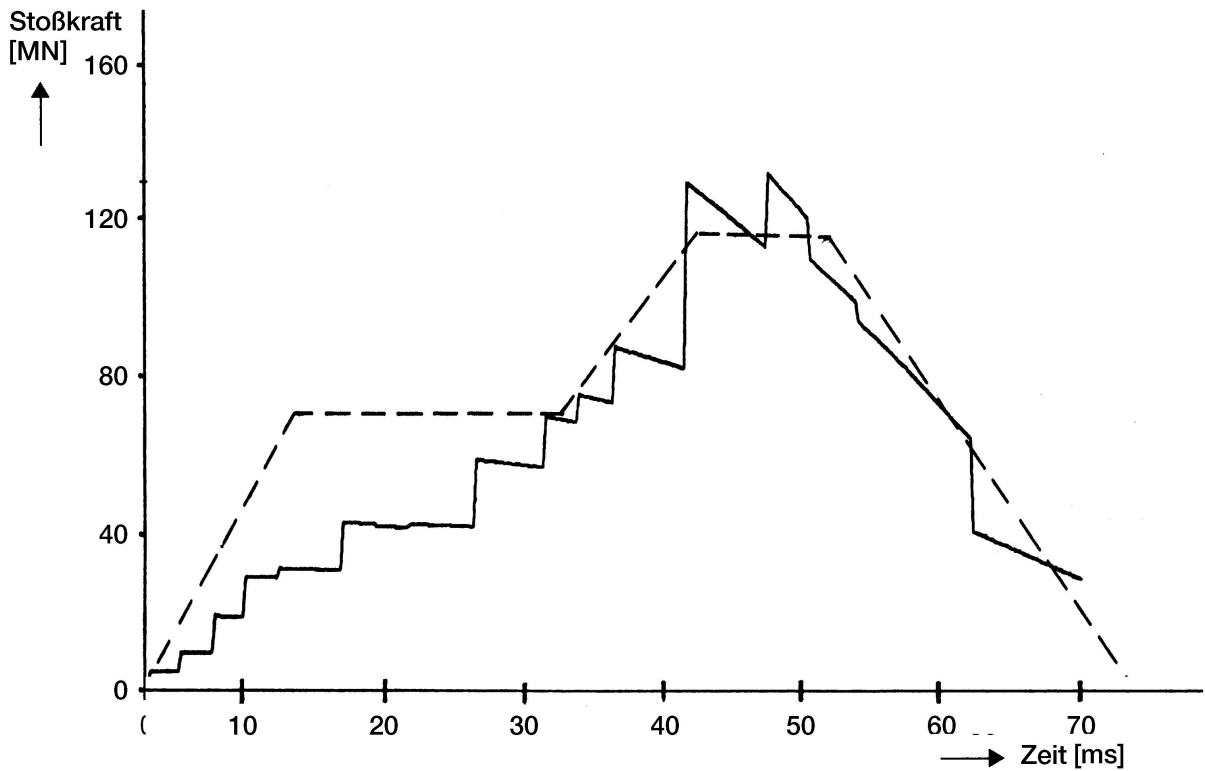
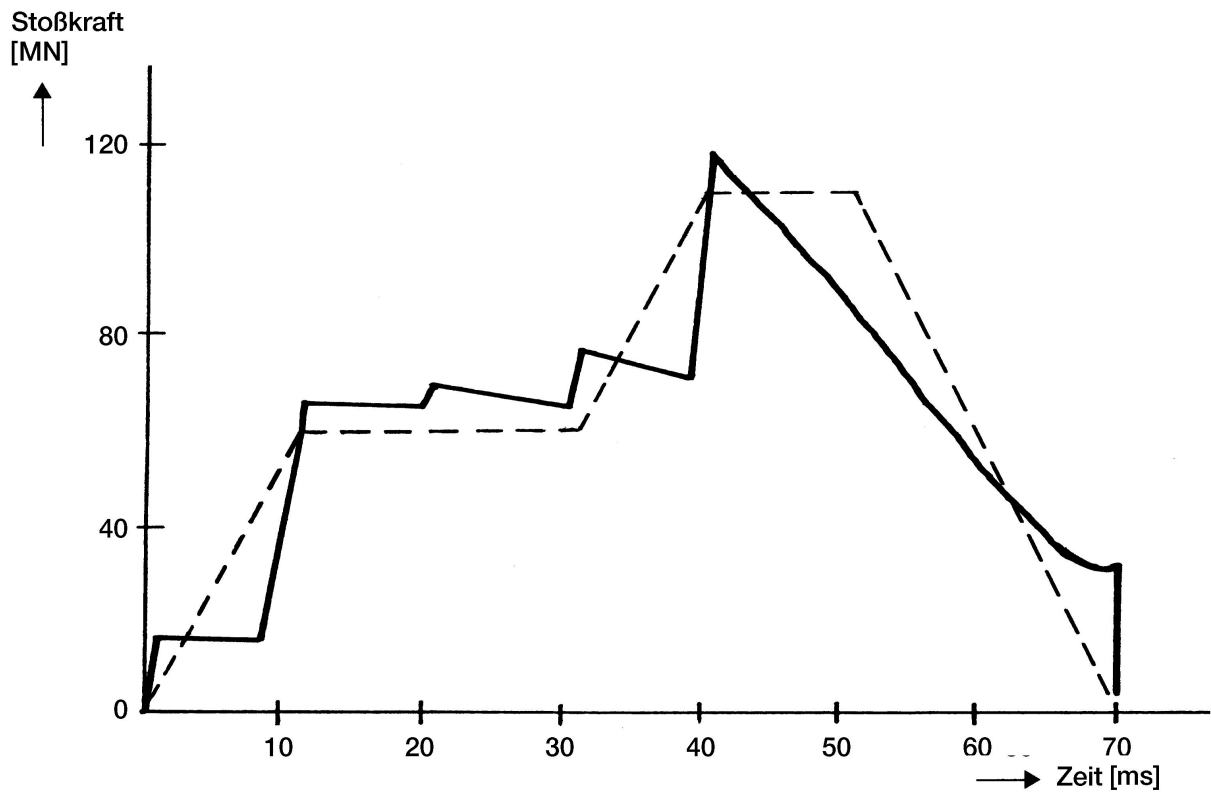


Fig. 2-4: Stoßkraft-Zeitfunktion nach Riera [2-24]

Fig. 2-5: Kraft-Zeitfunktion nach IABG [2-35]

2.4 Verifikation der Referenz-Lastfunktion

Die Richtigkeit der zur Anwendung in der BRD vorgegebenen Referenz-Lastfunktion (RLF) wurde im Nachgang im Rahmen mehrerer Studien und wissenschaftlicher Abhandlungen untermauert.

Einen besonderen Beitrag zur Verifikation und Verbesserung von Rechenmethoden zur Ermittlung der Grenztragfähigkeit von Stahlbetonstrukturen bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten mit plastizierenden, stark deformierten Projektilen lieferten die Anfang der 80er Jahre durchgeführten MEPPEN-Versuche /4-21/. Im Vordergrund der Aufgabenstellung standen hier Versuche zur Ermittlung der Beulvorgänge und Stoßkräfte deformierbarer Projektile

Anhand der von Voraus- und Nachberechnungen des Beulverhaltens der Projektile beim Stoß auf starre Aufprallorte und Vergleich mit den Versuchsergebnissen konnte eine gründliche Verifikation der vorhandenen Rechenprogramme vorgenommen werden. Hierdurch wurde indirekt die Richtigkeit der Simulation des Flugzeugaufprallvorganges und der Ableitung der Stoßfunktionen auf analytischem Wege untermauert.

Ein typischer berechneter Zeitverlauf der Stoßkraft ist in Fig. 4-14a dargestellt worden. Man kann die Oszillationen der Stoßkraft, die aus dem Beulvorgang und der Änderung der Zylinderdicke resultieren, erkennen. Die reelle, durch das Projektil aufgebrachte Belastung kann durch eine hiervon abgeleitete geglättete Stoßzeitfunktion dargestellt werden.

Ein Vergleich (Fig. 2-6) zwischen der analytisch abgeleiteten Stoßfunktion /4-41/ und /4-47/ und der gemessenen Stoßfunktion führt zu der Erkenntnis, dass die auf beiden Wegen abgeleiteten Impulse sowie der Charakter der Lastfunktionen relativ gut vergleichbar sind.

Die längere gemessene Wirkungsdauer deutet darauf hin, dass der restliche Massenstrom des Projektils verzögert ankommt. Die Ursache dieser Verlangsamung des Vorganges in der Endphase ist wahrscheinlich auf die zunehmende Verfestigung des Projektils zurückzuführen.

Im Rahmen der 1988 durchgeführten Aufprallversuche (Fig. 2-7) mit einem naturgetreuen Phantomflugzeug gegen ein starres Hindernis wurde die Lastfunktion mit sehr großem Aufwand nochmals gründlich verifiziert /2-44/.

Es konnte die generelle Form der früheren Last-Zeitfunktionen bestätigt werden. Analysiert man (Fig. 2-7) die analytisch und experimentell ermittelten Lastfunktionen, so gelangt man zu der Erkenntnis, dass der Massenstrom der Tragflächen und der Triebwerke das Hindernis etwas früher erreicht und die gesamte Masse erst nach ca. 80 ms angekommen ist (ein ähnliches Verhalten wie bei den MEPPEN-Projektilen festgestellt).

Die maximale Reaktionskraft von ca. 110 MN (nach Abzug der Auswirkungen der Massen der Antriebsraketen und des Schlittens) sowie die Reaktionskraft des vorderen Teils des Rumpfes von ca. 55 MN stimmen mit der Referenz-Lastzeitfunktion relativ gut überein. Der gemessene Beulvorgang des Rumpfes ist jedoch kürzer.

Aufgrund der geringen Verschiebung des Plateaus der RLF von 40 ms bis 50 ms auf 35 bis 45 ms scheint eine Korrektur der in der BRD angewandten RLF nicht erforderlich zu sein. Diese Verschiebung des Plateaus sowie die Verlängerung der Einwirkungsdauer (bis über 100 ms) werden bei der praktischen Durchführung von Flugzeugabsturzberechnungen mit Berücksichtigung der nichtlinearen Effekte am Aufprallort anhand von modifizierten Lastfunktionen ohnehin abgedeckt (Absatz 4.2).

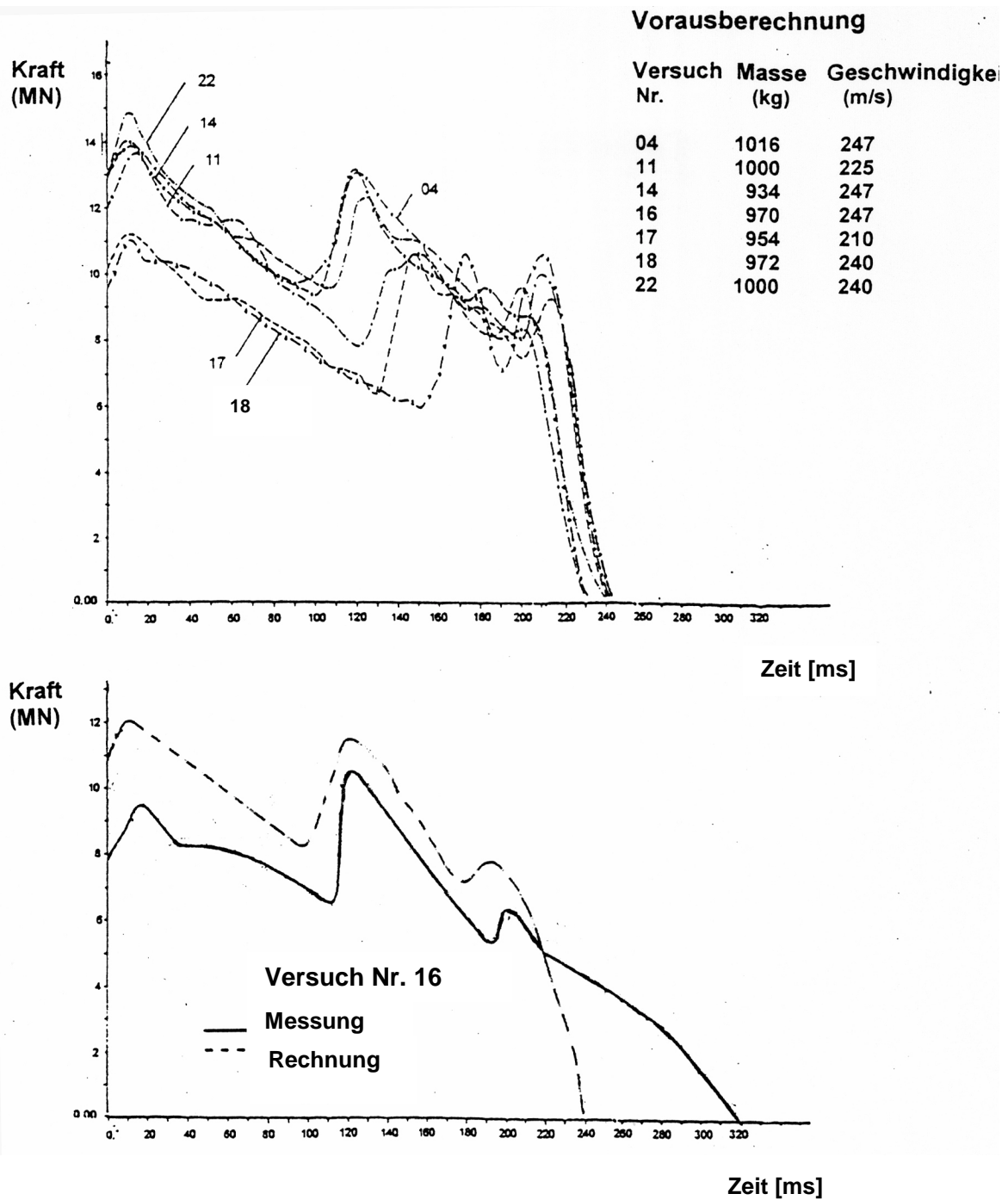


Fig. 2-6: Analytisch vorausberechnete Stoßlastfunktion für diverse Versuche /4-41/ sowie Vergleich Rechnung – Messung für den Versuch Nr. 16

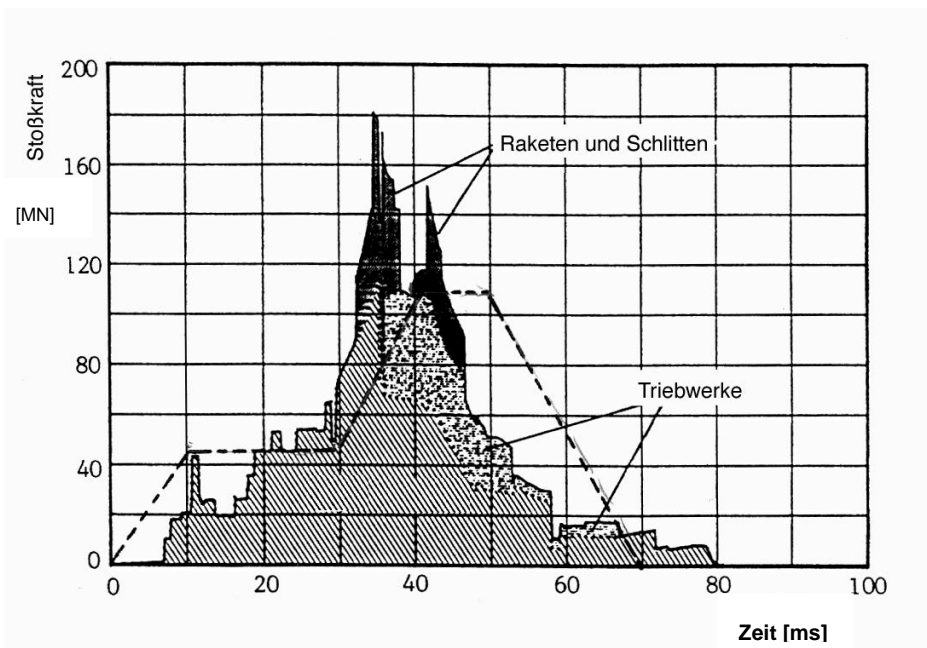


Fig. 2-7: Kraftzeitfunktion gemäß experimenteller Untersuchungen /2-44/ an einem naturgetreuen (Phantom R4) Flugzeug

2.5 Charakteristiken der Referenz ("Hartstoß")-Lastfunktion

Die Referenzlastfunktion (RLF) wurde für den Aufprall des Referenzflugzeuges gegen ein starres Hindernis ermittelt. Sie wird sinnvollerweise in weiteren Ausführungen Hart-Stoß-Lastfunktion „HLF“ genannt. Dies ist auch zwecks Differenzierung der später (Abschnitt 4.2.3) abgeleiteten modifizierten (MLF) Referenzlastfunktionen erforderlich.

Wertet man die HLF in bezug auf die frequenzbezogene Anregungsfähigkeit (Fig.2-8) aus und leitet ihre dynamischen Lastfaktoren (DLF) ab, so gelangt man zu der Feststellung, dass beim Aufprall eines Flugzeuges besonders lokale Strukturbereiche eines Bauwerks mit Eigenfrequenzen von ca. 12 Hz, 32 Hz und 64 Hz angeregt werden können. Hieraus resultieren vor allem wichtige Informationen (relevanter Frequenzbereich) bezüglich des zu wählenden Diskretisierungsgrades des mathematischen Rechenmodells sowie der zu berücksichtigenden Frequenzbereiche.

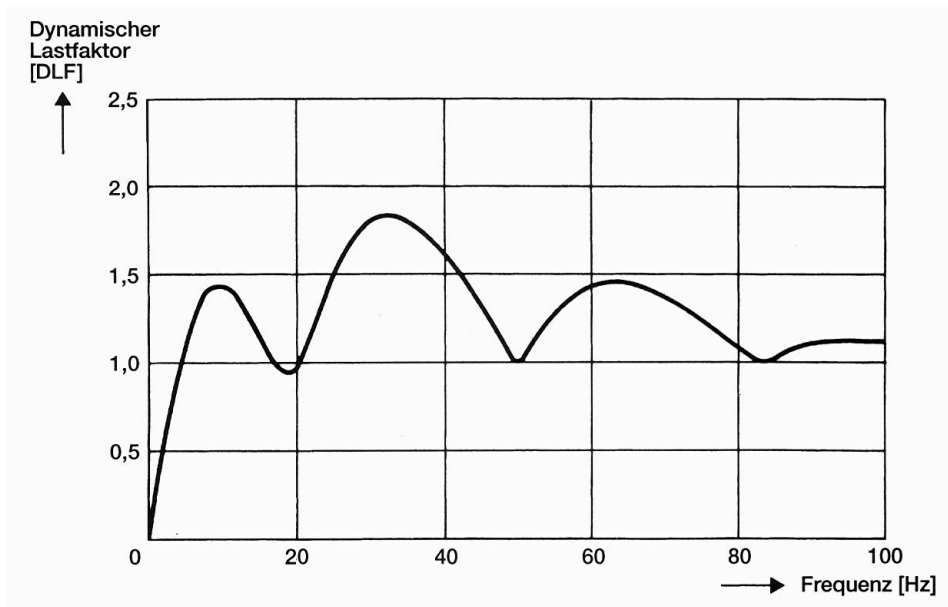


Fig. 2-8: Spektrum der dynamische Lastfaktoren (DLF) der Hartstoßlastfunktion

Die Auswirkung der Flugzeugabsturzbelastung auf Strukturen mit typischen Eigenfrequenzen (Fig. 2-9 bis 2-11) wurde anhand von Zeitverläufen der Verschiebungen ungedämpfter Einmassenschwinger (EMS) mit Frequenzen von 50, 20 bzw. 2 Hz bei Anregung mit der HLF-Lastfunktion dargestellt.

Es kann festgestellt werden, dass in einem direkt beaufschlagten Strukturbereich des Bauwerks mit einer lokalen Eigenfrequenz von 50 Hz die maximale Antwort schon während der Belastungsdauer der Lastfunktion zu erwarten ist.

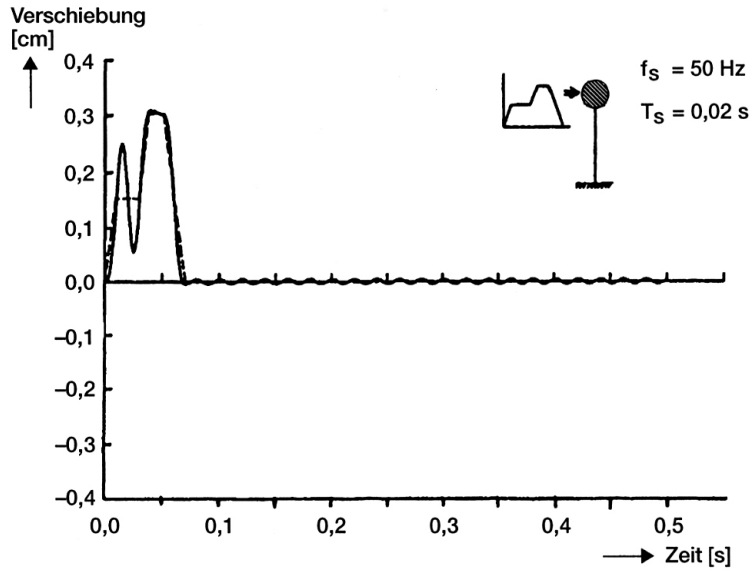


Fig. 2-9: Verschiebungsverlauf für einen 50 Hz-EMS bei Belastung mit der HLF /2-20/

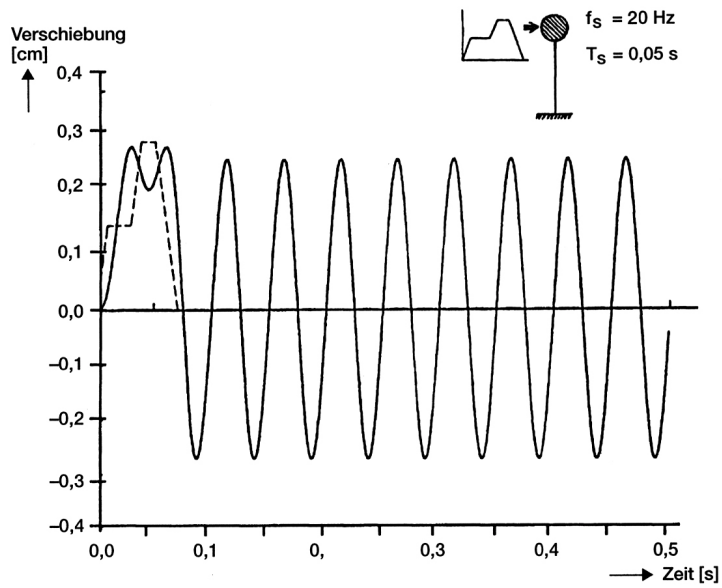


Fig. 2-10: Verschiebungszeitverlauf für einen 20 Hz-EMS bei Belastung mit der HLF /2-20/

Bei einem starren System ist das Verhältnis der Einwirkungsdauer zur Periodendauer (t_d/T) sehr groß und die Amplifikation quasi null. Die Antworten der freien Schwingungen eines solchen Systems erreichen sehr kleine Amplituden. Der Einfluss der Dämpfung auf die Antwort ist sehr gering.

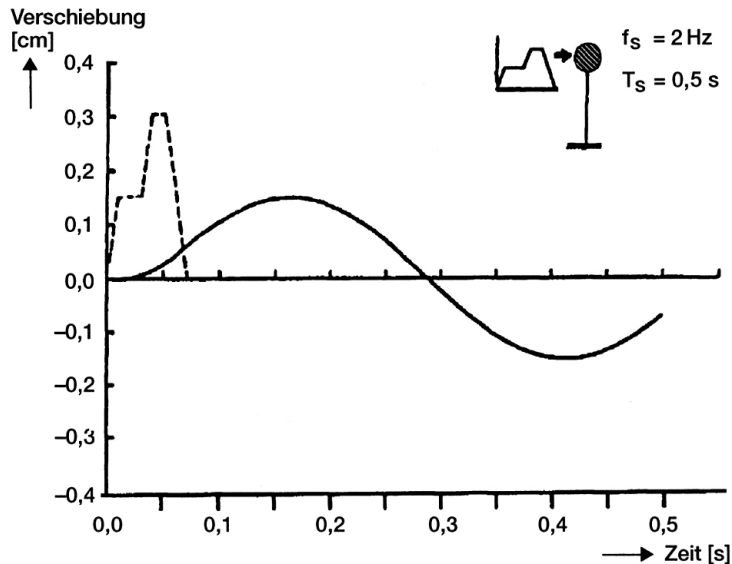


Fig. 2-11: Verschiebungszeitverlauf für einen 2 Hz-EMS bei Belastung mit der HLF /2-20/

Bei tieferfrequenten Systemen (von ca. 20 Hz) können die maximalen Antworten zu verschiedenen Zeitpunkten noch während der Lasteinwirkungsdauer (Fig. 2-10), aber auch zu einem späteren Zeitpunkt zu erwarten sein. Bei tieffrequenten Systemen (z.B. 2 Hz) sind im allgemeinen kleinere Antworten (im Zeitraum nach Ablauf des Belastungsvorganges) zu erwarten. Setzt man den Vorgang fort und leitet die Verschiebungsantworten der EMS für den bemessungsrelevanten Frequenzbereich von 1 bis 70 Hz ab, so gelangt man bei frequenzbezogener Darstellung der Zeitpunkte (bei denen die größten Verschiebungsamplituden eingetreten sind) zum in Fig. 2-12 dargestellten t_{max} -Spektrum.

Analysiert man das abgeleitete t_{max} -Spektrum näher, so ist zu erkennen, dass für alle Strukturbereiche mit Eigenfrequenzen größer 10 Hz die Zeit bis zur maximalen Antwort kürzer ist als die Wirkungsdauer des Flugzeugaufpralls (0,07 s). Es kann auch festgestellt werden, dass der Teil des t_{max} -Spektrums, welcher die Zeit zur maximalen Antwort (für Systeme mit $T > t_d$) darstellt, dem DLF-Spektrum für eine rampenartige Stoßfunktion mit endlicher Anstiegszeit (vergl. Fig. 2-12 mit 3-27) ähnlich ist. Hieraus resultiert der Hinweis, dass die Anstiegszeit der HLF einen signifikanten Einfluss auf die t_{max} steifer Systeme hat. Bei niedrigeren t_d/T -Verhältnissen ($T < t_d$) unterscheidet sich das t_{max} -Spektrum sowohl von der dreieckförmigen als auch von der rampenartigen Stoßfunktion (Fig. 3-26 und 3-27).

Dies ist auf die rampenartige Form der HLF-Lastfunktion mit zwei unterschiedlichen Einwirkungszeiten und Lastniveaus zurückzuführen. Aus Fig. 2-12 ist weiterhin zu entnehmen, dass mit zunehmender Steifigkeit der Strukturen die Zeit bis zum Erreichen der maximalen Antwort abnimmt und schließlich zu einem Wert von etwa 0,045 s tendiert.

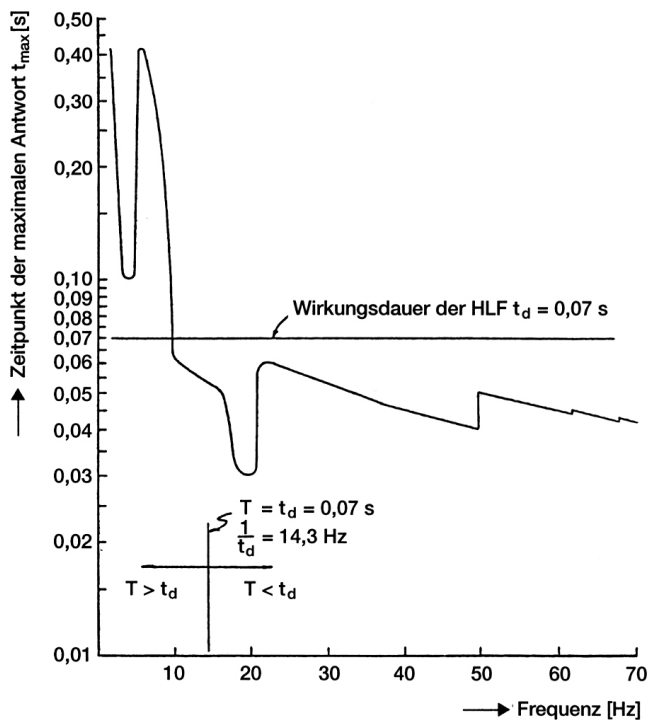


Fig. 2-12: Zeitpunkt der max. (frequenzbezogenen) Strukturantwort eines Bauwerks bei Belastung mit der HLF (t_{max} -Spektrum) /2-20/

2.6 Auswirkungen der Hartstoß-Lastfunktion auf typische Bauwerke

Die Reaktion der Gebäudestrukturen auf die durch den Aufprall eines Flugzeuges ausgelöste Stoßbelastung ist eindeutig abhängig von der Lage und Beschaffenheit des Aufprallortes sowie den richtungsbezogenen Eigenschaften des Bauwerks.

Im ersten Schritt müssen daher die maßgebenden Auftreffpunkte herausgefunden und deren topologische Anordnung an der Gebäudestruktur sowie die Wirkungsrichtungen festgelegt werden. Dieser Schritt kann u. U. sehr langwierig und aufwendig sein /2-8/, /2-28/, es sei denn, man kennt von vornherein die Kopplungsstellen der wichtigsten maschinentechnischen Anlagenteile und kann die Untersuchungen der Auswirkungen der Belastungen in mehreren unterstellten Auftreffpunkten auf nur wenige Punkte der Struktur einschränken.

Einen maßgebenden Einfluss auf die dynamische Reaktion der Gebäudestrukturen beim Aufprall eines Flugzeuges hat ebenfalls das örtliche Verhalten der Außenstrukturen im beaufschlagten Bereich.

Nur bei konservativen Vorabberechnungen unterstellt man, dass die Verformung der Struktur im elastischen Bereich bleibt (das nichtlineare Verhalten am Aufprallort wird vernachlässigt) und die ganze kinetische Energie des aufprallenden Flugzeuges in die Gebäudestrukturen eingeleitet wird.

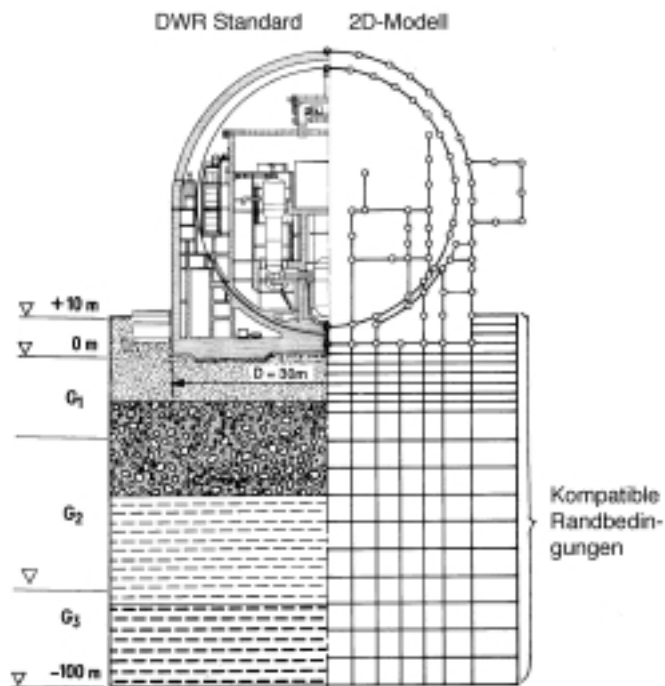


Fig. 2-13: Komplexes Gebäude-Baugrund-Rechenmodell

2.6.1 Rechenmodelle

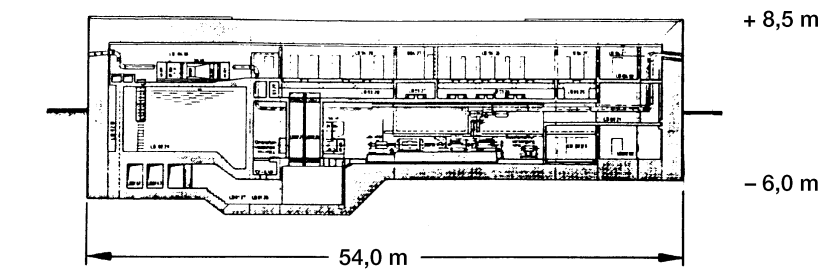
Die Art des zu wählenden Rechenmodells wird bekanntlich nicht nur durch das verfolgte Ziel und von der Art der angestrebten Informationen, sondern auch von der konstruktiven Gestaltung der zu untersuchenden Struktur sowie der Charakteristik der Lastfunktionen bestimmt. Bei der Wahl des Rechenmodells sowie der Diskretisierung (s. Absatz 3.3) muss jedoch in erster Linie darauf geachtet werden, dass hiermit das Eigenverhalten der jeweiligen Struktur im relevanten Frequenzbereich zuverlässig ermittelt werden kann. Mitbestimmend kann aber auch die Anzahl der Stellen am Bau- bzw. Tragwerk sein, in denen Informationen für die Auslegung von Anlagenteilen und Systemen erstellt werden müssen. Dieser Schritt hat einen maßgebenden Einfluss auf die Ableitung zuverlässiger Ergebnisse, wobei es keine bevorzugte Idealisierungsart gibt, die zur Lösung aller Dynamikprobleme eindeutig empfohlen werden kann. Das Modellkonzept sowie die Lösung müssen vielmehr individuell lastfall- und aufgabenbezogen gewählt werden.

Die größten axisymmetrischen Bauwerke (Reaktorgebäude und Kühltürme von Energieerzeugungsanlagen) bestehen im allgemeinen aus mehreren konzentrisch angeordneten Zylindern, die mittels Decken (Kreisringplatten) sowie Wänden verbunden und ausgesteift sind. Innenstrukturen können dabei mit der Außenhülle monolithisch verbunden sein oder dort nur ein vertikales Auflager haben.

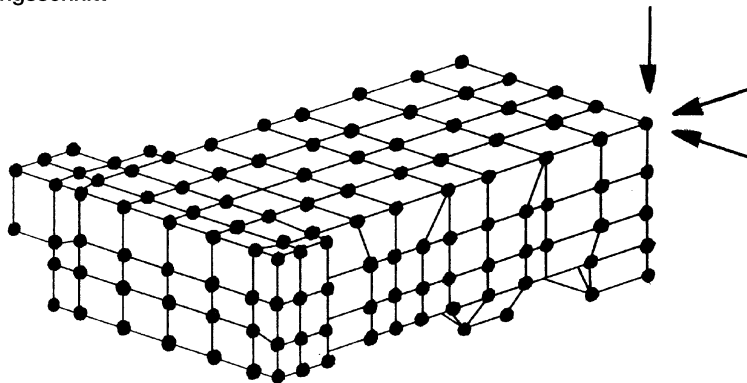
Bei axisymmetrischen Strukturen bietet sich eine Idealisierung mittels FE-Schalenelementen bevorzugt an /2-13, /2-15/, /2-21/ /2-25/, /2-26/, /2-38/ und /2-41/. Die Strukturen der Außenhüllen sowie des Innenbetons werden hiernach mittels äquivalenter Schalenelemente idealisiert. Nicht-symmetrische Strukturbereiche oder Zusatzlasten werden dabei entsprechend auf die rotations-symmetrisch idealisierten Strukturen verteilt. Die Steifigkeit der Anbauten (z.B. Armaturenabau) wird vernachlässigt und deren Masse auf entsprechende Ringelemente verteilt.

Die Wechselwirkungseffekte Boden-Bauwerk werden anhand von frequenzunabhängigen Impedanzfunktionen (Ersatzsteifigkeiten und Dämpfungselementen) oder durch eine detaillierte FE-Abbildung repräsentiert.

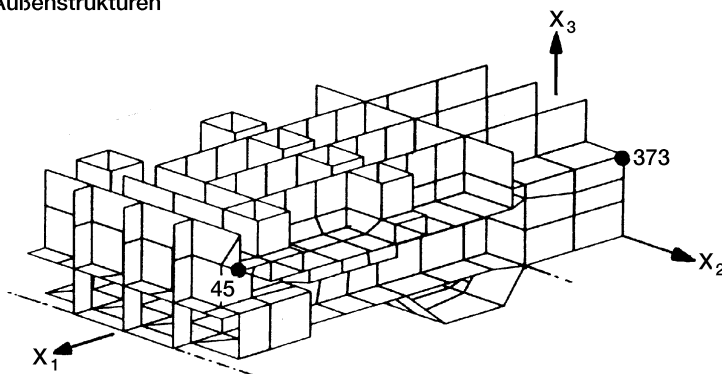
Die Strukturen rechteckiger gegen Flugzeugabsturz zu schützender Industriebauwerke (u.a. Betriebsgebäude von Reaktoranlagen) bestehen im allgemeinen aus entsprechend dimensionierten vertikalen Wänden bzw. Platten, die üblicherweise zu einem rechteckigen Kastenquerschnitt verbunden und mittels mehrerer Decken (horizontale Platten) sowie vertikaler Wände ausgesteift sind (Fig.2-14). Bei Baustrukturen, die gegen äußere Stoßbelastungen (Lastfall Flugzeugabsturz) auszulegen sind, wird ein ähnliches Entkopplungskonzept, wie beim Reaktorgebäude beschrieben, angewendet. Auch diese Bauwerke sind in der Regel teilweise oder auch gänzlich im Baugrund eingebettet /2-14/, /2-27/, /2-33/.



Längsschnitt



Idealisierung der Außenstrukturen



Idealisierung der Innenstrukturen

Fig. 2.14: Notspeisegebäude (Hauptstruktur), 3D - Flächenelementmodell /2-27/

Das gesamte System der gekoppelten Strukturen eines Gebäudekomplexes (z. B. einer Reaktor-anlage) einschließlich aller Teil- und Unterstrukturen sowie Komponenten mit ihren funktionellen Verbindungen und Anordnungen ist so mannigfaltig, dass es als Ganzes mit der erforderlichen Feinheit DV-technisch nicht behandelt werden kann und aus wirtschaftlichen Gründen auch so nicht behandelt werden sollte. Unter Teilstrukturen werden hier alle schwingungsfähigen Unterstrukturen bzw. Komponenten verstanden, deren Einfluss auf das Verhalten der Hauptstruktur (Gebäude bzw. Bauwerk) aufgrund des Massen- bzw. Frequenzverhältnisses vernachlässigbar ist. Es wurden Verfahren und Rechenmodelle etabliert, die es ermöglichen, das Gesamtsystem in Teilstrukturen derart zu unterteilen, dass es mit zugänglichen DV-Anlagen und wirtschaftlich vertretbaren Kosten analysiert werden kann /2-17/, /2-18/, /2-34/, /2-36/, /2-39/ und /2-45/.

Bevor Unterteilungen in Teilstrukturen vorgenommen und Rechenmodelle konzipiert werden können, muss jedoch der Einfluss der das Eigenverhalten maßgebend bestimmenden Parameter der gekoppelten und entkoppelten Systeme untersucht und die Zulässigkeit der Unterteilung nachgewiesen werden /2-46/.

Die Unterstrukturen werden im allgemeinen im Anschluß an die Berechnungen der Haupt- bzw. Teilstrukturen gesondert untersucht und ausgelegt /2-16/. Für die Berechnungen der Unterstrukturen dienen als Ausgangsdaten die an den Kopplungspunkten zur Hauptstruktur ermittelten Zeitverläufe bzw. Antwortspektren.

2.6.2 Bauwerk-Boden-Wechselwirkungseffekte

Die Eigenschaften des Baugrundes bestimmen bekanntlich maßgebend das Eigenverhalten und die Strukturantworten der Bauwerke im tieffrequenten Bereich.

Variieren die Bodenparameter im gewissen Bereich, so können auch bei tieffrequenten Anregungen die Streubereiche der Eigenfrequenzen und die Veränderung der Strukturantworten an den Aufstellungsorten von Unterstrukturen und Komponenten beachtlich sein.

Durch den schwingungsbedingten Energieaustausch zwischen dem Boden sowie der Baustruktur können somit auch bei Kurzzeitbelastungen (Stoßbelastungen) die Strukturantworten im höheren Frequenzbereich entsprechend verändert werden /2-33/.

Will man die Wechselwirkungseffekte von Boden und Bauwerk auf die Strukturantworten möglichst getreu erfassen, so müssten gekoppelte mathematische Modelle angewendet werden, in denen der Baugrund sowie die Struktur (Fig.2-13) komplex erfasst werden.

Da, verglichen mit anderen Einflussparametern (Aufprallorte, nichtlineare Effekte am Aufprallort), der Einfluss der Bodeneigenschaften von untergeordneter Bedeutung ist, wird bei Flugzeugabsturnachweisen der Baugrund ordnungshalber anhand von äquivalenten frequenzunabhängigen Steifigkeiten und Dämpfungen abgebildet.

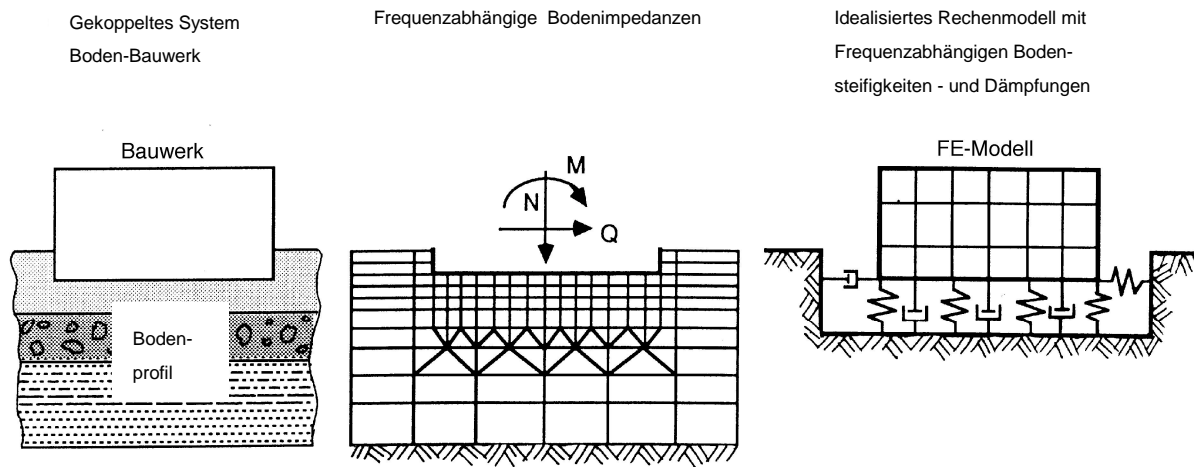


Fig. 2-15: Substrukturverfahren bei der Erfassung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkungseffekte

2.6.3 Annahmen zum Materialverhalten und Dämpfungsvermögen

Obwohl bei der Auslegung von Bauwerken gegen EVA- und EVI-Lastfälle begrenzte plastische Verformungen im allgemeinen zulässig sind, werden die Berechnungen zur Ermittlung der übergreifenden und lokalen Erschütterungen in der Regel unter Zugrundelegung linear-elastischer Materialgesetze durchgeführt.

Untersuchungen zum Erschütterungsübertragungsverhalten von Bauwerken unter Anwendung komplexer Rechenmodelle mit nichtlinearen Materialgesetzen sind aufwendig und erfordern aufgrund der Vielzahl und Streubereiche der Einflußgrößen eine vorsichtige Bewertung. Nichtlineare Nachweise werden (s. Absatz 4.2) bei Stoßbelastungen (Flugzeugabsturz, Behälteraufprall) nur für die direkt beaufschlagten Bereiche der Gebäudestrukturen durchgeführt. Auf der Grundlage dieser Berechnungen werden modifizierte, den Gegebenheiten am Aufprallort entsprechende Lastfunktionen abgeleitet.

Eine der wichtigsten Einflußgrößen auf die Systemantworten und Beanspruchung der Strukturen eines Bauwerks stellt die Dämpfung des komplexen Boden-Bauwerk-Systems dar. Sie setzt sich im allgemeinen aus den Anteilen der Bodendämpfung (Hysterese- und Abstrahlungsdämpfung) sowie Materialdämpfung der Struktur des Bauwerks zusammen.

Bei Berechnungen mit Anwendung modaler Analyseverfahren wird die Dämpfung eines jeden Modes in Anlehnung an die bei Erdbebenberechnungen praktizierte Vorgehensweise begrenzt.

Die gesamte, einem jedem Mode zugehörige modale Dämpfung darf hiernach für die Horizontal- sowie Kippbewegung 15 % und für die vertikale Schwingungsrichtung den Wert von 30 % der kritischen Dämpfung nicht übersteigen.

2.6.4 Repräsentative Lastfunktion

Beim Aufprall eines Flugzeuges auf ein Bauwerk ist in der Regel mit gewissen Deformationen im Aufprallbereich und Energieverzehr (abhängig von der Beschaffenheit des Aufprallortes) zu rechnen.

Trotz dieser Erkenntnis wurde zwecks Vereinfachung der Vorgehensweise und aufgrund des geringen Einflusses der globalen und lokalen Deformationen auf den Charakter der Reaktionskräfte für die Auslegung von Bauwerken die Hartstoß-Lastfunktion vorgeschlagen (Fig.2-1), die auf der Basis elasto-plastischer Annahmen zum Geschoß sowie eines starren Aufprallortes abgeleitet wurde /2-10/.

Es wird angenommen, dass vom beaufschlagten Bereich des Bauwerks ausgehend die induzierten Erschütterungen bis zu den betrachteten Gebäudebereichen und Standorten von Anlagenteilen ungestört übertragen werden. Bei monolithischen Gebäuden (Fig.2-13 und 2-16) übergreifen die Erschütterungen direkt in die ankoppelnden Innenstrukturen (Decken und Wände). Im Falle freistehend konzipierter Innenstrukturen (Fig.2-14) werden sie dagegen auf indirektem Wege über die Fundamentplatte auf die Innenstrukturen übertragen. Hieraus resultieren verschiedene Übertragungswege und zu überbrückende Entfernungen zwischen Aufprallort und dem Aufstellort der Komponenten.

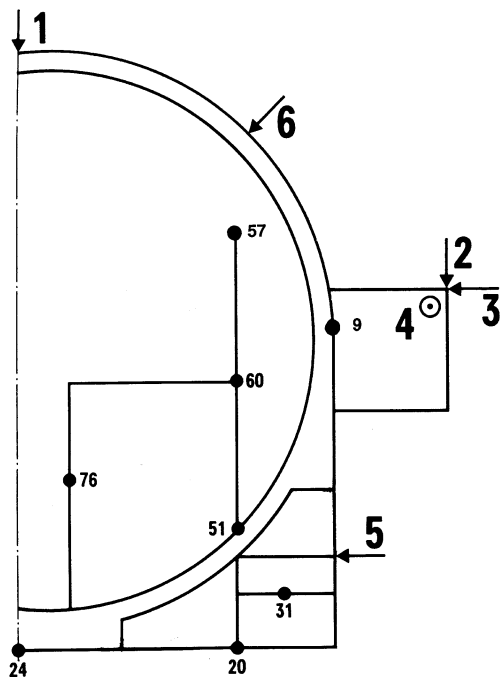


Fig. 2-16: Auftreffpunkte und charakteristische Ausgabebereiche von Strukturantworten bei einem axisymmetrischen Reaktorgebäude

2.6.5 Festlegung maßgebender Aufprallbereiche

Ausgehend von der Gestaltung und dem Verhalten der Gebäudestrukturen ist zu erwarten, dass es endlich viele Auftreffpunkte gibt, die zu maximalen Reaktionen in bestimmten Bereichen des Bauwerks führen. Um jedoch den Umfang der Berechnungen einzuschränken, können u. U. einige Aufprallbereiche und Richtungen eliminiert werden, die mit einem aus praktischer Sicht gesehen akzeptablen Streubereich durch übrige Aufprallbereiche abgedeckt sind.

Nur in seltenen Fällen läßt sich jedoch anhand von Parameterstudien die Anzahl von Auftreffpunkten auf wenige Bereiche (die in etwa zu maximalen Reaktionen in den relevanten Stellen führen) begrenzen.

Bei kastenförmigen Gebäuden werden zumindest 10 Berechnungen für verschiedene Aufprallpunkte benötigt, um die Bereiche herauszufinden, für die vollständige Nachweise durchgeführt und die entsprechenden Informationen (Zeitverläufe, Schnittgrößen) für die nachfolgenden Detailuntersuchungen der gekoppelten Unterstrukturen erstellt werden müssen /2-8/, /2-28/ und /2-33/.

Diese Aufprallbereiche sind in der Regel im oberen Bereich des Gebäudes angeordnet (Fig.1-14). Für ein rotationssymmetrisches Reaktorgebäude mit Armaturenanzubau müssen erfahrungsgemäß mindestens 4 bzw. 6 Auftreffpunkte berücksichtigt werden (Fig.2-16).

Die Stoßlast wird bei Berechnungen mit dreidimensionalen Rechenmodellen definitionsgemäß auf eine Fläche von ca. 7 m^2 verteilt. Um diese Vorgabe zu erfüllen, wird bei Untersuchungen mit rotationssymmetrischen Rechenmodellen die Verteilung in Umfangsrichtung über eine entsprechende Anzahl (ca. 10 bis 15) von Fourier-Reihen vorgenommen.

2.6.6 Charakteristische Ergebnisse

Von maßgeblicher Bedeutung für die Beurteilung der Auswirkungen des Lastfalles Flugzeugabsturz sowie die Auslegung der im Inneren des Bauwerks untergebrachten Komponenten und Systeme sind die ortsbezogenen, in den Kopplungsstellen von maschinentechnischen Anlagenteilen zu berücksichtigenden Strukturantworten des Bauwerks (Zeitverläufe bzw. Antwortspektren der Beschleunigung) sowie die Aussage über die maximalen Beanspruchungen in den meist ausgelasteten Bereichen der Strukturen /2-11/, /2-13/, /2-26/ und /2-27/.

Die Strukturantworten am Aufstellort einer Komponente im Bauwerk sind abhängig sowohl von der Anordnung des Aufprallortes als auch von der Aufprallrichtung des Flugzeuges. Der Charakter der Beschleunigungszeitverläufe, die infolge der vorgegebenen Hartstoßfunktion (Fig.2-1) im Inneren eines axisymmetrischen Reaktorgebäudes (Fig.2-18) zu erwarten sind, wurden (für 6 verschiedene Auftreffpunkte) in Fig. 2-17 dargestellt /2-19/, /2-26/.

Es ist zu erkennen, dass der Vorgang nach 0,5 bis 2 s praktisch abgeklungen ist und somit das Verhalten nicht weiter verfolgt werden muss (Fig.2-17 sowie 2-19 bis 2-23).

Die für die Auslegung von Unterstrukturen und Komponenten öfters gebrauchte Art der dynamischen Lastfunktion am Aufstellort stellt, wie bekannt, die ausgewertete Form der Zeitverläufe (die Antwortspektren) dar.

In Fig. 2-18 wurden die Antwortspektren /2-26/ für die charakteristischen Punkte der Strukturen eines Reaktorgebäudes dargestellt. Sie wurden jeweils für den Dämpfungswert von 2 % der Kritischen abgeleitet.

Vergleichbar, jedoch stärker durch die Wahl des Aufprallbereichs des Flugzeuges am Bauwerk bestimmt, ist die Situation bei kastenförmigen Gebäuden.

Einige typische Ergebnisse, die für ein SWR-Reaktorgebäude /2-11/ beim Treffen im unteren und oberen Gebäudebereich abgeleitet wurden, sind aus Fig. 2-19 bis 2-23 zu entnehmen.

Die dazugehörigen Spektren für 2% Dämpfung wurden in Fig. 2-24 und 2-25 dargestellt.

Es kann festgestellt werden, dass die in den jeweiligen Bereichen im Inneren des Bauwerks zu erwartenden Spektren eindeutig von der Lage des Aufprallpunktes abhängig sind.

Die Beschleunigungsüberhöhungsbereiche treten dabei deutlich im Bereich der anregungsfähigen Frequenzen der Hartstoß-Lastfunktion (Fig.2-8) auf. Abhängig vom gewählten Aufprallort können die Beschleunigungen in dem gleichen Beobachtungspunkt um Faktor 10 und größer variieren.

Um die zu erwartende Anregung im jeweiligem Beobachtungspunkt abzudecken, müssen aus allen Aufprallpunkten resultierende Spektren individuell berücksichtigt oder ein einhüllendes Spektrum über alle Ergebnisse gebildet werden.

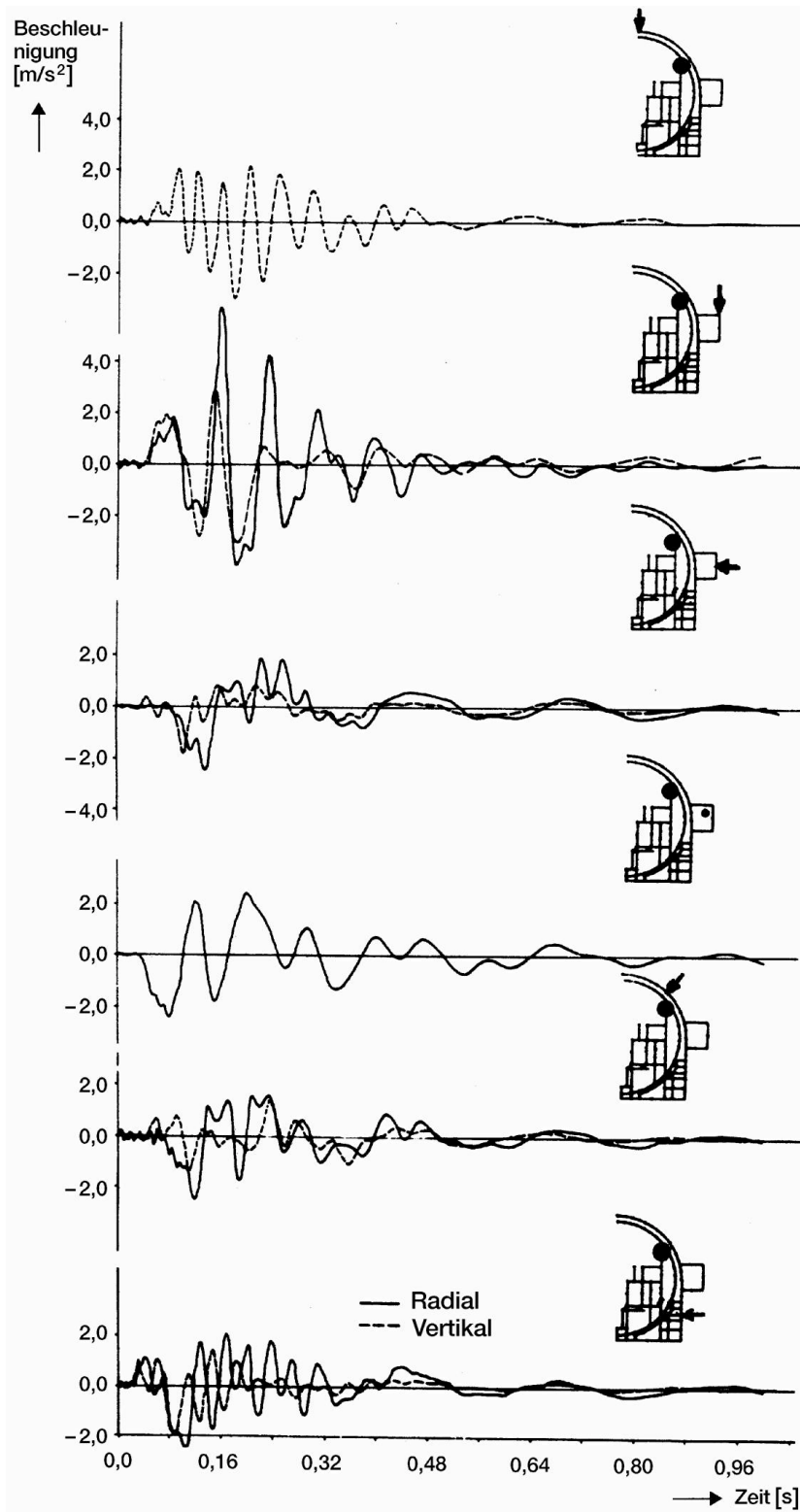


Fig. 2-17: Beschleunigungszeitverläufe für die Oberkante der Innenstruktur beim Aufprall in verschiedenen Gebäudebereichen [2-26]

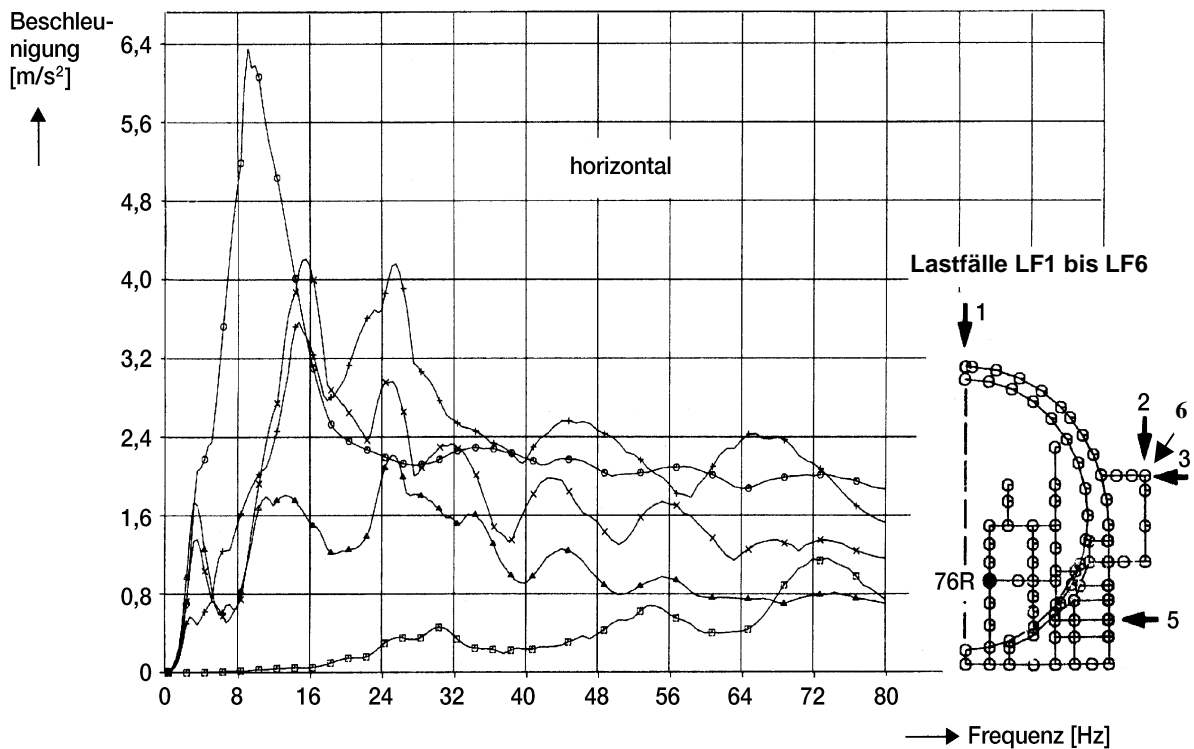
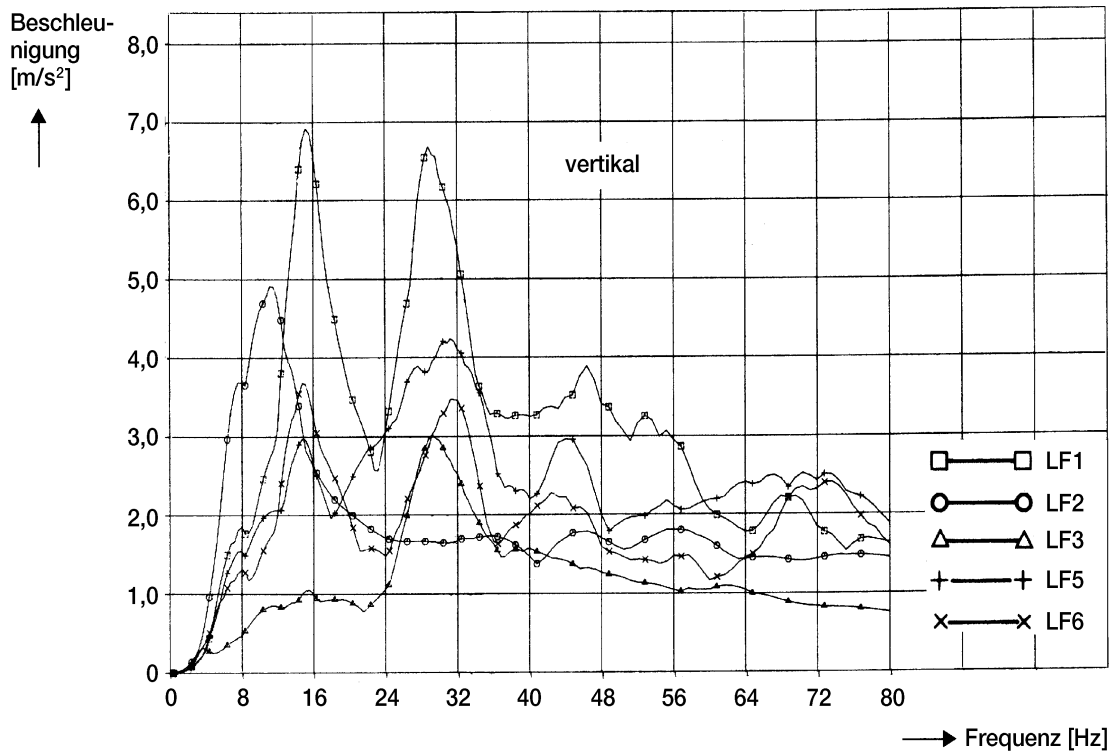


Fig. 2-18: Strukturantworten im Zentrum des Gebäudes (Knotenpunkt 76) für verschiedene Auftreffpunkte des Flugzeuges (2%), [2-26]

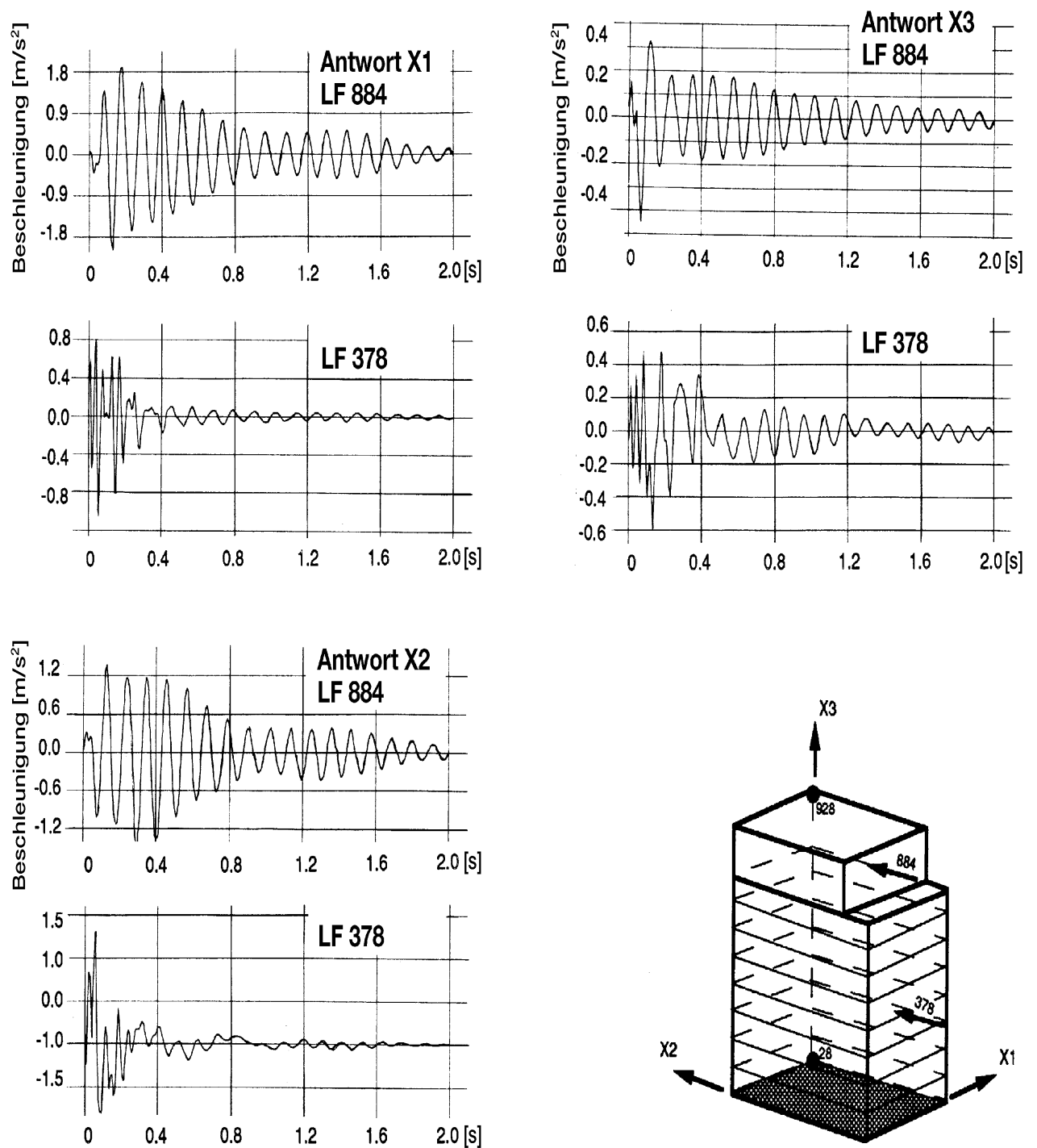


Fig. 2-19: Strukturantworten im unteren Bereich des Bauwerks (Punkt 28) bei Belastungen in charakteristischen Aufprallbereichen (Knotenpunkte 378 und 884) [2-11]

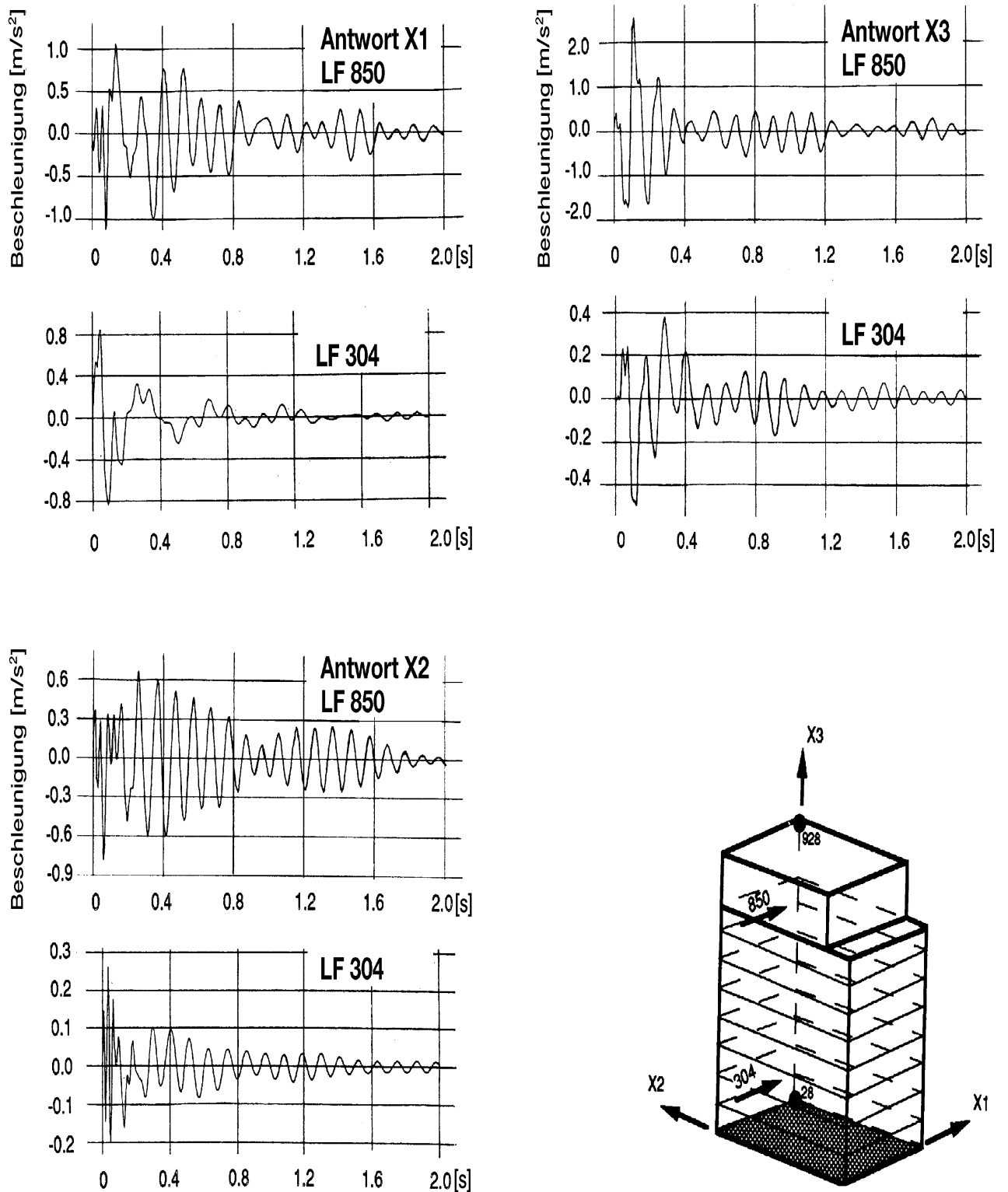


Fig. 2-20: Strukturantworten im unteren Bereich des Bauwerks (Punkt 28) bei Belastungen in charakteristischen Aufprallbereichen (Knotenpunkte 304 und 850) [2-11]

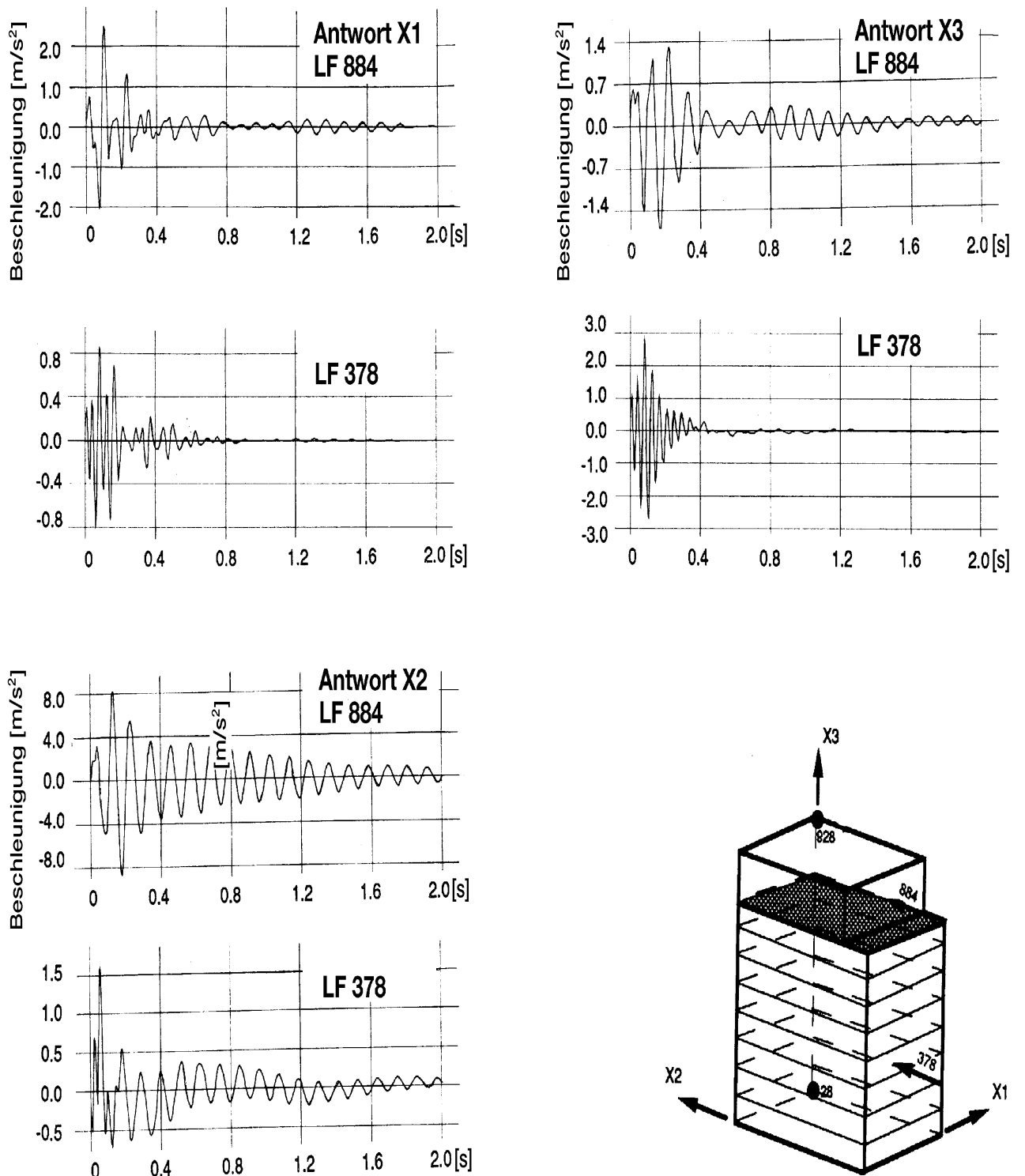


Fig. 2-21: Strukturantworten im oberen Bereich des Bauwerks (Punkt 928) bei Belastungen in charakteristischen Aufprallbereichen (Knotenpunkte 378 und 884) [2-11]

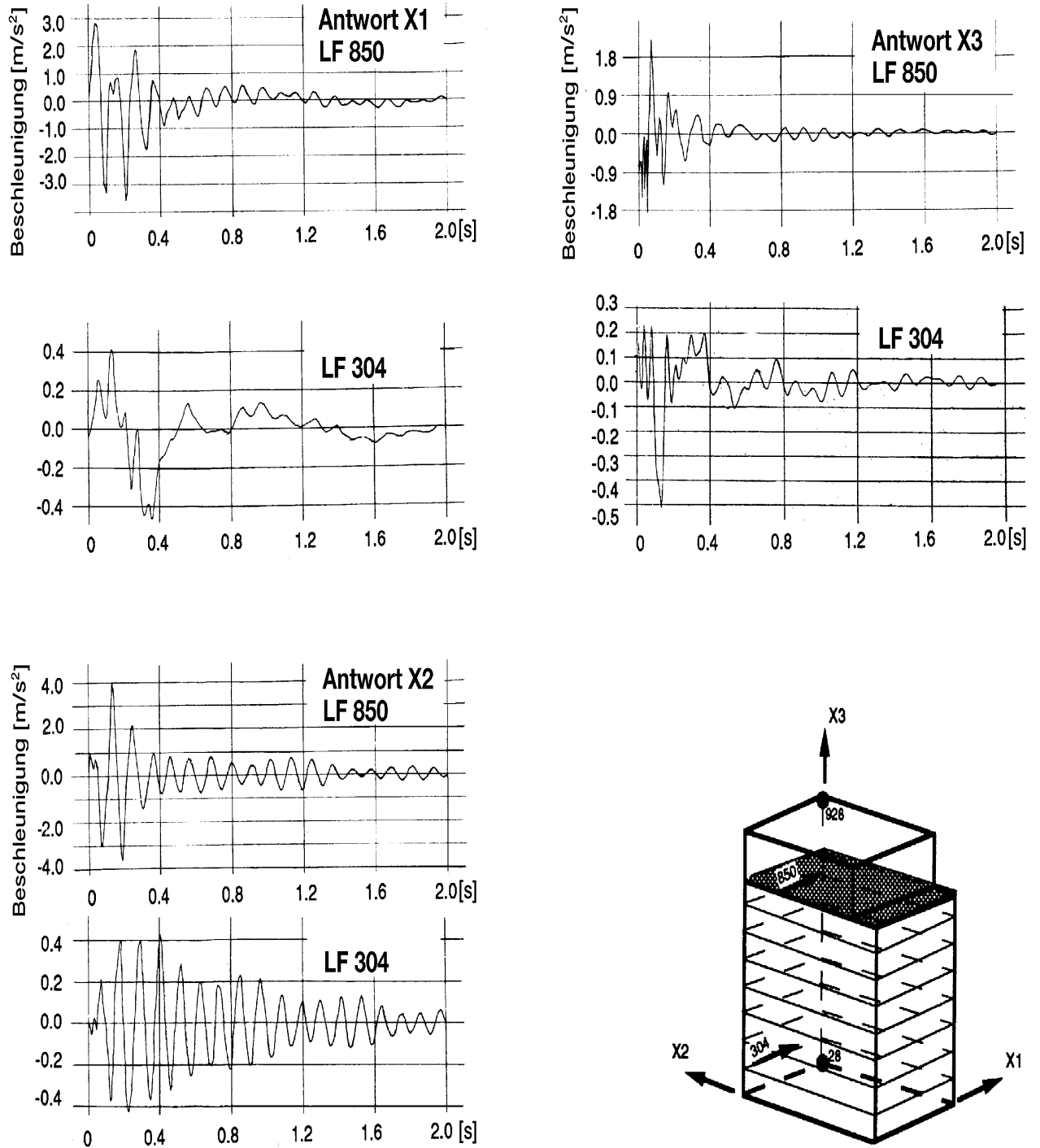


Fig. 2-22: Strukturantworten im oberen Bereich des Bauwerks (Punkt 928) bei Belastungen in charakteristischen Aufprallbereichen (Knotenpunkte 304 und 850) [2-11]

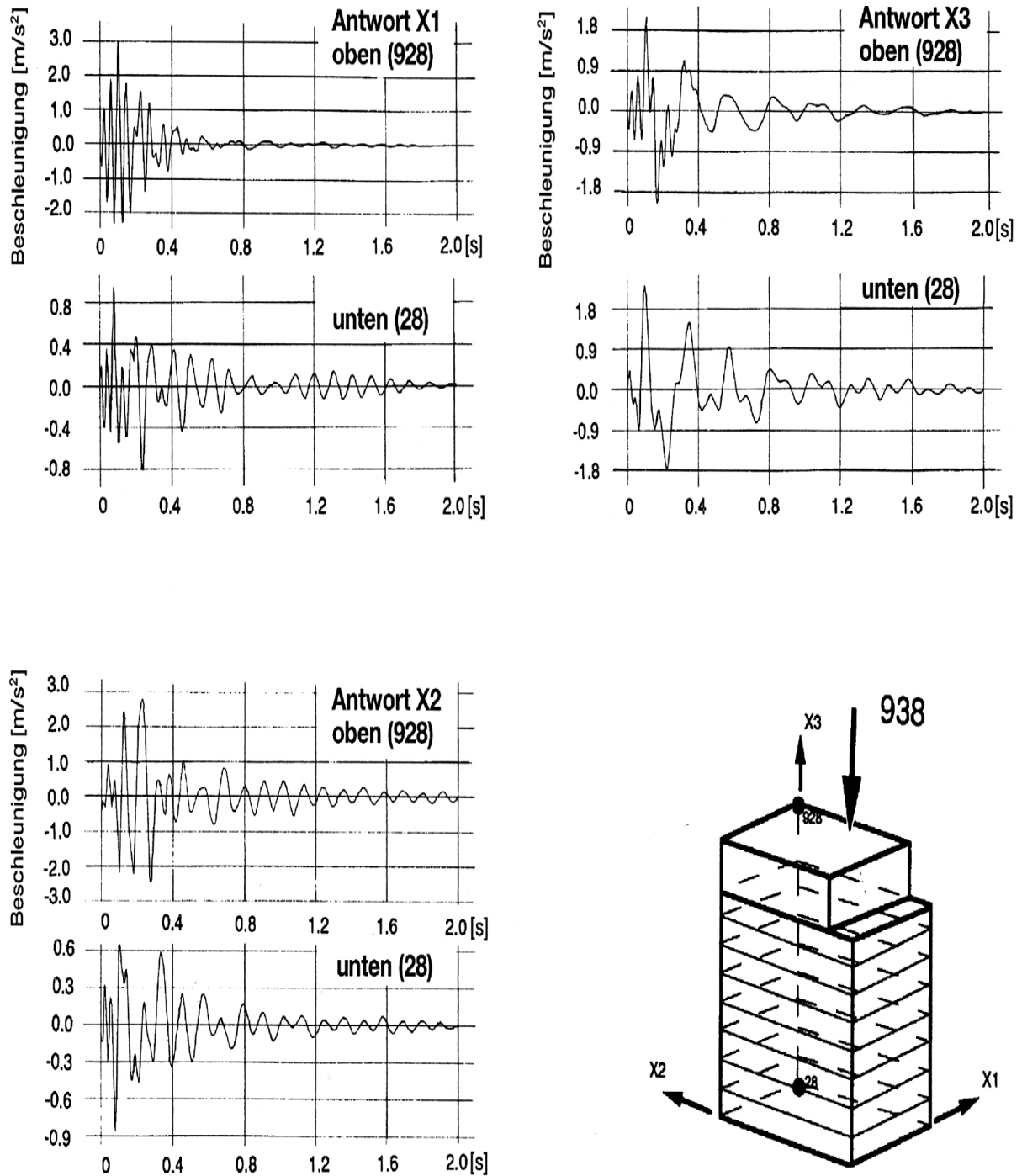
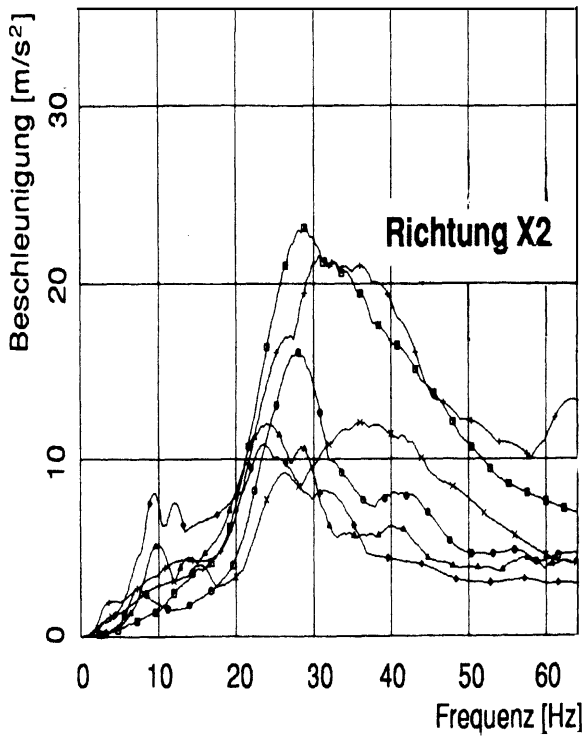
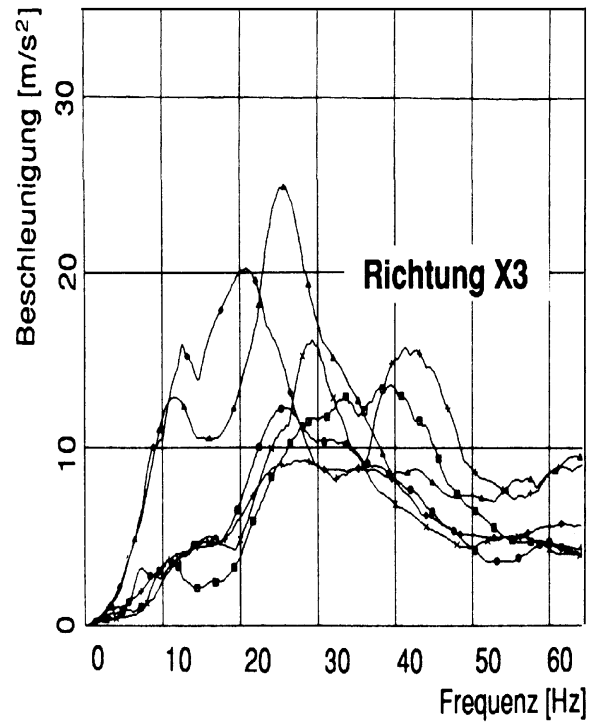
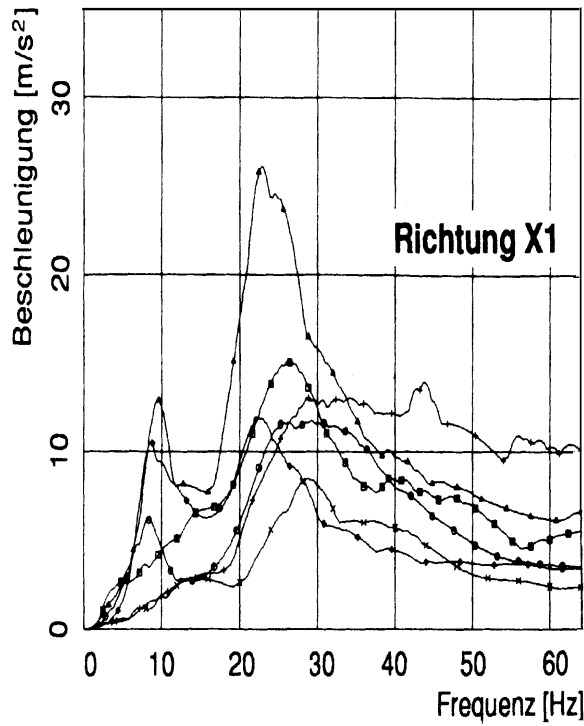


Fig. 2-23: Strukturantworten im unteren und oberen Bereich des Bauwerks bei Belastungen im charakteristischen Aufprallbereich (Knotenpunkt 938) /2-11/



- — □ FLA 304
- — ○ FLA 504
- △ — △ FLA 850
- † — † FLA 308
- × — × FLA 508
- ◇ — ◇ FLA 884

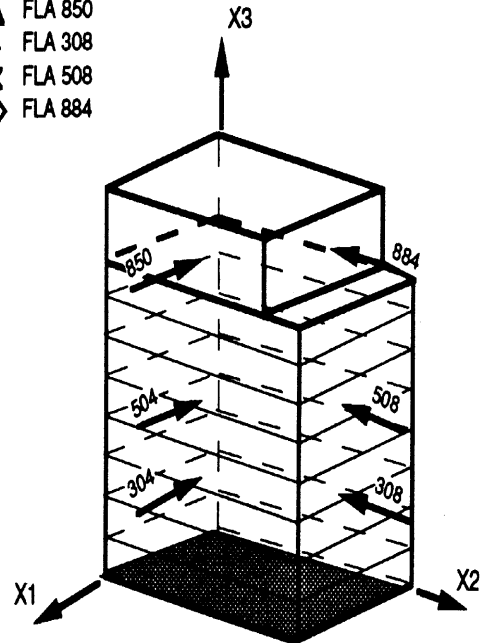


Fig. 2-24: Strukturantworten (2%) im unteren Gebäudebereich für verschiedene Auftreffpunkte des Flugzeuges /2-19/

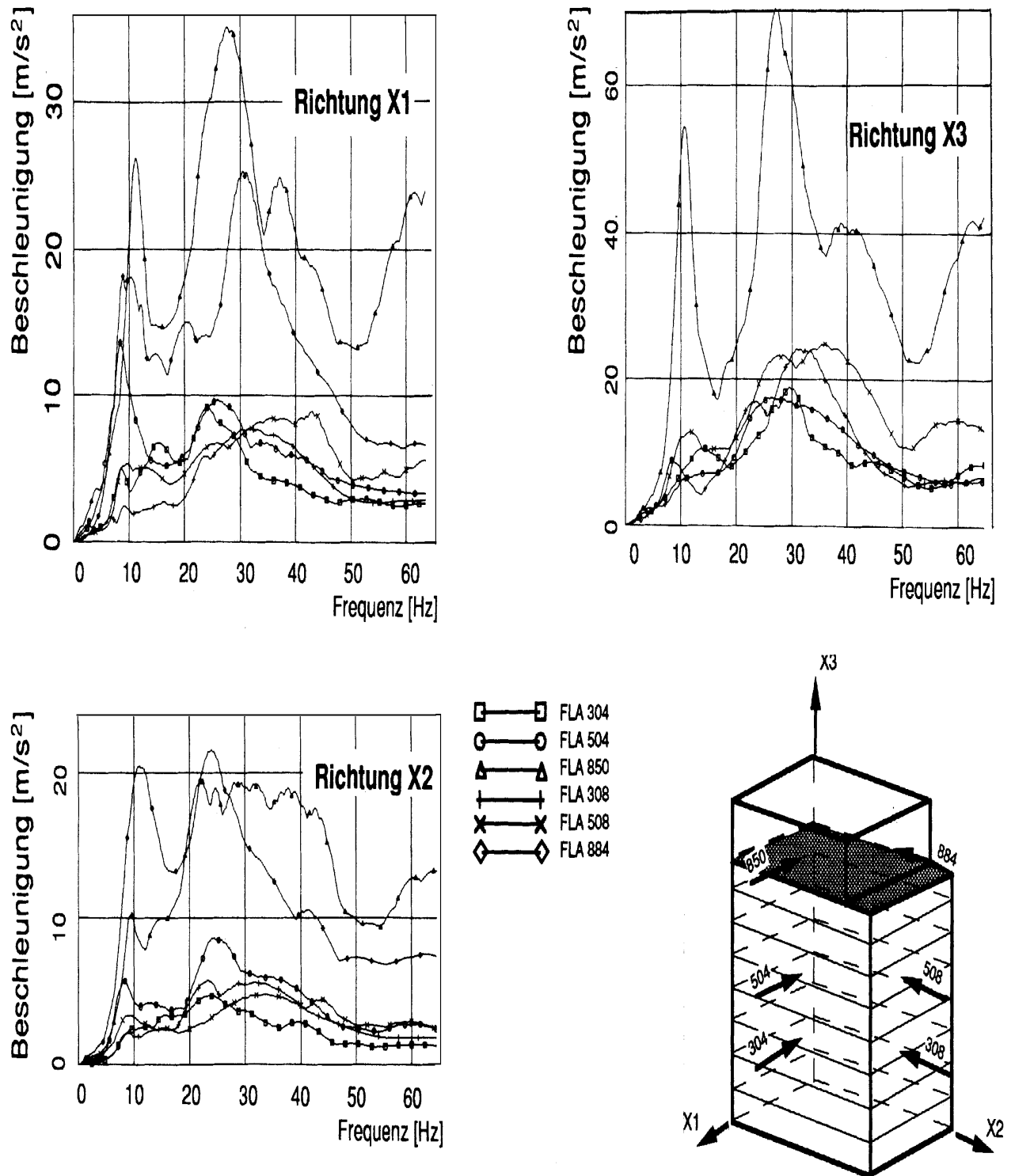


Fig. 2-25: Strukturantworten (2%) im oberen Gebäudebereich für verschiedene Auftreffpunkte des Flugzeuges /2-19/

3 Erschütterungen von Bauwerken bei linear- elastischen Berechnungsannahmen (Zustand I)

3.1 Analyse des Einflusses maßgebender Parameter auf das Erschütterungsübertragungsverhalten von Bauwerken bei Stoßbelastungen

Die Aussagekraft der auf FE-Methoden basierenden numerischen Simulationsverfahren /3-21/, /3-29/ ist von einer Reihe nicht zu umgehender vereinfachender Annahmen besonders bei der Wahl der Eingangsparameter und Randbedingungen abhängig. Bei Wellenausbreitungsvorgängen kommt zusätzlich die noch nicht ausreichend geklärte Diskretisierungsabhängigkeit der Ergebnisse von FE-Modellen hinzu.

Während das Beanspruchungsniveau in der übergreifenden Struktur eines Bauwerks bei Flugzeugaufprall-Belastungen in der Regel sehr gering ist und weit unter der zulässigen Grenzbelastbarkeit liegt, hat man im Aufprallbereich lokal mit beachtlichen Deformationen und Auslastung des Betons sowie der Bewehrung weit bis in den plastischen Bereich hinein zu tun. Aufgrund dieser Effekte wird, wie im Kapitel 4 herausgestellt, das Lastniveau sowie die Zeitdauer der Lastfunktion beachtlich verändert.

Eine detaillierte Bewertung und Quantifizierung der einzelnen Einflüsse sind bei komplexen realen Baustrukturen aufgrund der Vielfalt der Wechselwirkungen nur schwer durchführbar. Im Unterschied zu maschinentechnischen Komponenten ist hier auch nur selten die Möglichkeit gegeben, durch experimentelle Untersuchungen dem Einfluss der Veränderung der jeweiligen Parameter auf das Ergebnis an maßstabgetreuen Rechenmodellen detailliert nachzugehen.

Bedingt durch das gänzlich verschiedene Verhalten einer komplexen übergreifenden Struktur eines Bauwerks sowie des direkt beaufschlagten Bereichs seiner Außenstruktur bietet sich hier eher die Möglichkeit, den Einfluss verschiedener Parameter im beaufschlagten Bereich anhand geeigneter Teilmodelle zu untersuchen. Im folgenden soll anhand von Ergebnissen typischer Berechnungen der Einfluss maßgebender Parameter auf das Erschütterungsübertragungsverhalten von Bauwerken bei Annahme linear-elastischer Berechnungsannahmen bewertet werden.

3.1.1 Globales Strukturverhalten

Die dynamische Reaktion von Gebäudestrukturen auf eine durch den Aufprall eines Flugzeuges ausgelöste Stoßbelastung ist abhängig von einer Reihe von Einflussgrößen, die das Verhalten des komplexen Bauwerk-Boden-Systems mitbestimmen.

Die durchgeführten zahlreichen Untersuchungen /3-14/, /3-22/, /3-24/, /3-28/, /3-46/ für verschiedene Baustrukturen überwiegend von Reaktoranlagen führen zu der Erkenntnis, dass die Höhe und der Charakter der Strukturantworten im betrachteten Bereich des Bauwerks maßgebend durch die im folgenden behandelten Parameter bestimmt werden.

Wie bereits im Absatz 2.6 angedeutet, ist die Strukturantwort am betrachteten Aufstellort im Bauwerk weitgehend von der Lage des Aufprallortes abhängig. Dieser Einfluss kann nur an einem reellen, naturgetreuen Modell eines Bauwerks untersucht werden.

Ergänzend zu den hier behandelten analytischen Parameterstudien zum Einfluss der maßgebenden Einflussgrößen auf das globale Verhalten von Bauwerken und deren Teilstrukturen wurden (zwecks Untermauerung der Aussagekraft von FE-Berechnungen) im Absatz 3.2 Ergebnisse

analytischer und experimenteller Untersuchungen gegenübergestellt und analysiert, die an einem reellen naturgroßen Bauwerk (Heißdampfreaktor Kahl "HDR") gewonnen wurden.

3.1.1.1 Detaillierungsgrad der Modellabbildungen

Die Anwendung eines adäquaten mathematischen Rechenmodells, welches die geometrischen und physikalischen Eigenschaften der zu untersuchenden Struktur möglichst getreu erfasst, ist bei Stoßbelastungen von stärkerer Bedeutung als bei anderen dynamischen Lastfällen. Der erforderliche Diskretisierungsgrad der Rechenmodelle wird dabei maßgebend durch den Frequenzgehalt der Lastfunktion sowie die zu berücksichtigende höchste Eigenfrequenz (s. Absatz 3.3) bestimmt. Nicht ohne Bedeutung ist ebenfalls die Anordnung der Ausgabebereiche der Strukturantworten. Besonders in der Vergangenheit waren aufgrund begrenzter Fähigkeiten der Rechenanlagen bei der Wahl der Größe und des Konzeptes der Rechenmodelle sowie bei der Festlegung von Diskretisierungsgraden in der Regel enge Grenzen gesetzt.

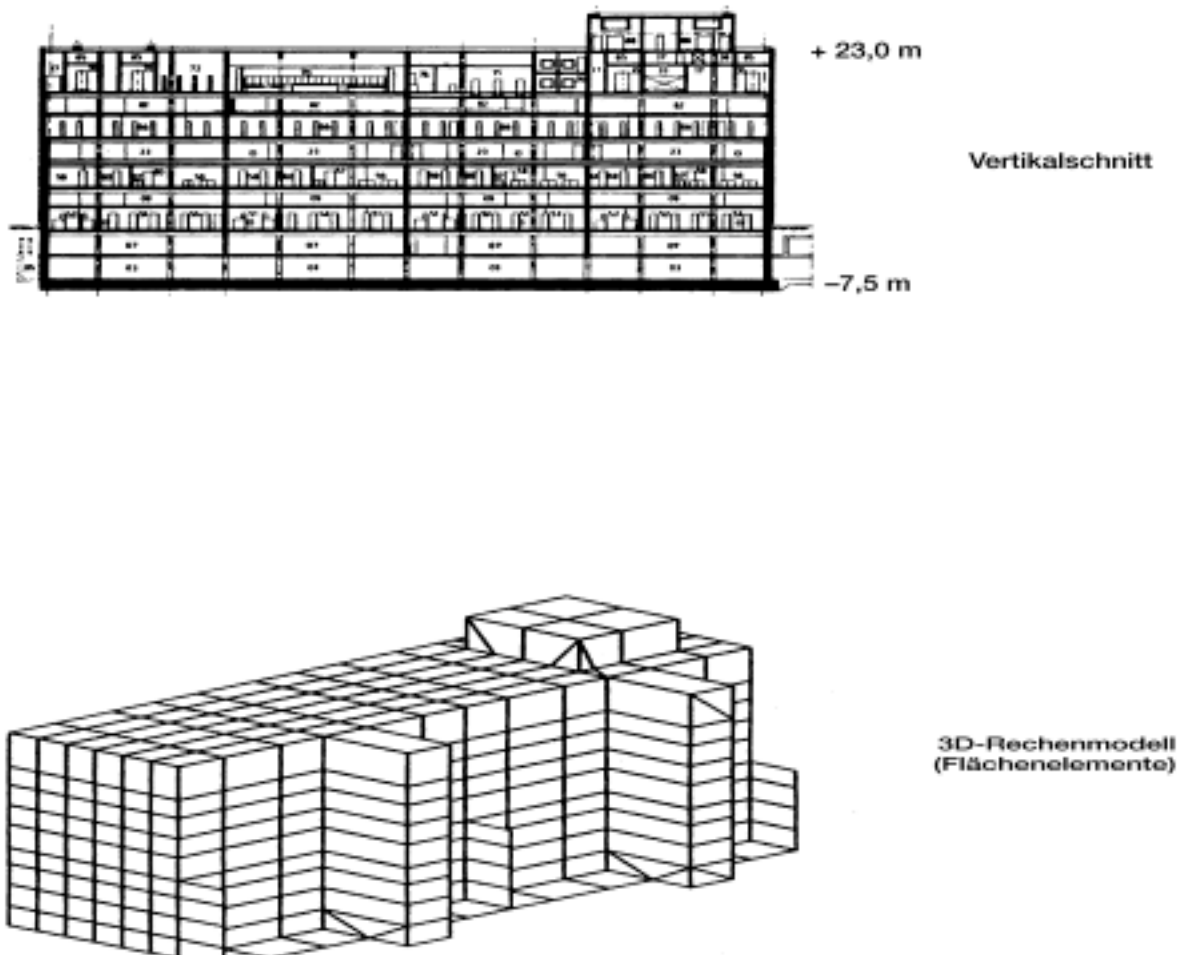


Fig. 3-1: 3D-Flächenelementmodell eines rechteckigen (Schaltanlagegebäude) Bauwerks

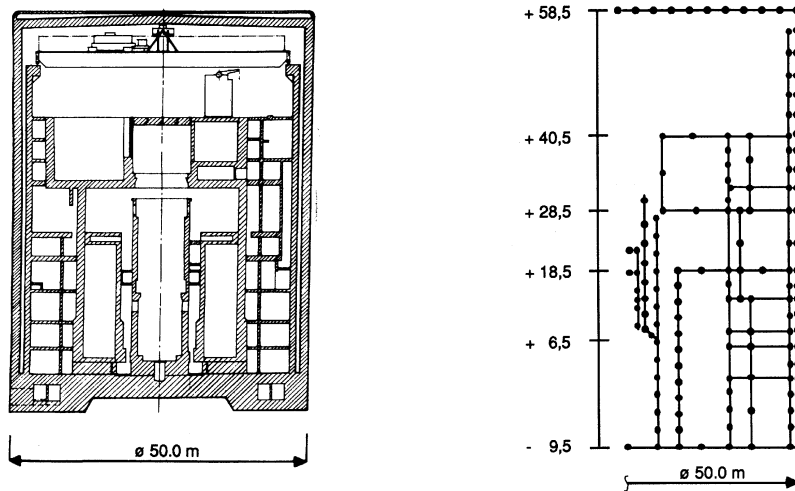


Fig. 3-2: Schalenelementmodell eines axisymmetrischen (Reaktorgebäude) Bauwerks /2-13/

Um einen Ausweg aus dieser Situation zu finden, wurden in den frühen Konzipierungsphasen sowie zur Abklärung globaler Standsicherheitsfragen oft Abbildungen anhand von äquivalenten Stabmodellen zur Ermittlung von Strukturantworten angewendet. Detaillierte Abbildungen der Struktur anhand räumlicher FE-Modelle (Flächen- bzw. Schalenelemente), die zur Ableitung ortsbezogener (das lokale Eigenverhalten am Standort der Komponenten berücksichtigender Rechenmodelle) Strukturantworten geeignet sind, konnten erst Ende der achtziger Jahre angewendet werden (Fig.2-13, 2-14, 3-1, 3-2).

Die in den früheren Flugzeugabsturzanalysen angewandten Modelltechniken sind im allgemeinen Verfeinerungen 3-dimensionaler Rechenmodelle gewesen, die sich bei Erdbebenerrechnungen bewährt haben.

Äquivalente Stabmodelle

Obwohl seit Festschreibung der Auflagen zum Flugzeugabsturz die Frage nach der Eignung von Stabmodellen zur Ermittlung von Strukturantworten verneint wurde, fanden bei einer Reihe von Voruntersuchungen und Studien derartige Rechenmodelle des öfteren Anwendung.

Auch wenn in der Planungs- und Konzeptphase zwecks Klärung von Gründungs- und Standsicherheitsfragen situationsbezogene Stabmodelle herangezogen wurden, hat man sie nicht zur Ermittlung von Strukturantworten angewendet, da sie vom Ansatz an hierfür ungeeignet sind. Diese Aussage bezieht sich nicht nur auf schalenartige bzw. dünnwandige Bauwerke, sondern auch auf sehr starr ausgeführte bzw. tief eingebettete Baustrukturen.

Selbst anhand von sehr sorgfältig abgeleiteten Stabmodellen kann nämlich das lokale Strukturverhalten in Wand- und Deckenbereichen des Bauwerks nicht einmal annähernd erfasst werden. Bei den auf der Balkentheorie basierenden Elementen eines Stabmodells geht man bekanntlich von der Annahme des Ebenbleibens der Querschnitte im verformten Zustand (Bernoulli-Hypothese) aus.

Hiernach wird angenommen, dass sich jede Gebäudeebene wie eine starre Platte, deren Neigung durch die Verdrehungen in Balkenmitte bestimmt wird, verhält.

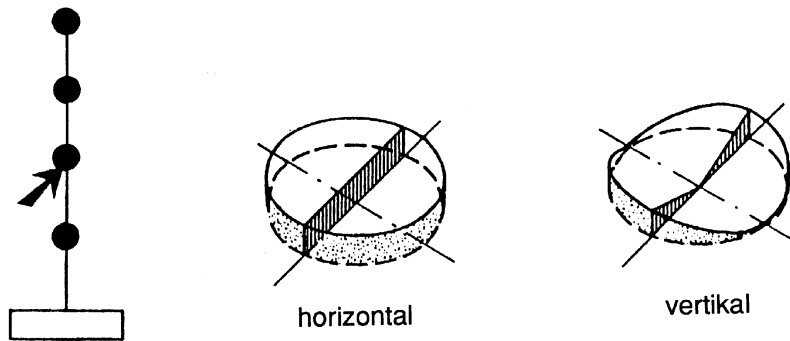


Fig. 3-3: Beschleunigungsverteilung auf einem Gebäudegeschoss bei Abbildung der Strukturen mit einem Stabmodell /3-27/

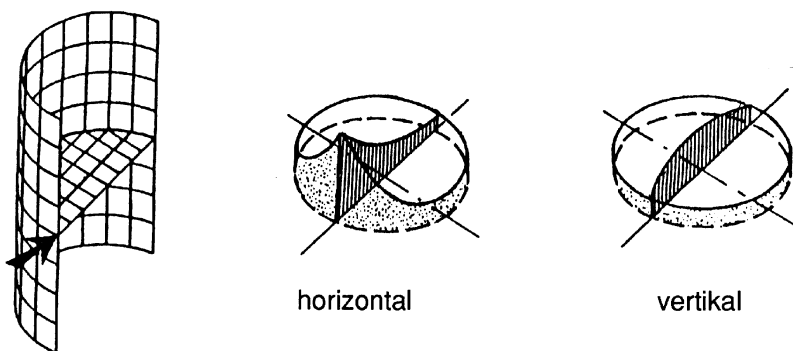


Fig. 3-4: Beschleunigungsverteilung auf einem Gebäudegeschoss bei wirklichkeitsnaher, 3-dimensionaler Abbildung der Strukturen /3-27/

Die hieraus resultierende Beschleunigungsverteilung auf den Gebäudeebenen (Etagen) entspricht nicht der Wirklichkeit. Die ermittelbaren Beschleunigungsverteilungen /3-23/, /3-27/ bei Anwendung von Stab- und Flächenelement-Modellen können bekanntlich einen sehr verschiedenen Charakter haben.

3D-Flächenelement-Modelle

Die Güte der Erfassung der Struktureigenschaften wird maßgebend durch das angewandte Rechenmodell bestimmt. Kontinuums- sowie 3D-Modelle mit entsprechend detaillierter räumlicher Abbildung der lokalen und globalen Steifigkeiten und Massenverteilung (Fig.2-14 und 3-1) ermöglichen eine eindeutig wirklichkeitsnahe Abbildung der Struktureigenschaften.

Vergleichbar in der Genauigkeit der Erfassung der Struktureigenschaften sind Idealisierungen von axisymmetrischen Strukturen (z.B. Reaktorgebäude) anhand von äquivalenten Schalenmodellen (Fig.1-13 und 3-2). Bei Anwendung der letztgenannten Rechenmodelle wird bekanntlich das Eigenverhalten der kreisförmigen Strukturen anhand einer (durch die Größe der Lasteinleitungsfläche) vorgegebenen Anzahl von Harmonischen bestimmt.

In Fig. 2-18 sind Strukturantworten für charakteristische Aufprallbereiche eines mit Schalenelementen abgebildeten axisymmetrischen Reaktorgebäude und in Fig. 2-24 sowie 2-25 für ein 3-dimensional abgebildetes rechteckiges Reaktorgebäude dargestellt worden.

Zwecks Demonstration der möglichen Fehlaussagen, die anhand von Balkenmodellen getroffen werden können, wurden die o. g. Strukturantworten für 2% Dämpfung mit den unter Anwendung von Balkenmodellen ermittelten Ergebnissen für das jeweilige Gebäude in einem Bild gegenübergestellt (Fig. 3-5 bis 3-7). Es ist zu erkennen, dass insbesondere im Außenbereich sowie in weniger ausgesteiften Gebäudebereichen die unter Anwendung von Balkenmodellen abgeleiteten Ergebnisse zu bedeutend niedrigeren dynamischen Strukturantworten führen /2-11/, /2-19/, /2-26/, /3-38/.

Bei der Bewertung der Genauigkeit der Ergebnisse muss, bezogen auf Flächenelementmodelle, betont werden, dass auch deren Aussagekraft beeinflussbar und weitgehend von dem gewählten Diskretisierungsgrad abhängig ist.

Bisher durchgeführte Parameterstudien /2-9/, /3-27/ und /3-28/ führen zu der Erkenntnis, dass die Elementgröße eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf (siehe auch Absatz 3.3).

Analog ergeben sich bei der Bewertung der Aussagekraft von Schalenberechnungen einzuhalten- de rechenmodellbezogene Elementgrößen.

Aufgrund der konstanten Massenverteilung der Schalenringelemente erübrigt sich jegliche Aufteilung in der Umfangsrichtung. Die Eigenformen in Umfangsrichtung werden dabei anhand einer entsprechenden Anzahl von Harmonischen erfasst. Von maßgebender Bedeutung ist jedoch die Erfassung der entsprechenden Eigenformen in Meridianrichtung, die aufgrund der lokal (7 m²) aufgetragenen Belastung bevorzugt angeregt werden können. Die Elementlänge muss daher so gewählt werden, dass eine Welle durch ausreichend viele Elemente erfasst werden kann (s. hierzu Abschnitt 3.3.4).

In Fig. 3-8 und 3-9 wurden Strukturantworten (für 2% Dämpfung) in charakteristischen Bereichen eines axisymmetrischen Reaktorgebäudes (in der Belastungsebene) dargestellt, die bei Berücksichtigung verschiedener Anzahl von Harmonischen abgeleitet wurden.

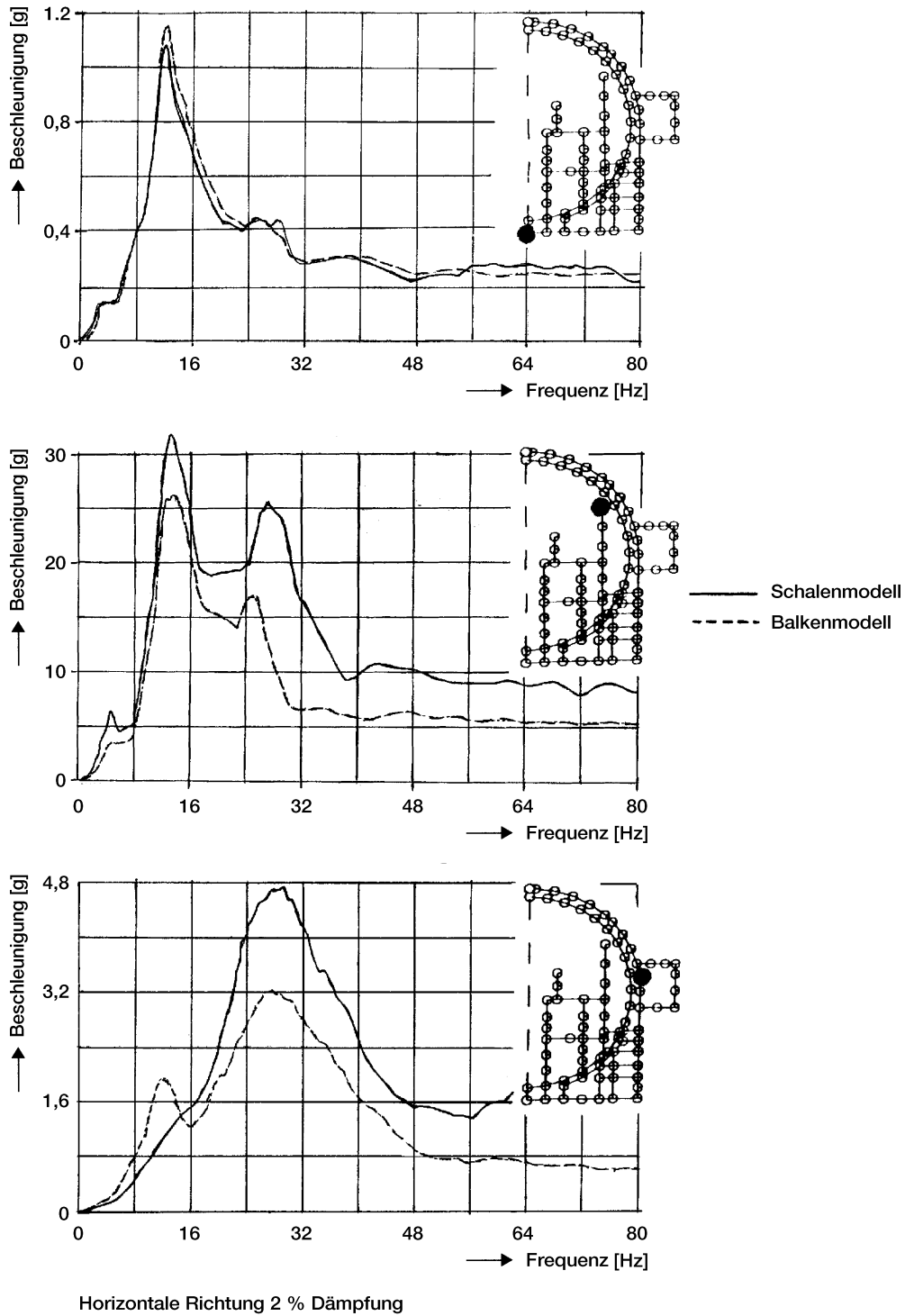


Fig. 3-5: Einfluss der Modellabbildung auf die Strukturantworten /2-19/ bei einem axisymmetrischen Gebäude

Analyse des Einflusses maßgebender Parameter

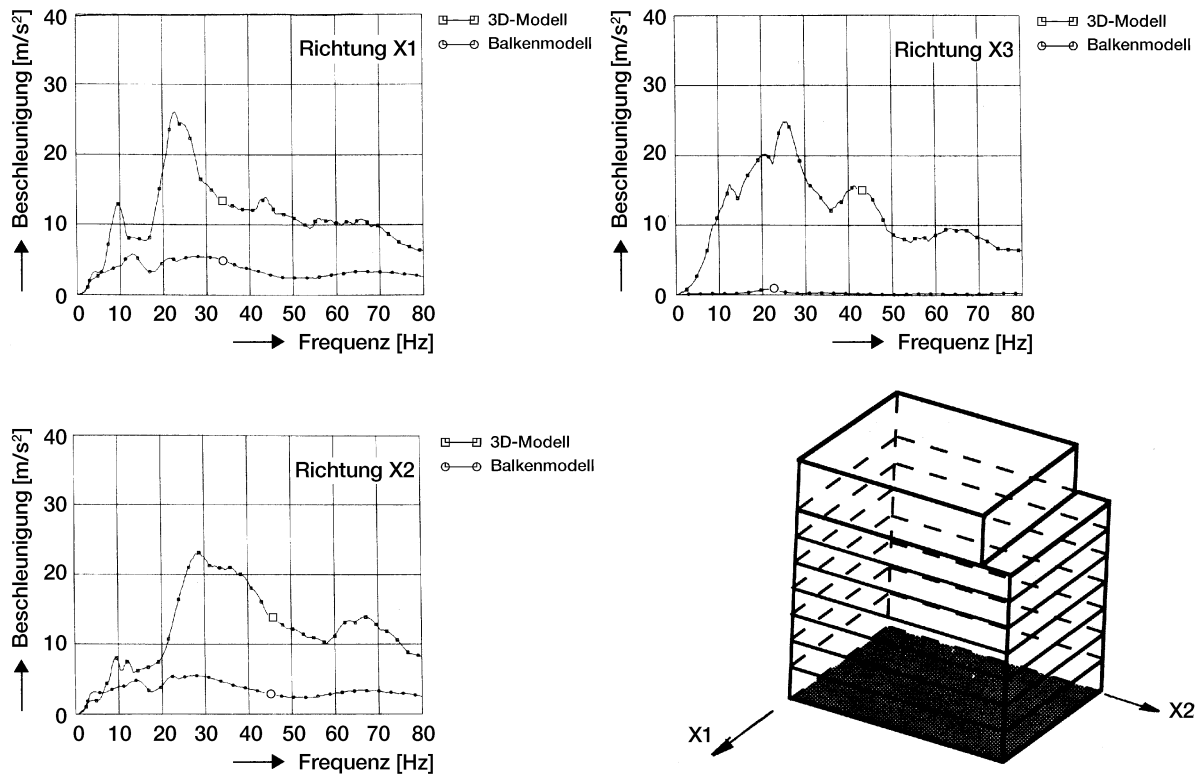


Fig. 3-6: Einfluss der Modellabbildung auf die Strukturantworten eines rechteckigen Gebäudes (unterer Gebäudebereich) /2-11/

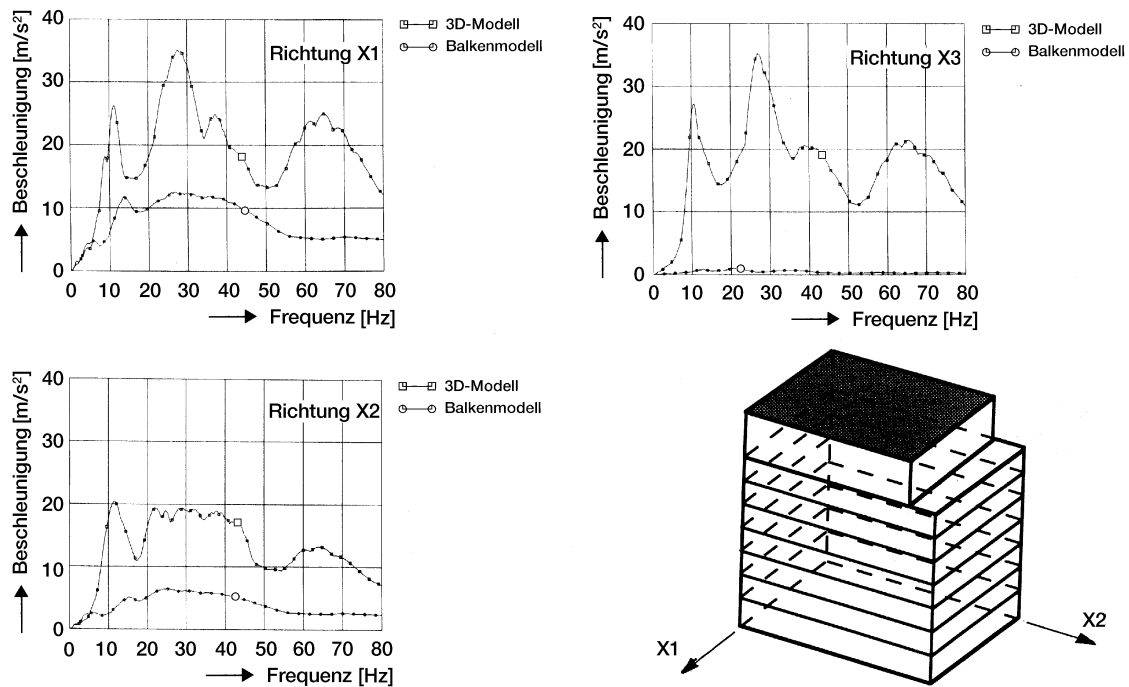


Fig. 3-7: Einfluss der Modellabbildung auf die Strukturantworten eines rechteckigen Gebäudes (oberer Gebäudebereich) /2-11/

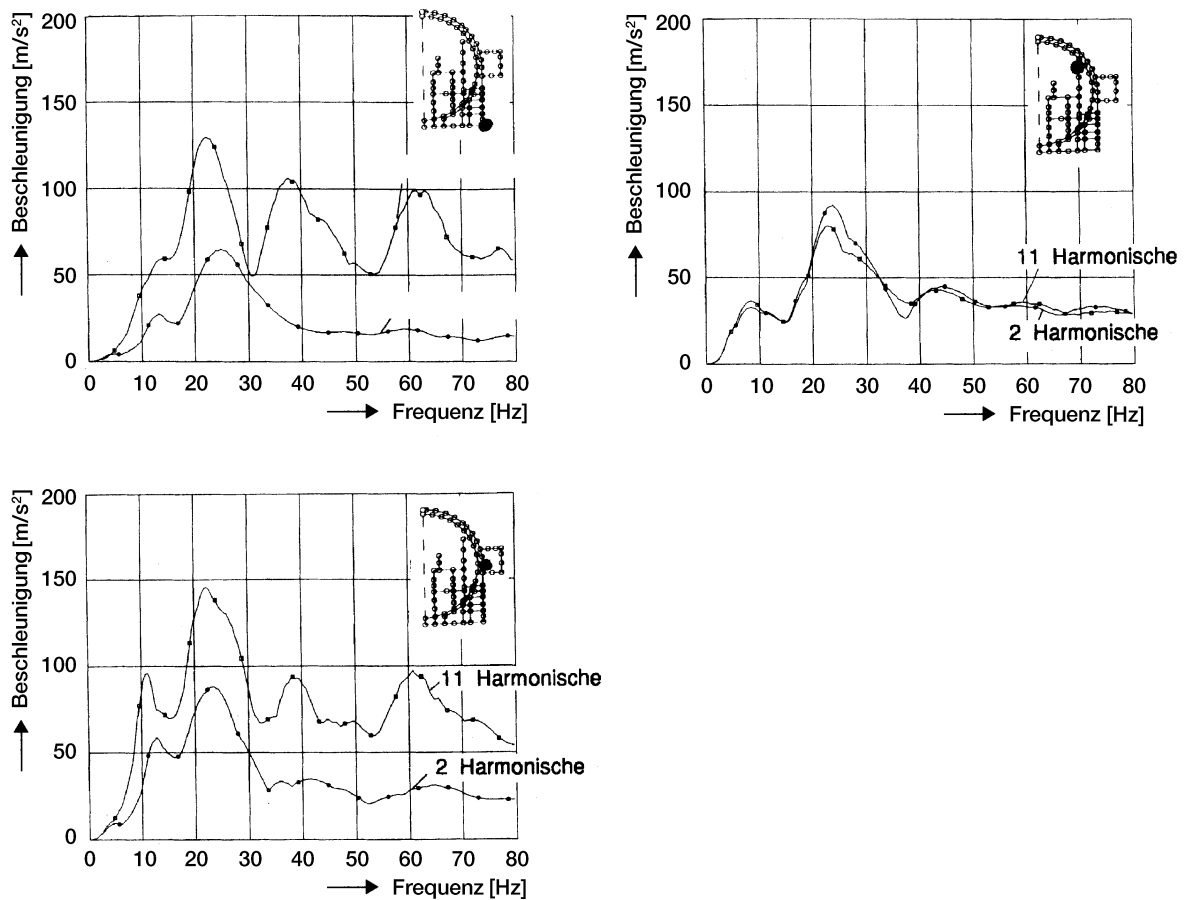


Fig. 3-8: Einfluss der Anzahl miterfasster Harmonischen /2-19/ (vertikale Richtung)

Die Veränderung der Strukturantworten in Umfangsrichtung beim Aufprall im zylindrischen Bereich ist aus Fig. 3-10 zu entnehmen. Infolge der Anregbarkeit lokaler Eigenformen und Harmonischen durch die lokal aufgebrachte Belastung sind im beaufschlagten Bereich viel höhere Strukturantworten als in der übergreifenden Struktur (sowohl in Umfangs- als auch Meridianrichtung) zu erwarten.

Die Maximalwerte der Beschleunigungen klingen jedoch sowohl in Umfangs- als auch in Meridianrichtung relativ schnell ab. Diese Feststellung war von großem Vorteil für die Anordnung der jeweiligen redundanten Systeme, deren Funktionssicherheit im Falle eines Flugzeugaufpralls erhalten bleiben muss.

Bereits bei einer Winkellage von 15° ist die Beschleunigung um ca. Faktor 2 abgeklungen.

Analyse des Einflusses maßgebender Parameter

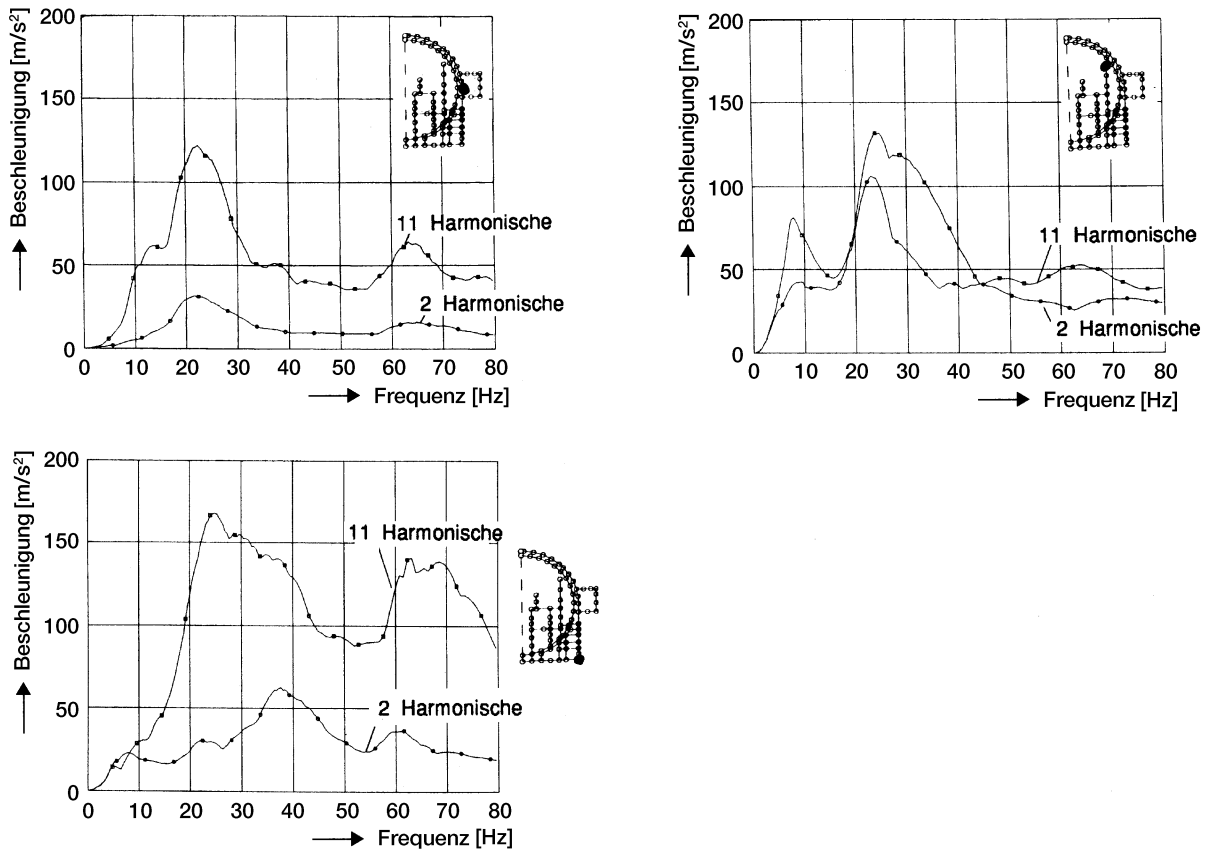


Fig. 3-9: Einfluss der Anzahl der miterfassten Harmonischen /2-19/ (horizontale Richtung)

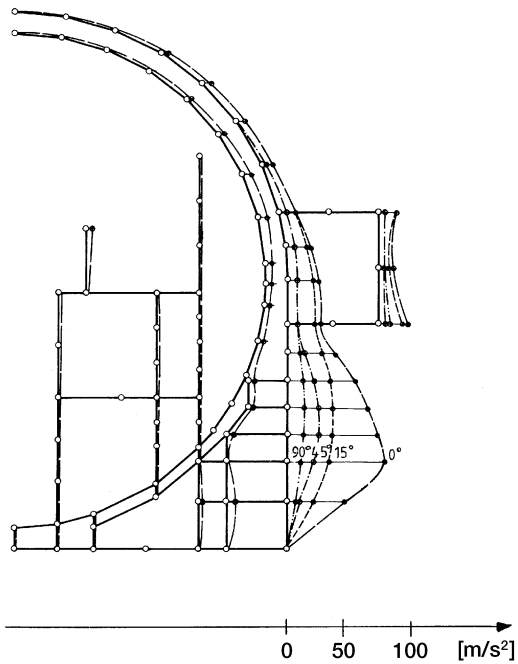


Fig. 3-10: Beschleunigungsverteilung in Umfangsrichtung /2-19/

3.1.1.2 Einfluss von Bodeneigenschaften

Aufgrund der Kurzzeitigkeit der Belastung und der in der Regel relativ großen (im Vergleich zu der Masse des Flugkörpers) Bauwerksmasse ist die Steifigkeit des Baugrundes am Standort von untergeordneter Bedeutung.

Durchgeführte Parameterstudien mit einer relativ breiten Variation eines mittleren Bodenschubmoduls G (von ca. 0,2 G und 10 G) führten zu kaum feststellbaren bzw. vernachlässigbaren Veränderungen der Strukturantworten (Fig.3-11) Die Veränderung der Bodensteifigkeiten führt lediglich zur Verschiebung der tiefsten Eigenfrequenzen, die jedoch bei kurzzeitigen Stoßbelastungen nicht angeregt werden können.

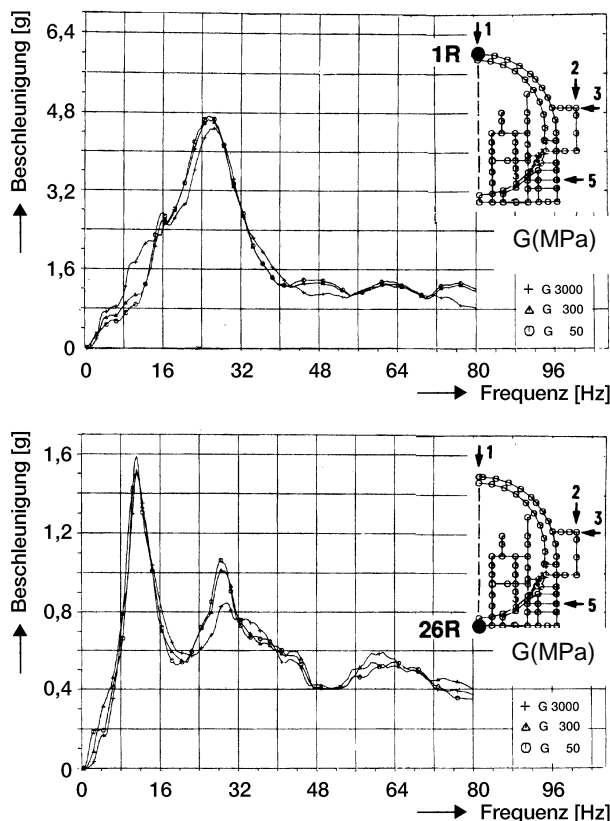


Fig. 3-11: Einfluss der Bodensteifigkeit auf die Strukturantworten /2-19/
Vergleich einhüllender Antwortspektren aus Lastfall 2 bis 5 (horizontale Richtung)

3.1.1.3 Wechselwirkung benachbarter Bauwerke

Die Wechselwirkungseffekte von benachbarten, gekoppelt schwingenden Bauwerken bei Erdbebenanregungen sind vielfach untersucht worden. Sehr rar sind jedoch Ergebnisse, die sich auf Wechselwirkungseffekte benachbarter Bauwerke auf den Lastfall Flugzeugabsturz beziehen.

Die in /3-37/ dokumentierten Parameterstudien für zwei benachbarte Bauwerke verschiedener Größe (Reaktorgebäude „RG“ und Teildieselgebäude „DG“ eines Siedewasserreaktors „SWR“, Fig.3-12) führen zu der Erkenntnis, dass das kleinere Gebäude einen dämpfenden Einfluss auf die Strukturantworten des größeren Bauwerks hat (Fig. 3-13). Ein Teil der Energie wird jedoch auch auf das kleinere Gebäude übergeleitet. Hierdurch wird es zur Erschütterung angeregt (Fig. 3-14). Das Dämpfungs- bzw. Erregungsmaß ist vom Massenverhältnis sowie dem Abstand der Bauwerke abhängig.

Bei der Anordnung und den Massenverhältnissen der o. g. Bauwerke erreichten die auf das kleinere Bauwerk übertragenen Erschütterungen immerhin noch eine mit einem Erdbeben vergleichbare Größenordnung (Fig.3-15).

Verallgemeinert kann festgestellt werden /2-19/, dass, abhängig vom Verhältnis der Steifigkeiten und Massen, die Strukturantworten der benachbarten Bauwerke verstärkt bzw. gedämpft werden können.

Bei nicht ausreichendem Abstand zwischen den Bauwerken kann es dabei zu sekundären Stößen zwischen den aktiv beaufschlagten und dem passiv angeregten Bauwerk kommen.

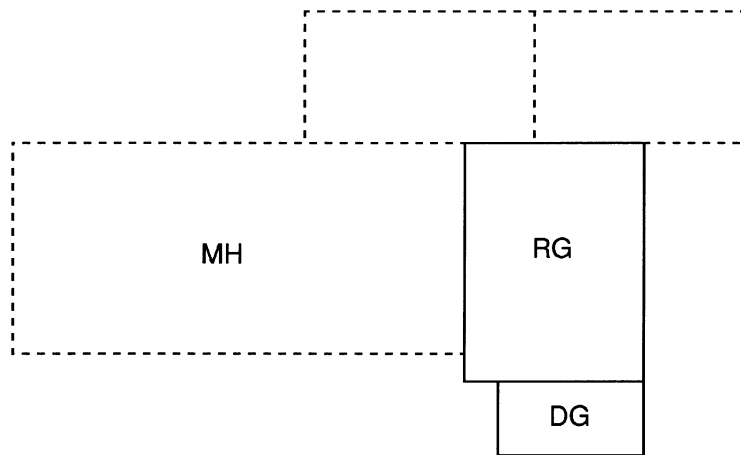


Fig. 3-12: Lageplan einer Reaktoranlage mit Zuordnung des Reaktor- (RG) und Dieselgebäudes (DG)

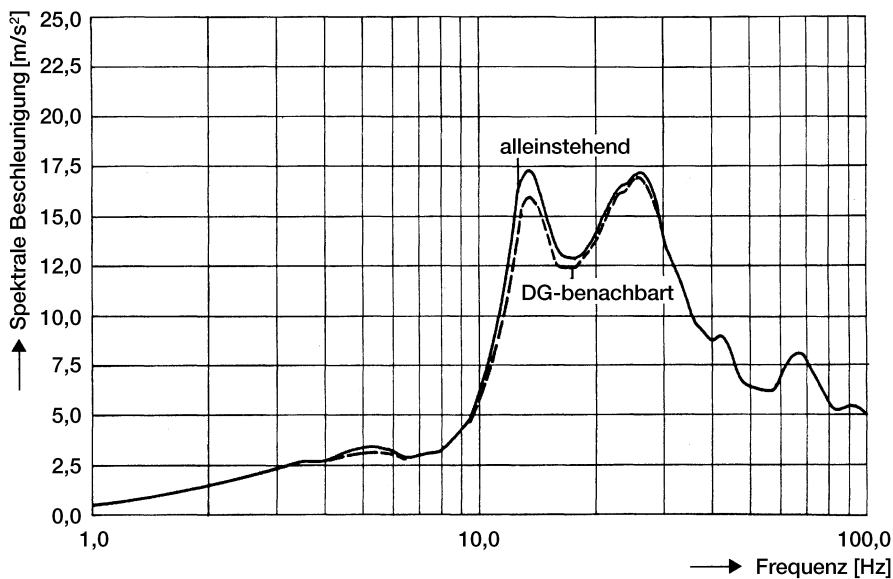


Fig. 3-13: Strukturantworten (oberer Gebäudebereich) des Reaktorgebäudes (RG) alleinstehend und bei Vorhandensein des Dieselgebäudes (DG) /2-19/

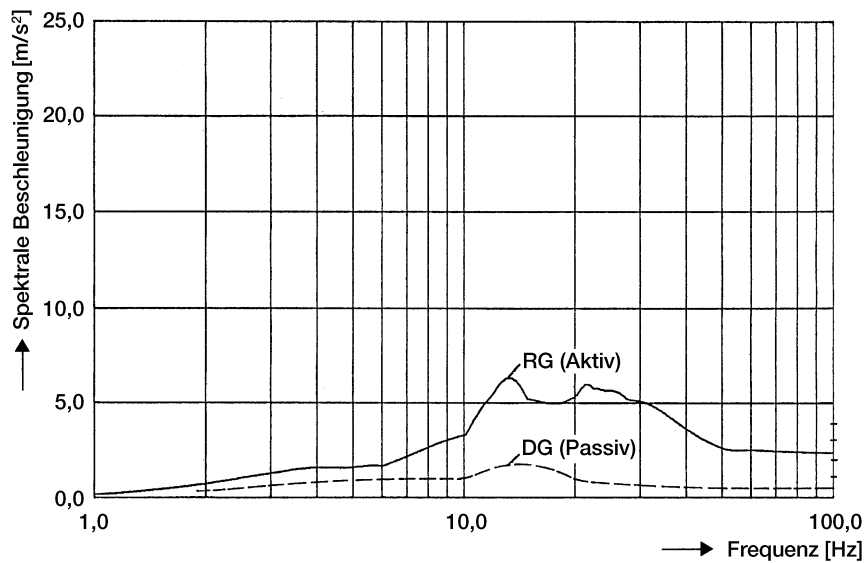


Fig. 3-14: Strukturantworten (Fundamentbereich) des aktiv beaufschlagten Reaktorgebäudes (RG) und passiv angeregten Dieselgebäudes für 2% Dämpfung (DG) /2-19/

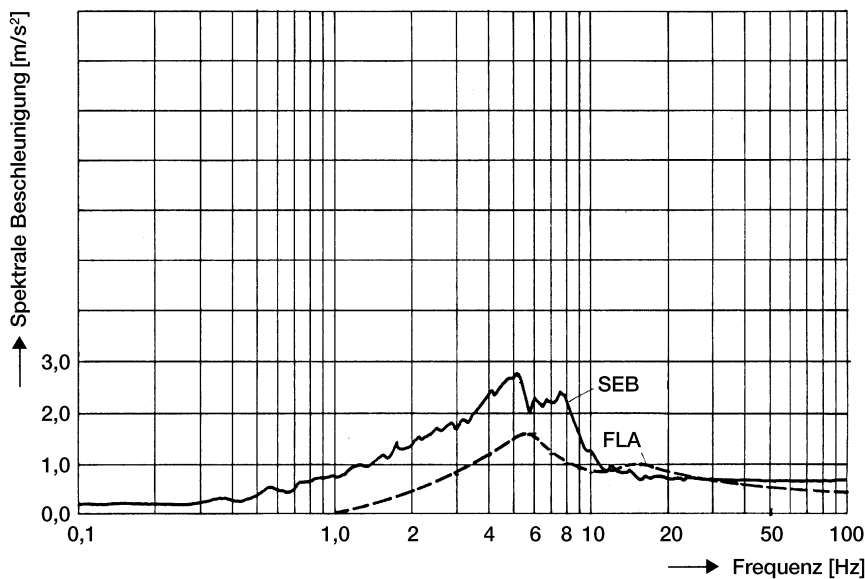


Fig. 3-15: Strukturantworten (Fundamentbereich) für 2% Dämpfung des passiv angeregten Dieselgebäudes im Vergleich zum Lastfall Erdbeben /2-19/ mit einer Freifeldbeschleunigung von 0,5 m/s²

3.1.1.4 Dämpfungsvermögen von Bauwerken sowie von Boden-Bauwerk-Systemen

Das dynamische Verhalten von Bauwerken bei Stoßbelastungen kann durch das Dämpfungsvermögen der Struktur bedeutend beeinflusst werden. Die Tendenzen des Verhaltens kann man anhand von einfachen Systemen verdeutlichen /2-20/. In Fig. 3-16 wurden die Strukturantworten einfacher Systeme mit Eigenfrequenzen von 4 Hz und 20 Hz dargestellt, die bei Belastung mit der HLF für die Annahme einer Strukturdämpfung von 7 % und 15 % abgeleitet wurden.

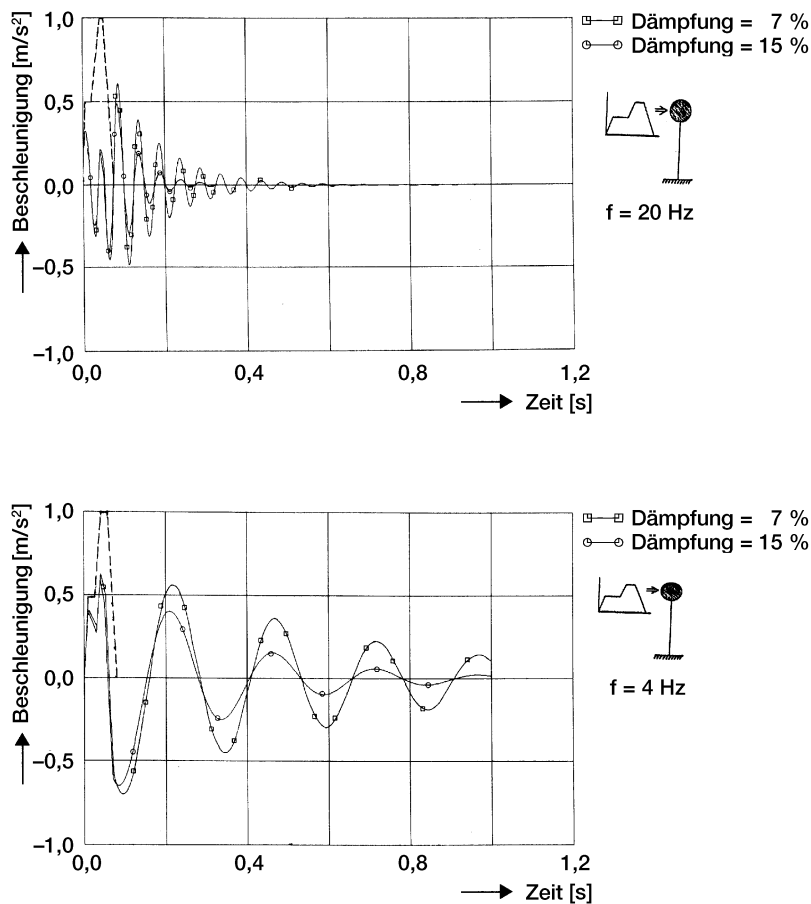


Fig. 3-16: Einfluss des Dämpfungsvermögens der Strukturen /3-23/

Anhand des Vergleichs der Zeitverläufe kann festgestellt werden, dass für die Struktur mit höherer Dämpfung die maximalen Antworten zu geringfügig verzögerten Zeiten auftreten. Die Amplitude der Antwort ist naturgemäß bei höherer Strukturdämpfung kleiner und das Abklingverhalten schneller.

Vergleicht man andererseits aus den Zeitverläufen resultierenden Antwortspektren (Fig.3-17) für eine typische Komponentendämpfung von 2 %, so kann man wiederum feststellen, dass die maximalen spektralen Beschleunigungen für die Systeme mit der höheren Strukturdämpfung (15 %) entsprechend niedriger (ca. 1/3) sind als für die Systeme mit 7 % Strukturdämpfung.

Verallgemeinert kann festgestellt werden, dass die dynamischen Antworten einer Struktur durch die Veränderung der Systemdämpfung beachtlich beeinflusst werden können. Der Einfluss manifestiert sich sowohl in der Veränderung der Höhe der spektralen Beschleunigung, als auch der Frequenzlage der Peakfrequenz in den Antwortspektren. Parameterstudien, die anhand von realen Strukturmodellen (3D-Modellen) für ein kastenförmiges Reaktorgebäude mit Annahme von 7 % und 14 % Dämpfung durchgeführt wurden, bestätigen (Fig.3-18) eindeutig diese Tendenzen /2-19/.

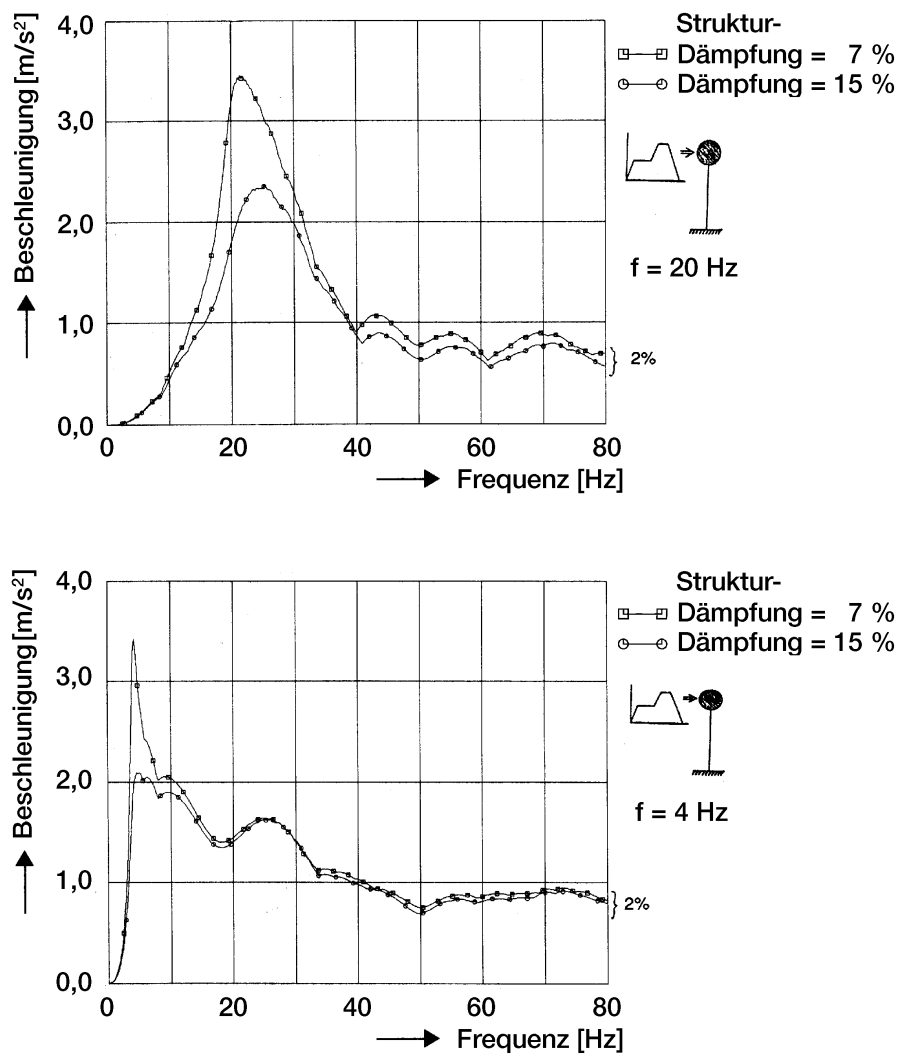


Fig. 3-17: Antwortspektren (für 2% Dämpfung der Komponente) bei Annahme verschiedener Strukturdämpfungswerte /3-23/ des Bauwerks

Das Dämpfungsvermögen entspricht der Reduktion von Energie im schwingenden System /3-8/, /3-13/. Die verlorene Energie wird entweder vom System durch Abstrahlung an andere Strukturen weggetragen oder innerhalb des Systems durch Hystereseffekte im Material zerstreut. Bei gleichbleibendem Schwingungsablauf hindert die Dämpfung die Antwort eines schwingenden Systems, das im Resonanzbereich angeregt wird, unbegrenzt anzuwachsen.

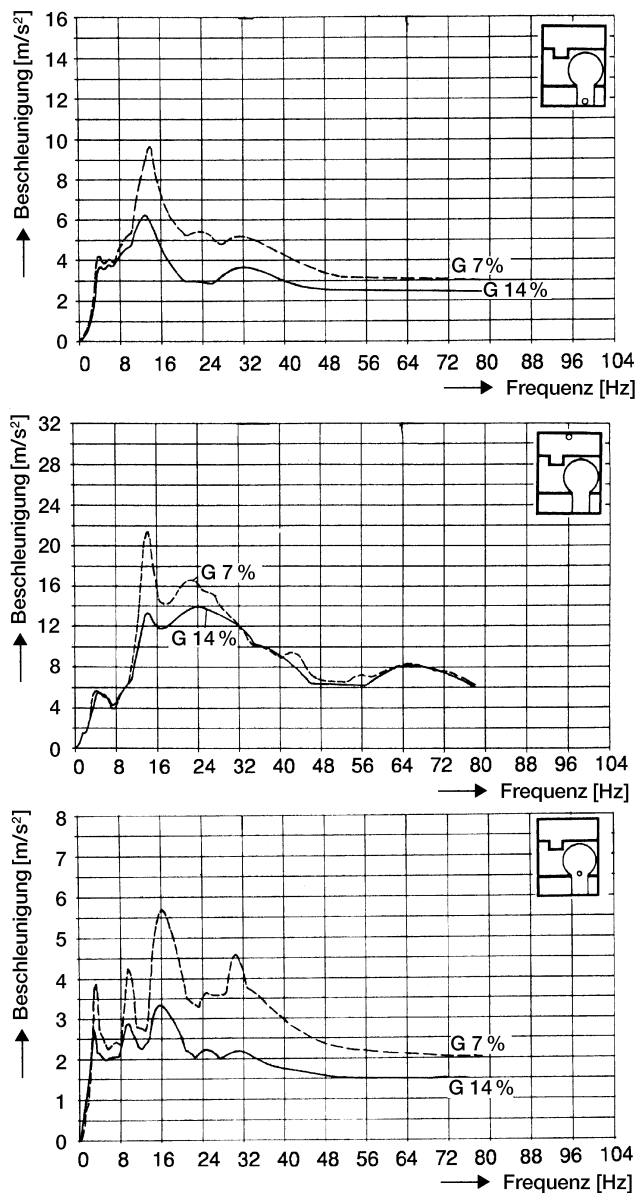


Fig. 3-18: Strukturantworten eines SWR-Reaktorgebäudes bei Variation des Dämpfungsvermögens des Bauwerks (7% und 14%) /2-19/

Die modale Dämpfung wird hier analog wie bei Erdbebenanalysen durch die Boden- und Strukturdämpfung bestimmt. Der unterschiedliche Charakter der Anregungen (Lastfunktionen) im Falle Erdbeben und Flugzeugaufprall führt jedoch zur Aktivierung anderer modaler Dämpfungsanteile insbesondere der Strukturdämpfung. Nicht ohne Bedeutung ist gewiss auch der Frequenzgehalt der Flugzeugaufprall-Lastfunktion (HLF), die höhere Modes der Struktur anregt und so die Bedeutung der Dämpfung in den höheren Modes steigert. Ungeklärt ist der Einfluss der Kurzzeitigkeit der Lasteinleitung beim Lastfall Flugzeugaufprall, welcher zu einer zunächst transienten Antwort führt, die dann in freie Schwingungen übergeht, nachdem die Lasteinleitungsphase beendet ist. Dieser Frage wird ebenfalls in Absatz 3.3 nachgegangen.

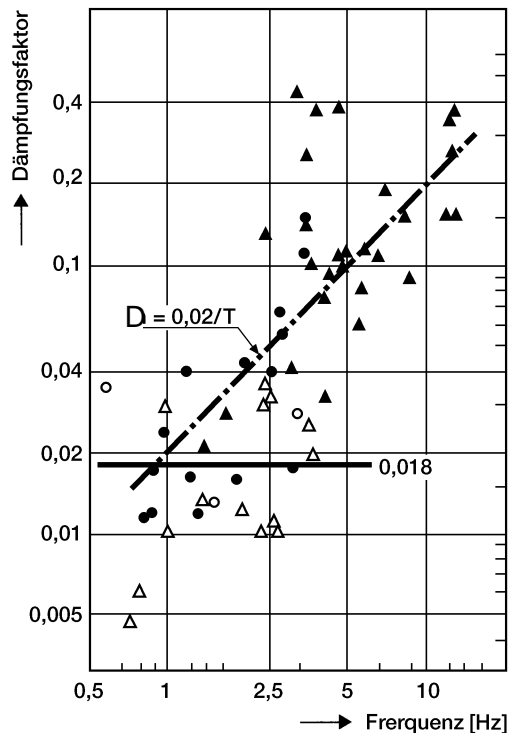
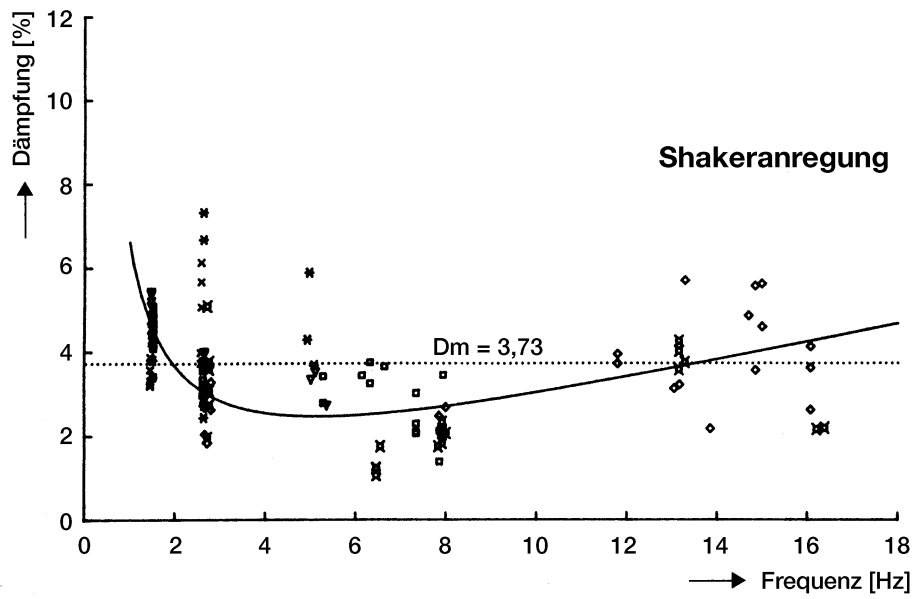


Fig. 3-19: Frequenzabhängigkeit der Dämpfung einer Spannbeton-Brücke (Messungen nach /3-19/)

In der Literatur sind Ergebnisse zur Dämpfungsmessung an reellen Strukturen bis zu höheren Modes sehr selten. Zu den wertvollsten Beiträgen zur Bewertung des Dämpfungsvermögens reeller Bauwerke gehören zweifelsohne die anhand der Versuche am Heißdampfreaktor Kahl (HDR) gewonnenen Ergebnisse /3-44/. Auf der Basis von rund 70 Versuchen mit Shaker-, Spreng- und Stoßanregung am Reaktorgebäude HDR wurde das Dämpfungsvermögen des naturgetreuen Bauwerks experimentell untersucht.

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte unter Anwendung mehrerer Verfahren getrennt nach Versuchsgruppen und Schwingungsart (Eigenform) des Bauwerks. Aufgrund der Streuung der Messwerte wurden Mittelwerte der modalen Dämpfung über alle Messwerte jeder Versuchsgruppe gebildet. Zwecks Bereitstellung geeigneter Daten für die bei Gebäudeberechnungen angewandten FE-Verfahren wurden auch die Parameter der Rayleigh-Dämpfung bestimmt (Fig. 3-20 und 3-21).

Die Auswertungsergebnisse sind als Mittelwerte der bei den Versuchen gemessenen Werte zu verstehen. Sie bestätigen jedoch im allgemeinen die derzeit in der deutschen Auslegungspraxis verwendeten Werte /3-44/. Die Ergebnisse der am HDR-Reaktorgebäude durchgeführten Versuche wurden in Tab. 3-1 und 3-2 zusammengefasst.



Versuchsbezeichnung

- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| ▲ V63.1.1.01 | ◇ V63.1.1.04 | ♣ V63.2.1.01 |
| ▼ V63.1.1.02 | + V63.1.1.09 | * V63.2.1.02 |
| ▣ V63.1.1.03 | × V63.1.1.10 | ⊠ V63.2.1.04 |

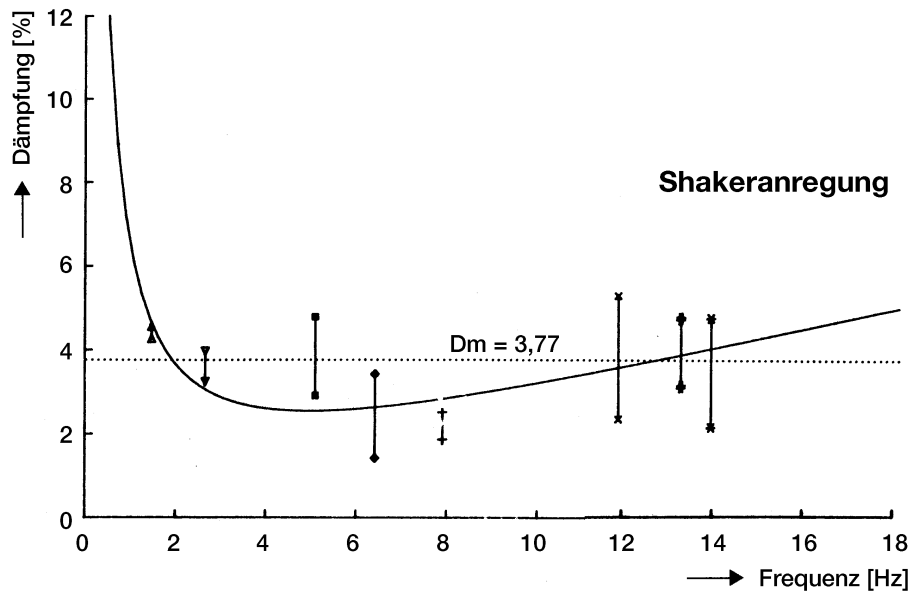


Fig. 3-20: Reaktorgebäude HDR
 Gemessene Dämpfungswerte bei Shakeranregung
 (Annäherung durch Rayleigh-Dämpfungseinsatz/3-44/)

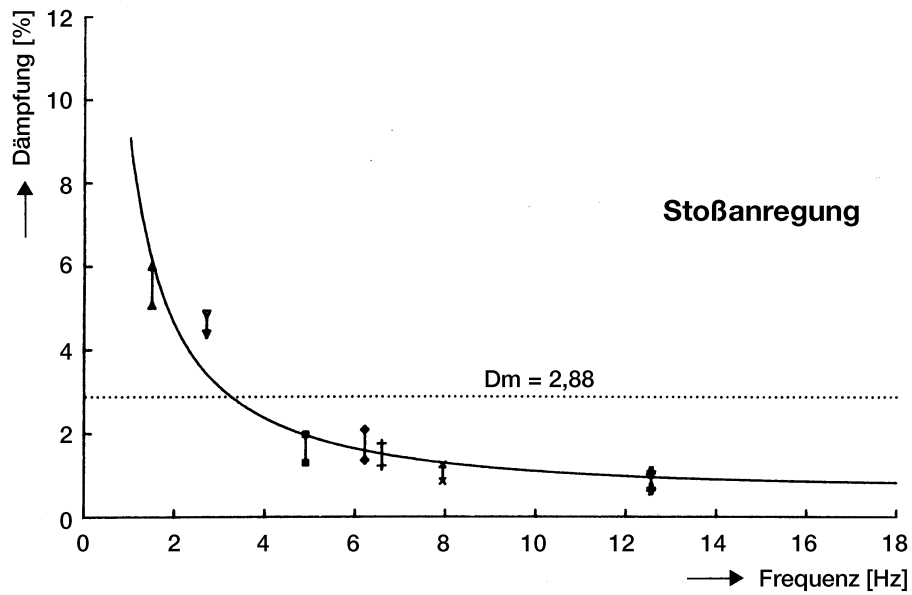
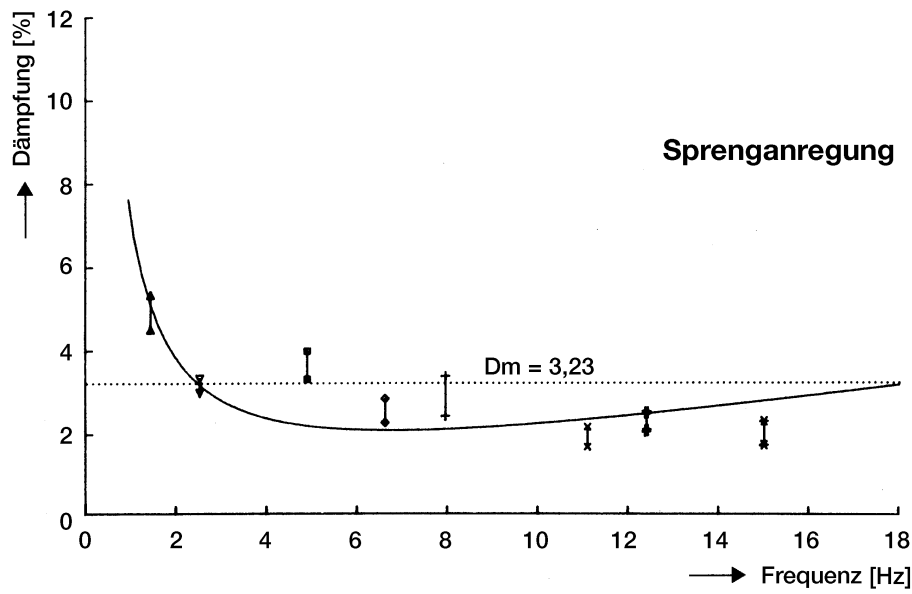


Fig. 3-21: Reaktorgebäude HDR
Gemessene Dämpfungswerte (Annäherung durch Rayleigh-Dämpfungsansatz /3-44/)

In Tab. 3-2 wurde dabei eine Charakterisierung der einzelnen, bei den Shakerversuchen gemessenen, Schwingungsformen sowie der gemessenen vorab ausgewerteten Dämpfung vorgenommen.

Die aus der systematischen Auswertung ermittelten Dämpfungswerte für alle Versuchsgruppen (Shakeranregung, Sprengung und Stoßanregung) in Form von Mittelwerten als auch deren Streuung sind in Tab. 3-1 zusammengestellt worden.

Im Lasteinleitungsbereich der durchgeführten Versuche trat ein eindeutig lineares Strukturverhalten des Reaktorgebäudes auf, somit konnte die Spannungsabhängigkeit der Dämpfung nicht beobachtet werden.

Anhand hier durchgeführter Auswertungen kann das Dämpfungsvermögen der Betonstrukturen des Bauwerks direkt abgeleitet werden. Es wurde nämlich festgestellt, dass bis auf die Kippschwingungen (Versuchs-Nr.101 und 102, Tab.3-2) keine die Boden-Bauwerks-Wechselwirkung bestimmenden Modes unter den gemessenen Eigenformen ermittelt worden sind. Bei der hohen schlanken Bauweise vom HDR-Reaktorgebäude sind die Kippschwingungen niederfrequent (1,5 Hz). Die zugehörige Abstrahlungsdämpfung ist sehr klein (Mittelwert < 4 %). Die gesamte Dämpfung ist daher in der Größenordnung der Strukturdämpfung der einzelnen Modes. Es wurde festgestellt, dass für Strukturdämpfungen der HDR-Reaktorgebäude bei EVA-Lastfällen Dämpfungswerte von 4 % für Stahlbeton und 2 % für Stahlstrukturen angesetzt werden können.

Wie aus Fig. 3-20 und 3-21 zu erkennen ist, ist die modale Dämpfung des HDR-Reaktorgebäudes eindeutig frequenzabhängig. Der Ansatz Rayleigh'scher Dämpfung eignet sich recht gut zur Beschreibung dieser Abhängigkeit.

Die Frequenzunabhängigkeit der Dämpfung komplexer Strukturen wurde auch anhand von Versuchen an Brücken /3-19/ festgestellt (Fig.3-19). Dabei nimmt in der Regel die Abstrahlungsdämpfung bis zu einer gewissen Frequenzgrenze ab und steigt dann wieder an.

Die Materialdämpfung wird dagegen prinzipiell durch den ersten Mode bestimmt /3-16/. In Figur 3-22 wird die Abhängigkeit der Materialdämpfung von der Verformung bei dem Beanspruchungszustand verdeutlicht. Die Gesamtdämpfung nimmt, wie erwartet, mit der Amplitude und dem Spannungsniveau zu.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich fast alle in der Literatur dokumentierten Ergebnisse auf Schwingungen mechanischer Strukturen beziehen. Es ist nicht möglich, diese Ergebnisse wegen der Unterschiede im Verhalten der verschiedenen Materialtypen und der entsprechenden Mechanismen der Energiedissipation direkt auf Betonstrukturen zu übertragen.

Zwischenzeitlich wurden auch Versuche an naturgetreuen Stahlbetonbalken und Platten durchgeführt (BAM, MEPPEN), aus denen Hinweise auf die Dämpfungswerte bei höherer Frequenz abgeleitet werden können. Die Testergebnisse sowie die begleitenden analytischen Studien tragen ebenfalls zu einer realistischen Abschätzung des Dämpfungsvermögens großer Betonstrukturen bei.

Mode-Kennung	Systematische Auswertung (Dämpfung)		
	Shaker RGE D %	Sprengung D %	Stoßanregung D %
101	3.98 ± 0.08	4.92 ± 0.43	–
102	4.38 ± 0.14	–	5.50 ± 0.46
103	2.02 ± 0.12	3.16 ± 0.18	–
104	3.58 ± 0.37	–	4.63 ± 0.25
105	3.83 ± 0.93	3.61 ± 0.33	1.60 ± 0.36
107	2.41 ± 1.00	–	1.72 ± 0.38
108	2.40 ± 0.35	2.55 ± 0.29	1.48 ± 0.26
110	2.19 ± 0.34	2.92 ± 0.47	1.07 ± 0.20
111	1.58 ± 0.27	–	–
112	3.80 ± 1.45	1.94 ± 0.24	–
113	–	2.30 ± 0.22	–
114	3.94 ± 0.80	–	0.87 ± 0.20
115	3.44 ± 1.27	–	–
116	3.86 ± 1.32	2.03 ± 0.28	–

Tab. 3-1: HDR- Reaktorgebäude, Mittelwerte der gemessenen Dämpfungen /3-44/

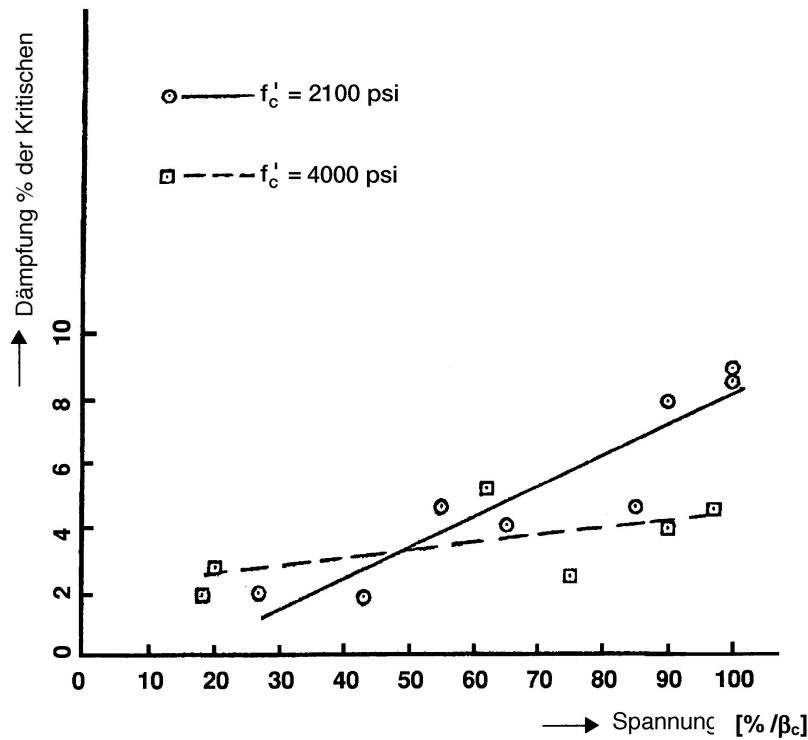


Fig. 3-22: Spannungsabhängigkeit der Dämpfung von Betonbalken /3-16/

Analyse des Einflusses maßgebender Parameter

Resonanz			Angeregt bei Versuch			Schwingungsform	Kennung
Nr.	Frequenz Hz	Dämpfung %	Versuchslauf Nr.	Unwucht kg	Anregungs- Richtung	Charakterisierung	
1	1.35	4.9	V63.1.1.16	4774	X	Kippschwingung in x-Richtung Innen- und Außenstruktur in Phase	101
	1.36	4.4	V63.1.1.15	1405	X		
	1.38	5.3	V63.2.1.8	2266	X		
	1.40	5.1	V63.1.1.8	226	X		
	1.44	5.2	V63.1.1.6	128	X		
	1.45	4.4	V63.2.1.7	451	X		
	1.48	5.0	V63.1.1.7	451	X		
2	1.40	5.4	V63.1.1.9	4774	Z	Kippschwingung in z-Richtung Innen- und Außenstruktur in Phase	102
	1.45	4.3	V63.1.1.10	1405	Z		
	1.45	5.3	V63.2.1.1	2266	Z		
	1.47	4.8	V63.1.1.1	2266	Z		
	1.48	5.9	V63.2.1.2	451	Z		
	1.52	4.6	V63.1.1.3	128	Z		
	1.54	5.4	V63.1.1.2	451	Z		
3	2.44/2.48	1.9	V63.1.1.15	1405	X	1. Biegeschwingung in x-Richtung Innen- und Außenstruktur gegenphasig	103
	2.47/2.49	3.1	V63.2.1.7	451	X		
	2.47/2.59	3.5	V63.1.1.7	451	X		
	2.53/2.53	2.0	V63.1.1.6	128	X		
4	2.56/2.60	3.5	V63.1.1.10	1405	Z	1. Biegeschwingung in z-Richtung Innen- und Außenstruktur gegenphasig	104
	2.64/2.71	3.4	V63.2.1.2	451	Z		
	2.62/2.62	4.3	V63.1.1.3	128	Z		
	2.65/2.66	2.6	V63.1.1.2	451	Z		
5	4.98	4.6	V63.2.1.2	451	Z	Vermutlich Schalenschwingung der Außenschale	105
	5.00	3.0	V63.1.1.2	451	Z		
6	5.7-5.9	sehr hoch	V63.1.1.18	128	-Z/+Z	Vermutlich 1. Torsionsschwingung Innen- und Außenstruktur in Phase	106
7	6.32	3.4	V63.1.1.3	128	Z	Vermutlich Schwingung Außenschale, Bereich Materialschleuse (z-Richtung)	107
8	6.54	4.2	V63.1.1.6	128	X	Vermutlich Biegeschwingung Außenschale (x-Richtung)	108
9	7.32	2.3	V63.1.1.3	128	Z	Vermutlich Schalenschwingung Außen- schale Bereich Materialschleuse in z-Richtung	109
10	7.8	(2.8)	V63.1.1.18	128	-Z/+Z	1. Torsionsschwingung, Innen- und Außenstruktur gegenphasig	110
11	8.5	1.4	V63.1.1.6	128	X	Vermutlich Schwingung Außenschale, Bereich Materialschleuse in x-Richtung	111
12	11.36	2.6	V63.1.1.5	28.5	X	Vermutlich 2. Biegeschwingung in x-Richtung Innen- und Außenstruktur in Phase	112
	11.58	3.0	V63.2.1.5	28.6	X		
13	13.0	4.4	V63.2.1.5	28.6	X	2. Biegeschwingung in x-Richtung Innen- und Außenstruktur gegenphasig	113
	13.2	4.5	V63.1.1.5	28.6	X		
14	13.0	3.2	V63.1.1.4	28.6	Z	2. Biegeschwingung in z-Richtung Innen- und Außenstruktur gegenphasig	114
	13.22	4.9	V63.2.1.4	28.6	Z		
15	14.2	3.0	V63.1.1.4	28.6	Z	Vermutlich Stahlkuppelbiegung in z-Richtung	115
	14.2	4.4	V63.2.1.4	28.6	Z		
16	15.07	4.0	V63.1.1.5	28.6	X	Vermutlich Stahlkuppelbiegung in x-Richtung	116
	15.26	3.7	V63.2.1.5	28.6	X		

**Tab. 3-2: HDR- Reaktorgebäude
Charakteristik und Dämpfungsvermögen gemessener Eigenformen /3-44/**

3.1.1.5 Annahmen zum Frequenzband der Berechnung

Aufgrund erforderlicher feiner Diskretisierung von Baustrukturen hat man es bei den Flugzeugabsturz nachweisen jeweils mit sehr großen rechentechnischen Problemen zu tun, die zu einer hohen Anzahl zu berücksichtigender Eigenmodes führt. Versuche, die Anzahl der Modes zu begrenzen (unterhalb der anregbaren Frequenzgrenze von ca. 80 Hz), führen zu unbrauchbaren Ergebnissen /3-46/. In Fig. 3-23 werden für charakteristische Bereiche eines großen Bauwerks (WAW-Hauptprozessgebäude) die Spektren gegenübergestellt, die bei Abbruch der Berechnung bei 20, 30, 40 und 50 Hz zu erwarten sind.

Es kann festgestellt werden, dass die Mitnahme von Eigenfrequenzen der Baustruktur bis zu 80 Hz erforderlich ist. Berechnungen für ein unterhalb von 80 Hz liegendes Frequenzband führen zu beachtlichen Verfälschungen der Aussagen, insbesondere in Bereichen der Bauwerke mit ausgeprägten lokalen Schwingungen.

3.1.1.6 Lage der Flugzeugaufprallbereiche

Die Strukturantworten in einem betrachteten Aufstellort einer Komponente sind abhängig von der Lage des jeweiligen Auftreffpunktes sowie der Länge und des Verlaufs der Erschütterungsübertragungswege.

Nicht ohne Bedeutung ist jedoch auch das lokale Eigenverhalten der Struktur. Liegen die lokalen Eigenfrequenzen im Bereich der am stärksten durch die Lastfunktion anregbaren Frequenzen, so sind auch entsprechend große Resonanzeffekte zu erwarten /2-8/.

Hohe Strukturantworten sind unabhängig von der Frequenzlage der Struktur ebenfalls in benachbarten Bereichen des Aufprallortes zu erwarten. Anhand der in Fig. 2-17 bis 2-25 dargestellten Strukturantworten für die horizontale bzw. vertikale Richtung können die unterschiedlichen Auswirkungen unterschiedlicher Lastfälle in 5 bzw. 8 charakteristischen Bereichen typischer Reaktorgebäude auf die Strukturantworten der Innenstrukturen verdeutlicht werden.

3.1.1.7 Charakter der Lastfunktionen

In Fig. 2-2 wurden die z. Z. bekannten und bei der Auslegung von Bauwerken und Anlagen bisher angewandten Last-Zeitfunktionen zusammengestellt. Beim Vergleich dieser Lastfunktionen kann, abgesehen von der geschätzten Dauer der zu erwartenden Strukturantwort des Bauwerks sowie der global aufgebrauchten Impulse, über deren Auswirkung nichts ausgesagt werden.

Wertet man jedoch die Last-Zeitfunktionen aus und leitet deren frequenzbezogene Charakteristiken in Form von Spektren der dynamischen Lastfaktoren (DFL) ab, d.h. des Verhältnisses der dynamischen und statischen Verschiebungen (Fig.3-24 und 3-25), so kann eine Reihe weiterer Auswirkungen dieser verschiedenen Lastfunktionen abgeschätzt werden. Insbesondere können die anregbaren Frequenzbereiche des Bauwerks festgelegt werden.

Es kann festgestellt werden, dass, bezogen auf die signifikanten Eigenfrequenzen von Wand- und Deckenbereichen typischer Bauwerke, Lastfunktionen von kurzer Dauer (Phantom) und hohem Lastniveau die dominierenden Lastfälle darstellen. Durch Berücksichtigung der nichtlinearen Vorgänge im Aufprallbereich (s. Absatz 4.2) wird der Lasteinleitungsvorgang realistischer erfasst. Die hieraus resultierenden modifizierten Lastfunktionen (MLF) sind charakterisiert durch ein niedrigeres Lastniveau und eine längere Lasteinwirkungsdauer.

Durch Vergleich der für die MLF-Lastfunktionen erstellten DLF-Spektren mit den DLF-Spektren der HLF-Lastfunktion kann festgestellt werden, dass bei Erfassung der nichtlinearen Vorgänge einige anregbare Frequenzen herausgefiltert werden und die Größe der Lastfaktoren reduziert wird (Fig.3-25).

Der Einfluss des Charakters der Lastfunktion auf die Anregungsfähigkeit der beaufschlagten Strukturen kann auch hier anhand einfacher schwingender Systeme (Einmassenschwinger, EMS) verdeutlicht werden.

In Fig. 3-26 und 3-27 wurden die dynamischen Lastfaktoren für verschiedene Formen von Stoßlastfunktionen /3-4/, /3-5/, /3-11/ dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der DLF für einen dreieckförmigen Laststoß (Fig.3-26) der DLF-Kurve der Flugzeugabsturz-Referenz-Lastfunktion (HLF) ähnlich ist. Durch Auswertung von verschiedenen Lastfunktionen bezogen auf die Schwingungen eines Systems mit der Periode T kann die Bedeutung der Wirkungsdauer (td) bzw. Anstiegszeit (tr) der Lastfunktionen auf die Antwort des Systems verdeutlicht werden.

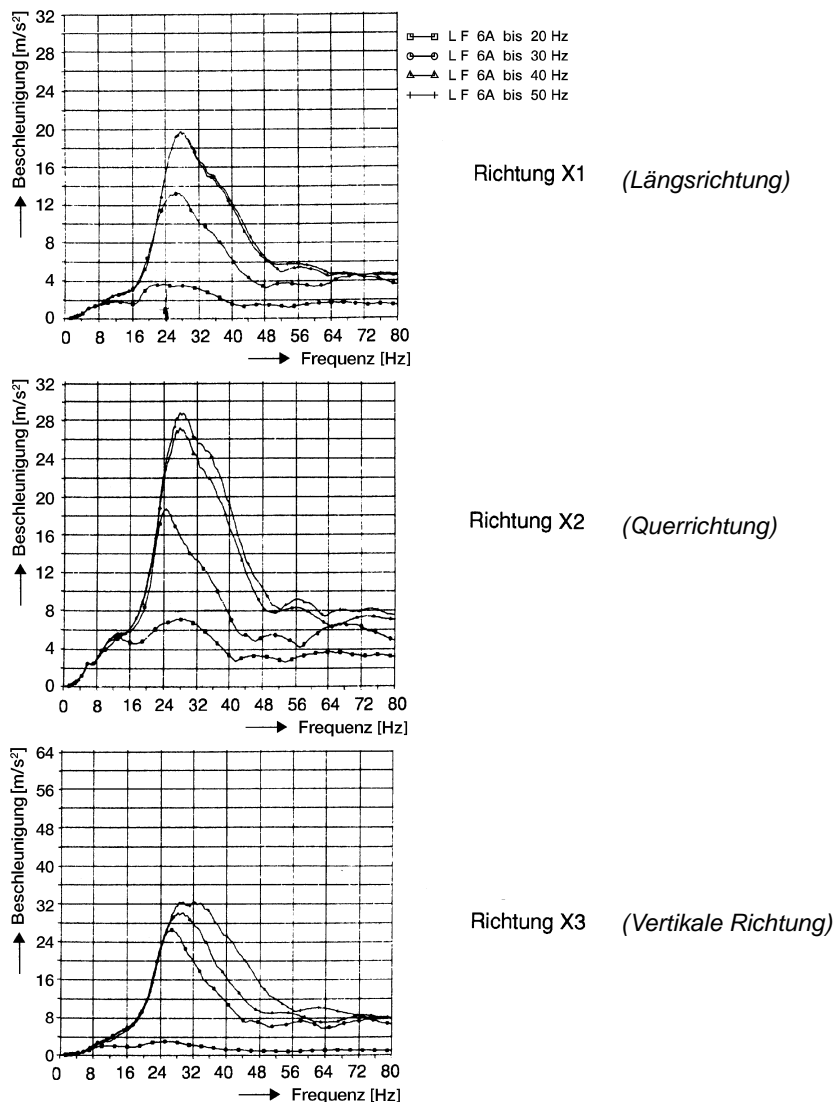


Fig. 3-23: Einfluss des erfassten Frequenzbereichs der Berechnung auf die Strukturantworten des Hauptgebäudes der Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf /3-46/

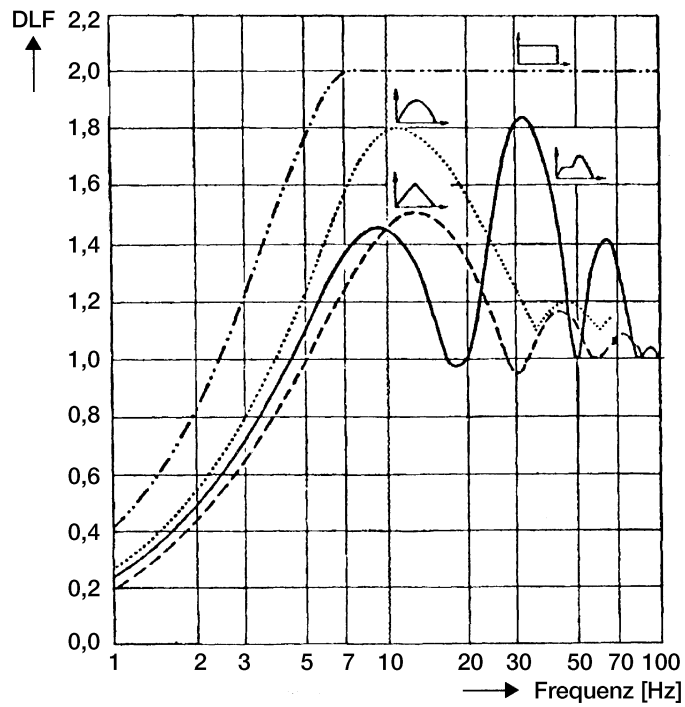


Fig. 3-24: Gegenüberstellung der dynamischen Lastfaktoren für verschiedene charakteristische Lastfunktionen (HLF) von gleicher Zeitdauer $t_d = 0.070$ s

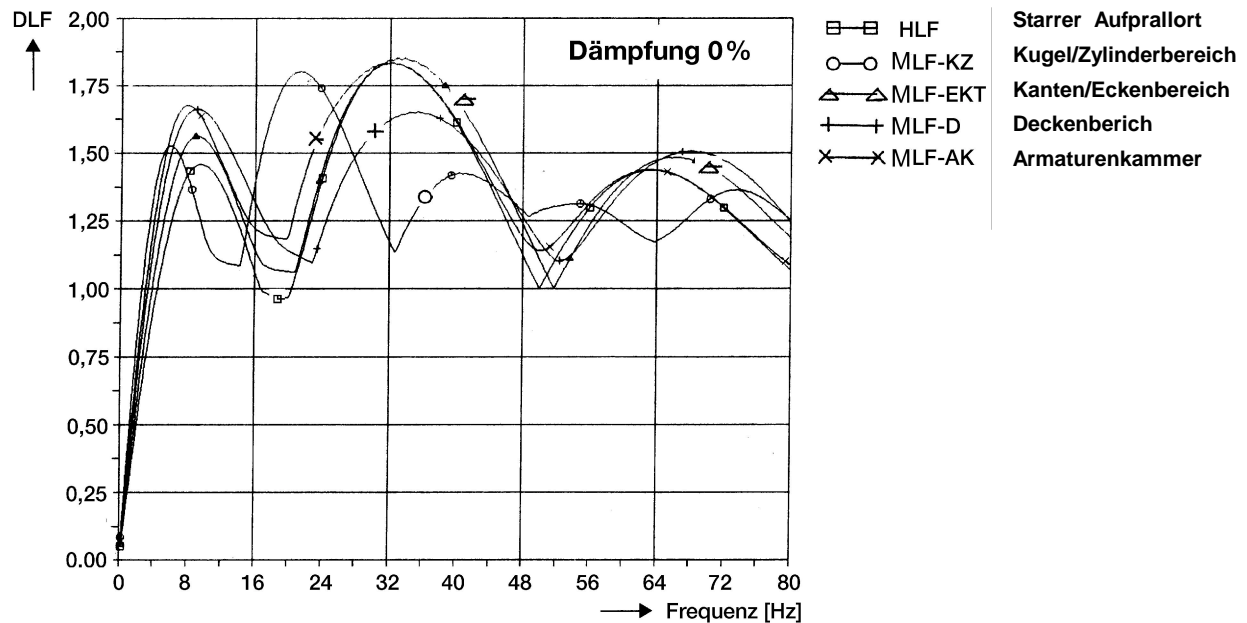


Fig. 3-25: Gegenüberstellung der dynamischen Lastfaktoren der HLF und verschiedener modifizierter (MLF) Lastfunktionen

Bei einer dreieckförmigen Lastfunktion ist bekanntlich die höchste Amplitude der Antwort bei $t_d/T = 0.9$ zu erwarten. Bei t_d/T größer als etwa 0.9 nimmt die maximale Antwort ab und der dynamische Lastfaktor schwankt etwa um den Wert 1.0, in den er mit steigendem t_d/T übergeht. Die t_m -Werte (t_m - die Zeit bis zum Auftreten der maximalen Antwort) sowie der Zeitverhältnissfaktor t_m/t_d nehmen mit einer Zunahme von t_d/T ab, zunächst sehr schnell bis zu einem Wert von etwa $t_d/T = 1.0$. Danach geht t_m/t_d langsam in einen Wert von 0.5 über.

Für eine Rampenfunktion mit einem konstanten endlichen Lastanstieg (Fig.3-27) nimmt der dynamische Lastfaktor mit einer Zunahme von t_r/T bis zu $t_r/T = 1.0$ sehr schnell ab und schwankt dann oberhalb des Wertes von 1, in dem er mit steigendem t_r/T übergeht. Eine ähnliche Tendenz ist beim Zeitverhältnissfaktor t_m/t_r zu beobachten.

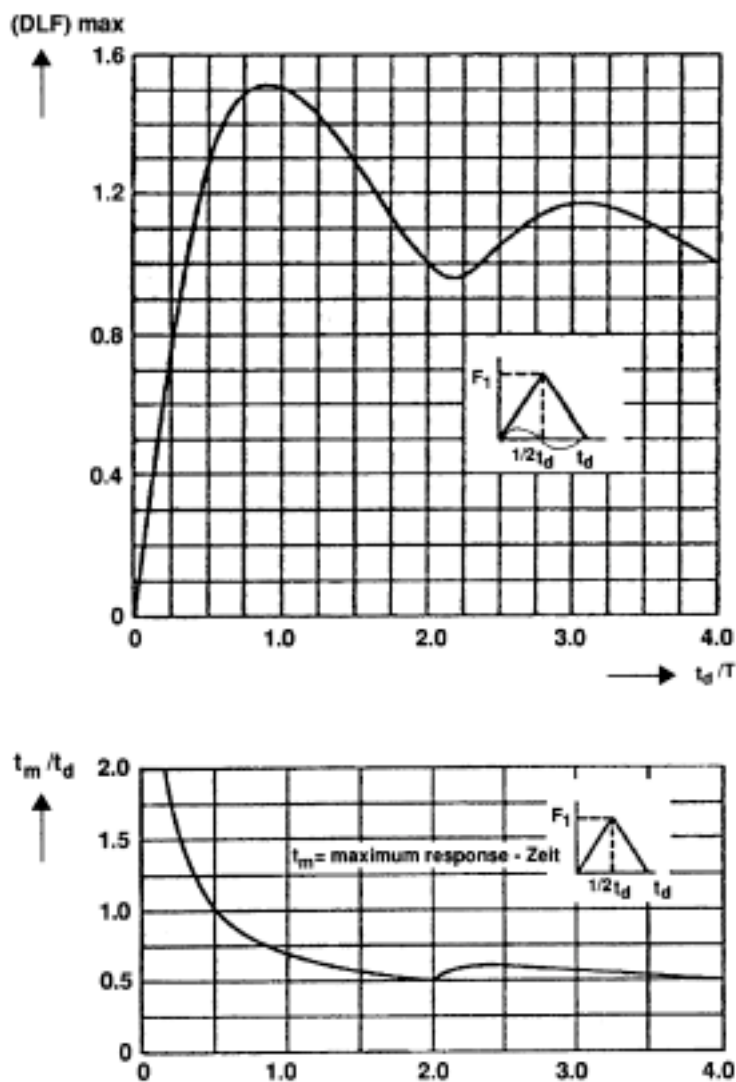


Fig. 3-26: Maximale Strukturantworten eines ungedämpften EMS bei charakteristischer Dreiecks-Impulsbelastung und Zeitdauer t_m /3-5/

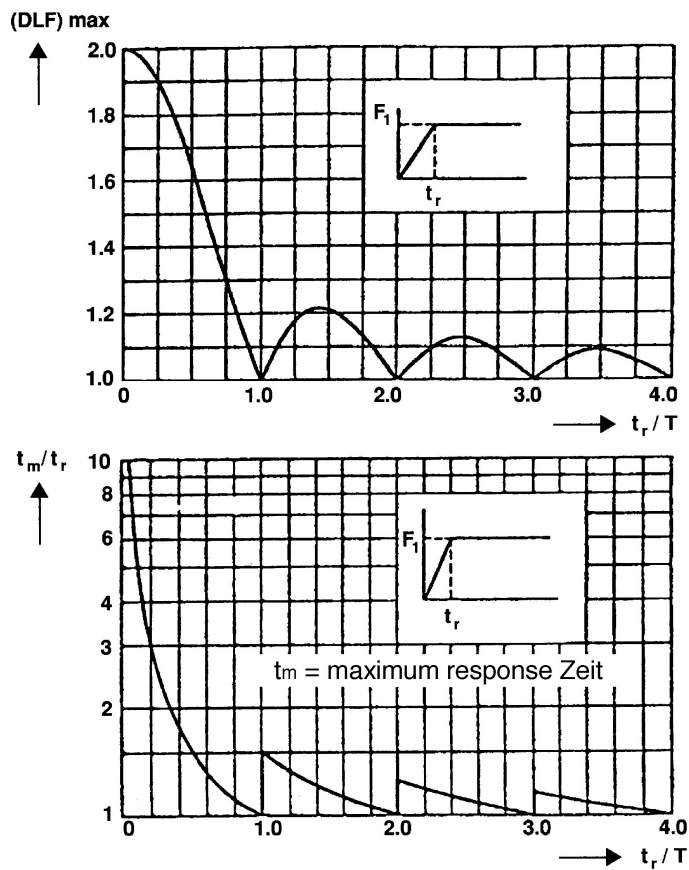


Fig. 3-27: Maximale Strukturantworten eines ungedämpften EMS bei charakteristischer rampenartiger Impulsbelastung /3-5/

Auf der Basis der Analyse verschiedener Flugzeugabsturz-Lastfunktionen und der Ergebnisse in /2-19/, /2-20/ und /3-23/ können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die maximale Antwort einer gegebenen Dreiecks-Stoßfunktion tritt gewöhnlich bei einem Zeitperiodenverhältnis von t_d/T zwischen 1/2 und 1 auf.
- Wenn t_d der Stoßfunktion gegenüber der Dauer der Eigenschwingung T des Systems kleiner ist als etwa 1/2, so nimmt ihre Bedeutung bei der Bestimmung der maximalen Antwort ab.
- Für t_d/T kleiner als 1/4 ist die Stoßform in der Regel von geringer Bedeutung und die Systemantwort kann annäherungsweise durch Anwendung der einfachen Verfahren bestimmt werden.

Diese Feststellungen können auch auf ein System mit mehreren Freiheitsgraden übertragen werden. Jede Schwingungsform kann als System mit einem Freiheitsgrad mit der Periode T_n angesehen werden. Durch Belastung mit einer Stoßfunktion (die mit der Flugzeugaufprall-Lastfunktion in Form maximaler Amplitude und Fläche vergleichbar ist) kann dann die maximale Antwort ermittelt werden.

Auf diese Weise können die Strukturantworten sowie der Einfluss einzelner Schwingungsformen auf die Gesamtantwort vorab abgeschätzt werden.

3.2 Experimentelle Absicherung linear-elastischer FE-Berechnungen von Bauwerken bei Stoßbelastungen

Zur Bewertung der Aussagekraft von Berechnungen zum Erschütterungs-Übertragungsverhalten unter Anwendung von FE-Verfahren wurden die an einem naturgetreuen Bauwerk experimentell ermittelten Ergebnisse mit analytischen Vorausberechnungen verglichen.

Als Beispiel diente das Reaktorgebäude des Heißdampfreaktors (HDR) Kahl (Fig.3-29). An dieser im Zeitraum von Anfang der siebziger bis Ende der achtziger Jahre für Testzwecke benutzten Anlage wurden 1984/85 u.a. umfangreiche Stoßversuche durchgeführt. Die Belastung wurde durch ein Pendel aufgebracht, welches den Impuls im Bereich der Übergangsstelle Kugel-/Zylinderbereich einleitete (Fig.3-28). Die umfangreichen bei diesen Versuchen gewonnenen Messergebnisse werden im Abschnitt 3.2.3 mit den hier ermittelten analytischen Ergebnissen verglichen. Zweck der Vorausberechnungen für das HDR-Gebäude war es, den Einfluss diverser Parameter sowie des Modelldiskretisierungsgrades auf die Ergebnisse einer finiten Elementberechnung zu untersuchen.

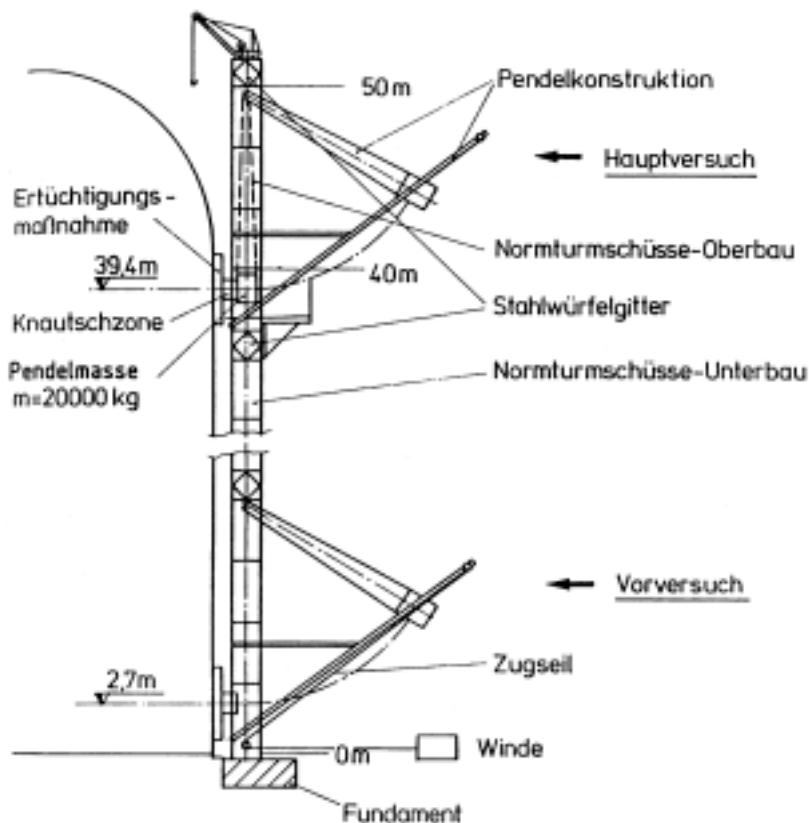


Fig.3-28: Stoßversuche am HDR (Versuchsaufbau) /3-51/

3.2.1 Versuchsbeschreibung

Anhand o.g. problemorientierter, im Rahmen eines BMfT-Sicherheitsprogramms durchgeführter Versuche /3-51/ wurde eine Reihe von Messungen zur Erfassung der globalen Auswirkungen einer an der Gebäudeaußenschale lokal einwirkenden Stoßlast auf die Strukturantworten und die Erschütterungsübertragungsvorgänge im gesamten Bereich des Bauwerks vorgenommen.

Hauptteil der Versuchseinrichtung war eine Pendelkonstruktion (Fig.3-28). Sie konnte an die Außenschale auf das HDR-Gebäudes, auf 33,4 m Höhe, einen Kraftstoß von 200 kNs abgeben.

Die Pendelkonstruktion ist gekennzeichnet durch einen doppelten am HDR in ca. 36 m Höhe befestigten insgesamt 50 m hohen Ständer, an dessen oberem Ende ein 10 m langes Pendel befestigt war. Die Pendelmasse betrug 20 t; die Auslenkung erfolgte über einen etwa 13 m langen Druckrahmen unter Verwendung von Trag- und Zugseilen.

Das Fallgewicht wurde durch das mechanische Zerschneiden eines am Gewicht angebrachten Verbindungsstückes mit einem Schneidwerkzeug ausgelöst. Diese Art der Auslösung war möglich, da es hier in keiner Weise auf die Einhaltung einer bestimmten Auslösecharakteristik ankommt.

Nach dem Auslösen schlug das Fallgewicht auf eine aus Rohrabschnitten bestehende Knautschzone, die eine angestrebte Last-Zeitcharakteristik durch eine kontrollierte Abbremsung des Fallgewichts erzeugte.

Um eine Beschädigung der HDR-Außenschale zu vermeiden und um eine großflächige Verteilung der Kraft zu erreichen, wurde am HDR eine etwa 40 cm starke Ertüchtigung aus Beton mit entsprechender Bewehrung angebracht.

Die Messung der tatsächlich auf den HDR wirkenden Belastung infolge des Stoßes erfolgte über eine Kraft-Messeinrichtung, die zwischen Knautschzone und Lastverteilungskonstruktion eingebaut wurde.

An insgesamt 215 Messstellen wurden Zeitverläufe verschiedener Größen, besonders von Wegen und Beschleunigungen aufgenommen und ausgewertet. Im Vordergrund des Interesses standen dabei die Simulation von Stoßbelastungen, ähnlich wie sie beim Aufprall eines Flugzeuges zu erwarten sind, als weiteres die Untersuchung der Lastweiterleitung im Bereich der Außenschale über das Fundament in die innere Betonstruktur sowie Untersuchungen zum Verhalten diverser Komponenten, die im HDR untergebracht sind, hier besonders auch an einer speziell angefertigten und an der Innenseite der Außenschale befestigten Rohrleitung.

Obwohl das HDR-Reaktorgebäude (Fig.3-29) für diesen Lastfall nicht konzipiert gewesen war, erschien es jedoch für die Durchführung der o. g. Versuche durchaus geeignet zu sein.

Die beim Lastfall Flugzeugabsturz kurzzeitig zu erwartende Stoßbelastung von ca. 120 MN konnte jedoch insbesondere von der relativ dünnen Außenschale des HDR-Reaktorgebäudes nicht abgetragen werden. Ausgehend von der geltenden Flugzeugabsturzlastzeitfunktion (Fig.2-1) wurde eine vom HDR-Reaktorgebäude (unter Ausnutzung linear-elastischer Reserven) gerade noch aufnehmbare Lastzeitfunktion festgelegt, die durch die gleiche Einwirkungsdauer und den gleichen Frequenzgehalt sowie ein entsprechend reduziertes Lastniveau charakterisiert ist (Fig.4-30).

Die so abgeleitete Lastzeitfunktion entsprach (bezüglich ihrer Anregungsfähigkeit der maschinentechnischen Komponenten) der Referenz Flugzeugabsturz-Lastzeitfunktion (RLF) mit einem höch-

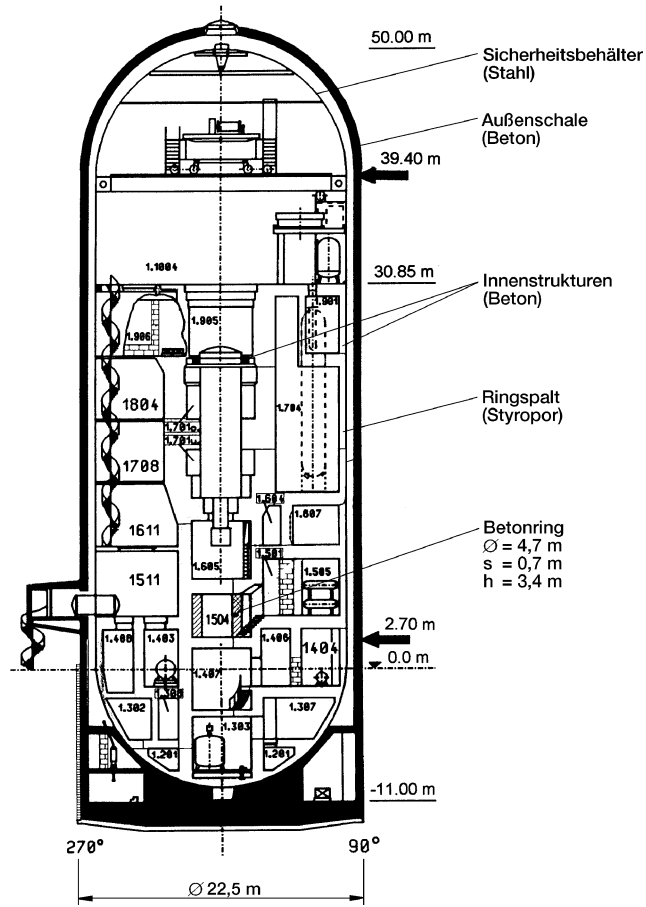


Fig. 3-29: Heißdampfreaktor Kahl (HDR)

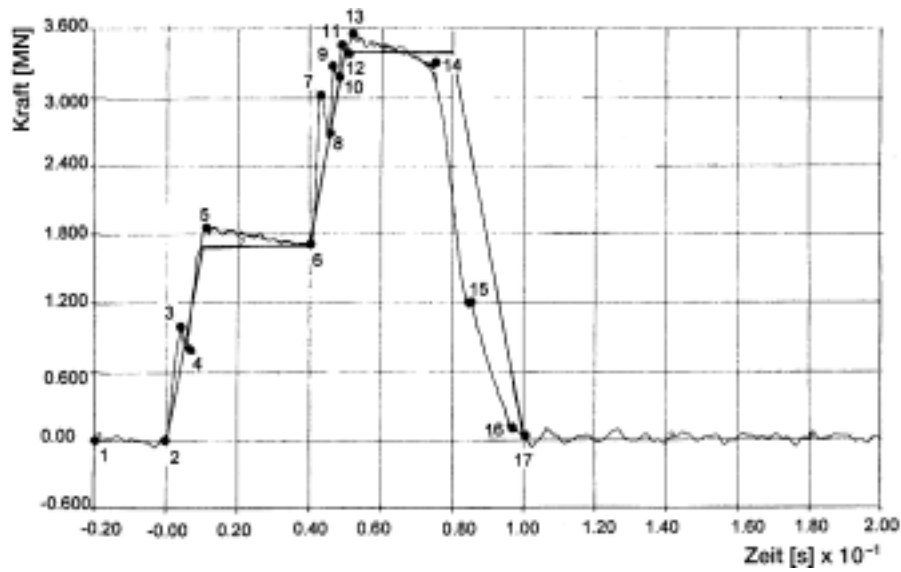


Fig. 3-30: Pendelstoß-Lastfunktion HDR /3-51/
(Gemessener summarischer Kraftzeitverlauf)

sten vom HDR-Gebäude (ca. 5 % der Flugzeugabsturzbelastung) abtragbaren Kraftniveau. Die Lastbegrenzung war trotz der eingeführten lokalen Ertüchtigungsmaßnahmen an der Außenschale erforderlich.

Bei der Auswertung der Erschütterungsübertragungsvorgänge wurden aus den über einen Zeitraum von 5 bzw. 14 s vorliegenden Daten jeweils nur bestimmte Zeitfenster betrachtet. Im allgemeinen wurden für den Kurzzeitbereich für die Darstellung der Anregung bzw. für Signallaufzeituntersuchungen Zeitfenster von 0,1 bis 1,0 Sekunden und für den Langzeitbereich für die Darstellung der globalen Antworten Zeitfenster von 0,5 bis 15 Sekunden verwendet.

Obwohl die erfassten Daten Frequenzen bis zu 1000 Hz enthalten, wurden die herangezogenen Versuchsergebnisse zur Erleichterung der Interpretation generell mit 100 Hz digital gefiltert.

Nach Beendigung der Lasteinleitungszeit kommt es zu einem nahezu monofrequenten Ausschwingungsvorgang mit 2,5 Hz (Fig.3-31). Die aus den geplanten und gemessenen Kraftzeitverläufen im Lasteinleitungsbereich abgeleiteten dynamischen Lastfaktoren mit den deutlich erkennbaren Überhöhungsbereichen bei 25 und 50 Hz sind aus Fig. 3-32 zu entnehmen.

Das Antwortverhalten des Reaktorgebäudes wurde durch die Messung von Beschleunigungszeitverläufen an der Außen- und Innenstruktur erfasst /3-52/. Für die Auswertungen wurden besonders die Messwerte in x-Richtung (Richtung des Stoßes) an einigen markanten Punkten der Außen- und Innenstruktur herangezogen. Nach einem in Abhängigkeit von der Entfernung zum Lasteinleitungsbereich unterschiedlichen Anregungsvorgang erreichen alle Zeitverläufe denselben Ausschwingungsvorgang mit 2,5 Hz.

Wie erwartet, tritt die Maximalbeschleunigung jeweils direkt an der Aufschlagstelle auf. Die maximalen Beschleunigungen nehmen zur Gebäudekuppel und zum Fundament hin klingen gleichmäßig ab und nehmen in der Innenstruktur vom Fundament zur Beladebühne hin wieder zu (Fig. 3-51).

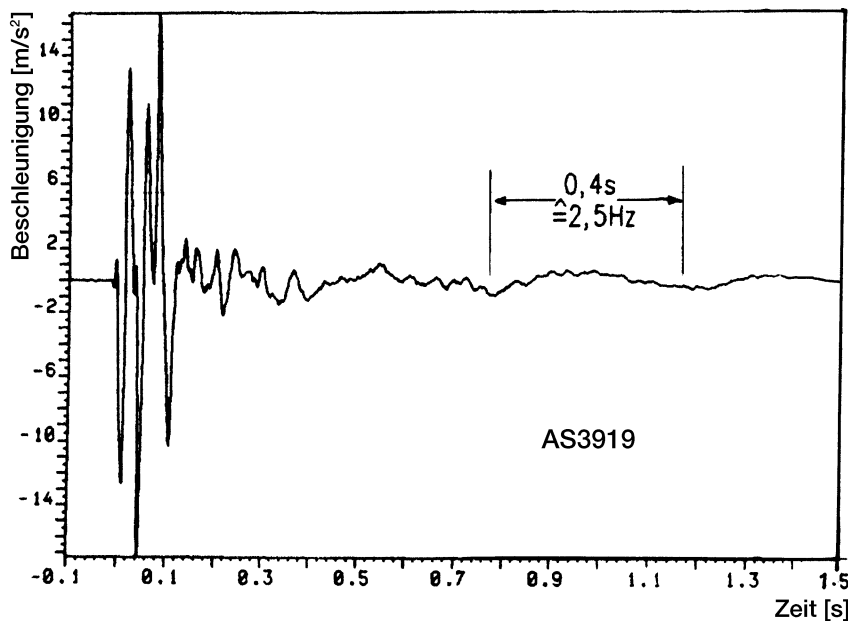


Fig. 3-31: Ausschwingverhalten gemessener Zeitverläufe an der Lasteinleitungsstelle /3-52/

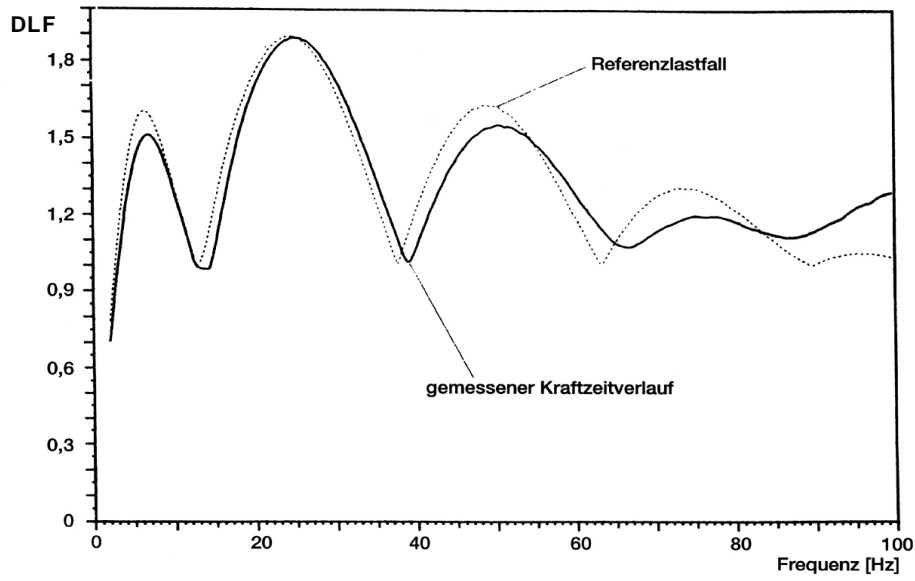


Fig. 3-32: Dynamischer Lastfaktor, abgeleitet vom gemessenen Kraftzeitverlauf /3-51/

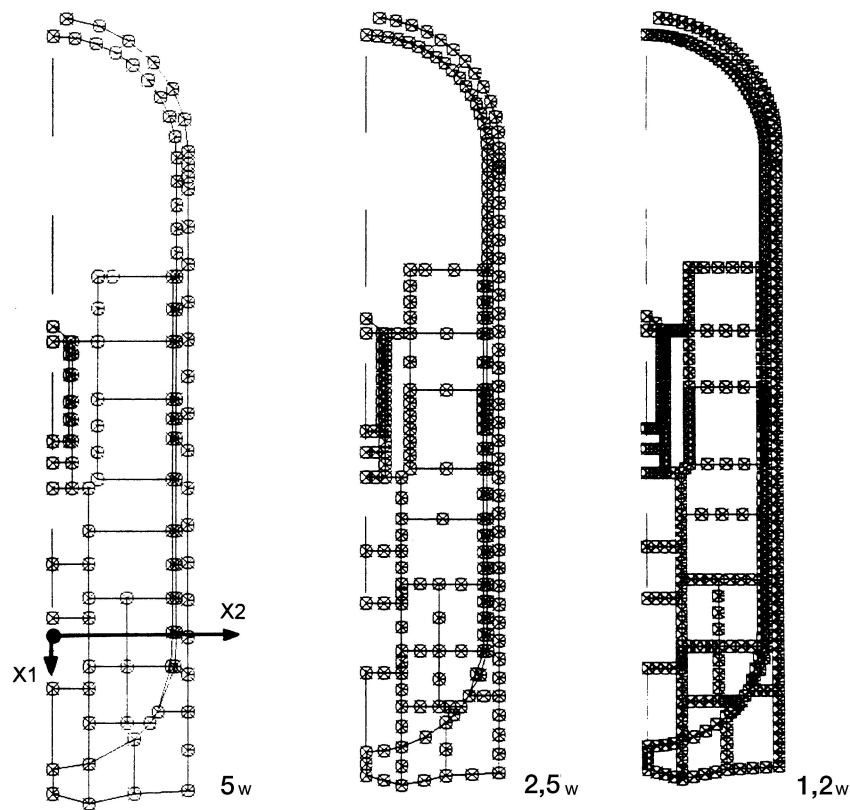


Fig. 3-33: Diskretisierungsvarianten

3.2.2 Voraus- und Nachberechnungen für das Reaktorgebäude des HDR

Im Vorfeld der geplanten Stoßversuche am HDR wurden Berechnungen von 6 beteiligten Institutionen durchgeführt. Von den Beteiligten wurden dabei verschiedene Rechenmodelle (Balkenmodelle, axisymmetrische Schalenmodelle sowie 3dimensionale Flächenelementmodelle) angewendet.

An den Vorausberechnungen war ebenfalls Siemens AG (KWU) beteiligt. In den o.g. Vorausberechnungen wurden die HDR-Strukturen anhand eines komplexen Schalenmodells abgebildet. Hiermit konnten insbesondere die Schalenschwingungen des Außencontainments zuverlässig erfasst werden. Die Strukturen des Innenbetons wurden anhand äquivalenter Ringelemente abgebildet. Ausgangspunkt der Modellabbildung waren die Eingangsdaten (die Geometrie, Massen und Materialdaten) des zum frühen Zeitpunkt (Erdbebenberechnungen) für das HDR-Gebäude erstellten FE-Schalenmodells.

3.2.2.1 Diskretisierung und Lastannahmen

Die Diskretisierung ($5w$) gemäß der früher durchgeführten Berechnungen /3-35/ wurde absichtlich als größtes Rechenmodell-Variante beibehalten (s. Fig.3-33). Ausgehend hiervon wurde das Modell in zwei Folgeschritten verfeinert, wobei ein Verfeinerungsgrad von jeweils ca. Faktor 2 angenommen wurde. Die Länge der Schalenelemente betrug entsprechend ca. 3 m, 1,5 m und 0,75 m. Bei der Wandstärke der Außenschale von ca. $w = 0.6$ m entspricht der Diskretisierungsmaßstab dem Vielfachen der Wandstärke von ca. $5w$, $2,5w$ und ca. $1,2w$. Der Diskretisierungsgrad (die Elementlänge) der Innenstrukturen war vergleichbar.

Der Einfluss der Boden-Bauwerk-Wechselwirkungseffekte wurde anhand von äquivalenten Steifigkeiten und Dämpfungen erfasst, die einem mittelsteifen ($G = 600 \text{ MN/m}^2$) Baugrund entsprechen.

Die Belastung wurde anteilmäßig (25%, 50%, 25%) auf drei Ringelemente im Meridian-Schnitt aufgebracht (Fig. 3-35). In Umfangsrichtung wurde das Lastprofil anhand von 10 Fouriergliedern erfasst.

Die Berechnung der Strukturantworten erfolgte bei allen Modellvarianten unter Berücksichtigung von 11 Harmonischen (0 bis 10) und Erfassung aller Eigenfrequenzen im Bereich bis ca. 80 Hz. In den neuen Parameterstudien wurde (abweichend zu den früher durchgeführten Vorausberechnungen /3-55/) die während eines Aufprallversuchs gemessene Last-Zeitfunktion (Fig. 3-30) angenommen. Das Strukturverhalten wurde für einen Zeitraum von 1500 ms bei einem Zeitschritt von 2 ms berechnet. Es wurden die Zeitverläufe der Weggrößen (Wege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen) sowohl für charakteristische Punkte an der Außenschale als auch die Innenstruktur ermittelt (Fig. 3-35). Die Berechnung wurde unter Anwendung eines in der Reaktorindustrie erprobten und weiterentwickelten Rechenprogramms MESY /3-42/ durchgeführt.

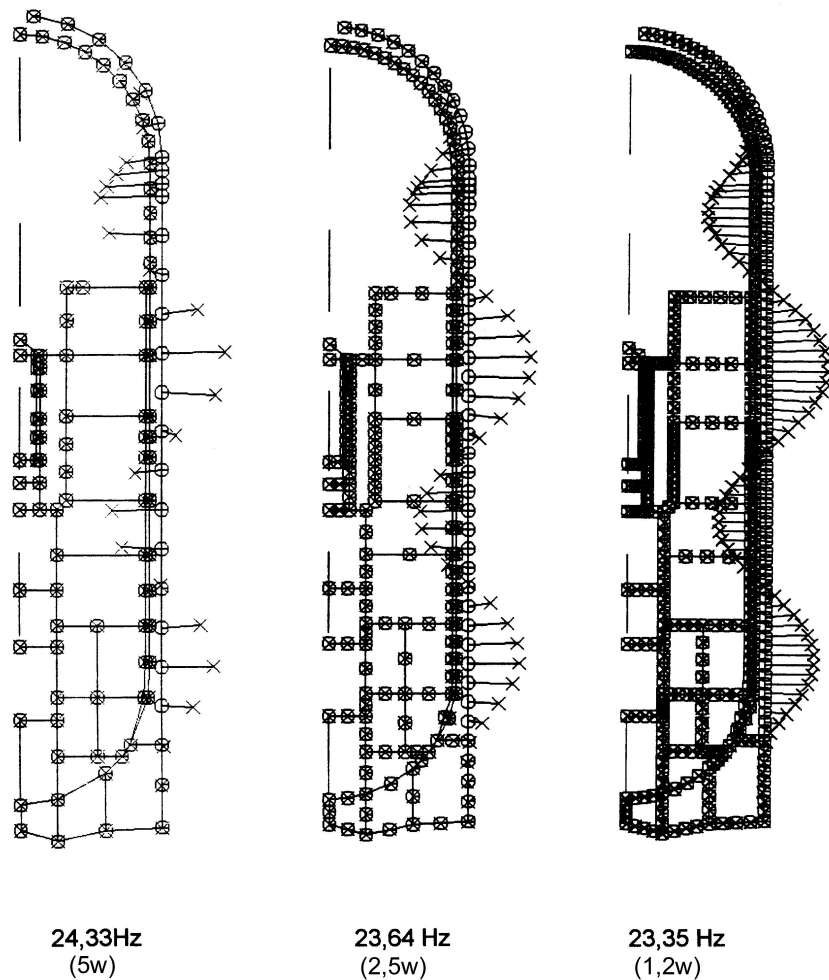


Fig.3-34: Typische Eigenformen: 4. Harmonische, 5. Eigenfrequenz

3.2.2.2 Charakteristische Ergebnisse

Analysiert man als erstes die mittels der in Fig. 3-34 dargestellten Rechenmodelle ermittelten dynamischen Charakteristiken, so kann festgestellt werden, dass der Diskretisierungsgrad des Bauwerks auch bei Anwendung axisymmetrischer Rechenmodelle von Bedeutung ist. Mit steigendem Diskretisierungsgrad verschieben sich die Eigenfrequenzen in den tieferen Bereich (Tab.3-3). Die Tendenz ist hier vergleichbar mit derjenigen bei Diskretisierungen von Platten oder kastenförmigen Modellbauwerken mit 3D-Modellen (s. Punkte 3.3.5.3 und 3.3.5.4). Bei Anwendung kürzerer Ringelemente gelangt man für die gleiche Eigenform zu niedrigeren Eigenfrequenzen. Weitere Informationen hierzu können Anhang 3, Teil 1 /8-1/ entnommen werden. Weniger beeinflusst durch den Diskretisierungsgrad werden die Eigenformen (z.B. die 5. Eigenform der 4. Harmonischen) (Fig. 3-34).

Erste Eigenfrequenz in der jeweiligen Harmonischen	Diskretisierung (Elementlänge)		
	5w (3 m) Eigenfrequenz [Hz]	2,5w (1,5 m) Eigenfrequenz [Hz]	1,2w (0,75 m) Eigenfrequenz [Hz]
0/1 Harmonische	3,85	3,77	3,54
0/2	4,73	4,72	3,76
1	1,54	1,53	1,51
2	5,81	5,72	5,70
3	7,51	7,45	7,45
4	12,3	12,34	12,33
5	18,37	16,21	15,42

Tab. 3-3: Grundfrequenzen der ersten fünf Harmonischen

Der Vergleich der Verschiebungs- und Beschleunigungszeitverläufe führt zu der Erkenntnis, dass alle drei Modelle in etwa die gleichen Ergebnisse (Fig. 3-36 und 3-37 sowie 3-38 und 3-39) liefern. Bei den gröberen Diskretisierungen ist jeweils eine größere Verzögerung der Wellenausbreitungsvorgänge erkennbar. Anhand des Vergleichs der Beschleunigungsantwortspektren ist jedoch der Einfluss der Diskretisierung schon gut erkennbar. Alle Diskretisierungen (von 1,2w, 2,5w und 5w) liefern relativ gut vergleichbare, sich gegenseitig stützende Ergebnisse. Erst gröbere Diskretisierungen würden zu abweichenden Ergebnissen führen.

Zwischen dem Lasteinleitungspunkt und den entfernten Beobachtungspunkten der Außenschale kann ein starkes Abklingen der Beschleunigung festgestellt werden (Fig. 3-42). Der Einfluss des Diskretisierungsgrades auf die Antworten der Außenschale führt zu Abweichungen von Maximalwerten der Beschleunigungen. Dies manifestiert sich am stärksten im beaufschlagten Bereich.

Im Falle der Anwendung von Schalenelementen ist der erforderliche Feinheitsgrad der Diskretisierung geringer als bei 3D-Flächenelementmodellen. Eine Elementlänge der Ringelemente bis ca. 8w scheint zulässig zu sein. Analysiert man die mit drei Modellvarianten ermittelten Ergebnisse, so gelangt man zu der Feststellung, dass der diskretisierungsgradbedingte Streubereich der Ergebnisse viel geringer ist als bei Flächenelementmodellen (vergl. Abschnitt 3.3.5.3 und 3.3.3.4).

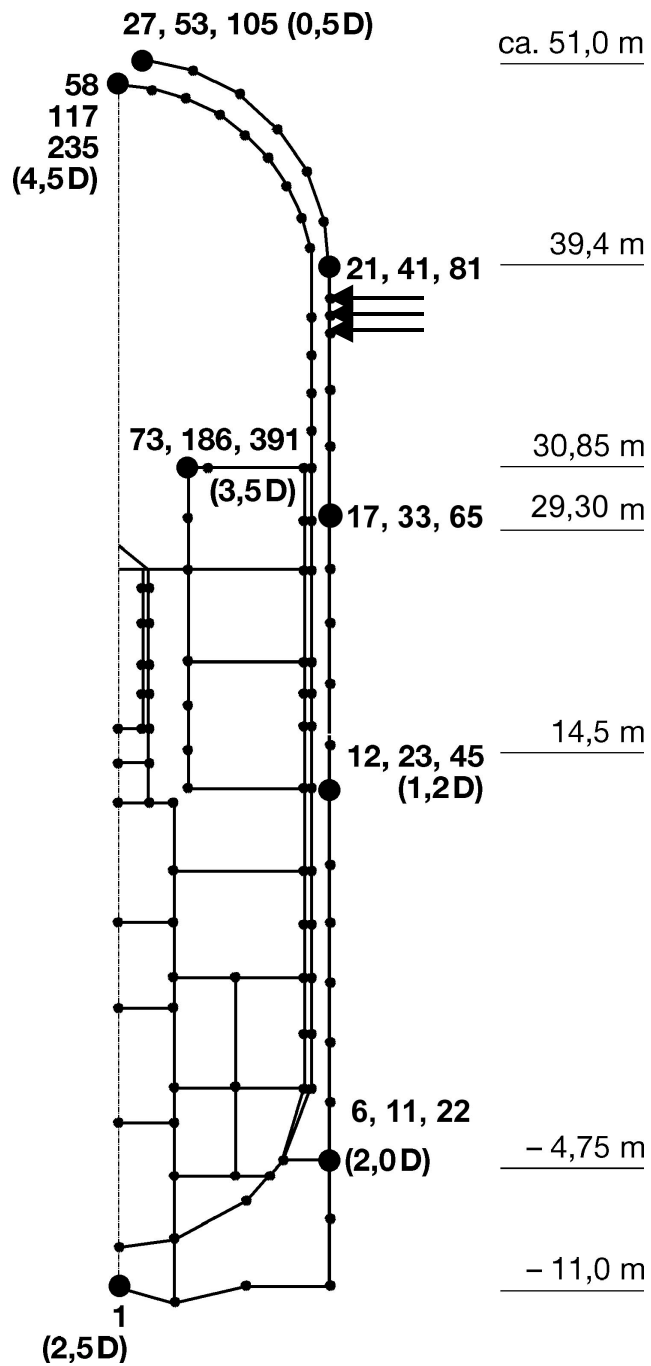


Fig. 3-35: Charakteristische Beobachtungspunkte (Ausgabepunkte von Strukturantworten) /3-55/

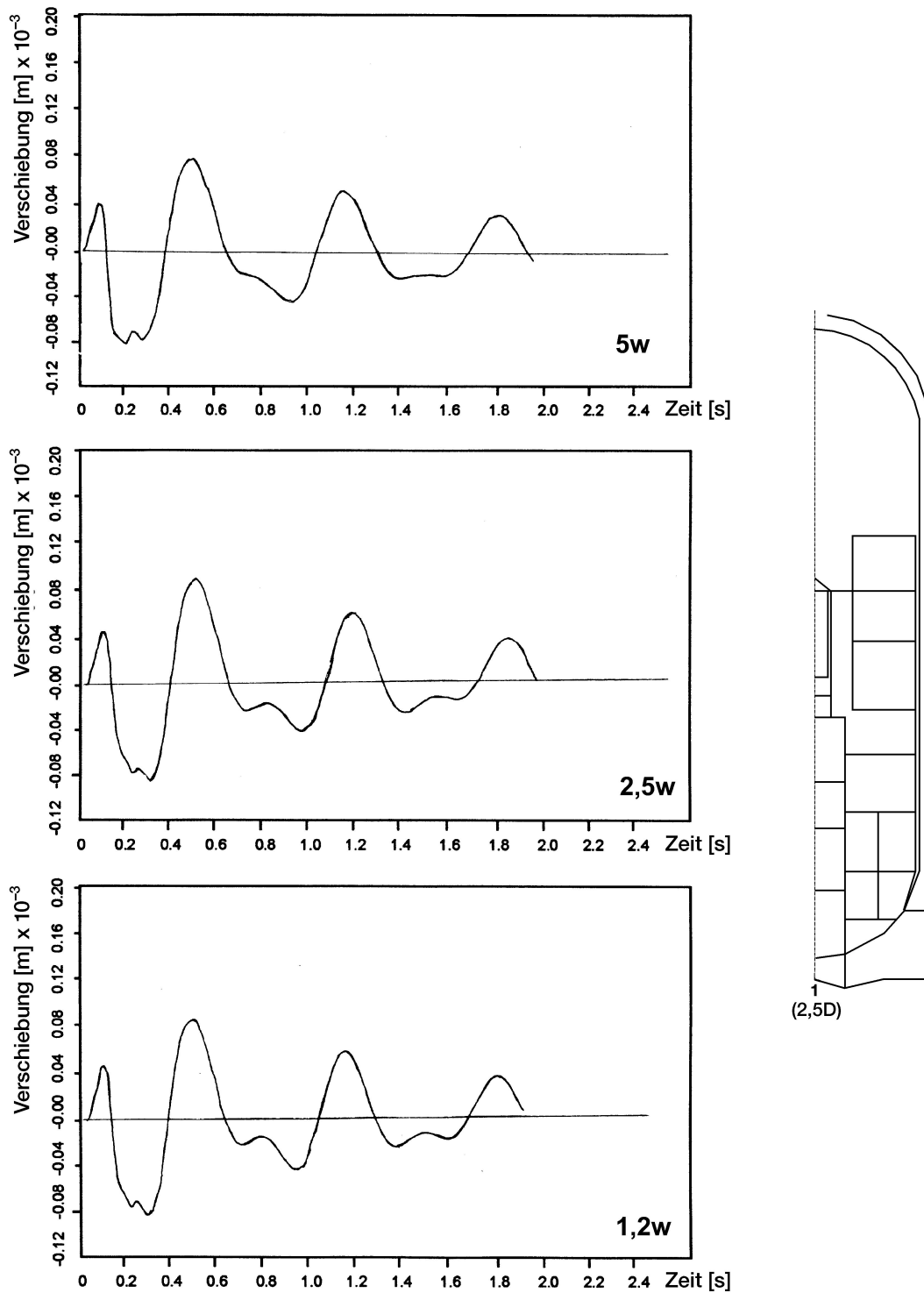


Fig. 3-36: HDR-Außenstrukturen
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen im charakteristischen Beobachtungspunkt ca. 2,5D (Fundamentbereich) bei verschiedenem Diskretisierungsgrad des Bauwerks
• Pendelstoßbelastung

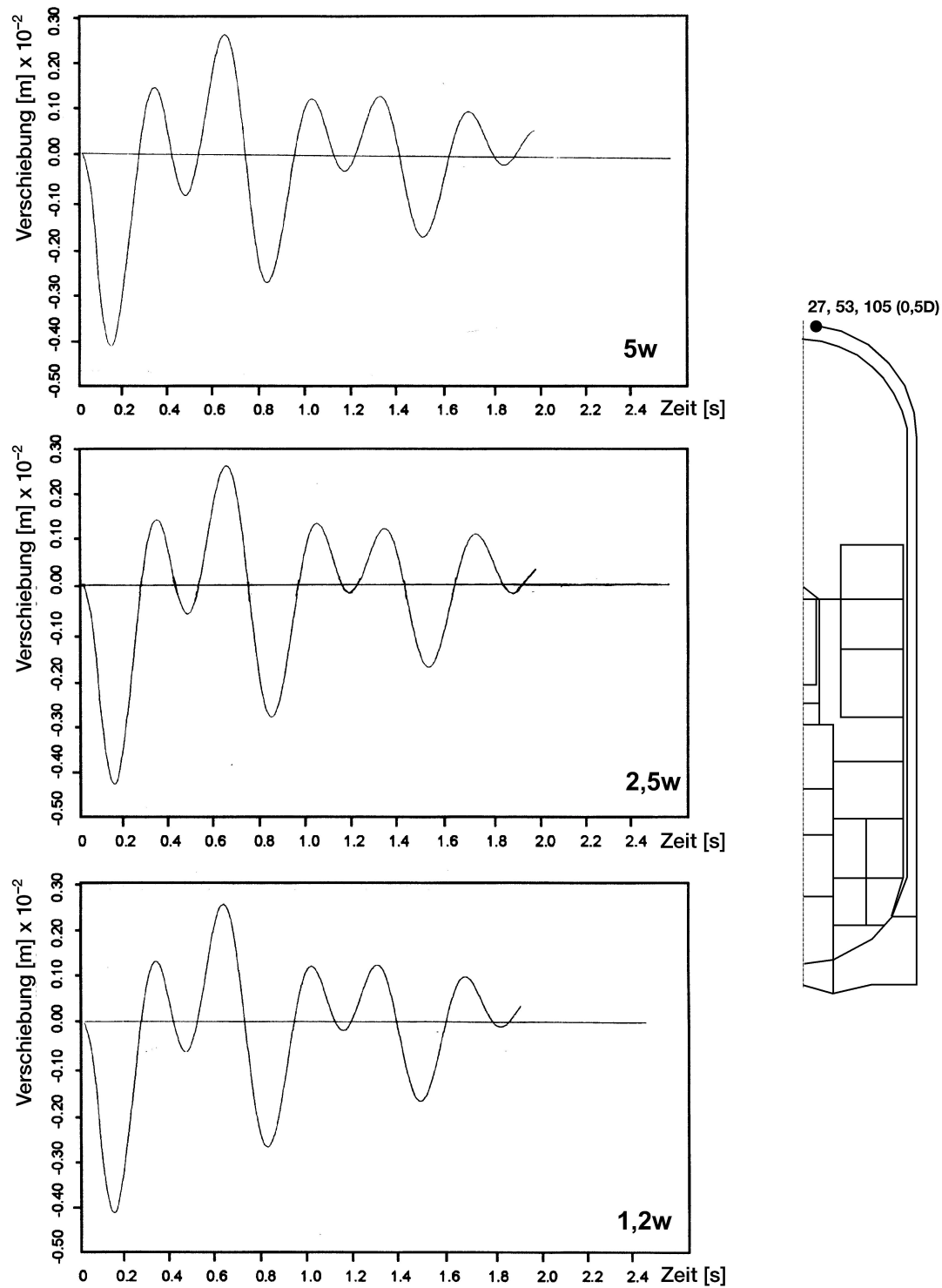


Fig. 3-37: HDR-Außenstrukturen
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen im charakteristischen Beobachtungspunkt 0,5D (Gebäudekuppel) bei verschiedenem Diskretisierungsgrad des Bauwerks
• Pendelstoßbelastung

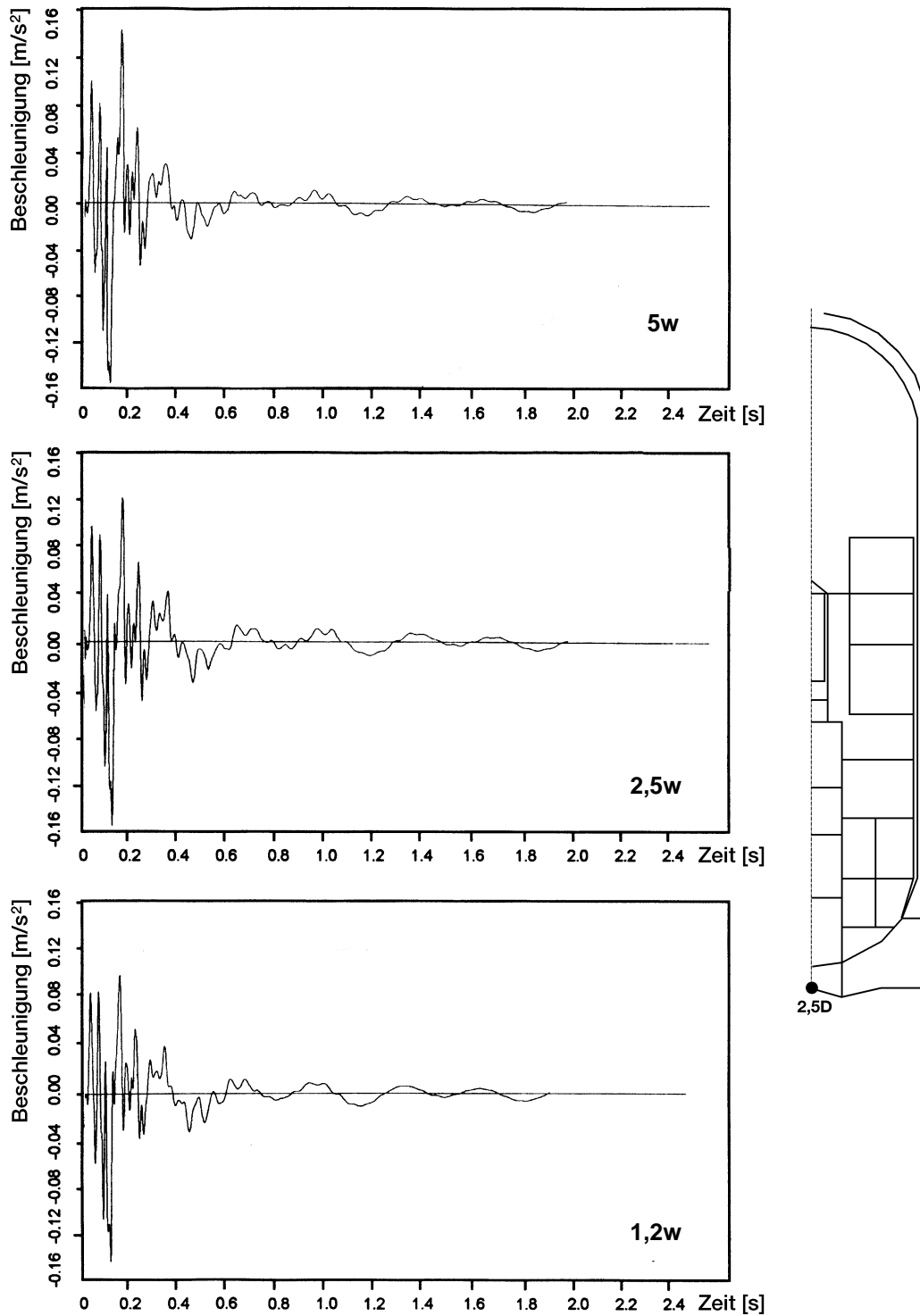


Fig. 3-38 HDR-Außenstrukturen
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen im charakteristischen Beobachtungspunkt ca. 2,5D
(Fundamentbereich) bei verschiedenem Diskretisierungsgrad des Bauwerks
• Pendelstoßbelastung

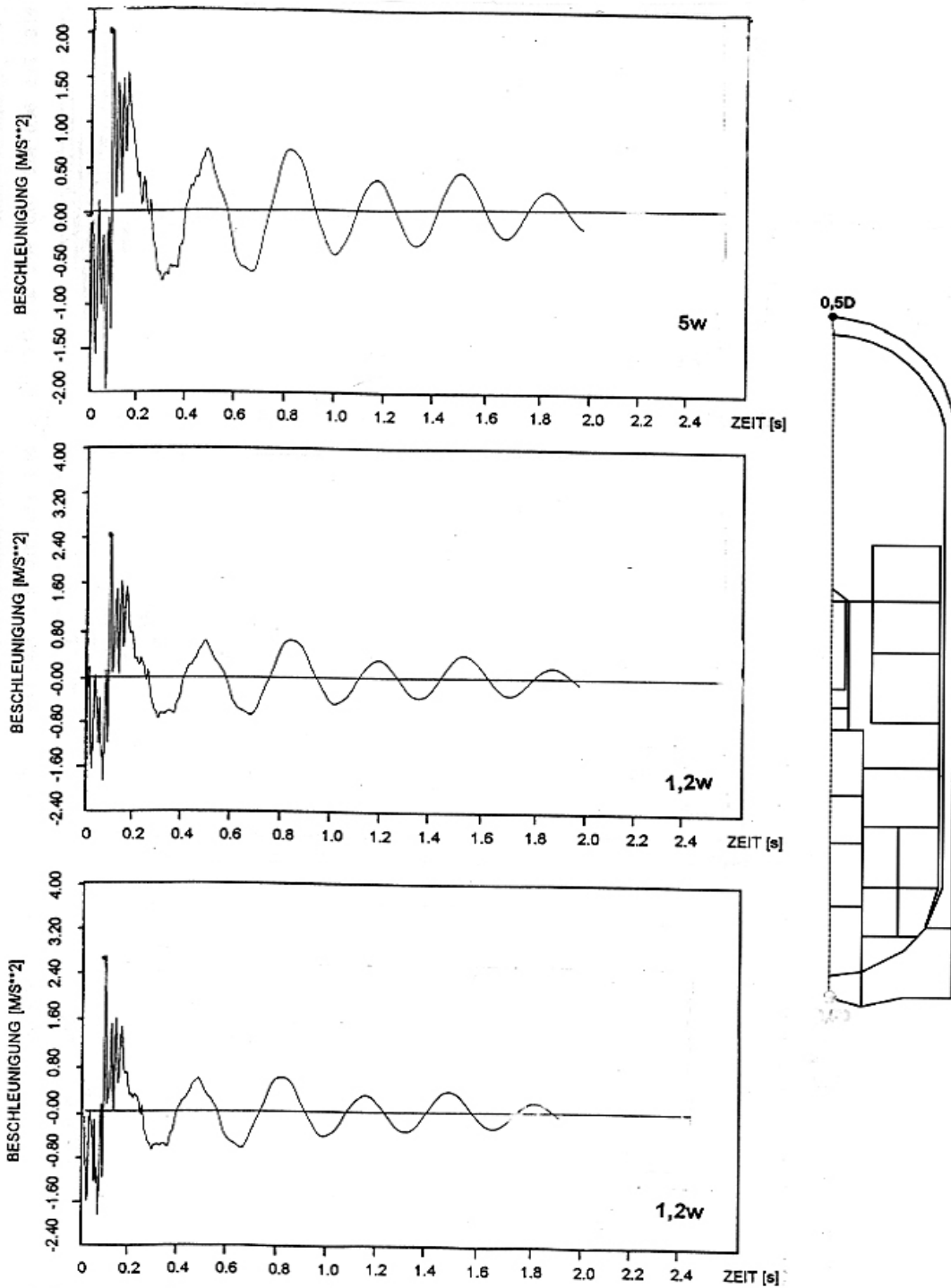


Fig. 3-39: HDR-Außenstrukturen
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen im charakteristischen Beobachtungspunkt 0,5D (Gebäudekuppel) bei verschiedenem Diskretisierungsgrad des Bauwerks
• Pendelstoßbelastung

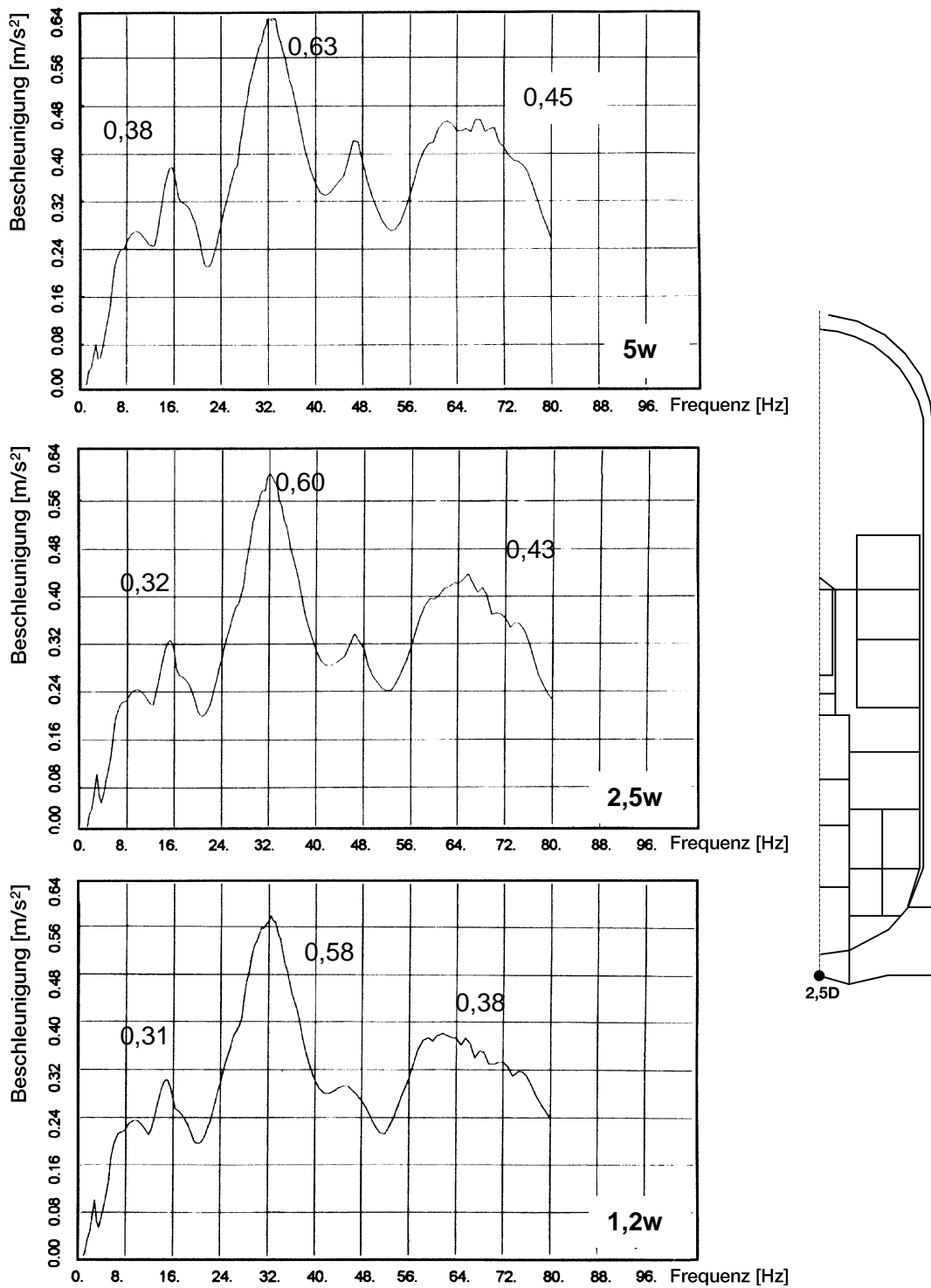


Fig. 3-40: HDR-Außenstrukturen
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren im charakteristischen Beobachtungspunkt 2,5D (Fundamentbereich) bei verschiedenem Diskretisierungsgrad des Bauwerks
• Pendelstoßbelastung

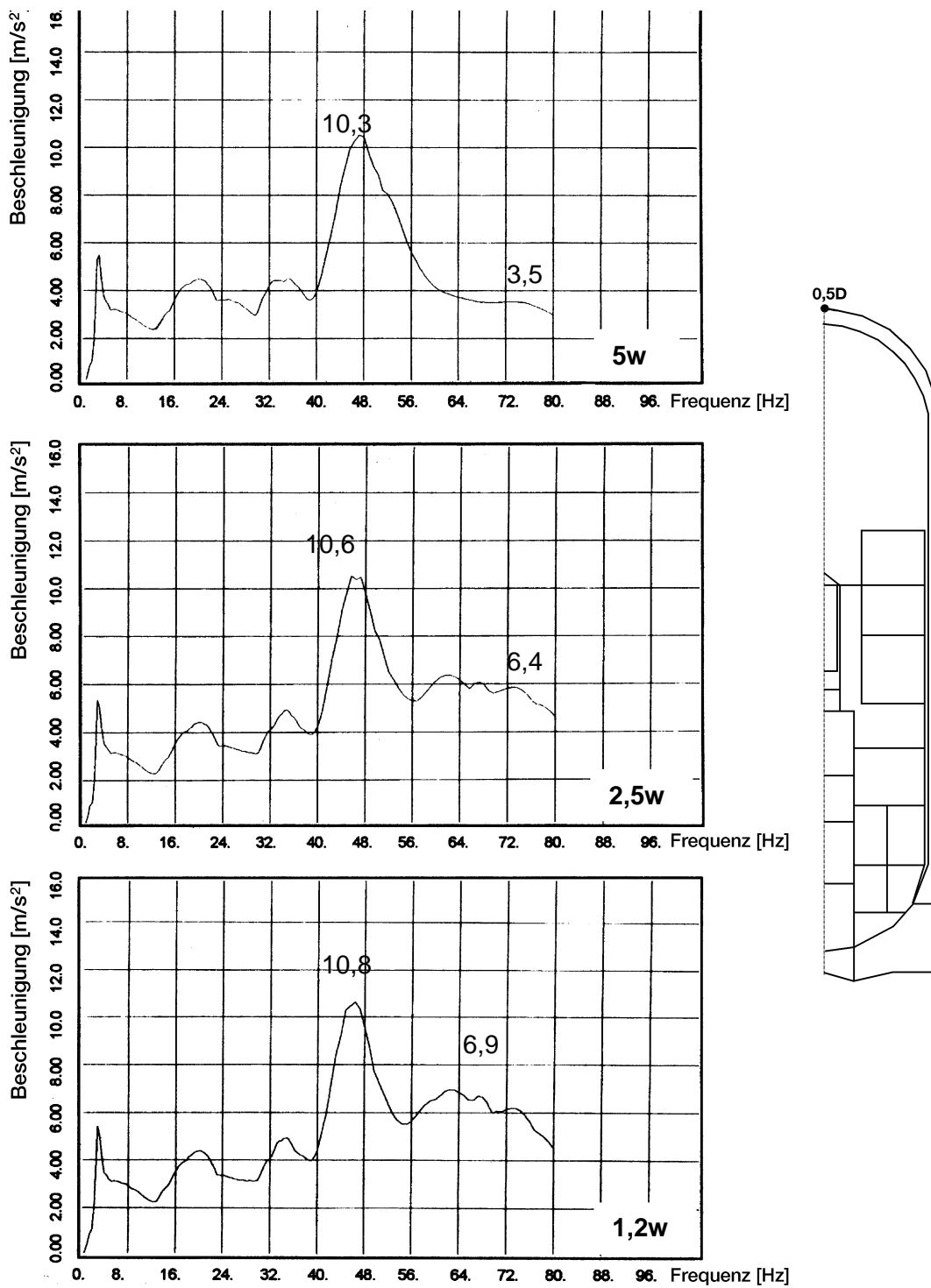


Fig. 3-41: HDR-Außenbereich
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektrern im charakteristischen Beobachtungspunkt 0,5D (Gebäudekuppel) bei verschiedenem Diskretisierungsgrad des Bauwerks
• Pendelstoßbelastung

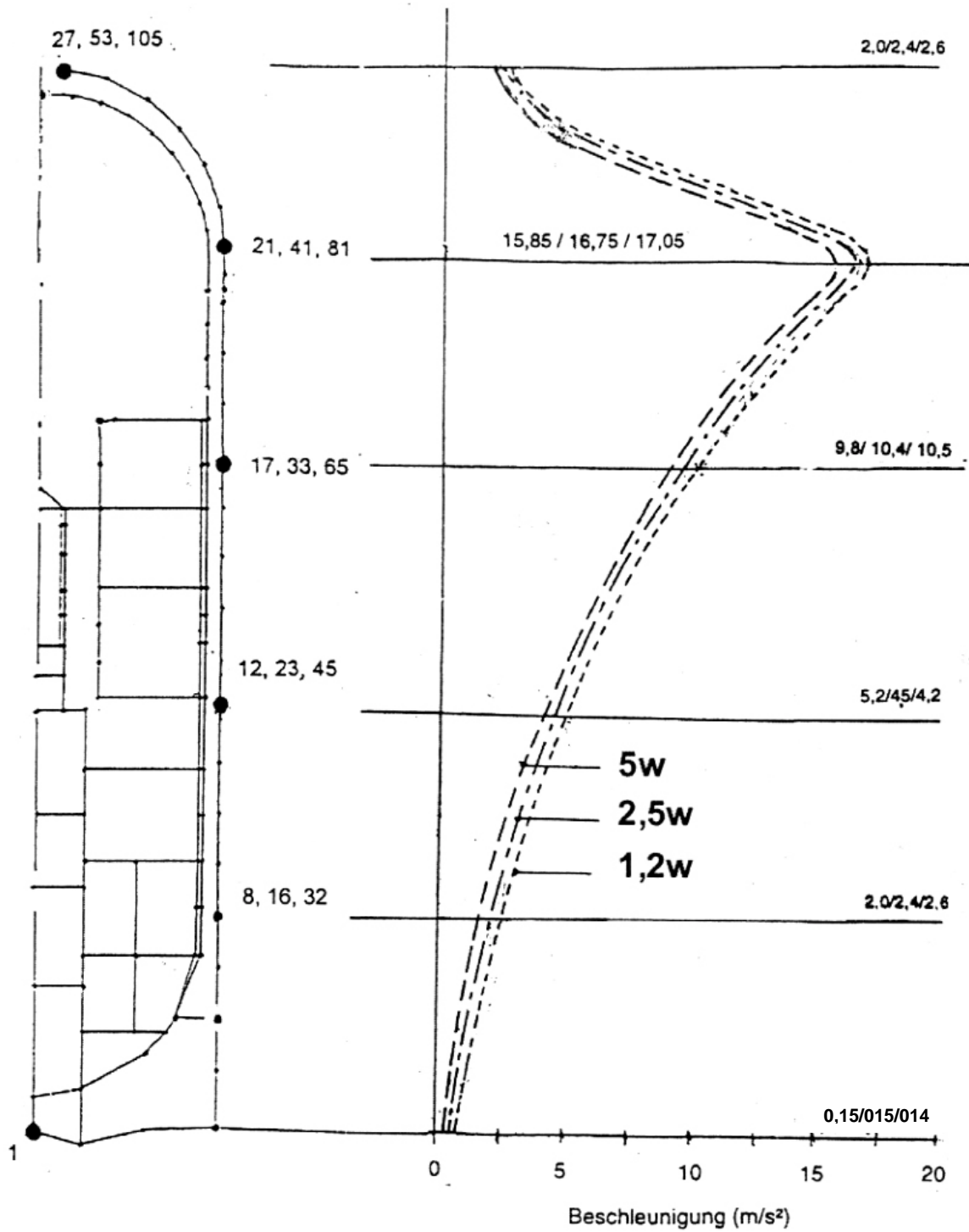


Fig. 3-42: Einfluss des Diskretisierungsgrades der Achsenshale auf die Aussagekraft von Berechnungen mit FE-Rechenmodellen

3.2.3 Vergleich von Mess- und Rechenergebnissen

Eine Bewertung der Aussagekraft analytischer Ergebnisse im Hinblick auf die Erschütterungsübertragungsvorgänge kann durch Vergleich der berechneten und gemessenen Zeitverläufe der Beschleunigung sowie der abgeleiteten Response-Spektren erfolgen.

Die unter Zugrundelegung der gemessenen Belastungsfunktionen (Fig. 3-30) für charakteristische Bereiche der Außenschale sowie der Innenstruktur analytisch ermittelten Ergebnisse (Abschnitt 3.2.2) werden daher in diesem Abschnitt mit den durch Versuch ermittelten Strukturantworten (insbesondere die Zeitverläufe und Antwortspektren der Beschleunigung) verglichen.

Der Vergleich der Mess- und Rechenergebnisse wurde für den Referenzversuch T42-16 in den folgenden charakteristischen Beobachtungspunkten vorgenommen (Fig. 3-43):

Außenhülle

- Scheitelpunkt der Beton-Außenhülle
- Lasteinleitungsbereich
- Zylinderschale oberer Bereich
- Zylinderschale unterer Bereich

Innenstruktur

- Unterstützungsbeton (Fundament)
- Beladebühne (30 m)
- Scheitelpunkt Stahlcontainment

Ausgangspunkt der Bewertung der Aussagekraft der FE-Rechenmodelle waren daher analytische Ergebnisse, die auf der Basis neutraler Vorausrechnungen mit einer Diskretisierung von $5w$ [3-55] und den relevanten Versuchsergebnissen [3-53] vorgenommen wurden.

3.2.3.1 Beschleunigungszeitverläufe

Scheitelpunkt der Außenhülle (Fig. 3-44)

Der Vergleich der Beschleunigungen erfolgt für den Zeitbereich von 0 bis 0,5 Sekunden (3-44 bis 3-50). Die gemessenen Beschleunigungen sind mit 100 Hz tiefpassgefiltert, um einen besseren Vergleich mit den Berechnungen zu ermöglichen. Ergänzend hierzu wird die Verteilung der Beschleunigungen über die Höhe der Außenhülle und der Innenstrukturen gegenübergestellt (Fig.3-51).

Die gemessene Beschleunigung der Kuppelspitze erreicht während der Belastungsphase Werte bis $2,4 \text{ m/s}^2$ und deutet danach dominant die Biegeeigenfrequenz an. Höherfrequente Schwingungsteile klingen nach Ende der Belastung rasch ab.

Die maximalen Beschleunigungen während der Belastungsphase werden durch die Berechnung gut wiedergegeben, wobei teilweise höherfrequente Anteile deutlicher als bei der Messung auftreten.

Die höherfrequenten Schwingungsanteile nach Belastungsende werden von den Berechnungen auch gut wiedergegeben, allerdings mit einer anscheinend zu kleinen Dämpfung.

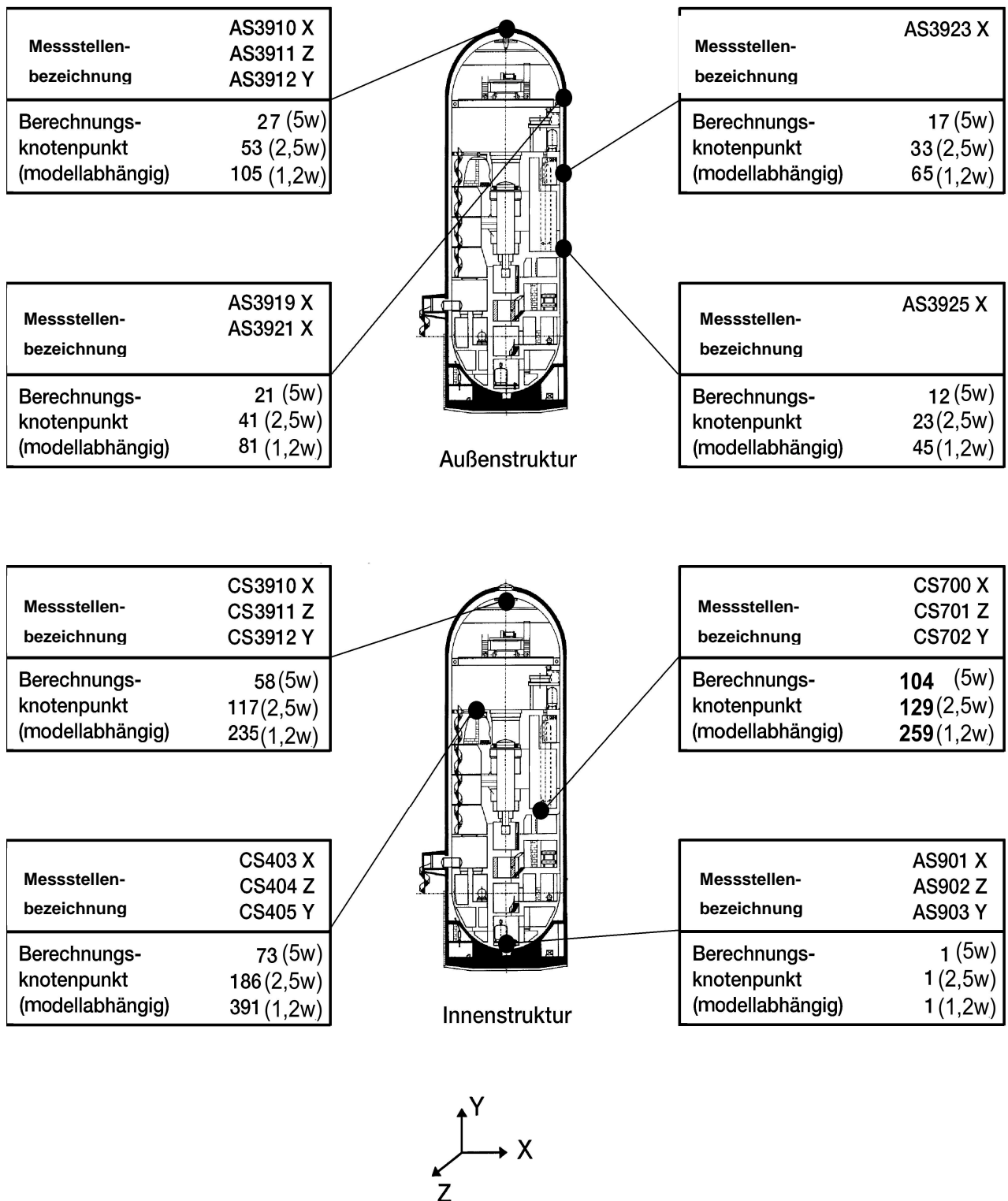


Fig. 3-43: Charakteristische Ausgabebereiche der Mess- und Rechenwerte (Bezeichnung der Messstellen und Berechnungsknotenpunkte)

Lasteinleitungsbereich (Fig. 3-45)

Die Beschleunigung im Auftreffbereich wird hauptsächlich durch die eingeleitete Lastfunktion bestimmt. Während des Impulses werden Beschleunigungen bis $17,5 \text{ m/s}^2$ erreicht. Nach deutlich erkennbarem Stoßende kommt es zu einem Ausschwingvorgang in der gegenphasigen Biegung. Dies bezieht sich sowohl auf die Belastungsphase als auch auf den Ausschwingvorgang im allgemeinen. Es ist lediglich ein Unterschied im Abklingverhalten höherfrequenter Schwingungsanteile zu erkennen.

Es kann festgestellt werden, dass die Beschleunigungen für den Aufprallbereich sowie dem benachbarten Zylinderbereich durch die Berechnungen zutreffend ermittelt wurden.

Relativ gut vergleichbar ist auch der Charakter der Zeitverläufe der Beschleunigungen im unteren Zylinderbereich der Außenhalle (Fig. 3-46) sowie im Fundamentbereich (Fig. 3-50). Mit wachsendem Abstand von der Lasteinleitungsstelle sind jedoch zunehmend größere Unterschiede in den Beschleunigungsamplituden sowohl in der Belastungsphase als auch in der Abklingphase der Zeitverläufe zu beobachten.

30-m-Bühne (Fig. 3-48)

Die gemessene Beschleunigung der 30-m-Bühne erreicht einen Wert von $0,42 \text{ m/s}^2$ und ist hauptsächlich durch die Biegeeigenfrequenz charakterisiert.

Die berechneten Beschleunigungen stimmen in der Amplitude gut mit den gemessenen überein. Die zu Beginn des Stoßes mitangeregten höherfrequenten Schwingungen sind von den Berechnungen gut wiedergegeben. Die Phasenverschiebungen ergeben sich, wie bei der Kuppelspitze, durch die unterschiedlichen Eigenfrequenzen der Biegemodes.

Die in den Beobachtungspunkten der Innenstrukturen verglichenen Zeitverläufe (Fig. 4-47 bis 3-49) deuten auf eine höhere Grundfrequenz bei den berechneten als bei den gemessenen Zeitverläufen hin.

Diese Feststellung ist auf die getroffenen Annahmen hinsichtlich der Erfassung der Eigenschaften der zwischen den Innen- und Außenstrukturen angeordneten Weichstoffschicht zurückzuführen. Der Charakter der Zeitverläufe sowie die Beschleunigungsamplituden sind jedoch gut vergleichbar.

3.2.3.2 Maximalwerte der Beschleunigung

Die gemessenen maximalen Beschleunigungen im beaufschlagten Bereich klingen entlang der Außenschale sowohl in Richtung des Scheitelpunktes der Kuppel als auch zum Fundament hin stetig ab (Fig. 3-51).

Die Maximalwerte der gemessenen Beschleunigungsamplitude betragen ca. $17,5 \text{ m/s}^2$ im direkten Lasteinleitungsbereich.

Bei den neuen Parameterstudien wurden (abhängig vom gewählten Diskretisierungsgrad) maximale Beschleunigungen an der Auftreffstelle von ca. $15,9 \text{ m/s}^2$ bis $17,0 \text{ m/s}^2$ ermittelt (Fig. 3-42).

Die gemessenen Beschleunigungen der Kuppelkappe (Fig. 3-44) erreichten während der Belastungsphase Werte bis ca. $2,4 \text{ m/s}^2$ und lassen die Dominanz der Biegeeigenfrequenz sowie der hochfrequenten Schwingungsanteile erkennen, die am Ende der Belastung rasch abklingen.

Der Charakter der vertikalen Beschleunigungen der Kugelkappe wird durch die Berechnungen relativ gut wiedergegeben, wobei in der Belastungsphase die gemessenen Beschleunigungsamplituden größer sind. Im übrigen Bereich der Außenhülle sind die gemessenen und die berechneten Beschleunigungsverläufe qualitativ und quantitativ gut vergleichbar. Die Abweichungen im unteren Zylinderbereich können auf den Unterschied zwischen der real vorhandenen und der für den Stahlbeton angenommenen Materialdämpfung von 5% und auf den in diesem Bereich während der Stoßbelastung zu erwartenden niedrigen Beanspruchungszustand zurückgeführt werden.

Der Abfall der maximalen horizontalen Beschleunigungswerte vom beaufschlagten Bereich zur Kuppel und zum Fundament hin wird durch die Berechnung relativ gut wiedergegeben. Die Maximalwerte im Aufprallbereich als auch an der Kuppelspitze unterscheiden sich zwischen Messung und Berechnungen kaum (Fig. 3-51).

Die an der Innenstruktur berechneten und gemessenen Beschleunigungen stimmen bis zur 30-m-Bühne auch relativ gut überein. Die berechneten und gemessenen Beschleunigungen der 30-m-Bühne mit Werten von $0,42 \text{ m/s}^2$ und $0,46 \text{ m/s}^2$ sind fast identisch.

Es kann festgestellt werden, dass in der übergreifenden Struktur die berechneten und gemessenen, maximalen Beschleunigungen relativ gut übereinstimmen. Gut erfasst wurden auch die zu Beginn des Stoßes gemessenen höherfrequenten Schwingungen. Die festgestellten Phasenverschiebungen in den Zeitverläufen sind u. a. auf die in der Berechnung angenommenen Bodenkennwerte sowie die Vernachlässigung des stützenden Einflusses der zwischen dem Innenbeton, Containment und der Außenschale angeordneten Weichschicht zurückzuführen, die wohl nicht vollends den reellen Gegebenheiten entsprechen.

Einen Besonderheitswert haben die in Fig. 3-55 dargestellten gemessenen Beschleunigungszeitverläufe. Anhand dieser für charakteristische Bereiche erfassten Beschleunigungszeitverläufe können sowohl die Verzögerung der Ankunftszeit der Stoßwellen in dem jeweiligen Bereich als auch das Abklingverhalten der Strukturantworten deutlich erkannt werden.

Bezogen auf den Zeitpunkt Null des Aufschlags des Pendels benötigt die Stoßwelle eine Zeit von ca. 15 ms, um die Fundamentplatte zu erreichen, d.h. um eine Strecke von ca. 2,5-fachen Durchmesser ($2,5 D$) zu durchlaufen. Um von dort zur Beladebühne zu gelangen (Abstand ca. $3,5 D$), wird jedoch mehr als die doppelte Zeit benötigt (31 ms). Im Bereich des Scheitelpunktes des Stahlcontainments kommen diese Stoßwellen dagegen schon in ca. 48 ms an, obwohl der Abstand (in etwa $4,5 D$) größer ist.

Die Erklärung ist in der konstruktiven Ausführung im Verbindungsbereich Betonsitz-Containment-Innenbeton zu suchen. Das Stahlcontainment liegt satt auf dem Betonsitz auf. Die Stoßwellen werden daher von der Fundamentplatte unbehindert auf das Containment übergeleitet. Zwischen dem Innenbeton und der Stahlschale gibt es in der Regel eine Isolierschicht (Bitumen), welche die Weiterleitung der Stoßwellen verzögert. Somit wird für den Erschütterungsübertragungsvorgang Fundamentplatte-Beladebühne in bezug auf die zu durchlaufende Strecke eine längere Zeit benötigt.

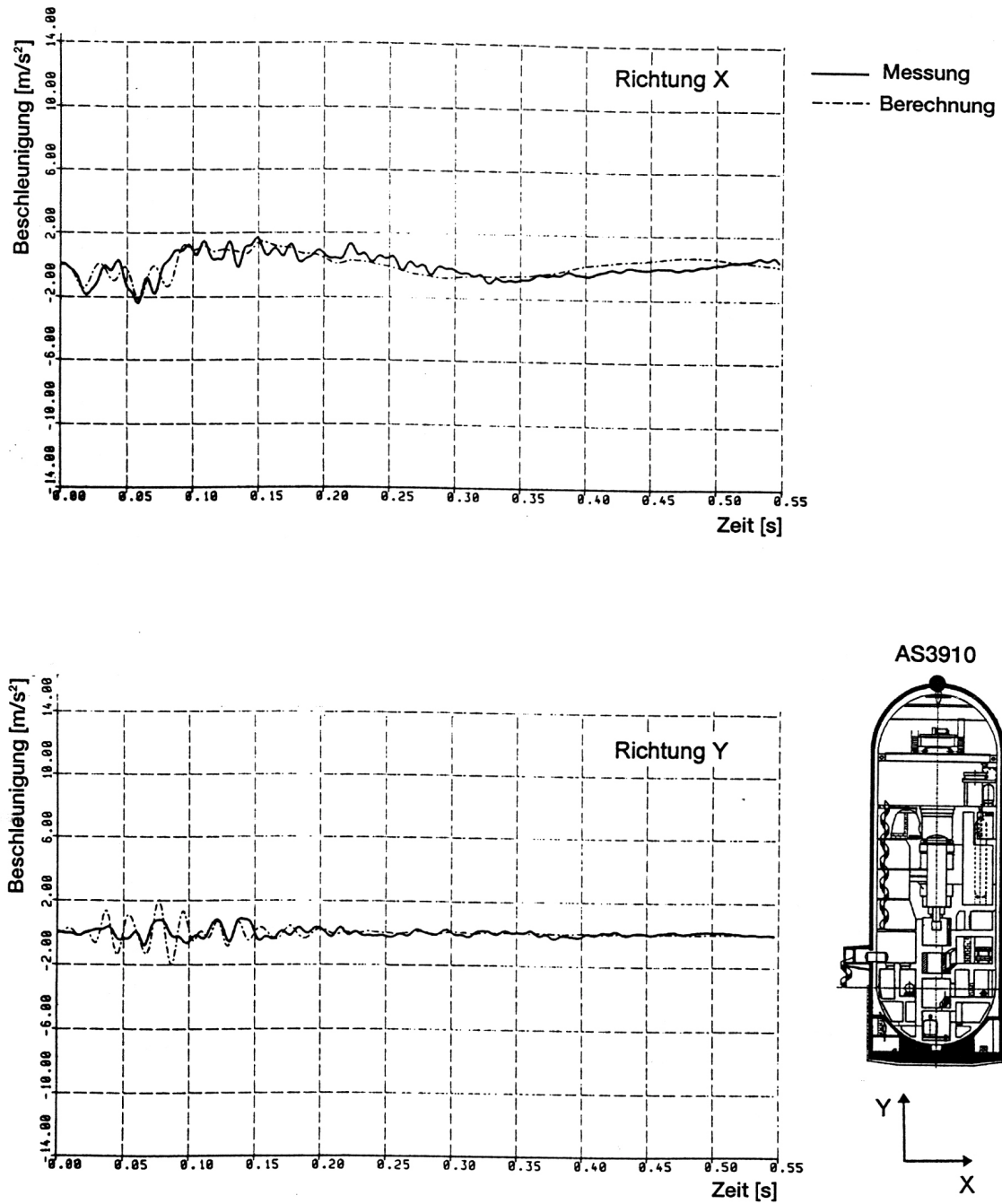


Fig. 3-44: Berechnete und gemessene Beschleunigungszeitverläufe /3-55/, /3-53/ Kuppelbereich der Außenschale (AS 3010)

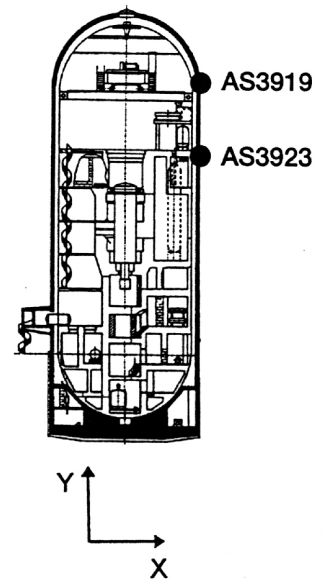
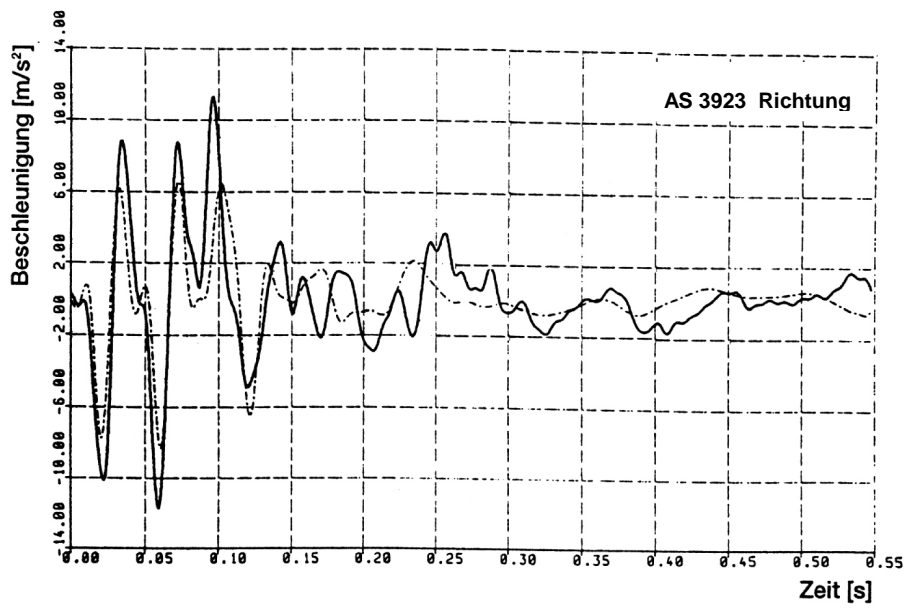
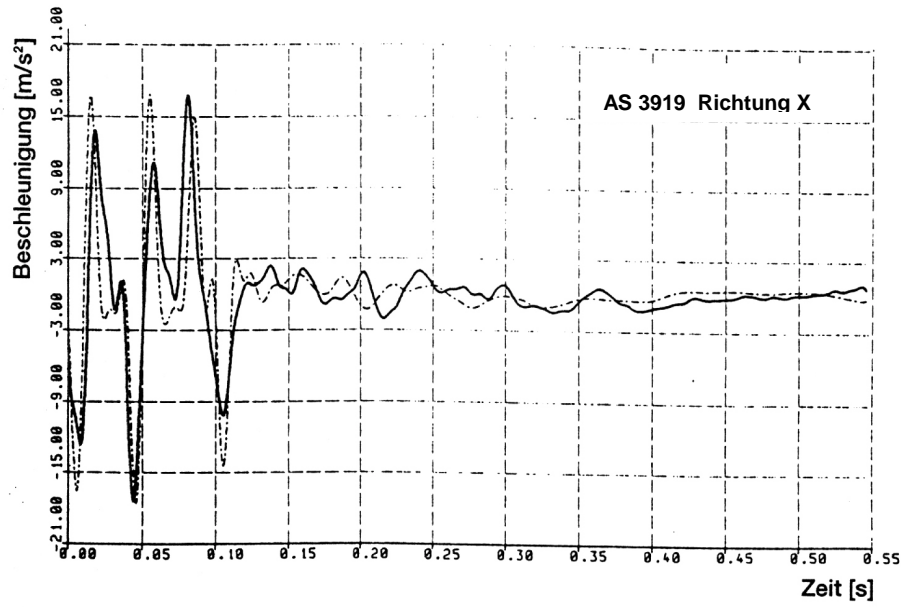


Fig. 3-45: Berechnete und gemessene Beschleunigungszeitverläufe /3-55/, /3-53/ Zylinderbereich der Außenschale

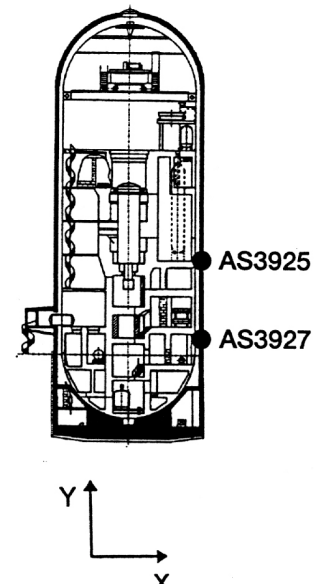
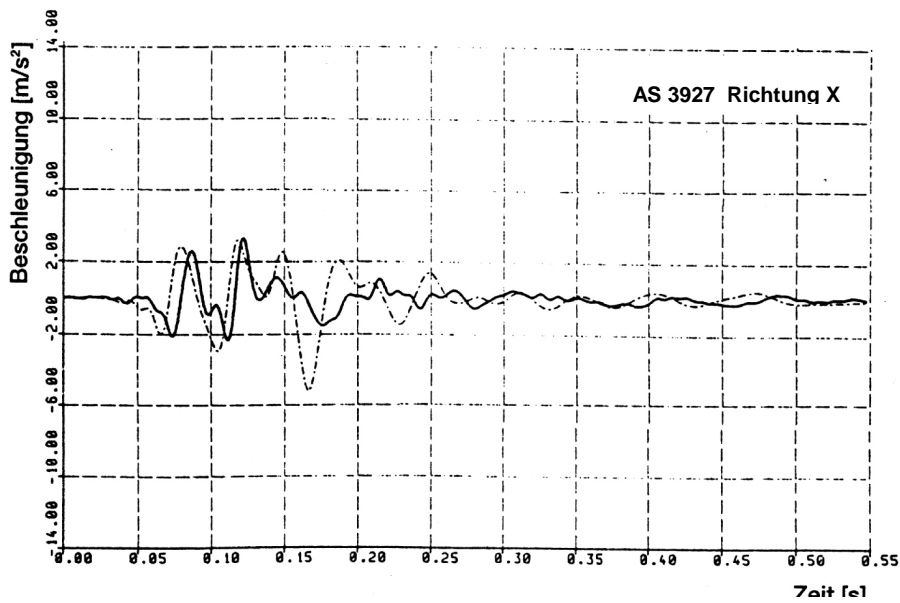
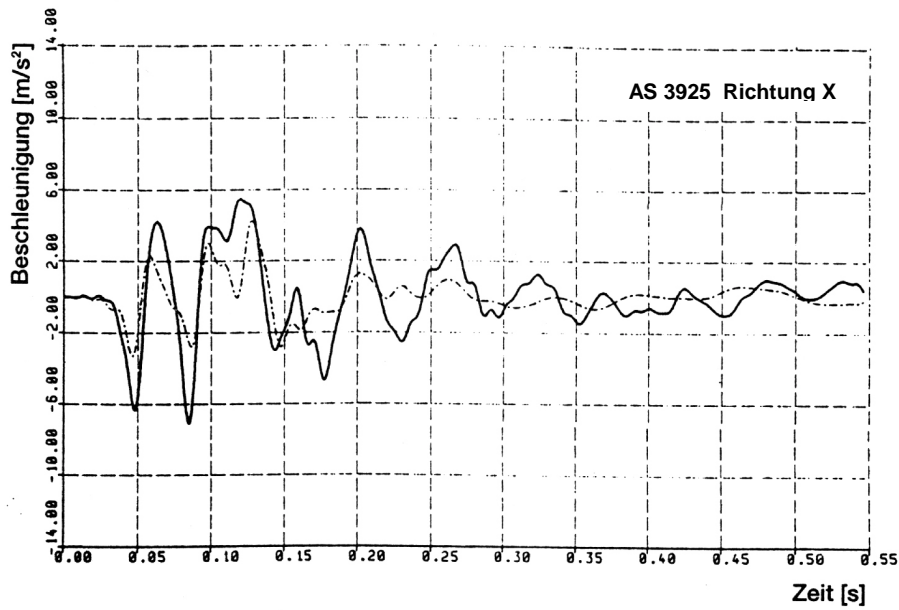


Fig. 3-46: Berechnete und gemessene Beschleunigungszeitverläufe /3-55/, /3-53/ Zylinderbereich der Außenschale

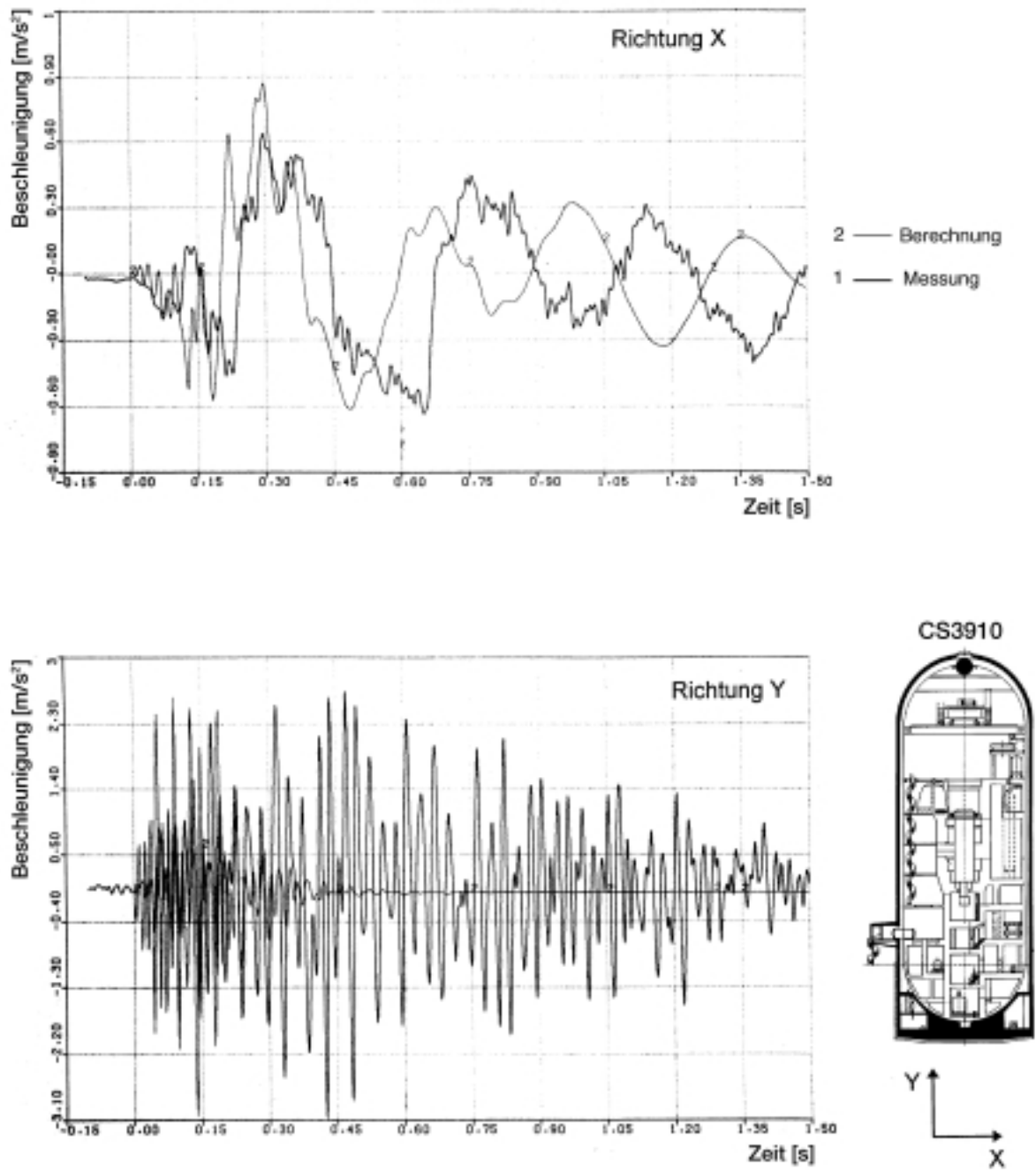


Fig. 3-47: Berechnete und gemessene Beschleunigungszeitverläufe /3-55/, /3-53/ Kuppelbereich des Reaktorsicherheitsbehälters

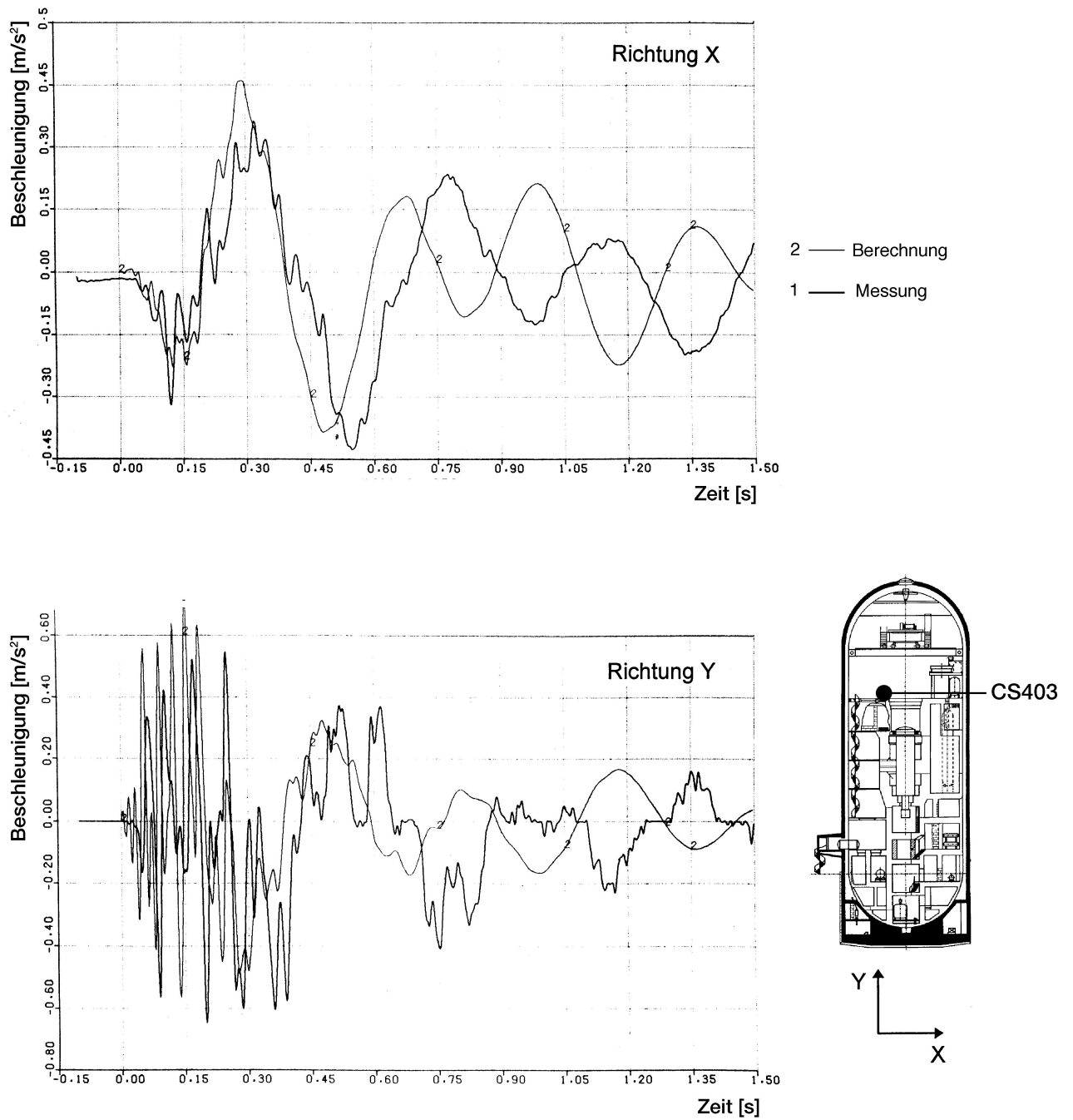


Fig. 3-48: Berechnete und gemessene Beschleunigungszeitverläufe /3-55/, /3-53/ Beladebühne

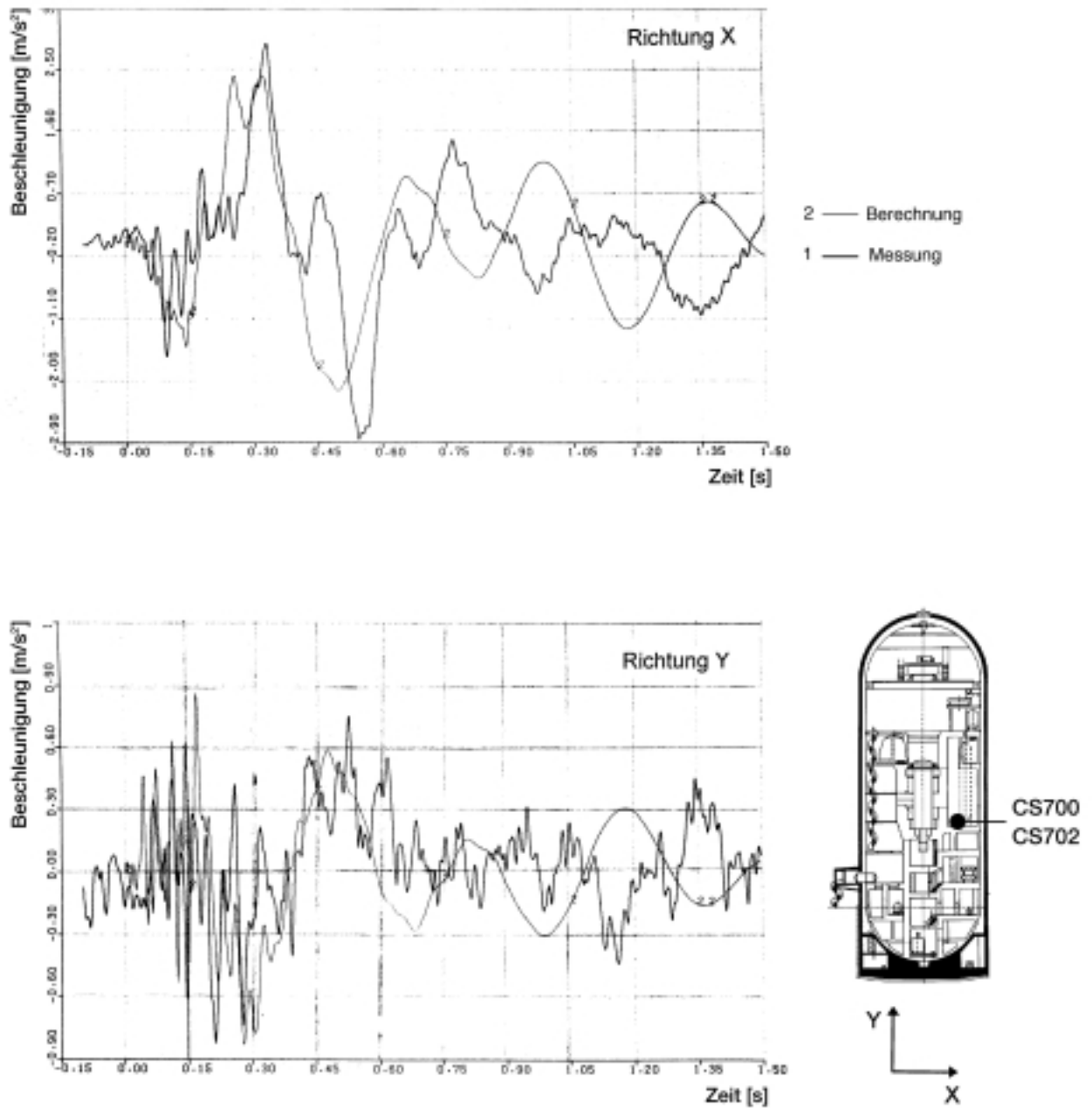


Fig. 3-49: Berechnete und gemessene Beschleunigungszeitverläufe /3-55/, /3-53/ 14-m-Bühne

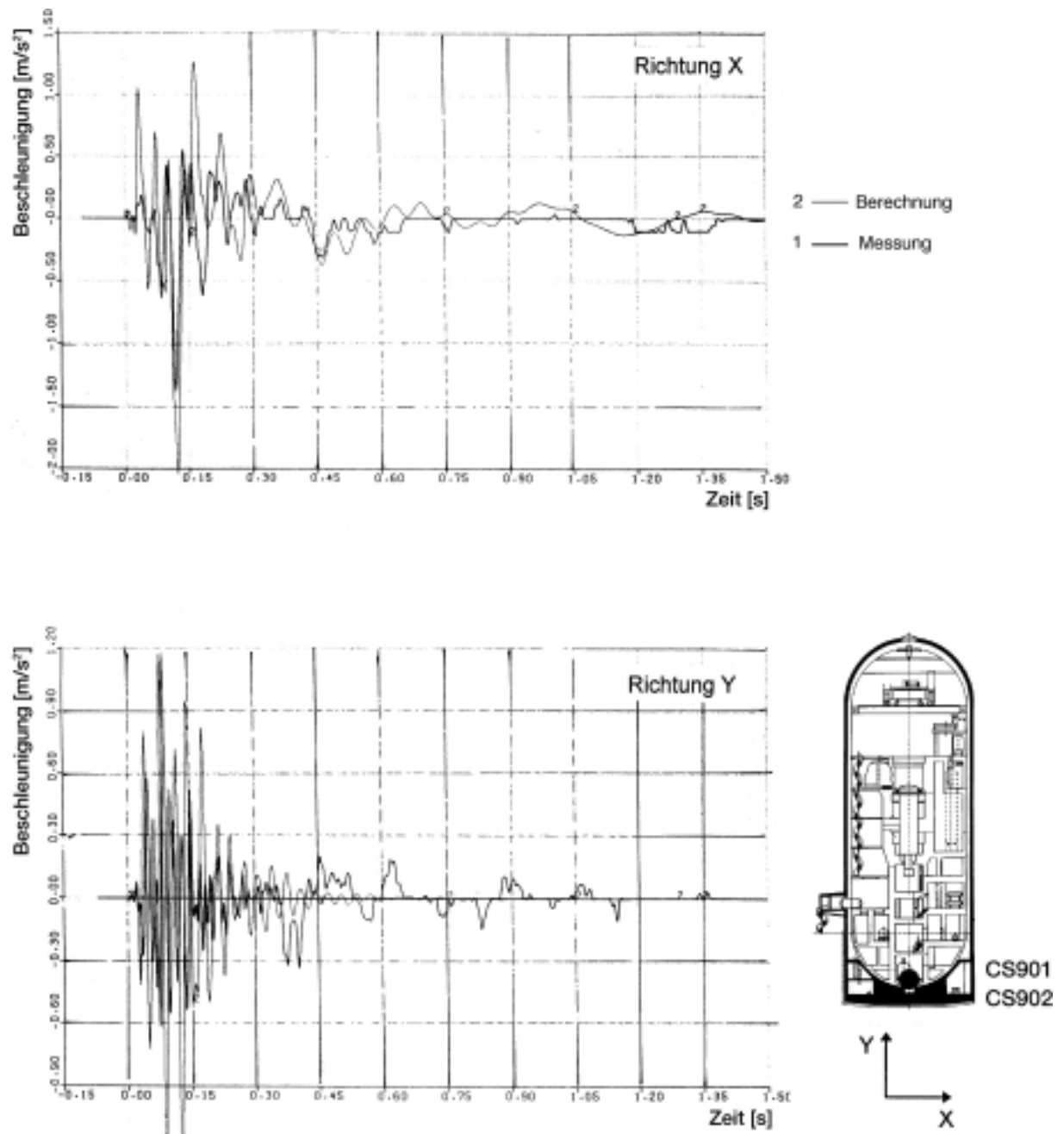


Fig. 3-50: Berechnete und gemessene Beschleunigungszeitverläufe /3-55/, /3-53/ Unterstützungsbeton

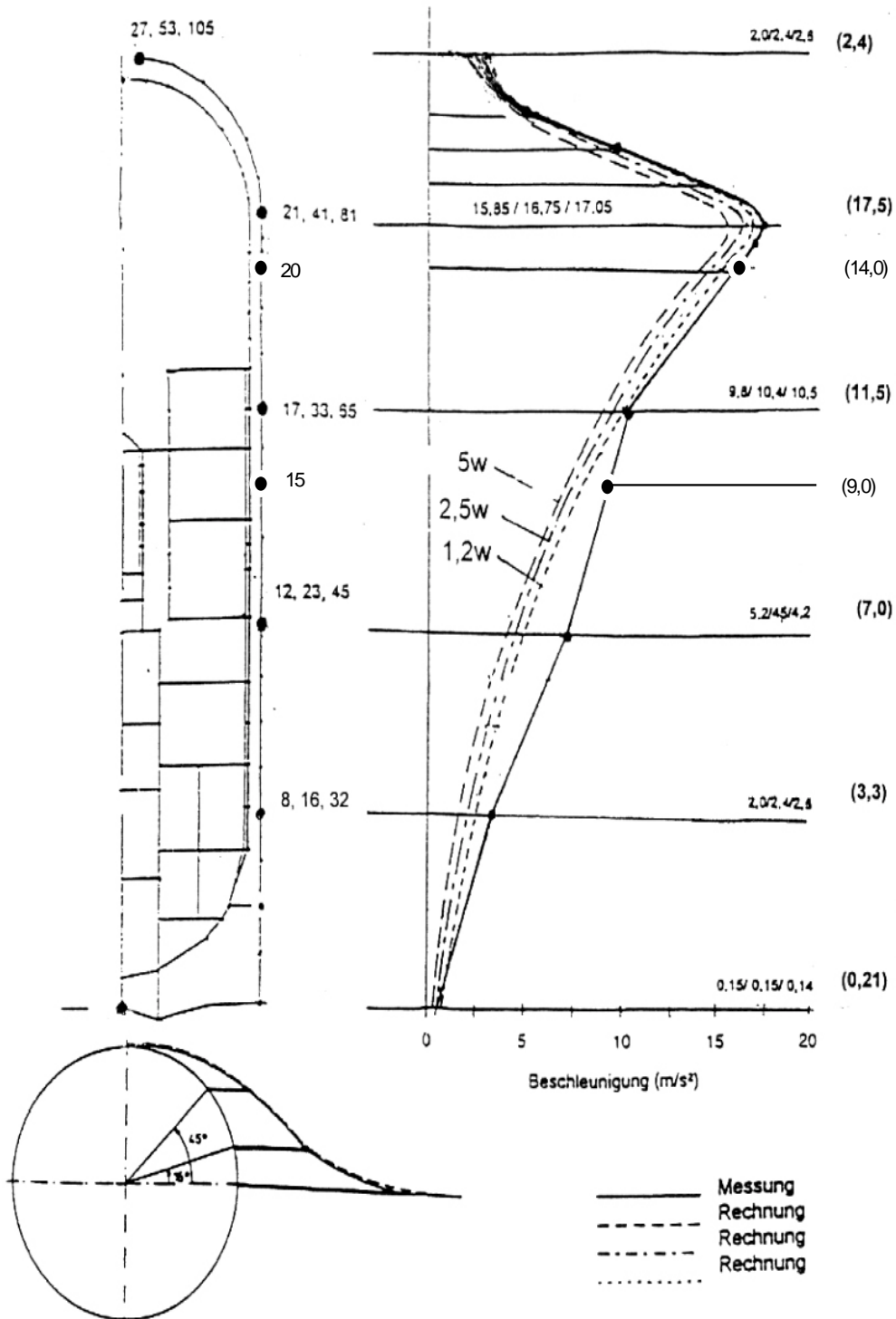


Fig. 3-51: Vergleich der berechneten (5w, 2,5w, 1,2w) und gemessenen Starrkörperbeschleunigungen im Meridianschnitt durch die Außenstrukturen sowie in Umfangsrichtung

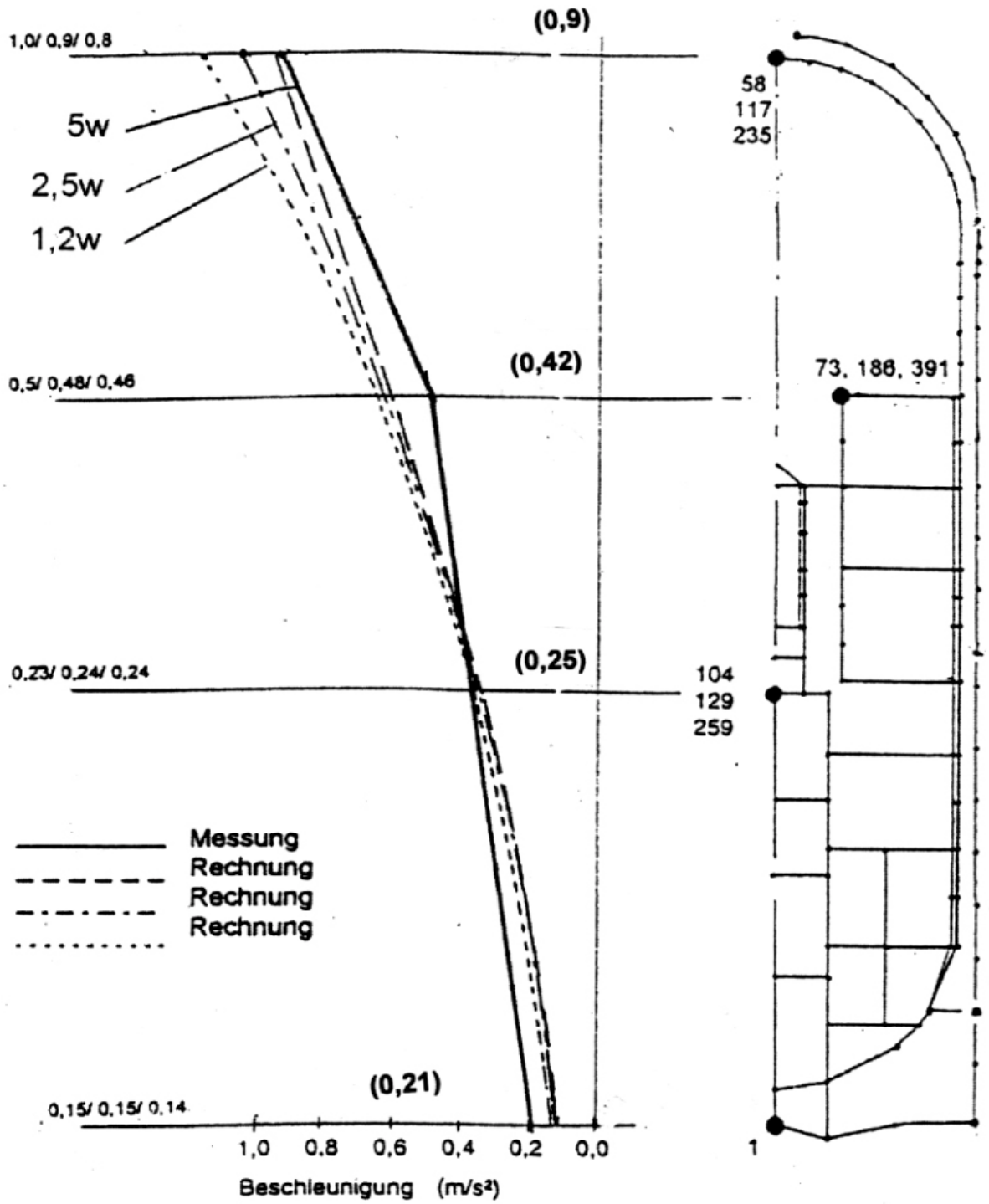


Fig. 3-52: Vergleich der berechneten (5w, 2,5w, 1,2w) und gemessenen Starrkörperbeschleunigungen im Meridianschnitt durch die Innenstrukturen

3.2.3.3 Beschleunigungsantwortspektren

Der Vergleich Messung/Rechnung im Frequenzbereich (anhand der Responsespektren mit 2 % Dämpfung) erstreckt sich auf die bereits in Fig. 3-43 angegebenen Messstellen.

Die Form der Beschleunigungsspektren ist in allen Bereichen relativ gut vergleichbar (Fig. 3-53 und 3-54).

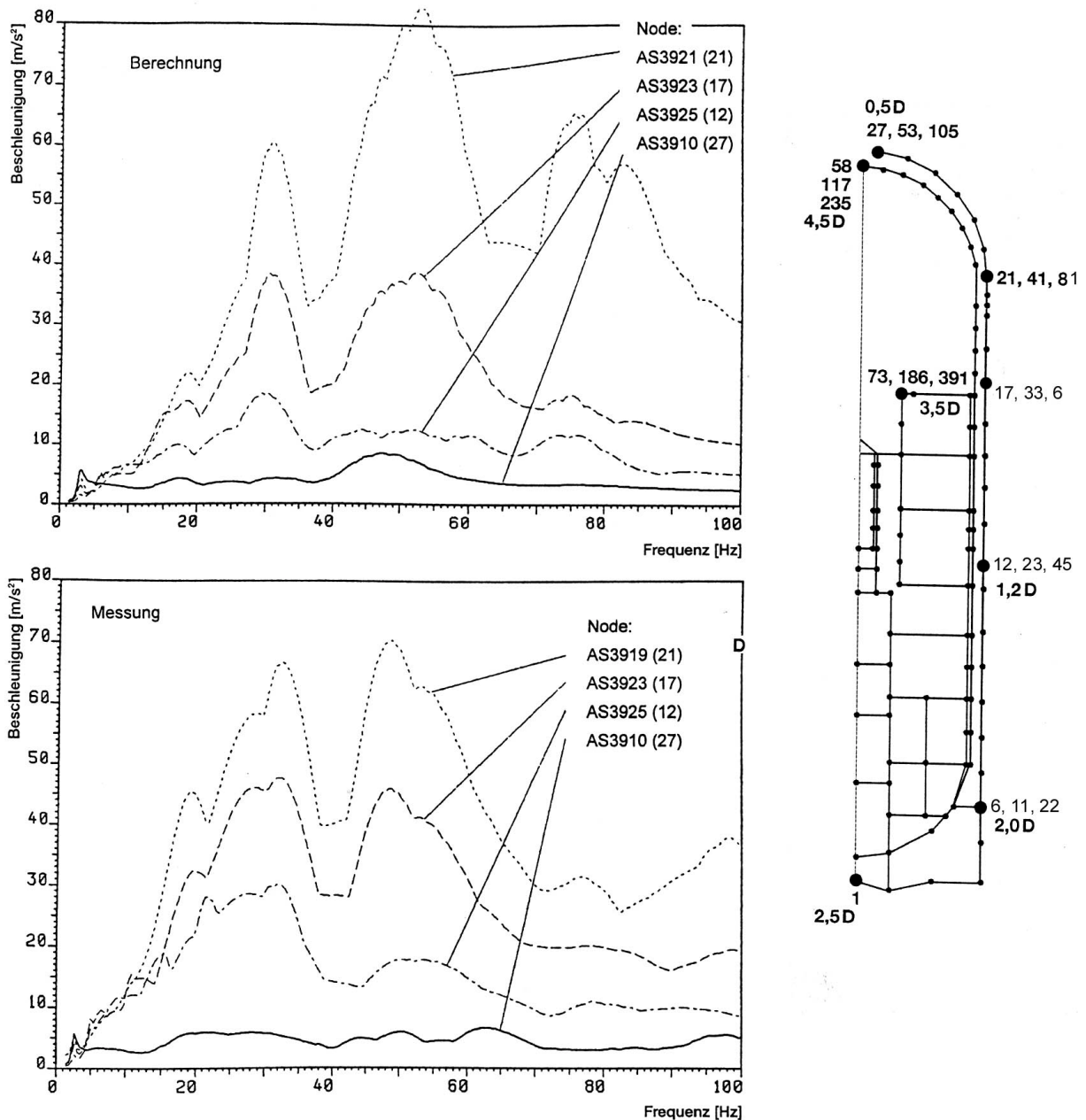


Fig. 3-53: Vergleich der berechneten und gemessenen Beschleunigungsantwortspektren an der Außenschale /3-52/ und /3-55/

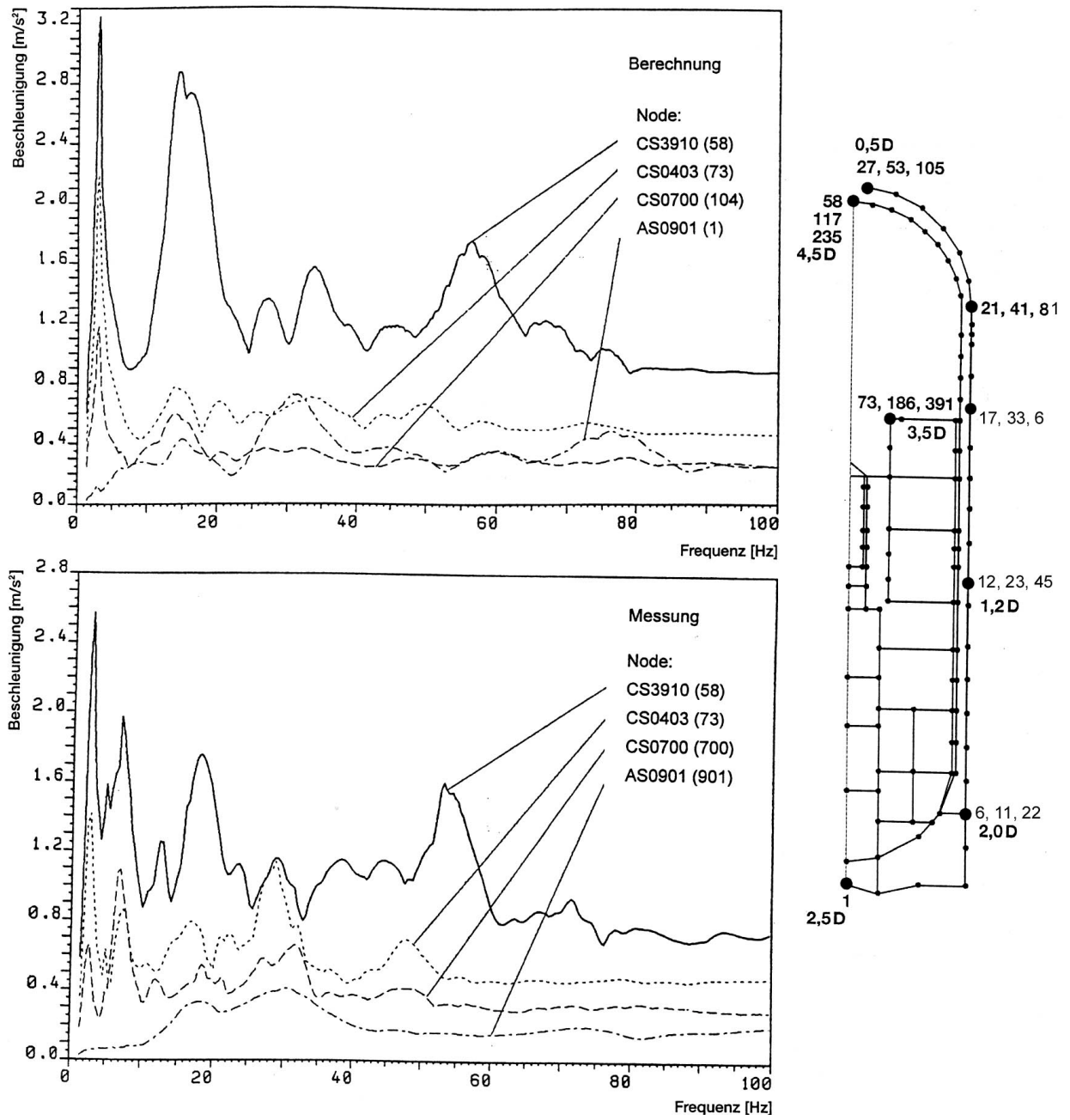


Fig. 3-54: Vergleich der berechneten und gemessenen Beschleunigungsantwortspektren an der Innenbetonstruktur /3-52/ und /3-55/

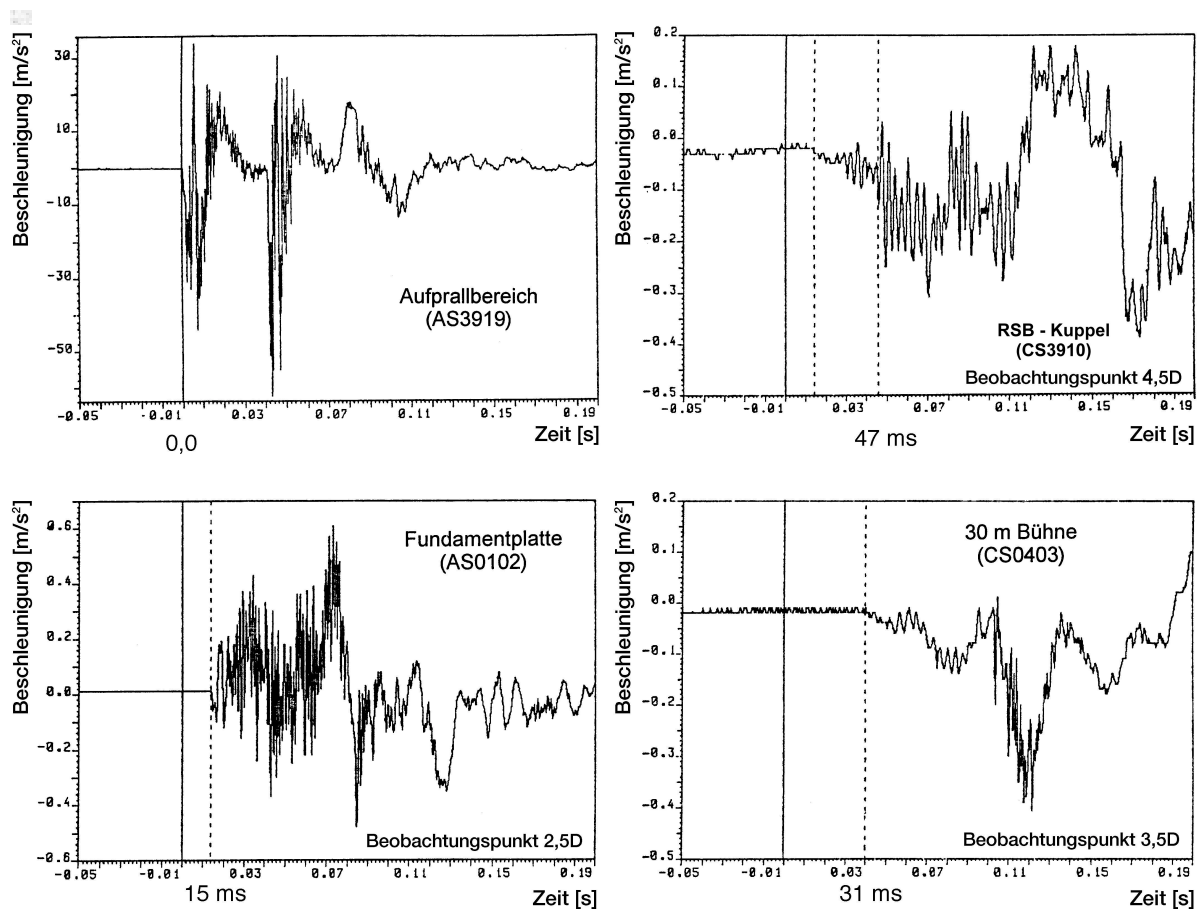


Fig. 3-55: Gemessene Verzögerung der Ankunft von Erschütterungswellen in den charakteristischen Beobachtungspunkten

Anhand des Vergleichs der durch Messungen und Vorausrechnungen gewonnenen Beschleunigungsantwortspektren (Fig. 3-53 und 3-54) für den Lasteinleitungsbereich kann festgestellt werden, dass im Frequenzbereich um 30 Hz die Messwerte leicht unterschätzt und im Bereich um 50 Hz überschätzt wurden. Die in den Rechnungen stärker vertretenen Beschleunigungen im Bereich von ca. 75 Hz sind in der Messung nur schwach repräsentiert.

Im zylindrischen Teil der Außenstruktur (unterhalb des Lasteinleitungsbereichs) klingen die berechneten Beschleunigungsamplituden mit zunehmender Entfernung vom Lasteinleitungspunkt stärker ab als die Messwerte.

3.2.3.4 Bewertung des Ergebnisvergleichs

Auf der Basis des durchgeführten Vergleichs zwischen den analytischen und experimentellen Ergebnissen für das Reaktorgebäude des HDR kann folgendes festgestellt werden:

Die analytischen, anhand von Rechenmodellen mit drei verschiedenen Diskretisierungsgraden ermittelten Systemantworten, insbesondere die Zeitverläufe der Verschiebungen und Beschleuni-

gungen sowie die hiervon abgeleiteten Antwortspektren stimmen hinsichtlich des Charakters der Zeitverläufe sowie der Form der Antwortspektren im allgemeinen zufriedenstellend überein.

Es kann jedoch auch hier festgestellt werden, dass mit wachsendem Diskretisierungsgrad die Übereinstimmung zwischen den analytischen und experimentellen Ergebnissen zunimmt.

Größere Abweichungen wurden lediglich im Bereich unterhalb des beaufschlagten Bereiches festgestellt. Dies ist vor allem auf die Tatsache zurückzuführen, dass einige am HDR-Reaktorgebäude vorhandene Besonderheiten nicht eindeutig wirklichkeitsnah erfasst werden konnten, insbesondere die Stützwirkung und der dämpfende Einfluss der Weichstoffschicht zwischen Außenhülle und Innenbeton. Die Aussagekraft der analytischen Berechnungen sollte für diesen Bereich daher nicht bewertet werden.

Bei größeren Diskretisierungen sind auch gewisse Abweichungen im direkten Aufprallbereich erkennbar. Hier hat die Diskretisierung offenbar die maßgebliche Bedeutung für eine zuverlässige Erfassung der lokalen Eigenschwingungen der Außenschale.

Die am Scheitelpunkt des Gebäudes errechneten Werte bis zu $2,6 \text{ m/s}^2$ sind mit den analytischen Ergebnissen (bei feinsten Diskretisierung bis $2,5 \text{ m/s}^2$) gut vergleichbar.

Es stimmen ebenfalls die gemessenen Beschleunigungen der Innenstruktur auf Höhenkote Arbeitsbühne von ca. $0,42 \text{ m/s}^2$ mit dem analytisch ermittelten Beschleunigungswert von $0,46 \text{ m/s}^2$ bis $0,5 \text{ m/s}^2$ relativ gut überein.

Anhand der Analyse der aus den gemessenen Zeitverläufen resultierenden Antwortspektren besonders im Lasteinleitungsbereich kann ein stärkeres Abklingen der gemessenen Beschleunigungswerte bei höheren Frequenzen (Fig. 3-53) festgestellt werden. Dies ist anscheinend auf die gewählte Filtergrenze der Messsignale zurückzuführen. In übrigen Bereichen der Außenschale ist das Verhältnis zwischen gemessenen und berechneten Beschleunigungen nahezu gleich (Fig. 3-53 und 3-54).

Der Vergleich von Ergebnissen, die durch numerische Simulation unter Anwendung von axisymmetrischen Finite Element-Modellen mit verschiedenem Diskretisierungsgrad (1,2 w bis 5w) ermittelt wurden, führen zu vergleichbaren sich gegenseitig stützenden Ergebnissen.

Die Gegenüberstellung von Mess- und Rechenwerten aus o.g. Parameterstudien führt zu durchaus guter Übereinstimmung der Ergebnisse und somit zu der Feststellung, dass das dynamische Verhalten des HDR-Gebäudes bei Stoßanregungen mit FE-Modellen und Verfahren analytisch vorausbestimmbar ist.

Verallgemeinert kann festgestellt werden, dass anhand rechnerischer Verfahren unter Anwendung von FE-Modellen die Erschütterungsvorgänge in Betonstrukturen mit ausreichender Genauigkeit für die ingenieurmäßige Anwendung analysiert und ermittelt werden können.

Anhand des Vergleichs der Ergebnisse kann auch festgestellt werden, dass die in den Parameterstudien gewählte größte Diskretisierungsvariante von 5w (3m) noch tadellos mit den sich gegenseitig stützenden Ergebnissen, die mit feineren Diskretisierungen gewonnen wurden, übereinstimmt. Hierdurch kann postuliert werden, dass im Falle von Schalenringelementen eine gröbere Diskretisierung als 5w zulässig ist. Dies bedeutet, dass die Tiefpassfilterelementlänge (die Grenzdurchlasselementlänge) von Schalenringelementen höher liegt und demzufolge größere (ca 6w) Elementlängen gewählt werden dürfen.

3.3 Eignungsgrenzen von FE-Modelldiskretisierungen bei der Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Baustrukturen bei Stoßbelastungen

3.3.1 Allgemeines

Entsprechend der unter Punkt 1.3 formulierten Problemstellung wird in diesem Absatz dem Übertragungsverhalten von stoßinduzierten Erschütterungen detaillierter nachgegangen. Zwecks Vereinfachung der Aufgabe wird dabei unterstellt, dass die untersuchten Teilstrukturen, Modellbauwerke bzw. reeller Bauwerke im Aufprallbereich derart bemessen sind, dass die bei der Stoßbelastung zu erwartenden nichtlinearen Effekte nicht eintreten oder von untergeordneter Bedeutung sind. Die Außenschalen der sicherheitstechnisch relevanten Bauwerke werden in der Praxis unter den Gesichtspunkten eines ausreichenden Penetrationsschutzes ausgelegt. Lokale Nichtlinearitäten werden jedoch planmäßig zugelassen.

Der Frage nach der Auswirkung und Miterfassung nichtlinearer Effekte auf die Veränderung der eingeleiteten Lastfunktion sowie auf das Strukturantwortverhalten typischer Bauwerke wird im Absatz 4.2 detaillierter nachgegangen.

Mit linear-elastischen Stoßvorgängen beim direkten Aufprall eines Flugzeuges auf ein Bauwerk hat man praktisch mit aller Wahrscheinlichkeit in Einbindungsbereichen von Decken sowie in Kanten- und Eckbereichen zu tun. In allen übrigen "ungestörten" Aufprallbereichen von Außenschalen sind dagegen gewisse lokale nichtlineare Effekte zu erwarten.

Planmäßig vorgesehen und erreicht wurden linear-elastische Verhältnisse auch bei problemorientierten Stoßversuchen (z. B. bei den Versuchen im Originalmaßstab am Heißdampfreaktor (HDR) Kahl /4-63/ sowie bei einigen Versuchen an bewehrten Betonplatten (Meppen-Versuche /4-66/). Zwecks sicherer Aufnahme des durch den Pendelschlag eingeleiteten Impulses wurde am HDR die Außenschale lokal entsprechend verstärkt. Durchgeführte Kontrollmessungen belegen, dass die maximalen Dehnungen die elastischen Grenzen nicht überschritten haben.

Im folgenden wird am Beispiel von Teilstrukturen (Fig. 3-60, 3-73 und 3-73, 3-82) und Modellbauwerken (Fig. 3-91 und 3-107) sowie von räumlichen Modellen realer Bauwerke (Fig. 3-33) versucht werden, die erforderliche Diskretisierungsfeinheit von FE-Modellen (insbesondere die Grenzdurchlass- bzw. Tiefpassfilterlängen finiter Elemente) bei der Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen von Stoßwellen weiter zu ergründen und die Anwendungsgrenzen von FE-Simulationen bei Berechnungen von Stoßvorgängen abzustecken.

3.3.2 Unzulänglichkeiten konventioneller Rechenmodelle

Im allgemeinen kann vorab festgestellt werden, dass FE-Simulationen für Analysen von Stoßbelastungen (z. B. Flugzeugaufprallanalysen) nur bedingt geeignet sind. Ihre Anwendung kann nur dann zu realistischen Ergebnissen führen, wenn eine dem Charakter der Lastfunktion angemessene Diskretisierung und in der Berechnung entsprechend kleinere Berechnungszeitschritte angewendet werden. Wie in mehreren Untersuchungen betont /3-7/, /3-31/, 3-39/, können neben der Diskretisierung noch einige bisher weniger aufgeklärte Phänomene einen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse von FE-Berechnungen haben. Gemeint sind hier die Tiefpassfilter- und Dispersionsseigenschaften von FE-Modellen.

Es wurde festgestellt, dass FE-Modelle sich wie Filter mit spezifischem Durchlassbereich von Wellen bis zu einer bestimmten Grenzfrequenz verhalten. Die verschiedenen Durchlassbereiche und ihre Grenzfrequenzen hängen ab von der

- Art der transferierenden Wellen (z. B. Längs- oder Scherwellen)
- Richtung der Wellenausbreitung in bezug auf das FE-Knotennetz
- Wellenfrequenz und Wellenlänge sowie dem wellentypabhängigen Dämpfungsgrad

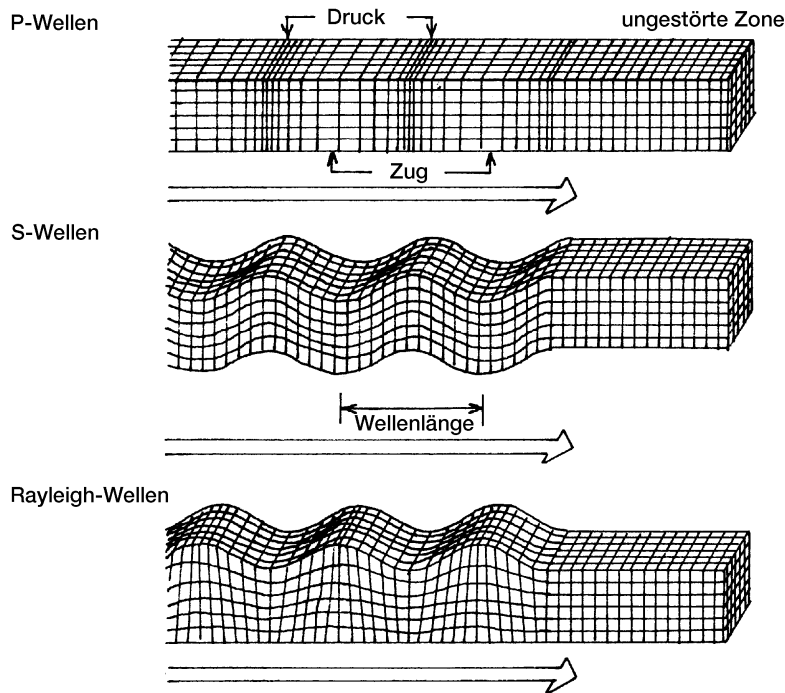


Fig. 3-56: Darstellung der verschiedenen Wellentypen

Außerhalb des Durchlassbereiches eines finiten Elementes können sich die Wellen nicht ausbreiten und die Amplituden im finiten Elementnetz klingen (räumlich) rasch ab.

Hieraus resultiert eine Dominanz hochfrequenter Schwingungen in den sich ausbreitenden Wellen. Diese dominanten Schwingungen treten bei Frequenzen nahe der jeweiligen Grenzdurchlassfrequenz des Knotennetzes auf.

Wie bereits angemerkt, wurde anhand von Untersuchungen mit FE-Modellen ebenfalls ein dispersiver Charakter (Streuung) der Ergebnisse festgestellt /3-39/, der auf eine Besonderheit finiter Elemente (d.h. eine Frequenzabhängigkeit der Phasengeschwindigkeit) zurückzuführen ist. In Finiten-Element-Modellen von Bauwerken ist die Streuung wahrscheinlich auch auf die Art der Randbedingungen, des Strukturmodells sowie der mit der Diskretisierung des Modells verbundenen lokalen Veränderungen der Material-,Steifigkeits- und Trägheitseigenschaften zurückzuführen.

Anhand früherer Untersuchungen /3-39/ konnte festgestellt werden, dass die dispersiven Eigenschaften eines FE-Modells die Form der propagierenden Wellen im Raum und Zeitablauf weitge-

hend verändern können. Bei einfachen Finite-Elemente-Modellen (FE-Modellen) konnte festgestellt werden, dass die

- Wellenausbreitungen mit höheren Frequenzen (kurze Wellenlänge) verlangsamt werden
- tieffrequente Wellen sich dagegen mit etwa den charakteristischen Geschwindigkeiten des Kontinuums ausbreiten können.

Im allgemeinen kann festgestellt werden, dass zu guten Ergebnissen nur FE-Modelle mit Diskretisierungen führen, deren Grenzdurchlassfrequenzen (Perioden) beachtlich oberhalb der Charakteristiken (der Basiszeit) des untersuchten Stoßproblems liegen.

Ausgehend vom Charakter des Stoßproblems (Basiszeit, Anstiegszeit) erfolgt üblicherweise vorab die Wahl der Feinheit der räumlichen Diskretisierung auf der Basis der bekannten Wellenausbreitungsgeschwindigkeit des Materials der beaufschlagten Struktur sowie die Annahme eines geeigneten Wellenerfassungsansatzes. So wurde auch bisher bei der Festlegung der Elementlängen bei der Diskretisierung der Testmodelle und Modellbauwerke vorgegangen (s. Abschnitt 3.3.4).

Die "reellen Durchlassbereiche" (Tiefpassfiltergrenzen) von FE-Modellen können nur anhand von Parameteruntersuchungen ergründet und bestimmt werden. Hierzu wurden entsprechend konzipierte 1-, 2- und 3-dimensionale Rechenmodelle mit einer breiten Variation der Elementlänge herangezogen. Anhand der durchgeführten Studien (s. Absatz 3.3.5) gelangt man in der Tat zu der Feststellung, dass es eine gute Übereinstimmung von Ergebnissen für Elemente bis zu einer mehr oder weniger scharfen Elementlänge gibt. Größere Elemente dagegen führen zu abweichenden oft nicht mehr interpretierbaren Ergebnissen mit großer Streuung.

Durch Beobachtung der o.g. Streubereiche der Ergebnisse sollte auch versucht werden, Erkenntnisse und Informationen für die Interpretation der Dispersionseffekte zu sammeln, um die auslösenden Ursachen, Einflussparameter und Entstehungsmechanismen besser einzugrenzen und erläutern zu können.

Angestrebtes Ziel der Parameterstudien ist es, zu Schlussfolgerungen in bezug auf die erforderliche Diskretisierungsfeinheit von FE-Modellen bei Analysen typischer Stoßprobleme (z. B. Flugzeugabsturz) zu gelangen.

3.3.3 Problembezogene Aufgabenstellung

Zwecks Feststellung der Grenzen der Anwendbarkeit von FE-Modell-Techniken bei Untersuchungen von Erschütterungsübertragungsvorgängen und insbesondere zwecks Klärung des Einflusses FE-spezifischer Tiefpassfiltereigenschaften wurden anhand von FE-Modellen charakteristischer Teilstrukturen und Modellbauwerke sowie eines naturgetreuen Reaktorgebäudes (HDR) umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Ausgangspunkt dieser Untersuchungen waren folgende Modellarten:

- **Modellbalken** (eindimensionale FE-Modelle)
- **Modellwandscheiben** (zweidimensionale FE-Modelle)
- **Modelldeckenplatten** (zweidimensionale FE-Modelle)
- **Kastenförmiges Modellbauwerk** (dreidimensionale FE-Modelle)

- **Kreisförmiges Modellbauwerk** (dreidimensionale FE-Modelle)
- **Naturgetreues, kreisförmiges Reaktorgebäude** (axisymmetrische FE-Modelle)

Ausgehend von den o.g. Modellabbildungen wurde der Einfluss einer Reihe von Parametern insbesondere des Diskretisierungsgrades sowie des Charakters der Lastfunktionen auf die Veränderung der Strukturantworten (infolge von Tiefpassfilter- und Dispersionseigenschaften) in charakteristischen Bereichen (Beobachtungspunkten) der o.g. Strukturen ergründet. Die FE-Berechnungen mit o.g. FE-Modellen wurden für die Variation von folgenden Parametern durchgeführt:

- Elementarten
- Diskretisierungsgrad der Strukturen (Elementgröße)
- Randbedingungen (bei Modellplatten sowie 3D-Modellen)
- Charakter der Stoß-Lastfunktionen
- Zeitdauer der Stoß-Lasteinwirkung (Basiszeit)
- Unterschiedliche knotennetzbezogene Belastungsrichtungen

Der Einfluss der jeweiligen Parameter wird durch grafische Vergleiche der maßgebenden dynamischen Charakteristiken (Eigenfrequenzen, modale Größen) und der durch die aufgebrachte Belastung induzierten Strukturantworten (die Verschiebungs- bzw. Beschleunigungsverläufe sowie die Beschleunigungsantwortspektren) demonstriert (s. Anhänge 1 bis 3) /8-1/.

3.3.4 Festlegung repräsentativer Lastfunktionen und Elementlängen

Wie unter Abschnitt 3.3.2 angemerkt, ist bei der numerischen Simulationen von Wellenausbreitungsproblemen der Feinheitsgrad der Diskretisierung von fundamentaler Bedeutung. Er muss unter Beachtung der Zeitdauer der Stoßfunktion sowie der Erfassbarkeit der Stoßwellen bis zu der höchsten relevanten Frequenz zutreffend gewählt werden. Dies bezieht sich auf den gesamten anregungsfähigen Frequenzbereich der beaufschlagten Struktur. Bei FE-Modellen, die diese Bedingungen erfüllen, werden keine hochfrequenten Anteile der propagierenden Wellen abgeschnitten und die zu superponierenden Schwingungen nicht verstümmelt.

Die Abmessungen der Teilstrukturen sowie der Modellbauwerke wurden in Anlehnung an realistische in der Baupraxis vorkommende Dimensionen gewählt (Fig. 3-60, 3-73, 3-82, 3-91 und 3-107). Aufgrund der einfachen Geometrie dieser Teilstrukturen und Modellbauwerke können die richtungsbezogenen Eigenfrequenzen sowie die hieraus resultierende Periodendauern T_i leicht ermittelt werden. Zu der Festlegung der auf den Schwingungsmode bezogenen effektivsten Stoßzeitdauer (Basiszeit) t_d gelangt man (für einen Dreieckstoß) über die Annahme der Periodengleichheit ($t_d/T_1 = 1$).

Als Basiszeit wurde jeweils die Periodendauer der Grundschiwingung der benachbarten Teilstrukturen angenommen und über das Verhältnis t/T_1 die Amplifikationsfähigkeit der Oberschwingungen ermittelt. Die für die jeweilige Grundschiwingungsform abgeleiteten Basiszeiten sowie die Verhältnisse t/T_i für die relevanten Oberschwingungen wurden in Tab. 3-4, 3-6 und 3-7 zusammengestellt. Unter Berücksichtigung der Eigenfrequenzen der ausgewählten Modellbauwerke (kasten- bzw. kreisförmige Bauwerke) wurde ebenfalls die Amplifikationsfähigkeit der Referenzlastfunktion (RLF) bestimmt (Tabelle 3-9). Es wurden schlussendlich drei Gruppen von Stoss-Lastfunktionen festgelegt:

- a) Kurzzeit-Lastfunktionen, deren Charakteristiken auf die Eigenfrequenz der Teilstrukturen (Modellbalken bzw. -platten) abgestimmt wurden (ST1, ST2 und STH, STV sowie STA, STK Fig. 3-57 bis 3-59).

- b) eine Referenz-Lastfunktion (RLF), deren Zeitdauer für die Modellbauwerke geeignet ist. Sie entspricht der für die Auslegung von Kernkraftwerken seitens deutscher Behörden festgelegten Referenzlastfunktion (Fig. 2-1).

Die Maximallast der beiden Belastungsgruppen unterscheidet sich beachtlich. Im Falle der Kurzzeitlastfunktionen wurde das Lastniveau entsprechend der Grenztragfähigkeit des Beton-Modellbalkens mit 1MN festgelegt. Die Maximallast der Referenzlastfunktion beträgt dagegen 110 MN. Die Zeitdauer der Kurzzeit-Stoßfunktionen beträgt 5 ms bis 360 ms, die Zeitdauer der Referenzlastfunktion bekanntlich 70 ms.

Zwecks Ergründung des Einflusses einer längeren Einwirkungsdauer auf die Erschütterungsübertragungsvorgänge wurde für Untersuchungen an Modellbalken und -platten zusätzlich eine weitere Lastfunktion festgelegt:

- c) Modifizierte Referenzlastfunktion von einer gleichen Zeitdauer (70ms) wie bei der Referenzlastfunktion und einer Maximallast wie beim Balken von 1MN (ST3, Fig. 3-57).

Die letztgenannte Lastzeitfunktion wurde zwecks Ergründung des Einflusses einer längeren Einwirkungsdauer auf die Wellenausbreitungsvorgänge bei Untersuchungen mit Testmodellen (Modellbalken und -platten) herangezogen.

Um die Verfälschung der Ergebnisse von FE-Berechnungen zu vermeiden, sollte die Form der propagierenden Stosswelle stets durch ausreichend viele Knotenpunkte (Elemente) bestimmt werden. Bisherige Erfahrungen führen zu der Erkenntnis, dass die Erfassung der durchlaufenden Wellen mit ca. 9 Knotenpunkten pro Schwingungsperiode (im folgenden Wellenerfassungsansatz genannt) in der Regel zu zuverlässigen Ergebnissen führen kann.

Ausgehend von der Beziehung zwischen der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit im behandelten Kontinuum (c) und der Wellenlänge (λ) sowie von dem obigen „Ansatz“ kann für die bekannte Zeitdauer t_d der Stoßfunktionen die Elementlänge bestimmt werden, mit der die Welle noch getreu (nicht verstümmelt) erfasst werden kann. Setzt man in die Wellengleichung ($\lambda = c \cdot t$) für die Elementlänge (L_i) den o.g. Wellenerfassungsansatz ein:

$$L \leq 1/8 \lambda \quad \text{bzw.} \quad L \leq 1/8 c t_d$$

so gelangt man für eine Dreieckfunktion mit $t_d / T_i = 1$ zu der maximalen Elementlänge, die zu einer getreuen Erfassung der Eigenschaften der jeweiligen Welle von der Periodendauer T_i erforderlich ist

$$L_i \leq 1/8 c T_i$$

Die Zeitdauer t_i der kürzesten Stoßfunktion, deren Stoßwelle durch ein Element von der Länge L_i gerade noch zutreffend (nicht mehr verstümmelt) erfasst wird, beträgt somit:

$$t_i \geq 8 L_i / c$$

Zwecks unverstümmelter Erfassung aller Schwingungsbeiträge bis zu der relevanten Oberschwingung mit der Periode T_n bzw. Frequenz f_n müssen gemäß dem o.g. Wellenerfassungsansatz Elementlängen gewählt werden von

$$L_n \leq 0,125 c T_n \quad \text{bzw.} \quad L_n \leq 0,125 c / f_n$$

Die Längen der gewählten Elemente werden anhand von Wellendurchlaufgeschwindigkeiten für unbewehrten Beton bestimmt. Dabei gelten für die Längswellen c_L bzw. Scherwellen c_S die Beziehungen:

$$c_L^2 = E(1-\nu) / \rho(1+\nu)(1-2\nu)$$

$$c_S^2 = E / 2 \rho (1+\nu)$$

Die mit der jeweiligen Elementlänge eines diskretisierten Betonbalkens (bei Annahme von $c_L = 3615$ m/s bzw. $c_S = 2230$ m/s) gerade noch erfassbaren Periodendauer einer Oberschwingung (bzw. Basiszeiten der kürzesten mit der gewählten Diskretisierung erfassbaren Lastfunktionen) wurden in Tabelle 3-5 zusammengestellt.

Modellbalken

Basierend auf den Abmessungen des gewählten Modellbalkens (Fig. 3-60) wurden unter Annahme verschiedener Elementarten und Elementlängen die maßgebenden Eigenfrequenzen des Balkens in seiner Längsrichtung ermittelt (Tab. 3-9). Die ersten fünf Eigenfrequenzen des Modellbalkens haben eine Periodendauer T_i von: 0,005 s, 0,0015 s, 0,001 s, 0,0007 s und 0,0005 s.

Mit $T_1 = 0,005$ s und aufgrund von $t_d/T_i = 1$ wurde für die Parameterstudien eine Dreiecksfunktion mit $t_d = 0,005$ s gewählt. Für die Rechtecksfunktion wurde eine Einwirkungsdauer t_d von ebenfalls 0,005 s und für die Anstiegszeit t_r ein Wert von 10^{-5} s angenommen.

Eigenfrequenzen f_i (Hz) **	214 Hz	643 Hz	1071 Hz	1496 Hz	1919 Hz
Schwingungsperioden T_i (s)	0,005	0,0015	0,001	0,0007	0,0005
Lastfunktion ST2					
Gewählte Basiszeit t_d	5 ms				
t_d/T_i (für $t_d = 0,005$ s)	1,0	3,33	5,0	7,14	10,0
DLF Δ (ST2)	1,5	1,2	1,1	1,05	1,0
Max. Elementlänge (m) ($L_i = 0,125 T_i c_L$)	2,26	0,68	0,46	0,32	0,24
Lastfunktion ST1					
Gewählte Anstiegszeit	10^{-2} ms				
t_r/T_i (für $t_r = 10^{-5}$ s)	0,002	0,007	0,010	0,015	0,02
DLF \square (ST1)	2,00	2,00	2,00	2,00	1,99
Lastfunktion ST3					
Gewählte Basiszeit t_d	70 ms				
t_d/T_i (für $t_d = 0.070$ s)	14	46	70	100	140
DLF Δ (ST3)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

**siehe Tabelle 3-9

Tab. 3-4 Basiszeit bzw. Anstiegszeit der gewählten Stoßfunktionen und maximale Elementlängen, Modellbalken

Anhand der für das Verhältnis t_d/T_i bzw. t_r/T_i (für eine Rechteckfunktion) ermittelten Lastfaktoren (DLF) lässt sich für eine Dreiecks- (Δ) bzw. Rechtecks- (\square) Lastfunktion die Effektivität der Anregung des Balkens in seiner Grundfrequenz sowie den Oberschwingungsformen, die noch einen Beitrag liefern, abschätzen.

Wie aus Tabelle 3-4 zu erkennen, kann man für eine Rechteckfunktion mit der gewählten Anstiegszeit eine effektive Anregung (DLF=2,0) des Balkens sowohl in seiner Grundfrequenz als auch bei allen Oberschwingungen erwarten (Fig. 3-27). Beim Dreiecksstoß ist die maximale Amplifikation bei $t_d/T = 0,9$ zu erwarten (DLF=1,5) sie nimmt bei den Oberschwingungen zunehmend ab (Fig. 3-26). Bei allen Untersuchungen am Modellbalken ist man daher von Einheitslastfunktionen (Dreiecks- und Rechteckfunktionen) von einer Basiszeitdauer von 5 Millisekunden ausgegangen (Fig. 3-57).

Ergänzend hierzu wurde bei den Untersuchungen am Modellbalken (zwecks Ergründung des Einflusses einer längeren Basiszeit) die in Fig. 3-57 dargestellte Langzeit-Stoßfunktion (ST3) herangezogen. Da t_d/T_i für $t_d= 0.070$ s für alle Frequenzen des Balkens größer als ca. 14 ist und sich demzufolge der DLF dem Wert von 1,0 nähert, kann jedoch bei dieser Stoßfunktion nur eine geringe Amplifikation des Balkens erwartet werden.

Ausgehend von der vorab bestimmten Elementlänge (Tab. 3-4) wurde zwecks Untersuchung des Einflusses der Elementlänge auf die Tiefpassfilter- und Dispersionseigenschaften von Betonbalken eine Diskretisierung mit Elementlängen von 0,8 m, 0,4 m, 0,2 m und 0,1 m gewählt. Anhand dieser Variationsbreite der Elementlängen soll versucht werden, ausreichende Aufschlüsse zum Wellendurchlassbereich der Elemente zu erreichen. Eine Diskretisierung mit größeren Elementen wurde nicht vorgenommen, da bereits bei Elementlängen von 0,8 m größere Tiefpass- und Streueffekte festgestellt wurden.

Bei der gewählten Diskretisierung sind Verfälschungen von Oberwellen nicht zu erwarten, solange die Zeitdauer der kürzesten Stoßfunktion die in der Tabelle 3-5 zusammengestellten Basiszeiten nicht unterschreitet.

Die Wellenform der höchsten Oberschwingung des Balkens von 1919 Hz, ($T=0,0005$ s, Tab. 3-4) müsste daher noch mit Elementen bis $3S$ gut erfassbar sein. Vergleiche der Ergebnisse (Fig. 3-67) führen jedoch zu der Erkenntnis, dass mit Diskretisierungen größer $2S$ keine zufriedenstellenden Ergebnisse erreicht werden können.

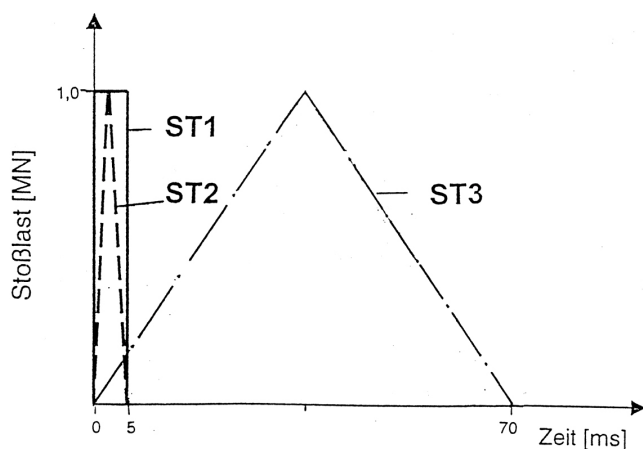


Fig. 3-57: Stoßlastfunktionen für Untersuchungen am Modellbalken

Diskretisierungs- variante	Elementlänge L_i (m)	Kürzeste Basiszeit t_i (s)	
		Für Längswellen mit $c_L=3615\text{m/s}$	Für Scherwellen mit $c_S=2230\text{m/s}$
S	0,10	0,00022	0,00036
2 S	0,20	0,00044	0,00072
4 S	0,40	0,00088	0,00144
8 S	0,80	0,00176	0,00288

Tab. 3-5: Kürzeste durch die gewählten Diskretisierungen erfassbare Wellenlängen ($T_i = t_i$)

Modell-Wandscheiben und Deckenplatten

Das Eigenverhalten der in diesen Betrachtungen behandelten Wandscheiben und Deckenplatten (Fig. 3-73 und 3-82) wurde für die entsprechenden Arten von Randbedingungen (Randeinspannung, freie Auflagerung, feste Einspannung) ermittelt. Die für diese Bedingungen ermittelten dynamischen Charakteristiken wurden in den Tab. 3-6 und 3-7 zusammengestellt.

Belastung in Längsrichtung (Lastfunktion STH)				
Eigenfrequenzen f_i (Hz) (s. Tab 3-10)	17,91	50,10	57,26	80,0
Schwingungsperioden T_i (s)	0,056	0,020	0,017	0,0125
Basiszeit der Lastfunktion t_d/T_i (für $t_d = 0,056$ s)	56 ms	1,0	2,8	3,29
DLF Δ	1,50	1,15	1,15	1,0
Max. Elementlänge (m) ($L_i = 0,125 T_i c_L$)	25,3	9,0	7,7	5,6
Belastung in Vertikalrichtung (Lastfunktion STV)				
Eigenfrequenzen f_i (Hz) (s. Tab. 3-10)	6,07	20,26	40,35	80,0
Schwingungsperioden T_i (s)	0,165	0,049	0,025	0,0125
Basiszeit der Lastfunktion t_d/T_i (für $t_d= 0,166$ s)	166 ms	1,0	3,75	6,6
DLF Δ	1,5	1,2	1,0	1,0
Max Elementlänge (m) ($L_i = 0,125 T_i c_S$)	46,0	13,7	7,0	3,4

Tab. 3-6: Basiszeit der gewählten Stoßfunktionen sowie maximale Elementlängen, Modell-Wandscheiben

Analog wie beim Modellbalken gelangt man (durch Annahme der Periodengleichheit t_d und T_i) für Eigenfrequenzen der Wandscheiben in Längs- bzw. Vertikalrichtung (Querrichtung) bzw. für die Eigenfrequenzen der Deckenplatten zu den effektiven Basiszeiten (t_d) der Lastfunktionen.

Bei den auf diesem Wege festgelegten Basiszeiten von 0,056 s und 0,165 s der Stoßlastfunktionen für horizontale (STH) und vertikale (STV) Richtung der Wandscheibe ist die stärkste Anregung (DLF = 1,5) bei ihren fundamentalen Eigenfrequenzen in Längs- bzw. Querrichtung zu erwarten.

Auf gleiche Weise gelangt man für die Deckenplatten zu Basiszeiten effektiver Stoßfunktionen von 0,245 s und 0,360 s. Die Charakteristiken der Lastfunktion für die Deckenplatte mit freier Auflagerung (STA) bzw. Festeinspannung (STK) sind Tab. 3-7 und Fig. 3-59 zu entnehmen. Zwecks Untersuchung des Einflusses der Elementlänge auf die Tiefpassfilter- und Dispersionseigenschaften der FE-Modelle bei Stoßübertragungsvorgängen wurde eine Variation der Diskretisierungen von $w=1,0$ m bis 8,0 m gewählt.

Auch hier kann festgestellt werden, dass die nach dem Wellenerfassungsansatz ermittelten maximalen Elementlängen zu grob sind. Es macht daher keinen Sinn, die Tiefpassfiltereigenschaften für die größeren Diskretisierungen zu untersuchen, da bereits bei der Elementgröße $L_i=8w$ größere Tiefpassfiltereffekte feststellbar sind (Fig. 3-80).

Bei Mitnahme von Oberschwingungen einer Wandscheibe bis zu einer Frequenz von 80Hz beträgt die kürzeste Schwingungsdauer 0,012 (Tab. 3-6). Die Wellenform dieser Oberschwingung müsste daher noch mit Elementlängen von größer als ca. 3 w (3 m) gut erfassbar sein. Vergleiche der Ergebnisse (Fig. 3-80) führen jedoch zu der Erkenntnis, dass Diskretisierungen mit Elementen größer als $2w \times 2w$ nicht mehr zu konvergierenden Ergebnissen führen.

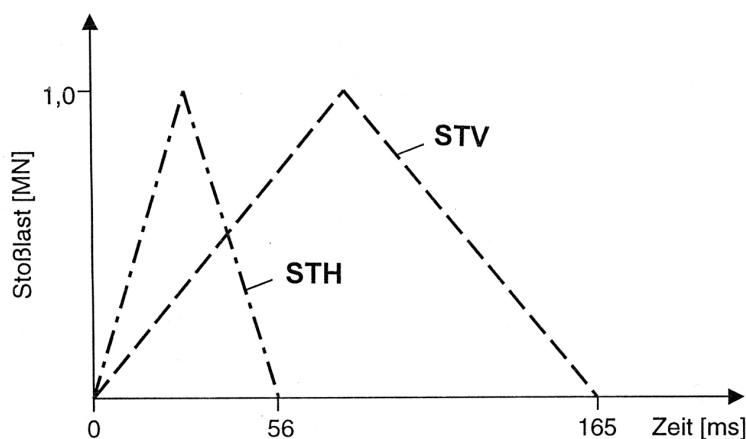
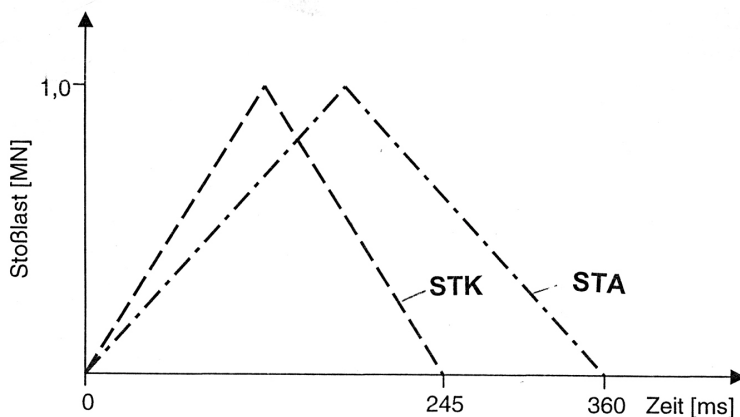


Fig. 3-58: Stoßfunktionen für Untersuchungen an Modell-Wandscheiben

Freie Auflagerung der Platte(Lastfunktion STA)				
Eigenfrequenzen f_i (Hz)	2,73	14,81	22,24	ca. 80,0
Schwingungsperioden T_i (s)	0,360	0,070	0,044	0,012
Basiszeit der Lastfunktion STA	360 ms			
t_d/T_i (für $t_d = 0,360$ s)	1,0	5,14	8,18	28,8
DLF Δ	1,5	1,0	1,0	1,0
Max. Elementlänge (m) ($L_S = 0,1T_i c_S$)	100,3	19,5	12,3	3,4
Allseitige Einspannung(Lastfunktion STK)				
Eigenfrequenzen f_i (Hz)	4,29	19,96	47,6	ca 80,0
Schwingungsperioden T_i (s)	0,235	0,050	0,022	0.012
Basiszeit der Lastfunktion STA	245 ms			
t_d/T_i (für $t_d = 0,245$ s)	1,0	4,6	10,68	18,8
DLF Δ	1,5	1,0	1,0	1,0
Max. Elementlänge (m) ($L_i = 0,125 T_i c_S$)	65,5	13,9	6,1	3,4

Tab. 3-7: Basiszeit der gewählten Stoßfunktionen sowie maximale Elementlängen, Modell-Deckenplatten

Für die Deckenplatten werden die Tiefpassfilter- und Dispersionseigenschaften anhand einer Variation der Elemente von $w \times w$ bis $8 w \times 8 w$ untersucht. Anhand des Vergleichs der Ergebnisse kann festgestellt werden, dass bereits bei Elementgrößen von $4 w$ starke Abweichungen zu erwarten sind. Zu konvergierenden Ergebnissen führen dagegen FE-Modelle mit Diskretisierungen $w \times w$ und $2w \times 2w$ (Fig. 3-80 und 3-81).



Tab. 3-59 Stoßlastfunktionen für Untersuchungen an Modell-Deckenplatten

Wandscheiben und Deckenplatten von Bauwerken (Lastfunktion HLF)								
Eigenfrequenzen f_i (Hz)	10	20	30	40	50	60	70	80
Periodendauer T_i (s)	0,1	0,05	0,033	0,025	0,020	0,0170	0,014	0,012
Basiszeit der HLF	70ms							
t_d/T_i (für $t = 0,070s$)	0,7	1,4	2,12	2,8	3,5	4,12	5,0	5,6
DLF Δ	1,4	1,0	1,75	1,5	1,0	1,35	1,25	1,10
Max. Elementlänge (m) ($L_i = 0,125 T_i c_L$)	45,8	22,6	14,9	11,3	9,0	7,7	6,3	5,4
Max. Elementlänge (m) ($L_i = 0,125 T_i c_S$)	27,9	13,9	9,2	6,9	5,5	4,8	3,9	3,4

Tab. 3-8: Stoßlastfunktion für Untersuchungen an Modellbauwerken (HLF) sowie maximale Elementlängen

Modellbauwerke

Die Einwirkungsdauer der Last-Zeitfunktionen für Untersuchungen mit 3D-Rechenmodellen von kasten- bzw. kreisförmigen Modellbauwerken wurde in Anlehnung an die Zeitdauer der vorgegebenen Referenz-Lastzeitfunktion (HLF) angenommen.

Die Basiszeit beträgt somit 0,070 s und die Lastamplitude zeitabhängig 55 bzw. 110 MN (Fig. 2-1).

Die maximalen unter Beachtung des Wellenerfassungsansatzes für die HLF-Stoßfunktion ermittelten Elementlängen wurden in Tab. 3-9 zusammengestellt.

Um die durch diese Stoßfunktion angeregten Längs- und Scherwellen bis zum Frequenzbereich von ca. 80 Hz getreu zu erfassen, durfte die Länge der Elemente bis ca. 5,4m (5,4w) gewählt werden.

Für die Modellbauwerke werden die Tiefpassfilter- und Dispersionseigenschaften anhand einer Variation der Elemente von 2 m x 2 m bis 8 m x 8 m untersucht. Anhand des Vergleichs der Ergebnisse kann festgestellt werden, dass bereits bei Elementgrößen von 4 m starke Streueffekte zu erwarten sind, die auf die Tiefpass- gewiss aber auch auf die Dispersionseigenschaften der größeren Elemente zurückzuführen sind (Fig. 3-103 bis 3-106 sowie 3-118 bis 3-122).

3.3.5 Einfluss von Modelldiskretisierungen auf Ergebnisse der FE-Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Bauwerksteilstrukturen und Modellbauwerken bei Stoßbelastungen

Die Zielsetzungen der Untersuchungen wurden unter Absatz 3.3.3 definiert. Sie waren die Basis für die Planung der einzelnen Aufgaben und Berechnungsschritte.

Ausgangspunkt der Parameterstudien, die sich sowohl auf die Klärung der einzelnen, die dynamischen Charakteristiken bestimmenden Einflüsse (Elementart, Diskretisierung, Randbedingungen) als auch der stets nicht ausreichend ergründeten Filter- und Streueffekte finiter Elemente beziehen, waren allen im folgenden dokumentierten Untersuchungen relativ weit erstreckte aufgabenorientierte Teststrukturen (Balken, Scheiben, Platten, Modellbauwerke) bzw. reelle Bauwerke.

Bei der Konzipierung der Rechenmodelle dieser Strukturen ist man jeweils von einer Modellvariante ausgegangen, die aus praktischer Sicht sowie wegen der Möglichkeiten einer realistischen Modellabbildung und Erfassung der dynamischen Charakteristiken noch zweckmäßig ist (Fig. 3-60, 3-73, 3-82, 3-107 und 3-33).

Diese Rechenmodelle wurden dann in mehreren Stufen jeweils im Verhältnis 1 : 2 verfeinert. Die kleinste Elementlänge der finiten Diskretisierung wurde mit dem Seitenmaß S (bei Balken) bzw. der Wandstärke w (bei Platten) begrenzt. Im ersten Schritt der Untersuchungen wurden jeweils die dynamischen Charakteristiken für den relevanten Frequenzbereich ermittelt und ausgewertet. Sie stellen den Ausgangspunkt aller weiteren Berechnungen dar.

Die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen werden jeweils zwecks Herausstellung der aufzuklärenden Zusammenhänge und Verdeutlichung der interessierenden Phänomene in geeigneten Gegenüberstellungen in grafischer Form dargestellt (s. Anhang 1, Teil 1 und 2) /8-1/.

Auf diese Art wurden für alle Beobachtungspunkte (gesondert für verschiedene Elementgrößen, Lastfunktionen und Belastungsrichtung) folgende Ergebnisse dargestellt und verglichen:

- Zeitverläufe der Verschiebungen
- Zeitverläufe der Beschleunigungen
- Antwortspektren der Beschleunigungen

An Untersuchungen mit Balken wurde auch der Einfluss verschiedener Elementarten auf die Erschütterungsübertragungs-Phänomene verfolgt und anhand von Beobachtungen folgende Vorgänge bewertet:

- Verschiebungen zu gleichen Zeitpunkten nach dem Stoß in charakteristischen Beobachtungspunkten des Balkens für ausgewählte Elementlängen und -arten (Fig. 3-69 und 3-70).
- Beschleunigungen zu gleichen Zeitpunkten nach dem Stoß in charakteristischen Beobachtungspunkten des Balkens für ausgewählte Elementlängen und -arten (Fig.3-71 und 3-72).

Durch Analyse der Streubereiche der Ergebnisse sollen Erkenntnisse zur Aufklärung der Tiefpassfilter- und Dispersionseigenschaften gewonnen und die Grenzen der Anwendbarkeit von FE-Simulationen bei Impulsbelastungen umrissen werden. In erster Linie wurde den von der Länge der Elemente abhängigen Tiefpassfiltereigenschaften anhand von Parameterstudien an Balken, Scheiben und Platten mit verschiedenen Diskretisierungen nachgegangen (s. Absatz 3.3.5.1 und 3.5.3.2).

Die Aufklärung der dispersiven Eigenschaften scheint sehr viel schwieriger zu sein. Es ist lediglich bekannt, dass es eine Abhängigkeit zwischen der Phasenwinkelgeschwindigkeit und der Wellenfrequenz gibt. Im Rahmen dieser Parameterstudien soll durch Beobachtung der Streubereiche jedoch versucht werden, Informationen zur Interpretation des Dispersionsverhaltens zu sammeln.

3.3.5.1 Eindimensionale Rechenmodelle

3.3.5.1.1 Modellbalken

Die Bewertung der Aussagekraft von Finiten-Elemente-Modellen bei Berechnungen von Wellenausbreitungsvorgängen begann mit Untersuchungen an einfachen Teilstrukturen (Balken).

In diesem Unterpunkt werden die Ergebnisse entsprechender Parameterstudien (mit Variation von Elementart, Diskretisierung und Charakter der Lastfunktion) kurz zusammengefasst. Die vollständigen Ergebnisse wurden im Anhang 1, Teil 1 dokumentiert.

Diskretisierung und Lastannahmen

Ausgangspunkt der Berechnungen ist ein Modellbalken mit quadratischem Querschnitt von 100 cm^2 , der anhand von FE-Volumen-, Platten- bzw. Stabelementen abgebildet wurde (Fig. 3-60). Die kürzeste Länge der Elemente entsprach dem Seitenmaß des quadratischen Querschnittes. Ausgehend von der Elementgröße $8S$ wurde in Folgeschritten der Untersuchung die Elementlänge stufenweise um das 2-, 4- und 8-fache verkleinert (s. Anhang 1, Teil 1) $/8-1/$. Der Balken wurde jeweils am freien Ende mit den in Fig. 3-57 dargestellten Stoßlastfunktionen belastet.

Die im Absatz 3.3.4.1 festgelegten Dreiecks- und Rechtecks-Lastfunktionen ST1 und ST2 entsprechen einem kurzzeitigen Einheitsstoß, der in etwa dem Charakter einer Geschosswirkung (Abriss einer Turbinenschaufel) nahe kommt.

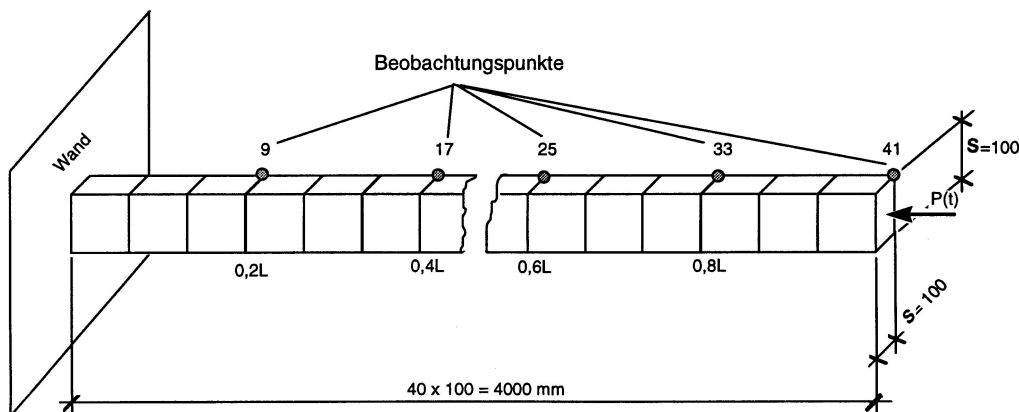


Fig. 3-60: Modellbalken

Die Rechteckfunktion hat eine Anstiegs- und Abstiegszeit von $t_r = 10^{-5}$ s und eine Einwirkungsdauer von 5 ms .Die Dreiecksfunktion hat das gleiche Lastniveau und eine Basiszeit von ebenfalls 5ms.

Die „Langzeit-Lastfunktion“ ST3 hat eine Basiszeit von 70 ms und entspricht somit der Einwirkungsdauer eines Flugzeuges. Das Maximallast wurde jedoch der Grenztragfähigkeit des Balkens (1 MN) angepasst.

Die Anregungsfähigkeit dieser Lastfunktionen kann anhand der in Fig. 3-62 dargestellten dynamischen Lastfaktoren abgeschätzt werden. Ausführliche Ergebnisse zu den Untersuchungen an Balken wurden in Anhang 1, Teil 1 /8-1/ zusammengestellt

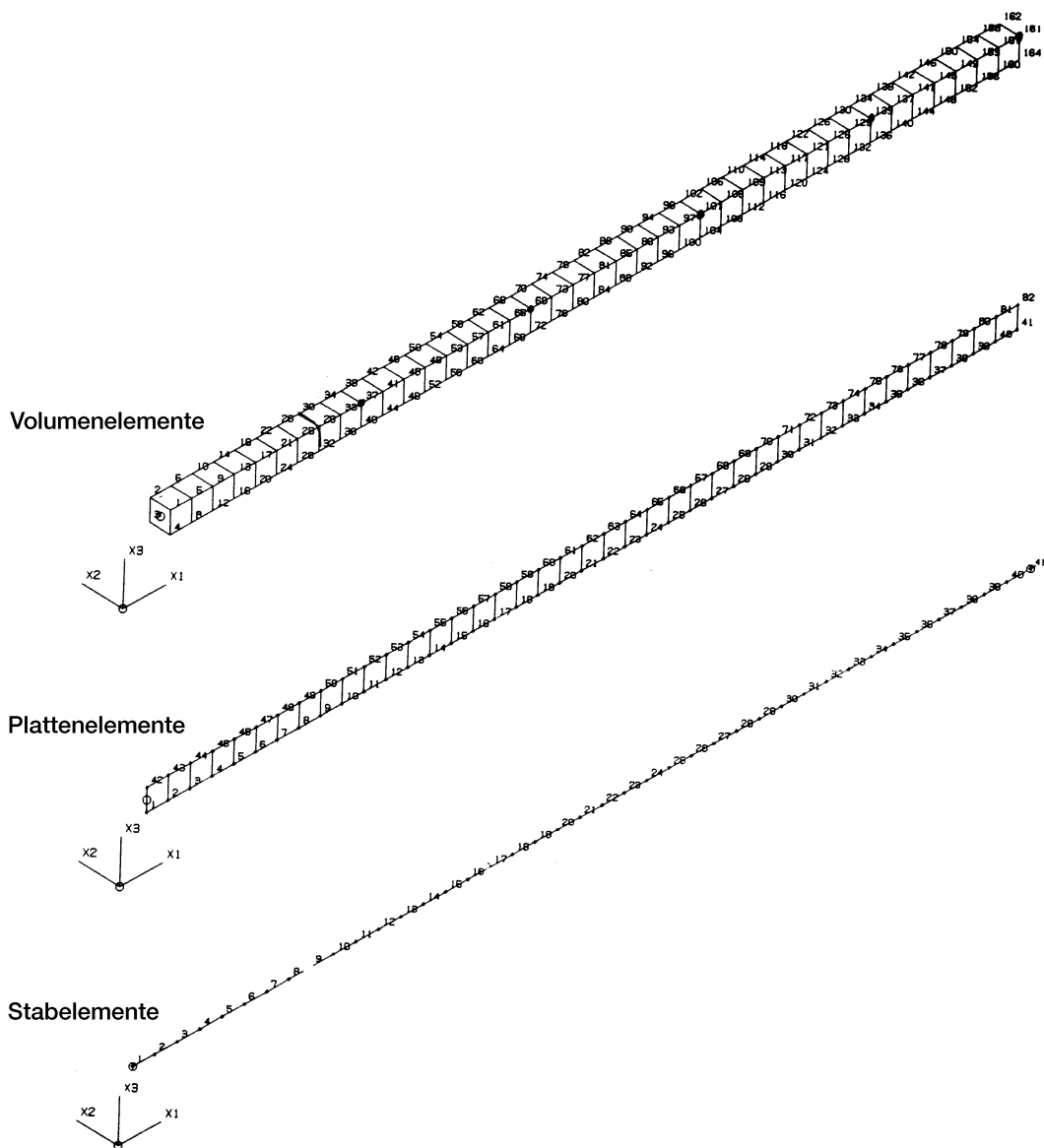


Fig. 3-61: Idealisierungen des Modellbalkens mittels verschiedener Elementarten

Diskretisierung	Eigenfrequenzen [Hz]				
	1.	2.	3.	4	5
Volumenelemente					
S	214,58	643	1071	1496	1919
2 x S	214,70	642	1067	1482	1890
4 x S	214,86	639	1050	1044	1459
8 x S	214,88	625	981	1044	1459
Plattenelemente					
S	214,49	643	1070	1496	1919
2 x S	214,51	642	1066	1483	1891
4 x S	214,47	638	1046	1430	1780
8 x S	214,09	622	971	1229	1366
Balkenelemente					
S	214,43	642	1070	1496	1919
2 x S	214,38	641	1065	1482	1890
4 x S	214,38	637	1044	1426	1773
8 x S	213,56	620	965	1216	1348

Tab. 3-9 Eigenfrequenzen in Längsrichtung des Modellbalkens bei verschiedener Diskretisierung

Charakteristische Ergebnisse

Die anhand von o. g. drei Idealisierungsarten des Balkens ermittelten Eigenfrequenzen wurden in Tab. 3-9 zusammengestellt. Es kann festgestellt werden, dass die Idealisierungen mit allen Elementarten gut vergleichbare Werte liefern und dass die ermittelten Eigenfrequenzen des Balkens bei größerer Diskretisierung eine fallende Tendenz aufweisen. Die in den charakteristischen Beobachtungspunkten (anhand der o.g. FE-Modelle) ermittelten Verschiebungen und Beschleunigungen des Balkens bei Anwendung verschiedener Elementarten wurden in vollem Umfang im Anhang 1 dokumentiert.

Zur Demonstration der Ergebnisse wurden in Fig. 3-63 und 3-64 stellvertretend die für die o. g. Parametervariation ermittelten Verschiebungszeitverläufe für den Beobachtungspunkt 0.2L dargestellt. Es kann festgestellt werden, dass für feine und mittlere Diskretisierungen die Zeitverläufe der Verschiebungen unabhängig vom Charakter der Lastfunktion sehr gut übereinstimmen. Die Diskretisierung mit den größten Elementen 8xS liefert besonders bei der Lastfunktion ST1 optisch erkennbar abweichende Zeitverläufe.

Die Zeitverläufe der Beschleunigungen haben im Falle der Lastfunktion ST1 in allen Beobachtungspunkten sowie im Lasteinleitungsbereich (Fig. 3-65) einen hochfrequenten, durch den kurzen Einheitsstoß (ST1) bestimmten Charakter. Der Stoßübertragungsvorgang ist nach ca. vierfacher

Einwirkungszeit abgeklungen. Auch hier ist jedoch ein unterschiedlicher Charakter bei den mit den größten Elementen ermittelten Zeitverläufen erkennbar.

Im Falle der Lastfunktionen ST2 und ST3 (Fig. 3-66) haben die Zeitverläufe einen tieferen Frequenzgehalt und klingen langsamer ab.

In Fig. 3-67 und 3-68 wurden von den o. g. Zeitverläufen der Beschleunigungen abgeleitete Beschleunigungsantwortspektren verglichen. Bei den Diskretisierungen mit größeren Elementlängen (4S, 8S) ist erkennbar, dass die Elementlänge von großer Bedeutung ist. Die für den Balken mit größter Diskretisierung (8S) ermittelten Ergebnisse weichen hier auch am stärksten ab.

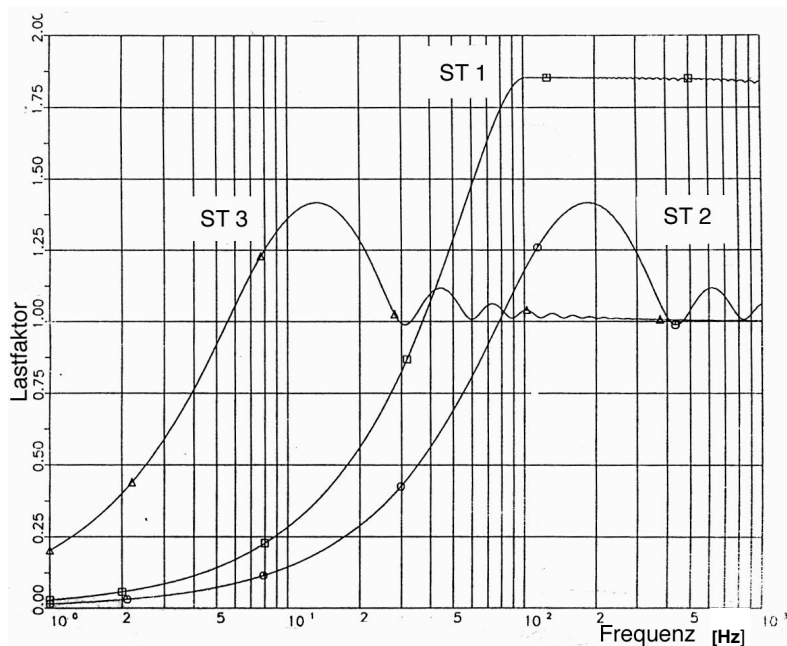


Fig. 3-62 Dynamische Lastfaktoren der Lastzeitfunktion des Balkens (2% Dämpfung)

In Fig. 3-69 bis 3-72 wurden die Zeitverläufe der Verschiebungen und Beschleunigungen in fünf charakteristischen Beobachtungspunkten am Balken (angeordnet in Abständen von 0,2L, 0,4L, 0,6L, 0,8L und 1L vom Einspannbereich) verglichen und für verschiedene Diskretisierungsgrade des Modellbalkens jeweils in einem Bild dargestellt. Es kann festgestellt werden, dass mit wachsendem Abstand des Beobachtungspunktes zum Lasteinleitungspunkt die Verschiebungsamplituden in etwa linear abnehmen.

Anhand der Darstellungen in Fig. 3-71 und 3-72 kann der Einfluss der Entfernung (Beobachtungspunkt) zum Stoßeinleitungspunkt auf die Verzögerung der Ankunft der maximalen Beschleunigungsamplitude sowie das Amplituden-Abklingverhalten analysiert werden. Es kann festgestellt werden, dass mit wachsender Entfernung des Beobachtungspunktes vom Stoßeinleitungsbereich die:

- Verzögerungszeit der Ankunft der Antwort zunimmt
- Beschleunigungsamplituden in etwa exponential abnehmen (Fig. 3-71 und 3-72)
- Beschleunigungsamplituden und Ankunftszeiten bei den Diskretisierungen 1S und 2S in etwa

vergleichbar sind (Fig. 3-71)

- Ankunftszeiten bei größerer Diskretisierung $> 4S$ verlangsamt und die Beschleunigungsamplituden stärker gedämpft werden (Fig. 3-72).

Der Einfluss der Elementlänge auf den Charakter der Strukturantworten im gleichen Beobachtungspunkt geht auch aus Fig. 3-67 bis 3-68 deutlich hervor. Besonders im Bereich oberhalb der maßgebenden Anregungsfrequenzen der Stoßfunktion gelangt man bei groben Diskretisierungen zu relativ starken Abweichungen. Es kann festgestellt werden (Anhang 1, Teil 1), dass die zur Abbildung des Balkens angewandten Elementarten (Volumen-Platten-Balkenelemente) keinen erkennbaren Einfluss auf den Charakter der Zeitverläufe der Verschiebungen bzw. Beschleunigungen sowie der Spektren der Beschleunigungen in dem gleichen Beobachtungspunkt des Balkens haben. Dagegen hat die Elementlänge einen eindeutig erkennbaren Einfluss sowohl auf den Charakter als auch auf die Amplituden der Zeitverläufe.

Diskretisierungen des Balkens mit Elementen von einer Länge bis zum ca. 2fachen des Seitenmaßes „S“ des Balkens (0,2 m) führen (beim gewählten zu berücksichtigenden Frequenzbereich von $f_n = 2000$ Hz) zu gut vergleichbaren Ergebnissen.

Bei der Diskretisierung des Balkens mit Elementen größer $4S$ weichen die Ergebnisse relativ stark ab und konvergieren nicht mehr mit Ergebnissen, die mit feineren Diskretisierungen ermittelt wurden, da die Grenzdurchlasselementlängen überschritten sind. Anteile von Oberschwingungen mit Frequenzen oberhalb der Element-Grenzdurchlassfrequenz (Tiefpassfilterfrequenz) gehen verloren.

Man gelangt zu der Feststellung, dass mit Diskretisierungen die nach dem Wellenerfassungsansatz festgelegt wurden, keine zuverlässigen Ergebnisse ermittelt werden können.

Elementlängen, die auf diesem Wege festgelegt wurden, sind zu grob. Sie filtern einen Teil der Oberschwingungen aus. Eine Verifikation der Elementlänge ist dringend erforderlich.

Ausgangspunkt dieser Verifikation sind Konvergenzelementlängen, die im Rahmen der durchgeführten umfangreichen Parameterstudien für die jeweiligen Teilstrukturarten (Balken, Platte, Scheibe) sowie für typische Baustrukturen, unter Anwendung gestaffelter Diskretisierungsvarianten ermittelt wurden und die hierdurch ableitbaren Korrekturfaktoren.

Die Korrekturfaktoren (k) werden über das Verhältnis der durch die Studien festgestellten Grenzdurchlass- bzw. Konvergenzelementlängen " L_K " zu den nach dem Wellenerfassungskriterium ermittelbaren Elementlängen " L_W " bestimmt. Die Korrekturfaktoren beziehen sich dabei jeweils auf die höchste zu berücksichtigende Oberschwingung f_n .

$$k = L_K / L_W$$

Basierend auf den Ergebnissen der Parameterstudien gelang man für den Fall eines Balkens zu:

$$k_{(B)} = 2S / 2,4S^* = 0,8 \quad (*s. Tabelle 3-4, maximale Elementlängen)$$

Für die Festlegung der Grenzdurchlass- bzw. Tiefpassfilterlänge ($L_{k(B)}$) eines Balkens zur unverstümmelten Erfassung aller Schwingungsanteile der Stoßwellen bis zu einer Oberfrequenz von f_n gilt:

$$L_{k(B)} = k_B L_W$$

$$\text{und mit } L_W = 0,125 c T_n$$

beträgt die Konvergenz -(Grenzdurchlass-) Elementlänge eines Balkens :

$$L_{k(B)} \leq 0,1 c_L T_n \quad \text{bzw.} \quad L_{k(B)} \leq c_L / 10 f_n$$

Eignungsgrenzen von FE-Modelldiskretisierungen - Eindimensionale Rechenmodelle

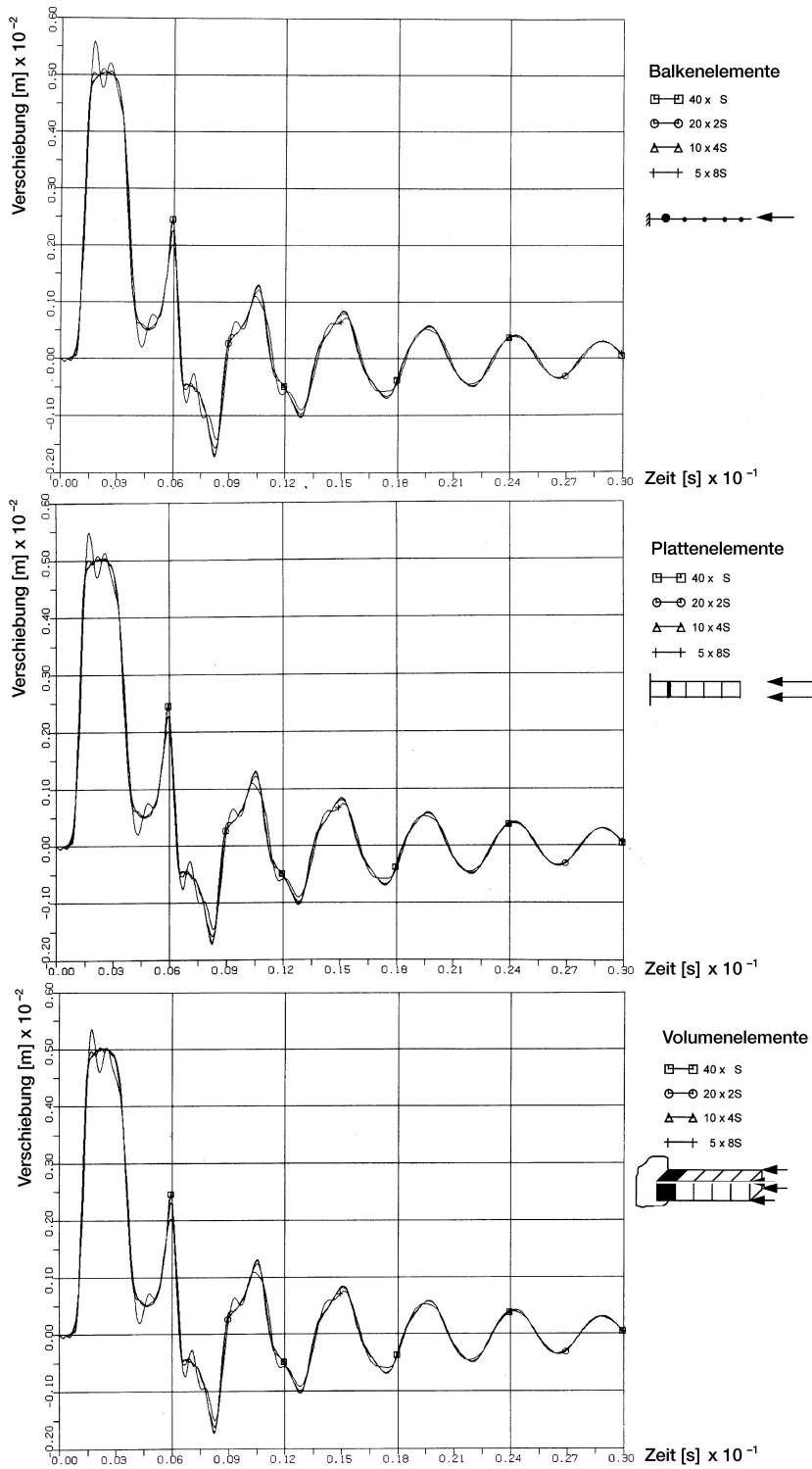


Fig. 3-63: MODELLBALKEN
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen im charakteristischen
Beobachtungspunkt 0,2L ermittelt für verschiedene Elementarten und Diskretisierungen
Lastfunktion ST1

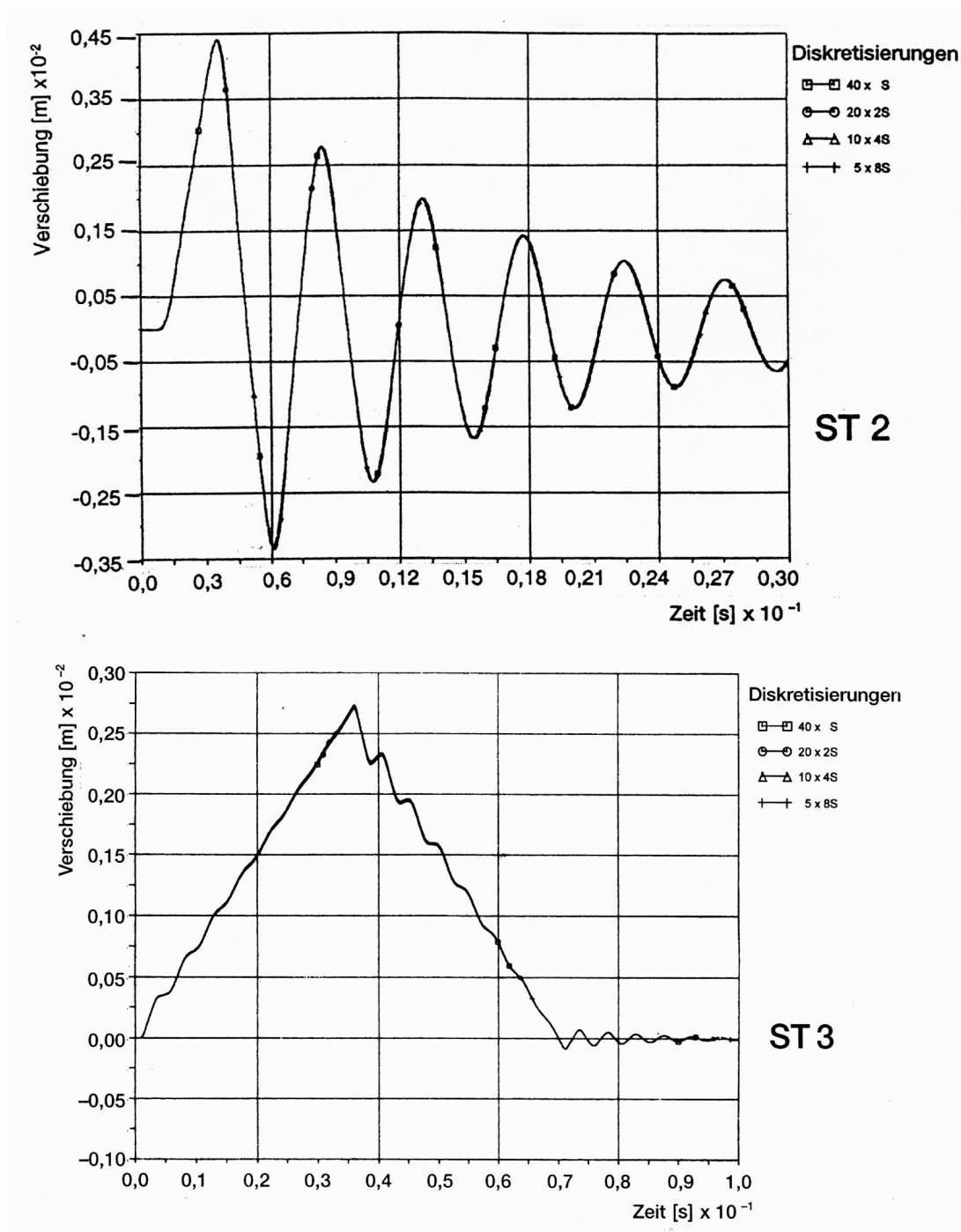


Fig. 3-64: *MODELLBALKEN, Balkenelementmodell*
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen im charakteristischen
Beobachtungspunkt 0,2L ermittelt für verschiedene Diskretisierungen
Lastfunktion ST2 und ST3

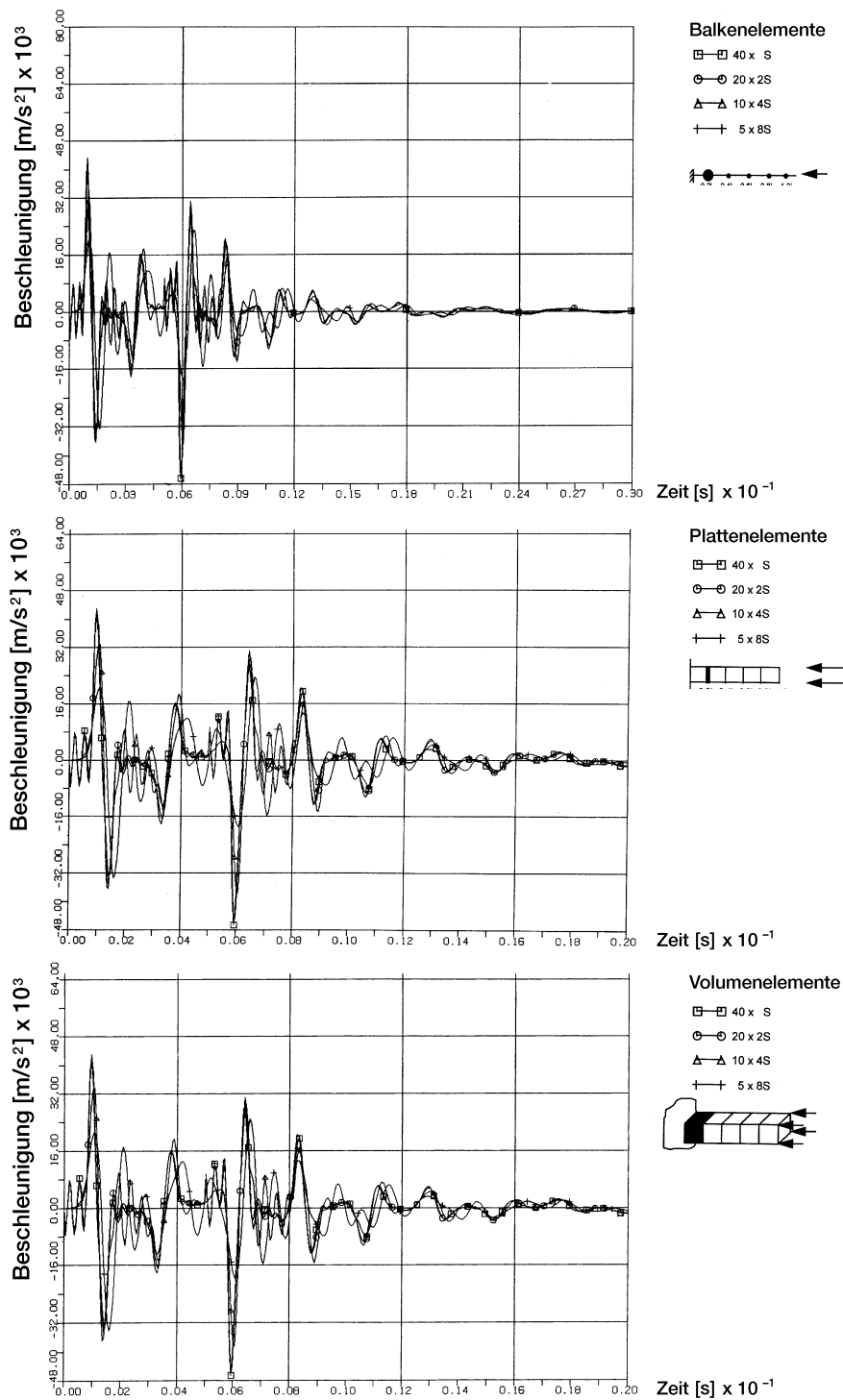


Fig. 3-65: MODELLBALKEN
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen im charakteristischen Beobachtungspunkt $0,2L$ ermittelt für verschiedene Elementarten und Diskretisierungen Lastfunktion ST1

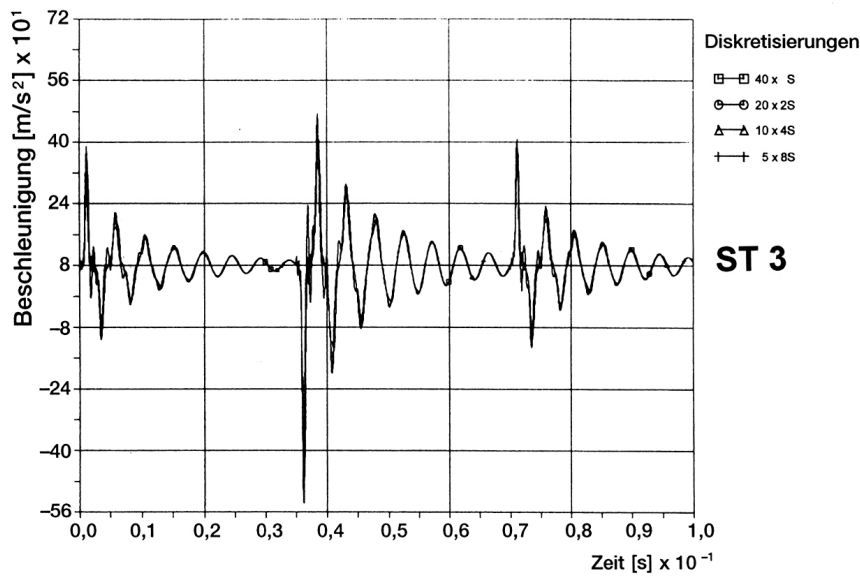
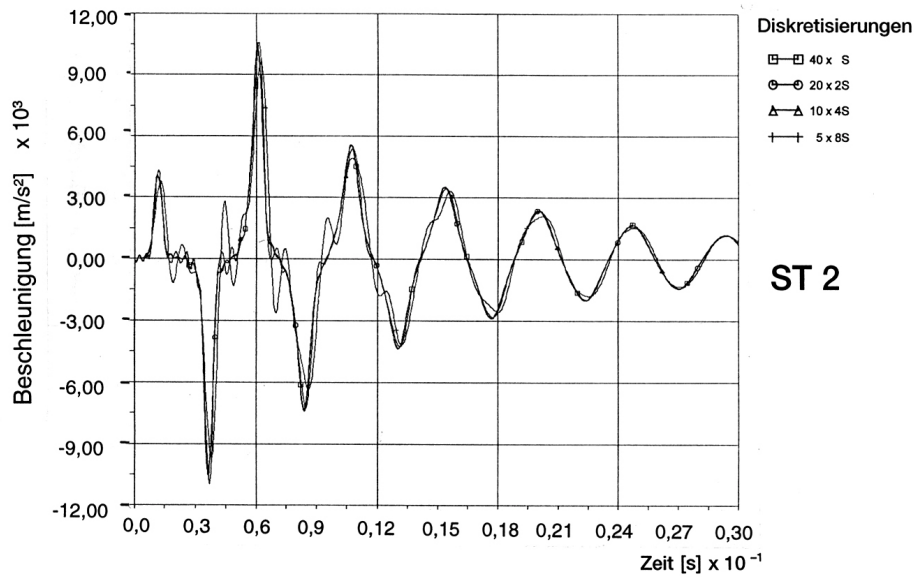


Fig. 3-66: MODELLBALKEN, Balkenelementmodell
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen im charakteristischen Beobachtungspunkt 0,2L ermittelt für verschiedene Diskretisierungen Lastfunktionen ST 2 und ST 3

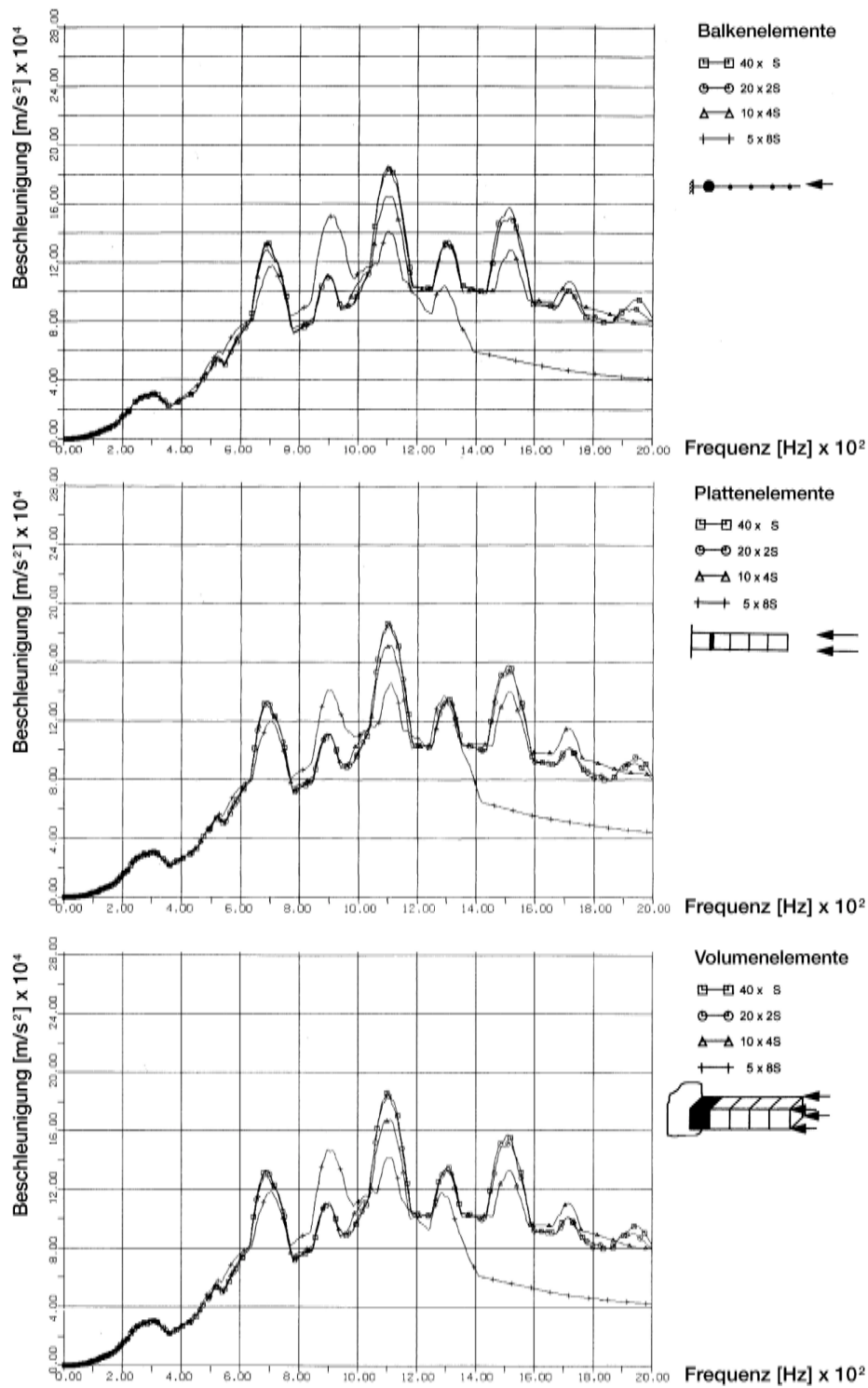


Fig. 3-67: MODELKBALKEN
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren im charakteristischen Beobachtungspunkt 0,2L ermittelt für verschiedene Elementarten und Diskretisierungen Lastfunktion ST1

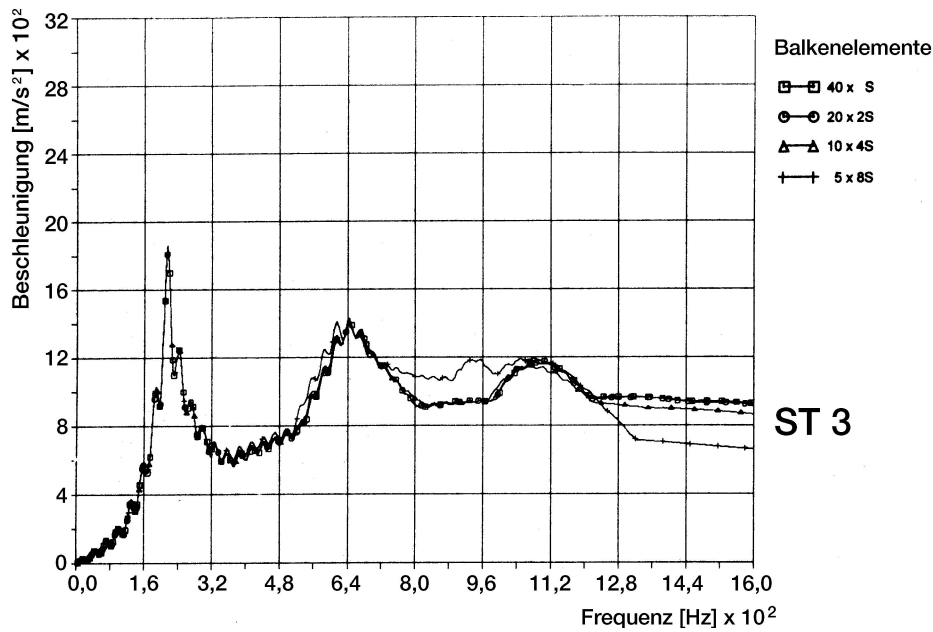
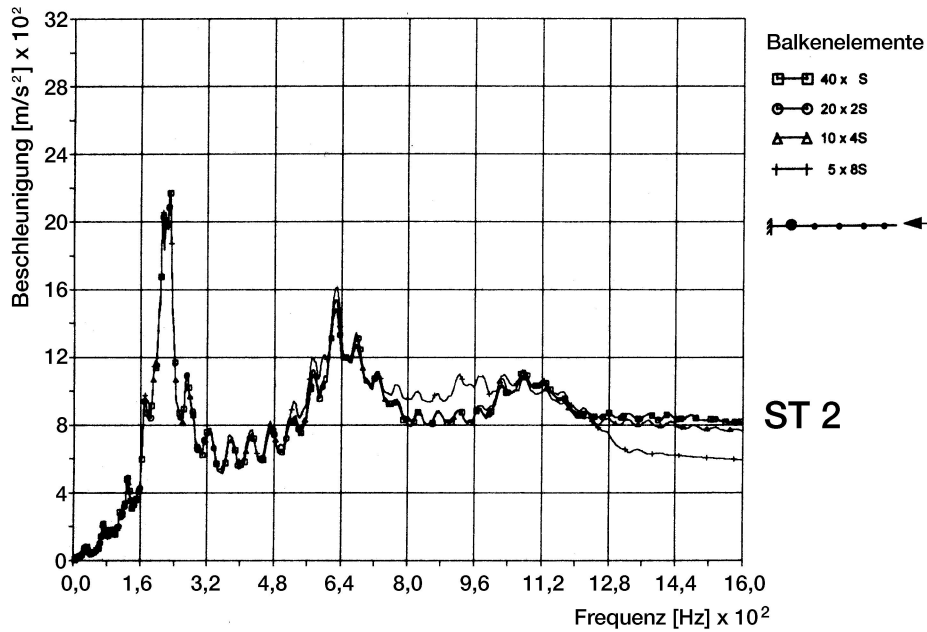


Fig. 3-68: MODELKBALKEN
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen im charakteristischen Beobachtungspunkt $0,2L$ ermittelt für verschiedene Diskretisierungen Lastfunktion ST2 und ST3

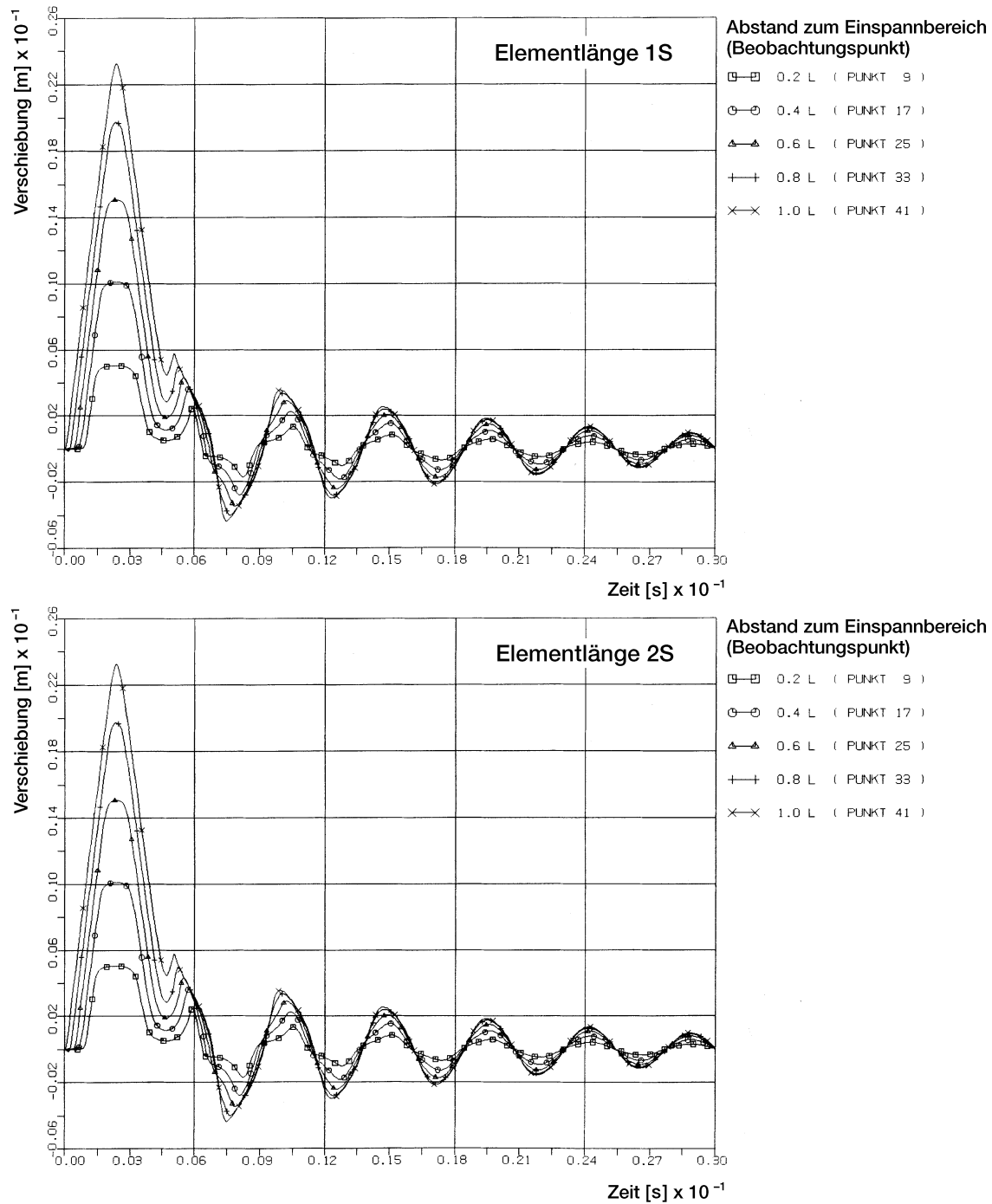


Fig. 3-69: *MODELLBALKEN, Balkenelementmodell
Einfluss der Elementlänge (1S und 2S) auf zeitpunktgleiche Verschiebungen
in den Beobachtungspunkten 0,2L bis 1,0L
Lastfunktion ST1*

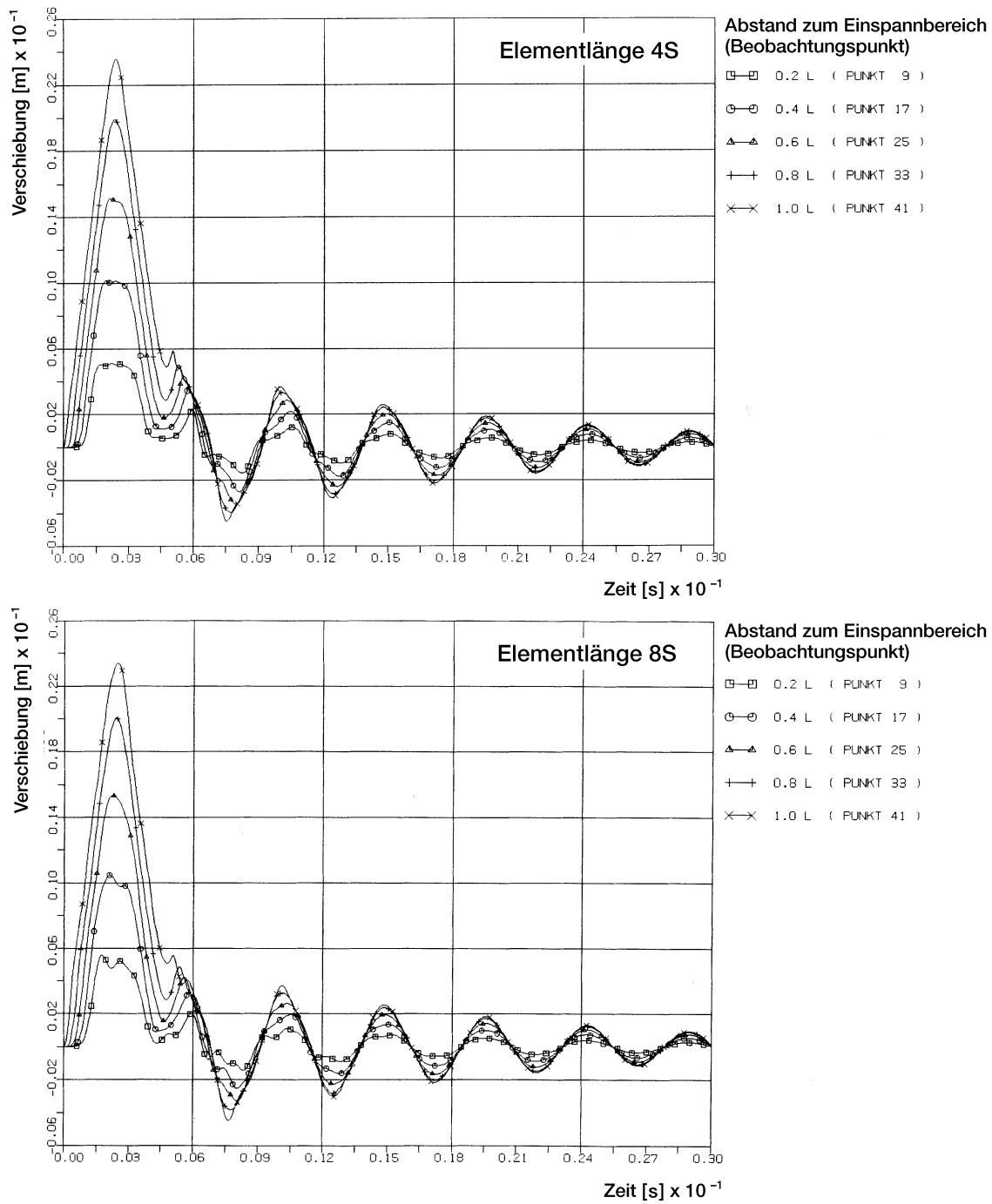


Fig. 3-70: MODELLBALLEN, Balkenelementmodell
Einfluss der Elementlänge (4S und 8S) auf zeitpunktgleiche Verschiebungen
in den Beobachtungspunkten 0,2L bis 1,0L
Lastfunktion ST1

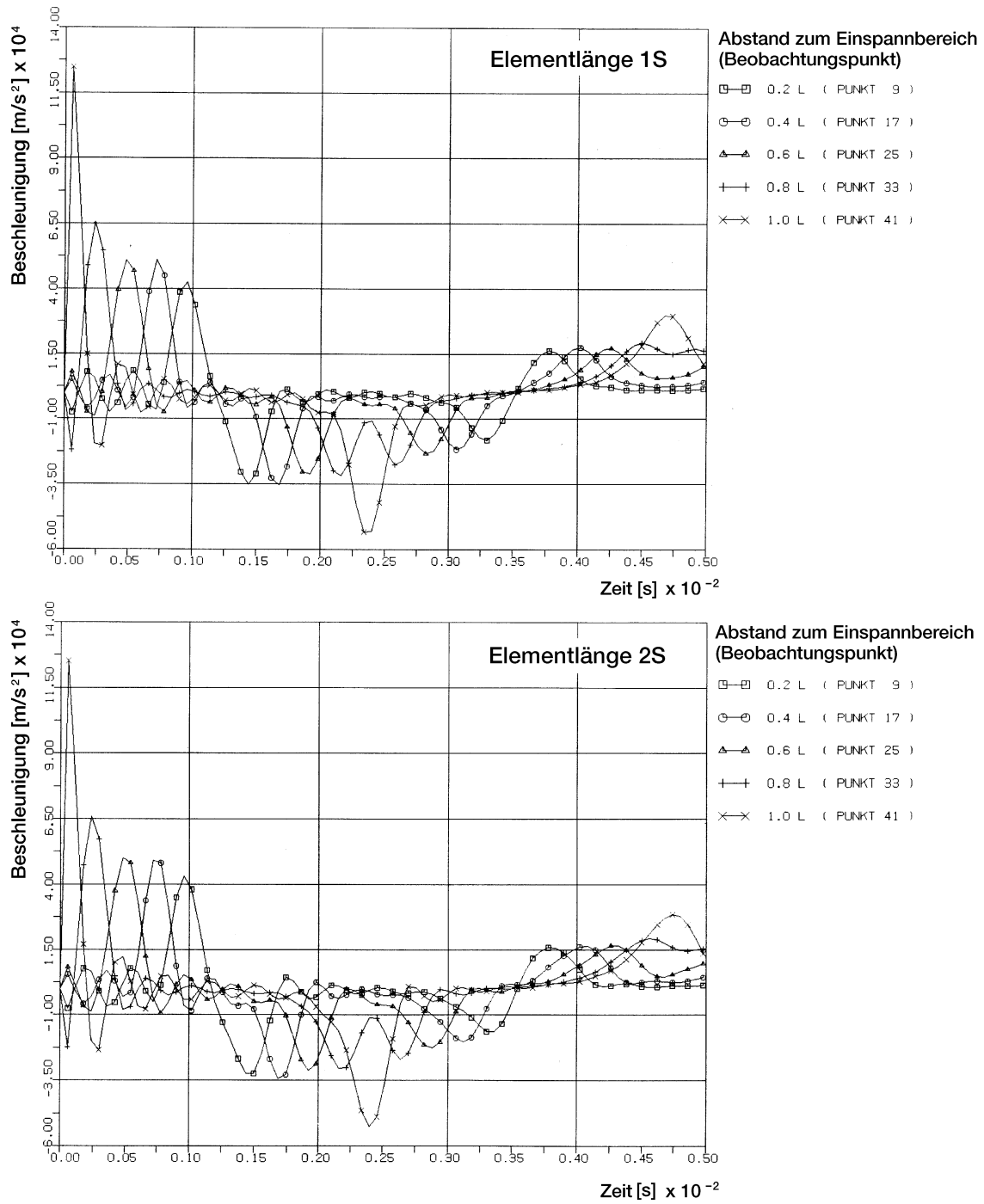


Fig. 3-71: MODELLBALKEN, Balkenelementmodell
Einfluss der Elementlänge (1S und 2S) auf zeitpunktgleiche
Beschleunigungen in den Beobachtungspunkten 0,2L bis 1,0L
Lastfunktion ST1

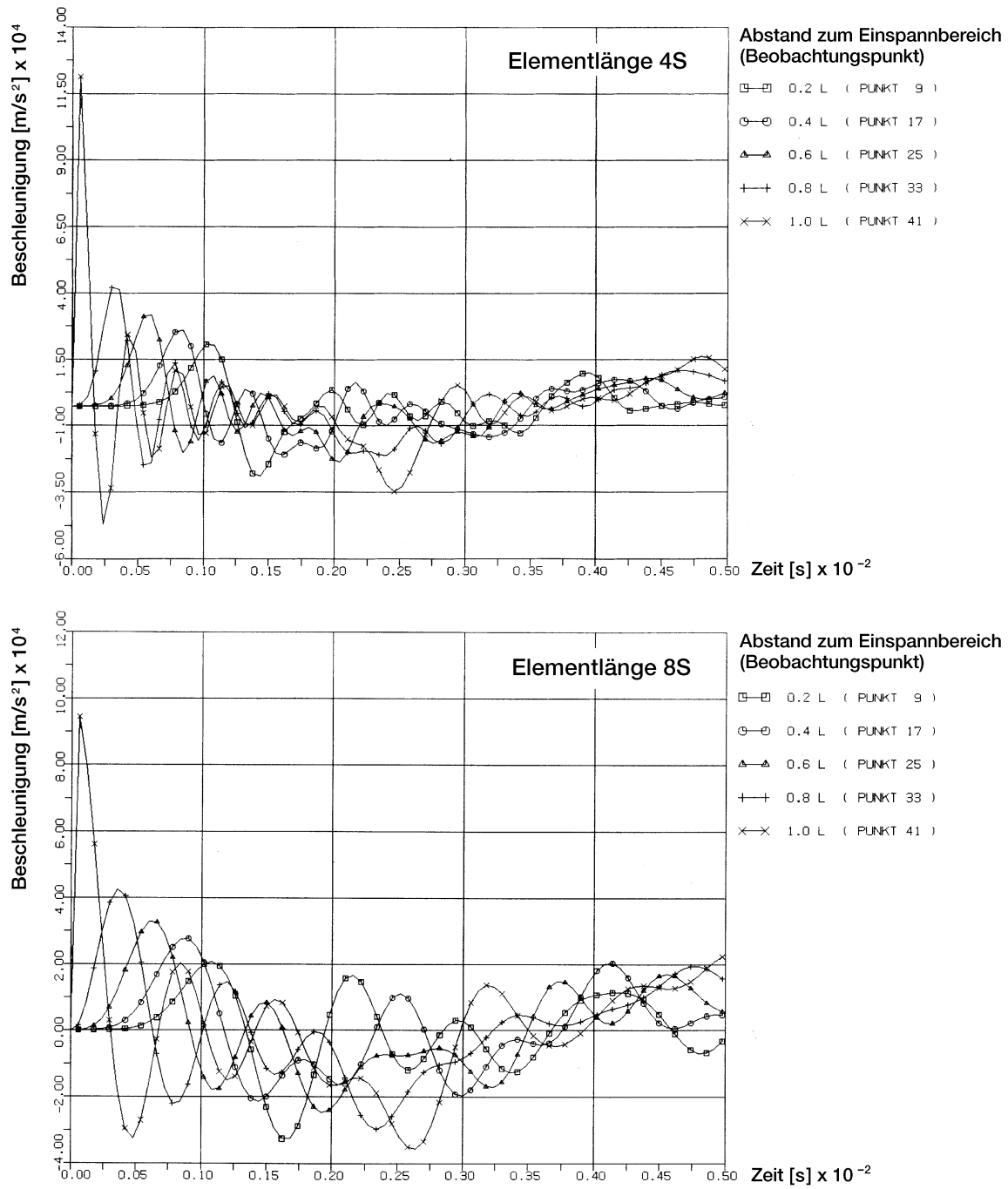


Fig. 3-72: *MODELLBALKEN, Balkenelementmodell*
Einfluss der Elementlänge (4S und 8S) auf zeitpunktgleiche
Beschleunigungen in den Beobachtungspunkten 0,2L bis 1,0L
Lastfunktion ST1

3.3.5.2 Zweidimensionale Rechenmodelle von Bauwerksteilstrukturen

Zur Fortsetzung der Ergründung der Wellenausbreitungsphänomene wurden Untersuchungen an Wandscheiben und Deckenplatten vorgenommen.

Ausgangspunkt der Untersuchungen war eine 32 m x 40 m große Betonplatte, die abhängig von der Belastungsart an einem oder mehreren Rändern als eingespannt bzw. frei aufgelagert angenommen wurde (Fig. 3-73 und 3-82).

Bei den Untersuchungen wurde von Modellwandscheiben bzw. Deckenplatten mit einer Wandstärke von $w = 1,0$ m ausgegangen. Im Falle der Modellwandscheibe wurde entsprechend der vorgesehenen Belastungsrichtung das Schwingungsverhalten in der X_1/X_3 -Ebene untersucht.

Bei der Modelldeckenplatte dagegen wurde nur das Schwingungsverhalten in der X_2 - Richtung verfolgt.

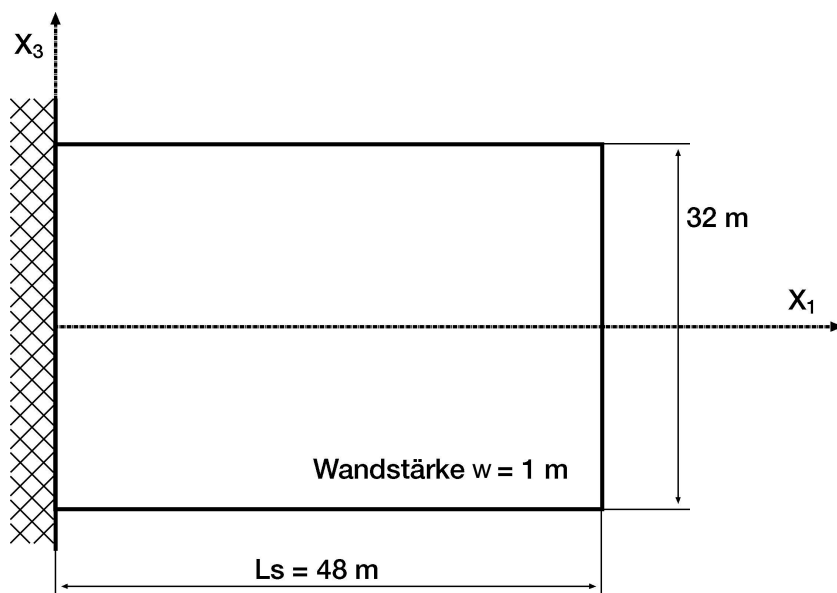


Fig. 3-73: Abmessungen der Modellwandscheibe

Die Abbildung der Platten und Scheiben erfolgte mit finiten Elementen (Filippa-Vierecksplatten-element) für eine weit gestreckte Variation des Diskretisierungsnetzes (von $1w \times 1w$ bis $8w \times 8w$).

Die Wandscheibe wurde am freien Rand gegenüber der Einnspannung wie folgt alternativ belastet:

- Axialbelastung (senkrecht zum freien Rand, Fig. 3-74a)
- Querbelastung (in Richtung des freien Randes, Fig. 3-74b)

Als Belastung wurden die spezifizierten Lastfunktionen mit verschiedener Stoßdauer gemäß Fig. 3-58 bzw. 3-59 angesetzt.

Im Falle der Deckenplatten wurde die gleiche Stoßbelastung senkrecht zur Plattenebene in ihrem oberen rechten Zwölftel aufgebracht (Fig. 3-82). Die hierdurch ausgelösten Biegeschwingungen und Wellenausbreitungen wurden für zwei verschiedene Bedingungen am Rand der Platte (freie Auflagerung und feste Einspannung) untersucht.

3.3.5.2.1 Modellwandscheibe

Diskretisierung und Lastannahmen

Die Modellwandscheibe mit den Abmessungen 32 m x 48 m und der Wandstärke $w = 1\text{ m}$ wurde als an einem Ende eingespannt angenommen (Fig. 3-74).

Ausgangspunkt der Untersuchungen war eine Diskretisierung der Wandscheibe mit finiten Rechteckelementen mit dem Seitenmaß von $8w \times 8w$. Dieses Rechenmodell wurde in drei weiteren Stufen verfeinert und mit Elementen von einem Seitenmaß $4w \times 4w$, $2w \times 2w$ und $w \times w$ abgebildet (Fig. 3-75).

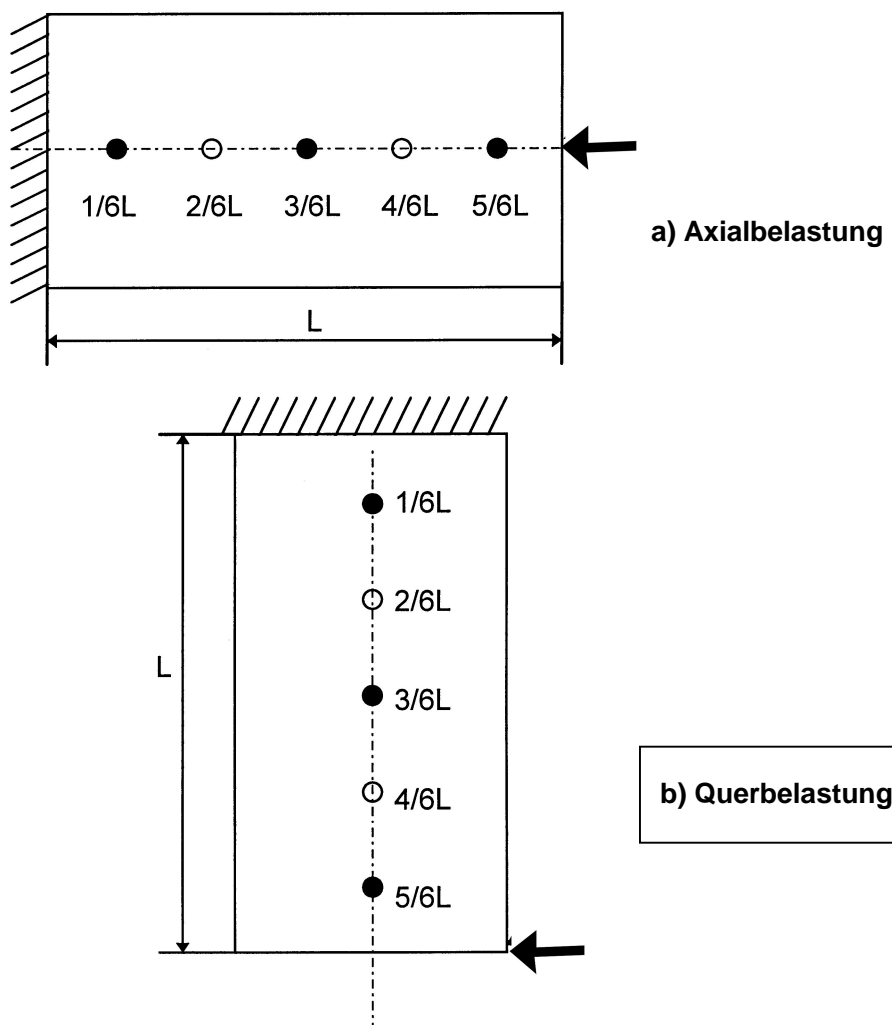


Fig. 3-74: *Modellwandscheibe*

Die Strukturantworten infolge o. g. Lastfunktionen wurden in sechs charakteristischen auf der Symmetrieachse angeordneten Beobachtungspunkten $1/6L$ bis $1,0L$ (Fig. 3-74) verfolgt und für verschiedene Diskretisierungen der Modellscheibe verglichen.

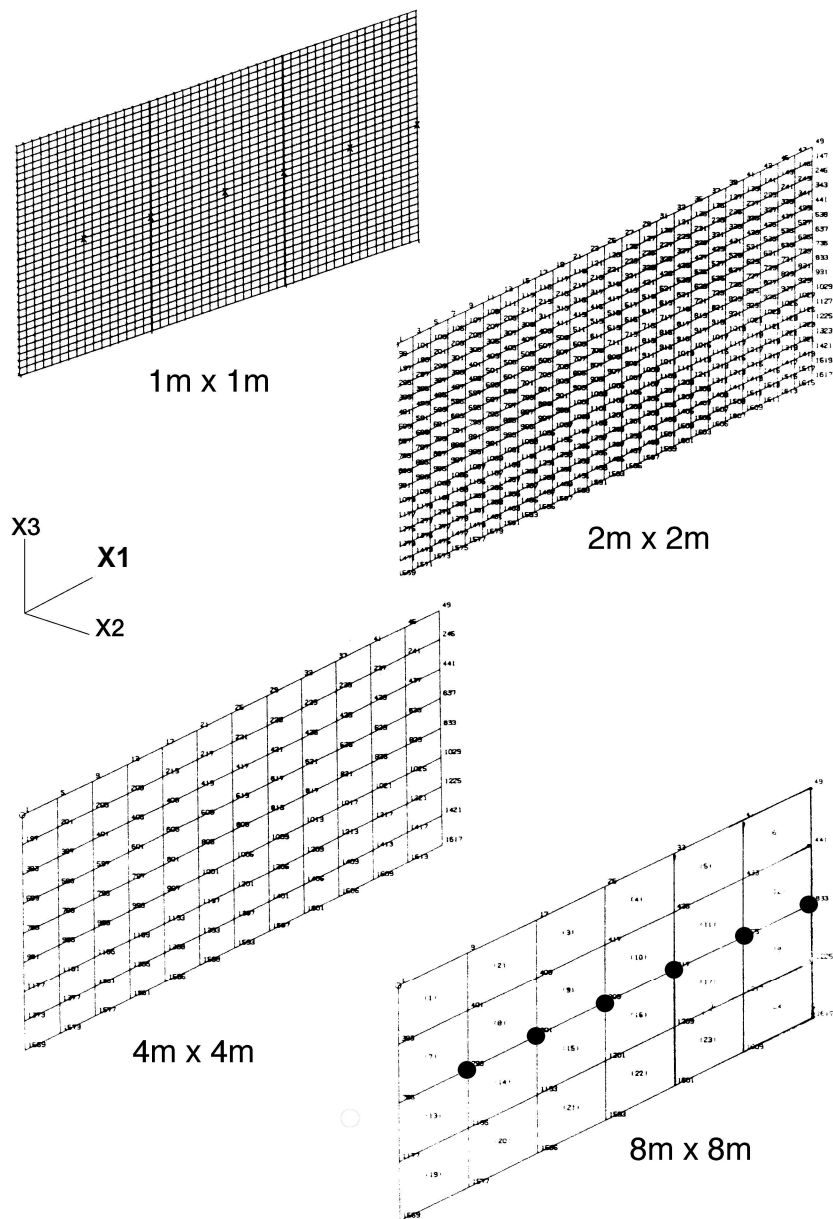


Fig. 3-75: Diskretisierungsvarianten der Modellwandscheibe

Charakteristische Ergebnisse

Die anhand der vier Diskretisierungen der Modellwandscheibe ermittelten Eigenfrequenzen und modalen Größen unterscheiden sich nur geringfügig.

Analysiert man die in Tab. 3-10 der zusammengestellten Eigenfrequenzen, so kann festgestellt werden, dass bei Anwendung von Diskretisierungen mit größeren Elementen die Eigenfrequenzen sowie der Grundschwingungs- als auch der Oberschwingungsformen ähnlich wie bei Untersuchungen an Balken fallende Tendenzen haben.

Diskretisierung	Eigenform	Eigenfrequenzen (Hz) in den Schwingungsrichtungen		
		X1	X2	X3
w x w (1m x 1m)	1.	17,91	0,24	6,07
	2.	50,16	1,52	20,26
	3.	57,26	4,30	40,35
2w x 2w (2m x 2m)	1.	17,91	0,24	6,07
	2.	50,05	1,52	20,24
	3.	57,18	4,29	40,30
4w x 4w (4m x 4m)	1.	17,90	0,24	6,07
	2.	49,63	1,50	20,16
	3.	56,85	4,22	40,11
8w x 8w (8m x 8m)	1.	17,87	0,24	6,06
	2.	47,74	1,45	19,82
	3.	55,63	3,97	39,26

Tab. 3-10: *Eigenfrequenzen der Modellwandscheibe bei verschiedener Diskretisierung*

In Fig. 3-76 bis 3-79 wurden die mit allen Modellvarianten ermittelten Verschiebungs- und Beschleunigungszeitverläufe sowie die Antwortspektren in richtung des Stoßes verglichen. Der Vergleich erfolgte für charakteristische Punkte der Wandscheibe (Fig. 3-74), die im Abstand von 1/6L, 2/6L, 3/6L, 4/6L, 5/6L und L vom Spannungsbereich angeordnet sind.

Es kann hier wiederum festgestellt werden, dass die ermittelten Zeitverläufe der Verschiebungen und Beschleunigungen anhand von relativ feinen Diskretisierungen (mit Elementgrößen 1m x 1m, und 2m x 2m) gut vergleichbar sind. Bei einer Diskretisierung mit größeren finiten Elementen ergeben sich beachtliche Abweichungen. Diese Aussage bezieht sich sowohl auf die in Längs- als auch in Querrichtung (Fig. 3-76, 3-77 und Fig. 3-78,3-79) belastete Wandscheibe.

Noch deutlicher zu erkennen ist die Abweichung der Ergebnisse bei gröberer Diskretisierung der Wandscheibe anhand des Vergleichs der Beschleunigungsantwortspektren (Fig. 3-80 und 3-81). In spezifischen Beobachtungspunkten können grobe Diskretisierungen zu eindeutig fehlerhaften Ergebnissen führen (vgl. Fig. 3-80). Aufgrund der hier ableitbaren Aussagen führt besonders bei Längswellen die Diskretisierung mit Elementen größer 4w x 4w aus praktischer Sicht zu unzuverlässigen Ergebnissen. Zu sicheren Ergebnissen führen Diskretisierungen mit einem Raster kleiner 2w x 2w bis 4w x 4w. Weitere ausführlichere Ergebnisse wurden im Anhang 1, Teil 2 /8-1/ zusammengestellt.

Aufgrund der Parameterstudien ergeben sich für Wandscheiben Korrekturfaktoren von:

$$k_{(SB)S} = L_K / L_W = 2w / 3,4w^* = 0,6 \quad \text{für Scherwellen bzw.}$$

$$k_{(SB)L} = 2w / 5,6w^* = 0,36 \quad \text{für Längswellen (*s.Tabelle 3-6, maximale Elementlängen)}$$

Die frequenzabhängigen Konvergenz-(Grenzdurchlass-) Elementlängen $L_{K(SB)}$ betragen somit:

$$L_{K(SB)} \leq k_{(SB)} L_W$$

$$L_{K(SB)} \leq 4,4 \cdot 10^{-2} c_L T_n \quad \text{bzw.} \quad L_{K(SB)} \leq c_L / 22f_n \quad \text{(Längswellen)}$$

$$L_{K(SB)} \leq 7,5 \cdot 10^{-2} c_S T_n \quad \text{bzw.} \quad L_{K(SB)} \leq c_S / 14 f_n \quad \text{(Scherwellen)}$$

Zwecks zutreffender Erfassung beider Wellenarten sollte die Elementlänge auf der Basis der obigen Formel für Längswellen gewählt werden.

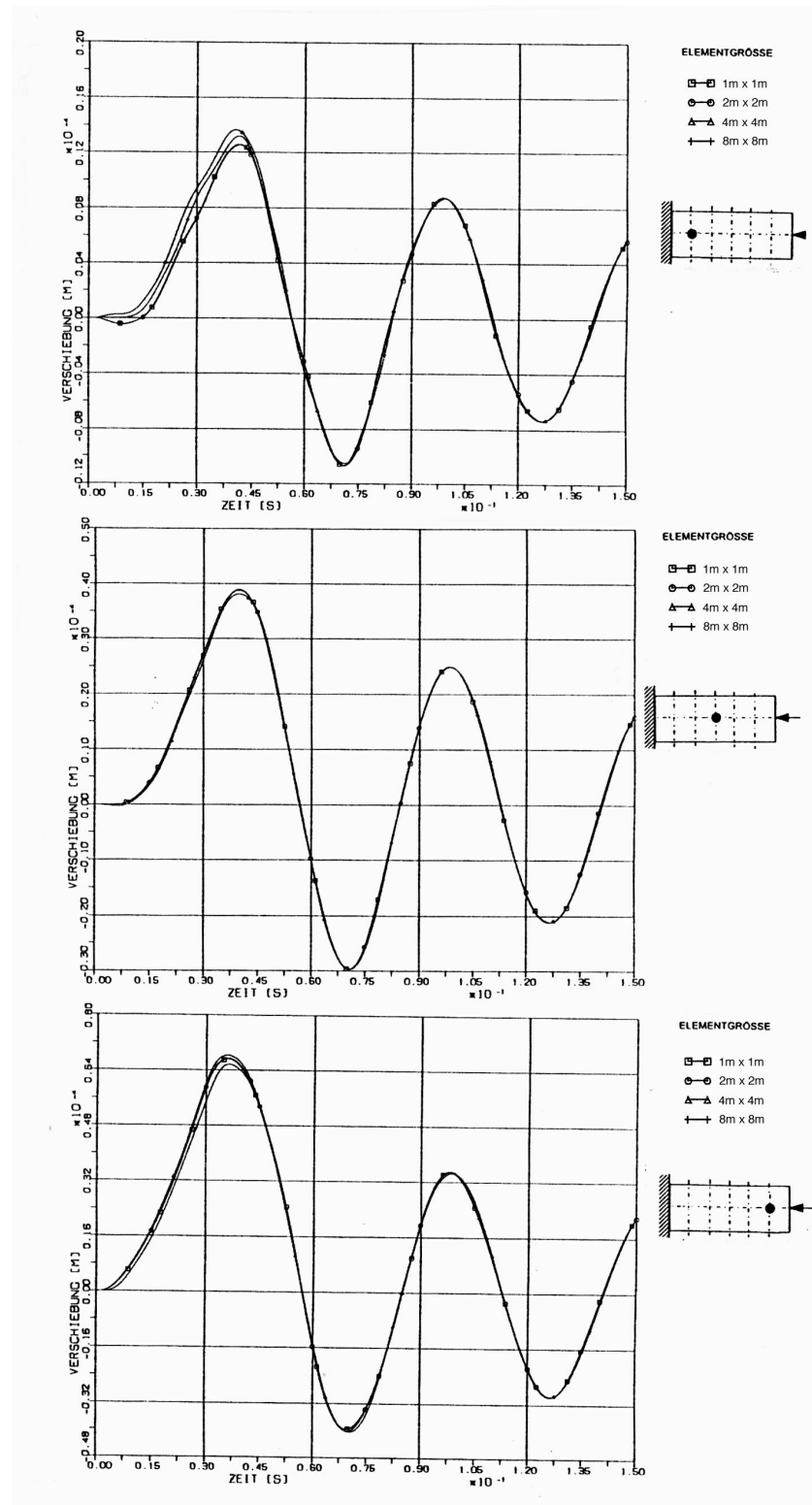


Fig. 3-76: MODELLWANDSCHEIBE
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Einfluss des Diskretisierungsgrades
• Stoßbelastung STH in Längsrichtung

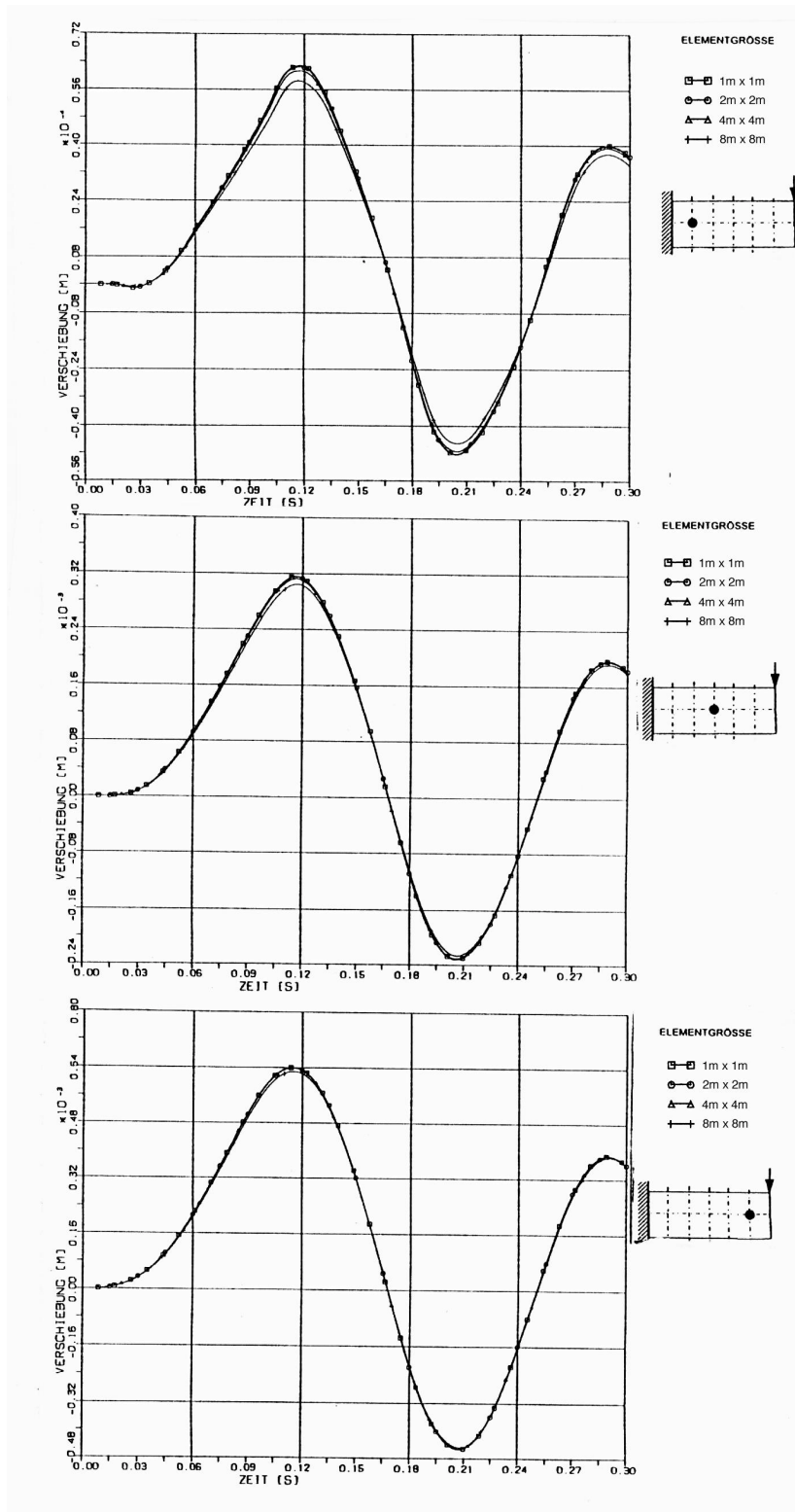


Fig. 3-77: MODELLWANDSCHEIBE
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Einfluss des Diskretisierungsgrades
• Stoßbelastung STV in Querrichtung

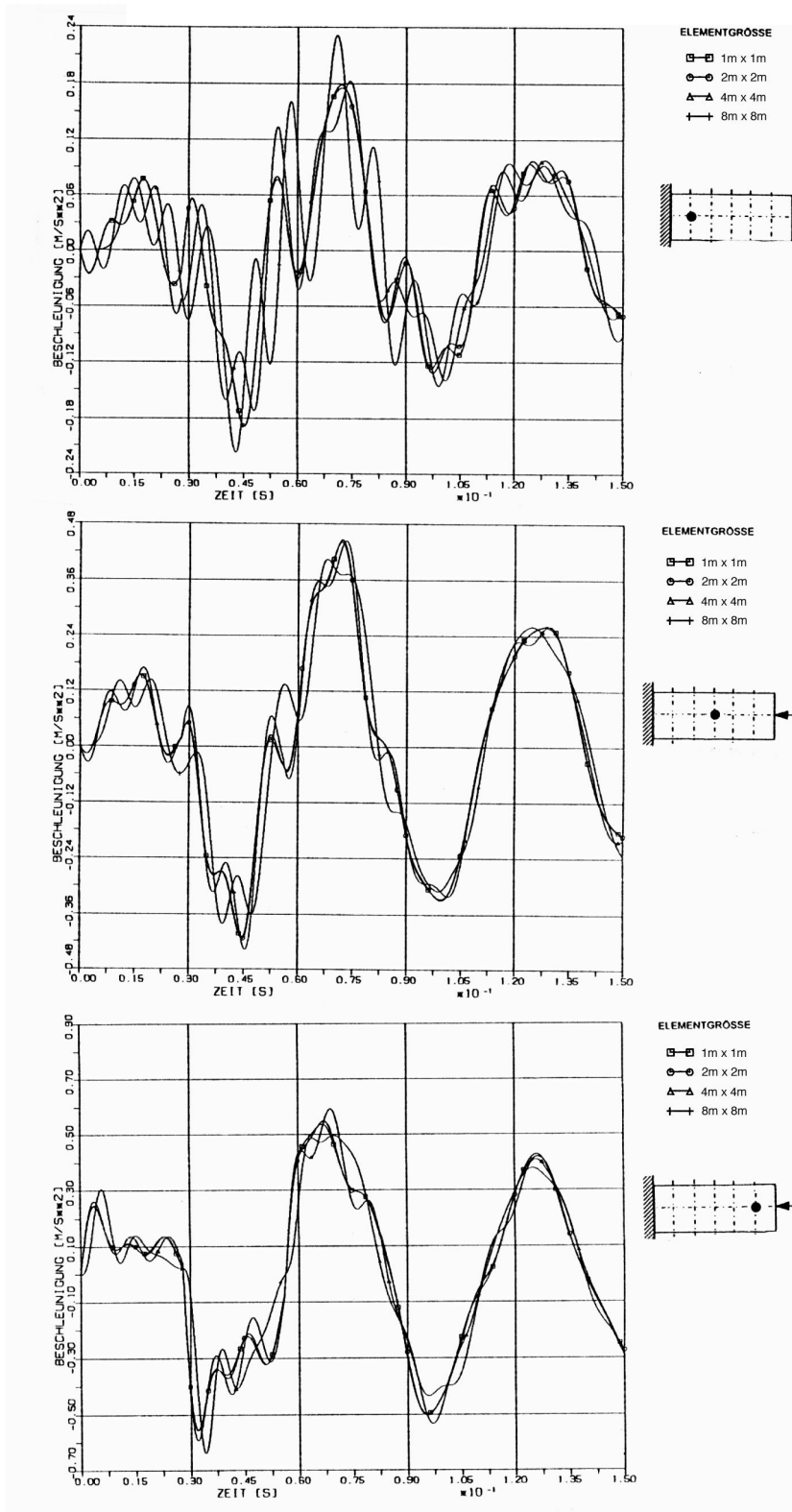


Fig. 3-78: MODELLWANDSCHEIBE
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten
Einfluss des Diskretisierungsgrades
• Stoßbelastung STH in Längsrichtung

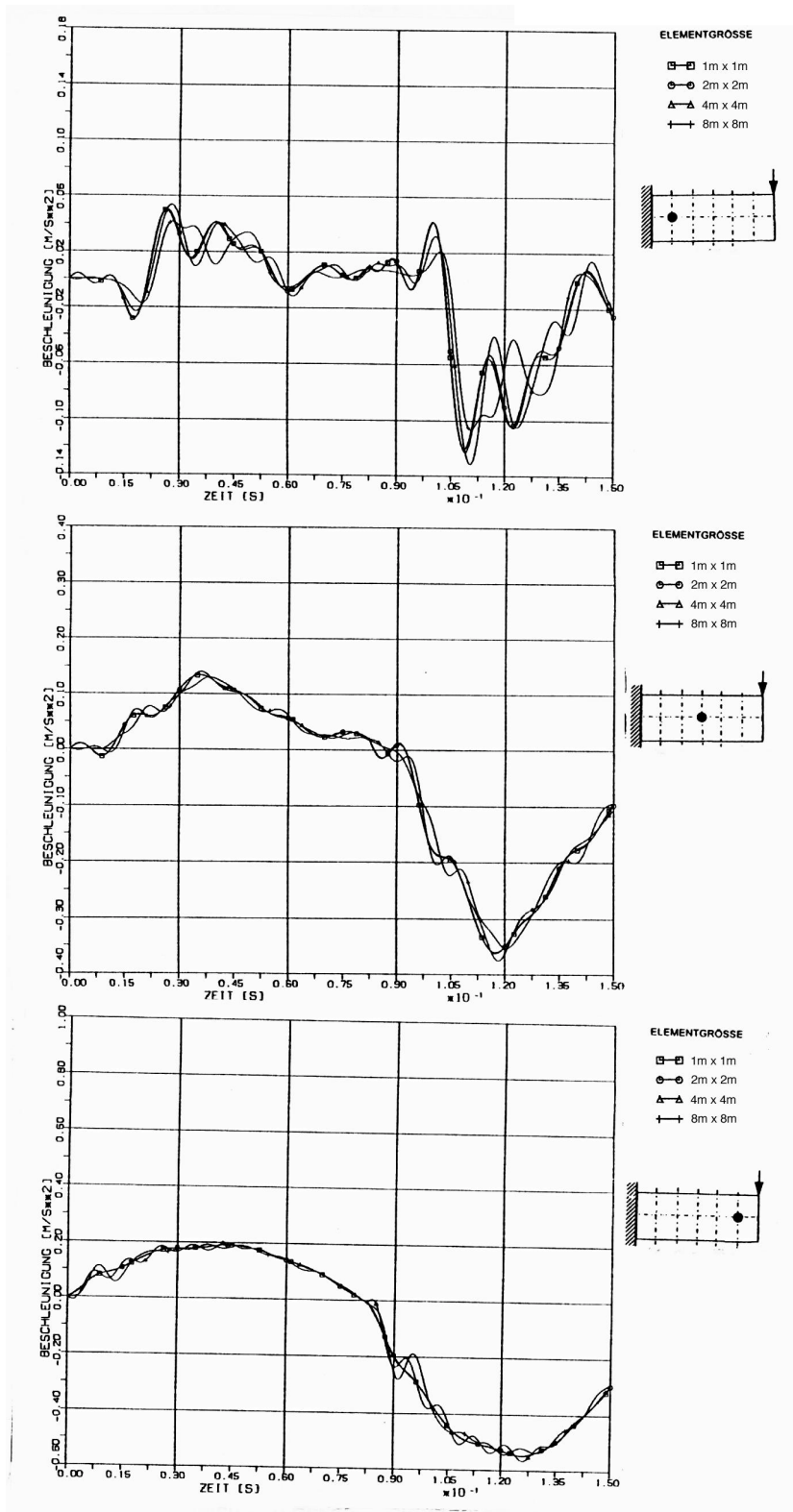


Fig. 3-79: MODELLWANDSCHEIBE
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten, Einfluss des Diskretisierungsgrades
• Stoßbelastung STV in Querrichtung

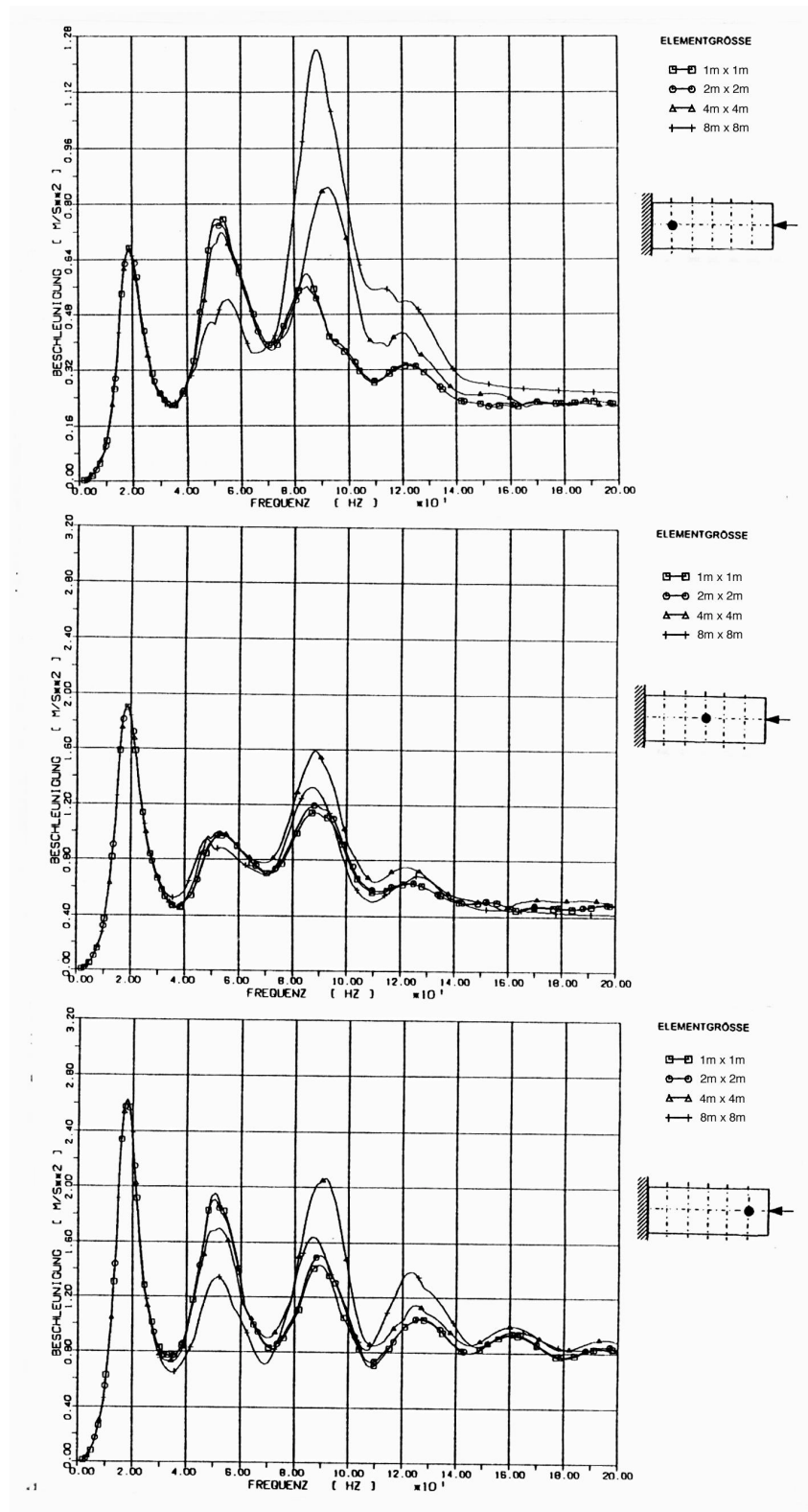


Fig. 3-80: MODELLWANDSCHEIBE
 Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten,
 Einfluss des Diskretisierungsgrades
 • Stoßbelastung STH in Längsrichtung

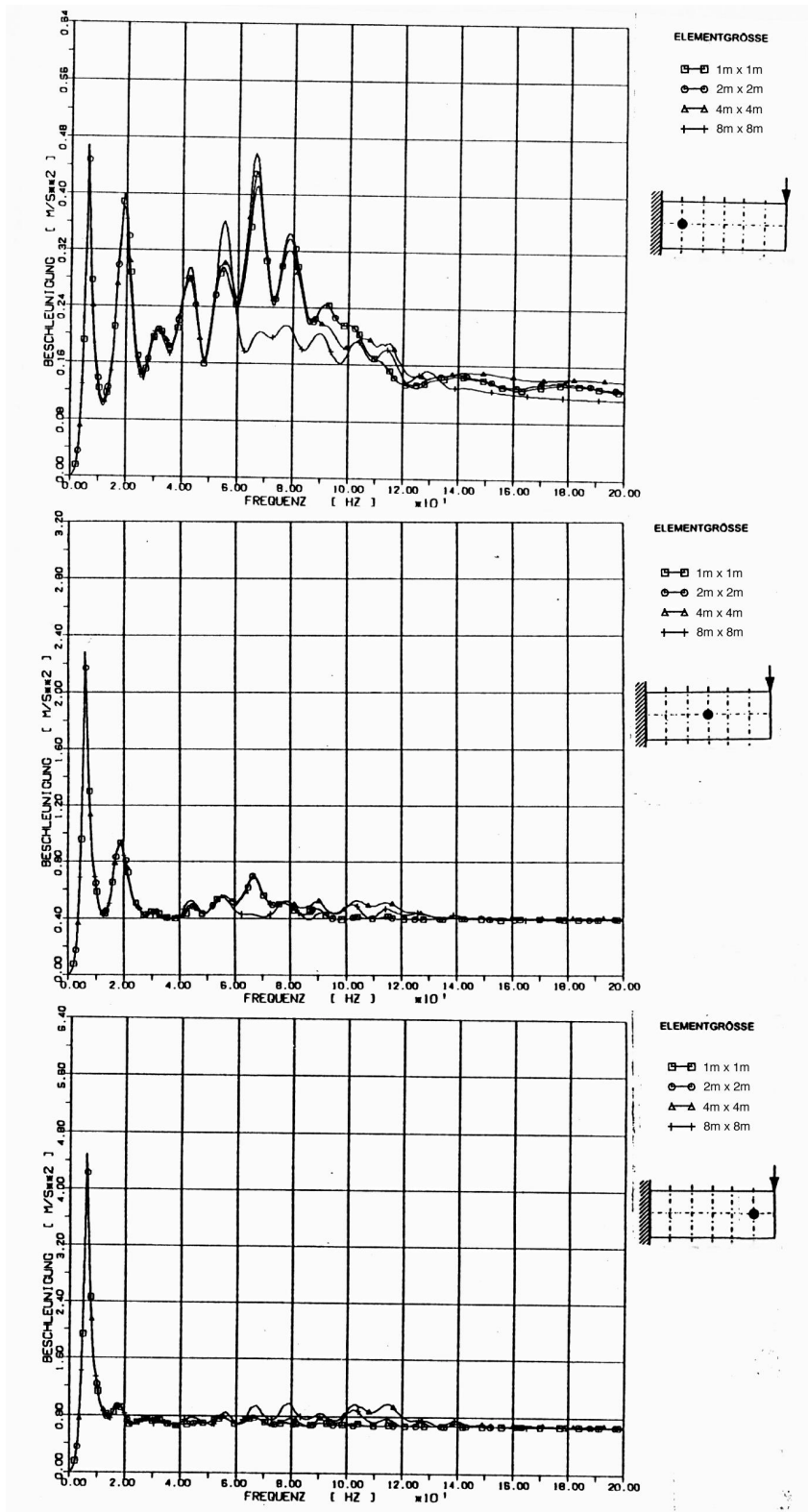


Fig. 3-81: MODELLWANDSCHEIBE
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektrern in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Einfluss des Diskretisierungsgrades
• Stoßbelastung STV in Querrichtung

Wie bereits anhand der Studie mit Modellbalken festgestellt, ist die Durchlaufzeit von Stoßwellen durch gröbere eindimensionale Balkenelemente länger und die dämpfende Auswirkung auf die Strukturantworten eindeutiger (vergl. Fig. 3-71 und 3-72).

Je größer die Abmessungen der finiten Elemente, desto stärker werden die übertragenen Wellen verzögert und die Amplituden der Strukturantworten (der Verschiebungen, Geschwindigkeiten bzw. Beschleunigungen) intensiver gedämpft.

Vergleicht man die aus den numerischen Simulationen mit eindimensionalen finiten Elementen (Balken) und zweidimensionalen finiten Elementen (Platten) erzielten Ergebnisse, so kann festgestellt werden, dass bei zweidimensionalen Elementen der dämpfungsmindernde Elementgrößeneinfluss stärker zum Vorschein kommt (Fig. 3-80 und 3-81) als bei eindimensionalen Elementen. Diskretisierungen mit Elementen größer $4\text{m} \times 4\text{m}$ führen dabei zu teils nicht mehr akzeptierbaren Ergebnissen.

3.3.5.2.2 Modelldeckenplatte

Ausgangspunkt der Untersuchungen war eine in der horizontalen Ebene angeordnete Modellplatte (Fig. 3-82). Wie bei der Modellwandscheibe wurden die Untersuchungen für verschiedene Diskretisierungen und zwei verschiedene Randbedingungsarten der Platte (freie Auflagerung, feste Einspannung) durchgeführt.

Die Strukturantworten wurden auch hier in den Beobachtungspunkten $1/6L$ bis $5/6L$ der Platten abgegriffen. Wie vorher bei den Untersuchungen des Modellbalkens wurden die Ergebnisse der Berechnungen mit verschiedenem Diskretisierungen untereinander verglichen.

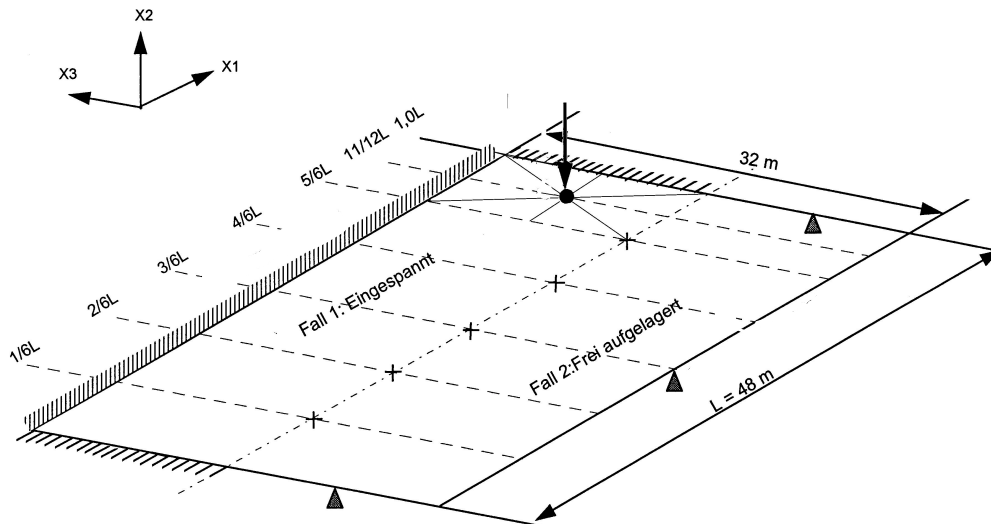


Fig. 3-82: *Modelldeckenplatte (allseitig eingespannt bzw. frei aufgelagert), Belastung senkrecht zur Plattenebene*

Diskretisierung und Lastannahmen

Die Modelldeckenplatte hat die gleichen Abmessungen wie die vorher untersuchte Modellwandscheibe (Fig. 3-73). Es wurde daher eine Idealisierung der Platte mit allen vier Abstufungen der Diskretisierung gemäß Fig. 3-75 beibehalten.

Unterschiedlich sind lediglich die Randbedingungen. Die Untersuchungen wurden für zwei Varianten der Randbedingungen (Fig. 3-82) durchgeführt und zwar:

- allseitig freie Auflagerung und
- allseitig feste Einspannung.

Die Belastung wurde senkrecht zur Plattenebene in der Mitte des obersten rechten Zwölftels der Platte aufgebracht. Der Charakter der Stoßbelastung entsprach wiederum den unter Abschnitt 3.3.4 festgelegten Stoß-Lastfunktionen (Fig. 3-59).

Charakteristische Ergebnisse

Der Vergleich der Strukturantworten führt zu vergleichbaren Aussagen wie im Falle der einseitig eingespannten Modellwandscheibe.

Aufgrund der tieferen (bezogen auf die Belastungsrichtung) anregbaren fundamentalen Eigenfrequenzen der Platte (Tab. 3-11), bzw. 4,25 Hz (Tab. 3-12) ist lediglich der Charakter der Verschiebungs- und Beschleunigungszeitverläufe (vergl. Fig. 3-83 und 3-84 sowie 3-87 und 3-88) entsprechend tiefer frequent. Man kann jedoch auch hier feststellen, dass sowohl für den Fall frei aufgelagerter als auch eingespannter Deckenplatten anhand von Diskretisierungen mit finiten Elementen mit einem Raster kleiner von 2w bis 4w übereinstimmende, sich gegenseitig stützende Ergebnisse erzielt werden können.

Diskretisierung	Mode Nr.	Eigenfrequenzen (Hz) In den Schwingungsrichtungen		
		X1	X2	X3
w x w (1m x 1m)	1.	49,42	2,73	58,13
	2.	> 100,00	9,79	81,35
	3.		14,81	> 100,00
2w x 2w (2m x 2m)	1.	49,29	2,73	57,98
	2.	> 100,00	0,77	80,64
	3.		14,82	>100,00
4w x 4w (4m x 4m)	1.	48,75	2,74	57,39
	2.	> 100,00	9,81	77,87
	3.		14,85	> 100,00
8w x 8w (8m x 8m)	1.	46,67	2,78	55,06
	2.	> 81,05	9,68	67,86
	3.	> 91,00	13,71	> 84,81

Tab. 3-11: Eigenfrequenzen der Modelldeckenplatte bei verschiedener Diskretisierung (freie Auflagerung)

Anhand der Bewertung der Verschiebungs- und Beschleunigungszeitverläufe (Fig.3-83, 3-84 und 3-87, 3-88) sowie der Beschleunigungsantwortspektren (Fig. 3-85, 3-86 sowie 3-89, 3-90) kann erkannt werden, dass die Rechenmodelle mit den Diskretisierungen w x w und 2w x 2w nahezu identische Ergebnisse liefern. Dies bezieht sich sowohl auf den Charakter als auch auf die Amplituden der Beschleunigungszeitverläufe. Natürlich sind sie für die frei aufgelagerte bzw. eingespannte Platte verschieden. Berechnungen mit den Diskretisierungen oberhalb 4w x 4w bzw. 8w x 8w führen wiederum zu nicht interpretierbaren Abweichungen. Dies kommt auch deutlich

zum Vorschein beim Vergleich der Antwortspektren (Fig. 3-85 und 3-86 sowie Fig. 3-89 und 3-90). Man kann annehmen, dass feinere Diskretisierungen als $w \times w$ die Ergebnisse noch stärker stützen, aber zu keiner Steigerung der Genauigkeit der Ergebnisse führen würden.

Größere Diskretisierungen als $4w \times 4w$ führen dagegen zu nicht zuverlässigen Ergebnissen.

Diskretisierung	Mode Nr.	Eigenfrequenzen (Hz) in den Schwingungsrichtungen		
		X1	X2	X3
$w \times w$ (1m x 1m)	1.	49,42	4,25	58,13
	2.	> 100,00	10,47	81,35
	3.		19,69	> 100,00
$2w \times 2w$ (2m x 2m)	1.	49,29	4,25	57,98
	2.	> 100,00	10,48	80,64
	3.		19,71	> 100,00
$4w \times 4w$ (4m x 4m)	1.	48,75	4,26	57,39
	2.	> 96,80	10,56	77,87
	3.	>100,00	19,67	> 100,00
$8w \times 8w$ (8m x 8m)	1.	46,91	4,13	55,06
	2.	> 78,00	10,32	67,86
	3.	> 88,14	15,85	> 81,62

Tab. 3-12: Eigenfrequenzen der Modelldeckenplatte bei verschiedener Diskretisierung (fest eingespannt)

Die unter 3.3.5.2.1 getroffenen Aussagen treffen auch hier eindeutig zu. Es kann jedoch ergänzend festgestellt werden, dass die Strukturantworten einer ebenen Platte unter Stoßbelastung senkrecht zur Plattenebene eindeutig stärker als die von Wandscheiben bzw. Balken durch den angewandten Diskretisierungsgrad beeinflusst werden.

Basierend auf den Ergebnissen der Parameterstudien gelangt man für den Fall von aufgelagerten bzw. eingespannten Deckenplatten zu gleichen Korrekturfaktoren von:

$$K_{(P)} = L_K / L_W = 2w/3,4w^* \cong 0,6 \quad (s^*. \text{ Tab.3-7 maximale Elementlängen })$$

Die Konvergenz- (Grenzdurchlass-) Elementlänge zur Erfassung aller Oberschwingungen einer Platte bis zur geforderten Frequenz f_n beträgt hiernach :

$$L_{K(P)} \leq 7,5 \cdot 10^{-2} c_S T_n$$

bzw.

$$L_{K(P)} \leq c_S / 14 f_n$$

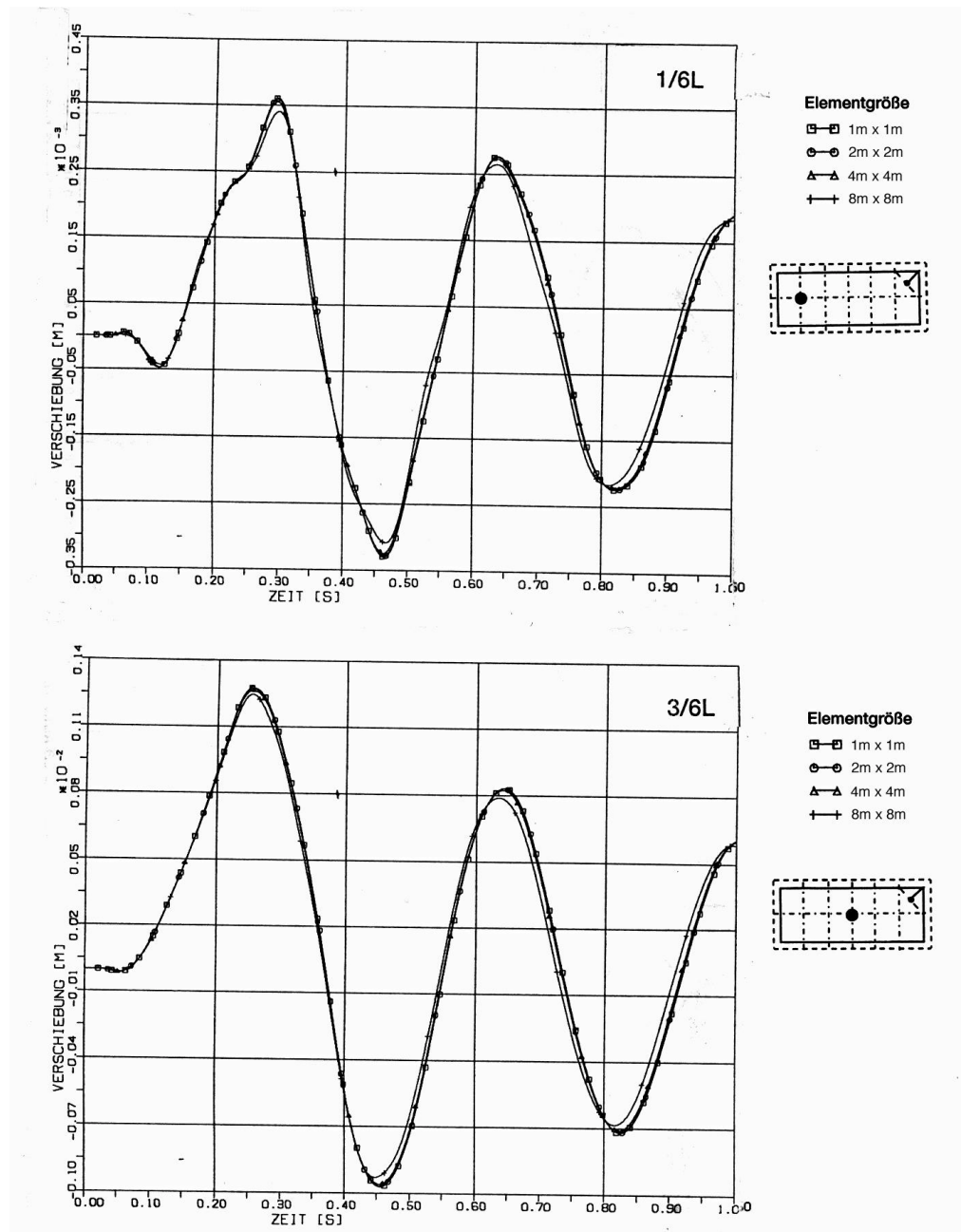


Fig. 3-83: *MODELLDECKENPLATTE (frei gelagert)*
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in den Beobachtungspunkten 1/6 und 3/6
Einfluss des Diskretisierungsgrades

- Stoßbelastung STA senkrecht zur Platte

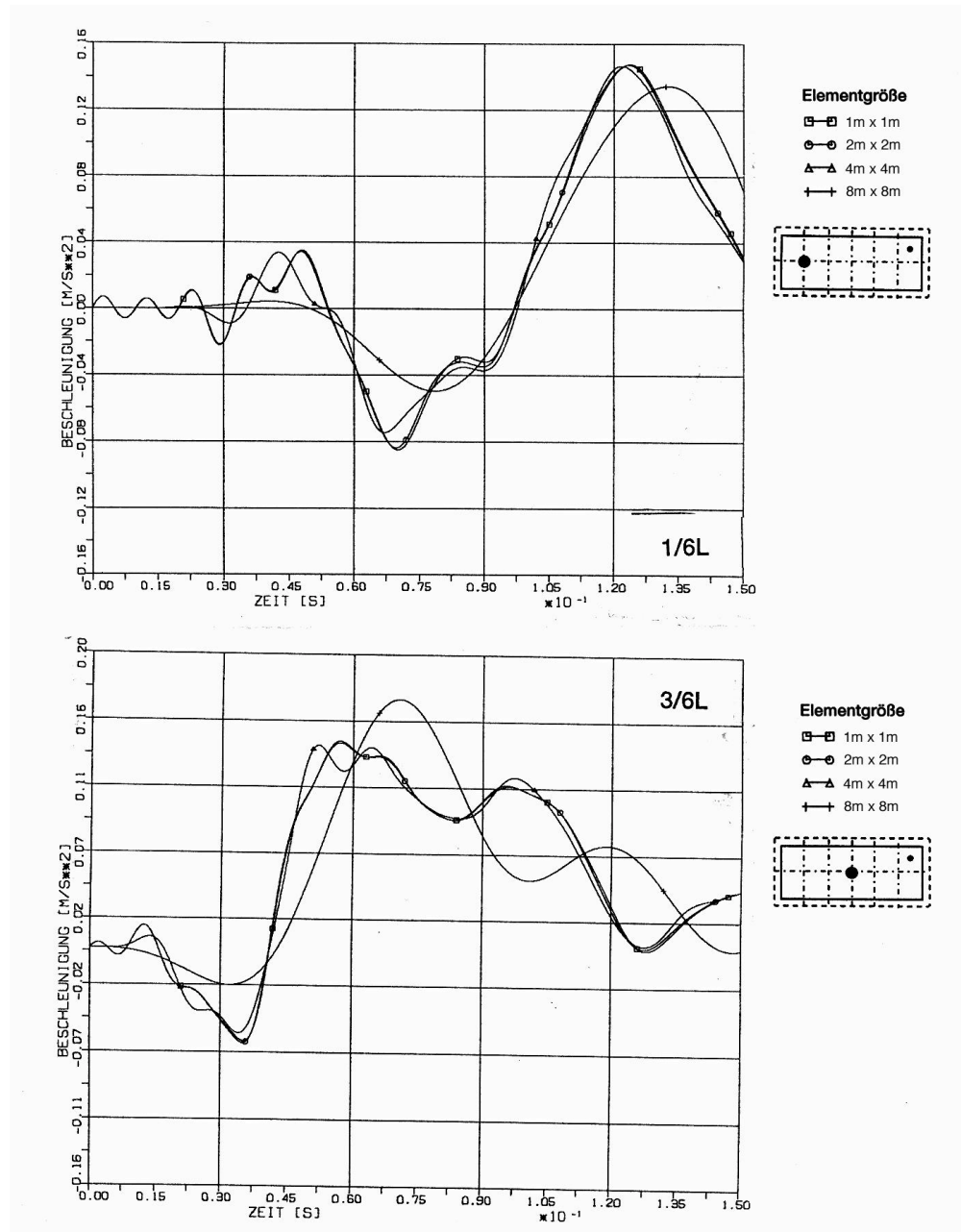


Fig. 3-84: *MODELLDECKENPLATTE (frei gelagert)*
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in den Beobachtungspunkten 1/6 und 3/6
Einfluss des Diskretisierungsgrades

- Stoßbelastung STA senkrecht zur Platte

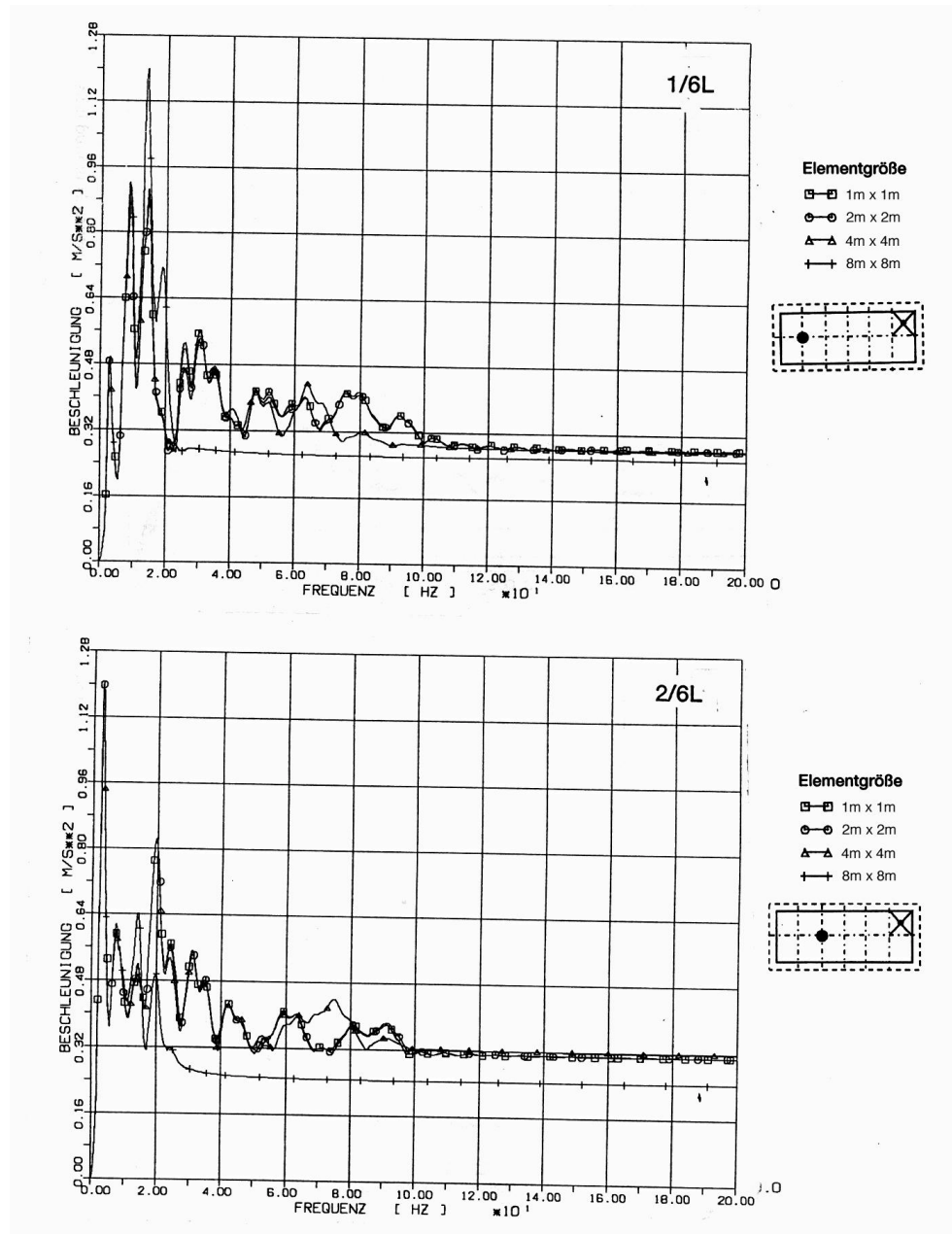


Fig. 3-85: *MODELLDECKENPLATTE (frei gelagert)*
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in den Beobachtungspunkten 1/6 und 2/6
Einfluss des Diskretisierungsgrades

- Stoßbelastung STA senkrecht zur Platte

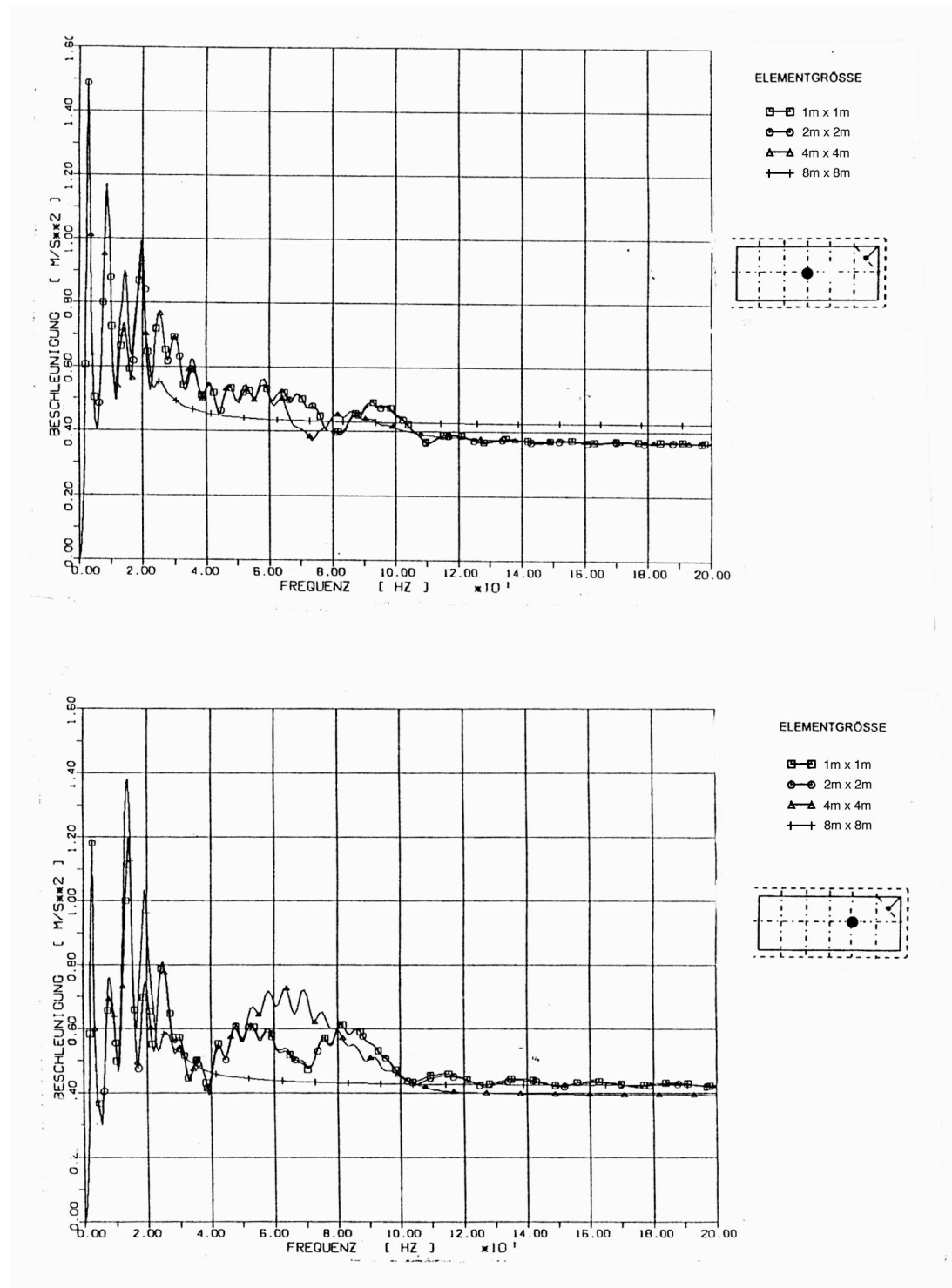


Fig. 3-86: MODELLDECKENPLATTE (frei gelagert)
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in den Beobachtungspunkten 3/6, und 4/6
Einfluss des Diskretisierungsgrades

- Stoßbelastung STA senkrecht zur Platte

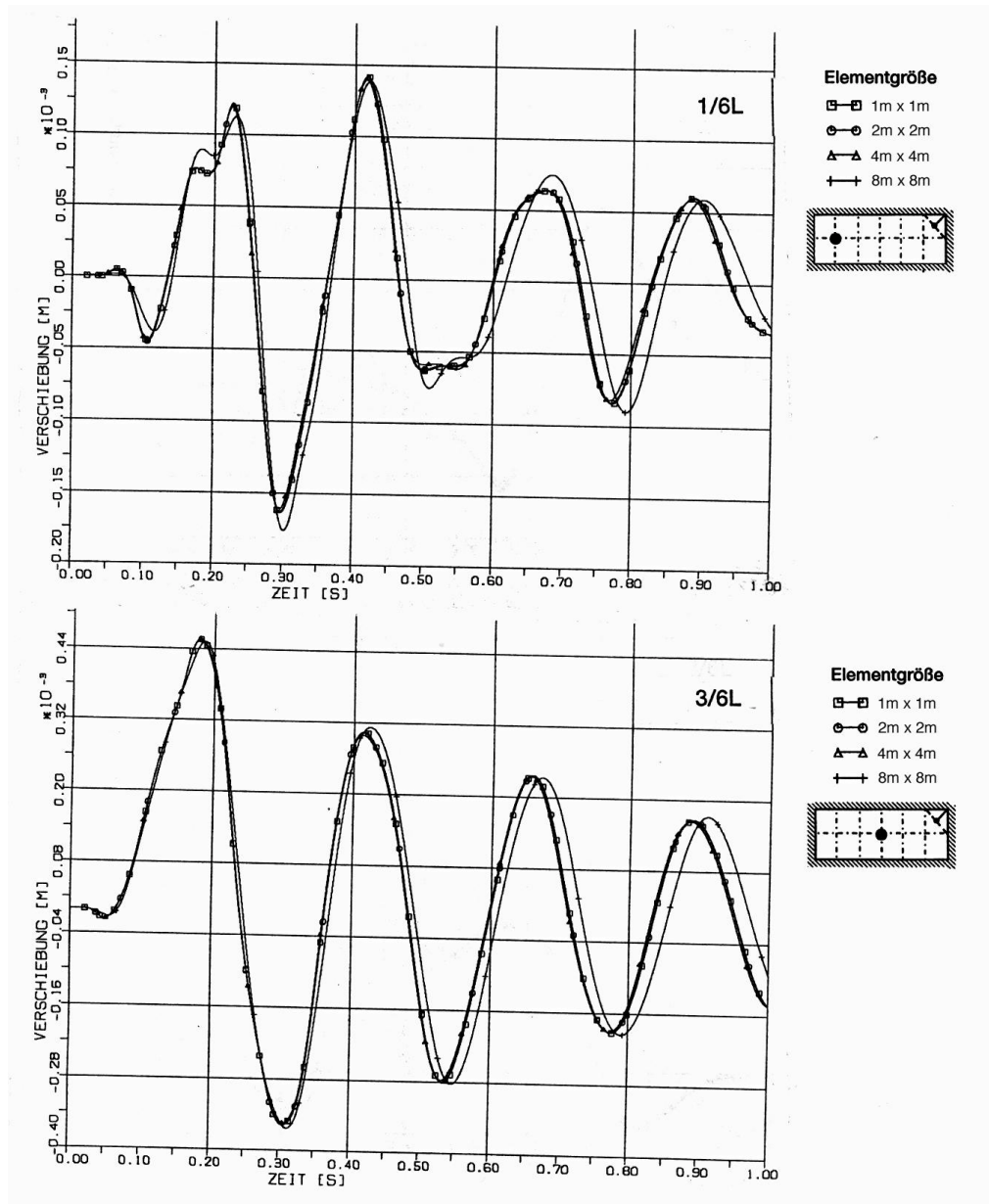


Fig. 3-87: MODELLECKENPLATTE (eingespannt)
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in den Beobachtungspunkten 1/6 und 3/6
Einfluss des Diskretisierungsgrades

• Stoßbelastung STK senkrecht zur Platte

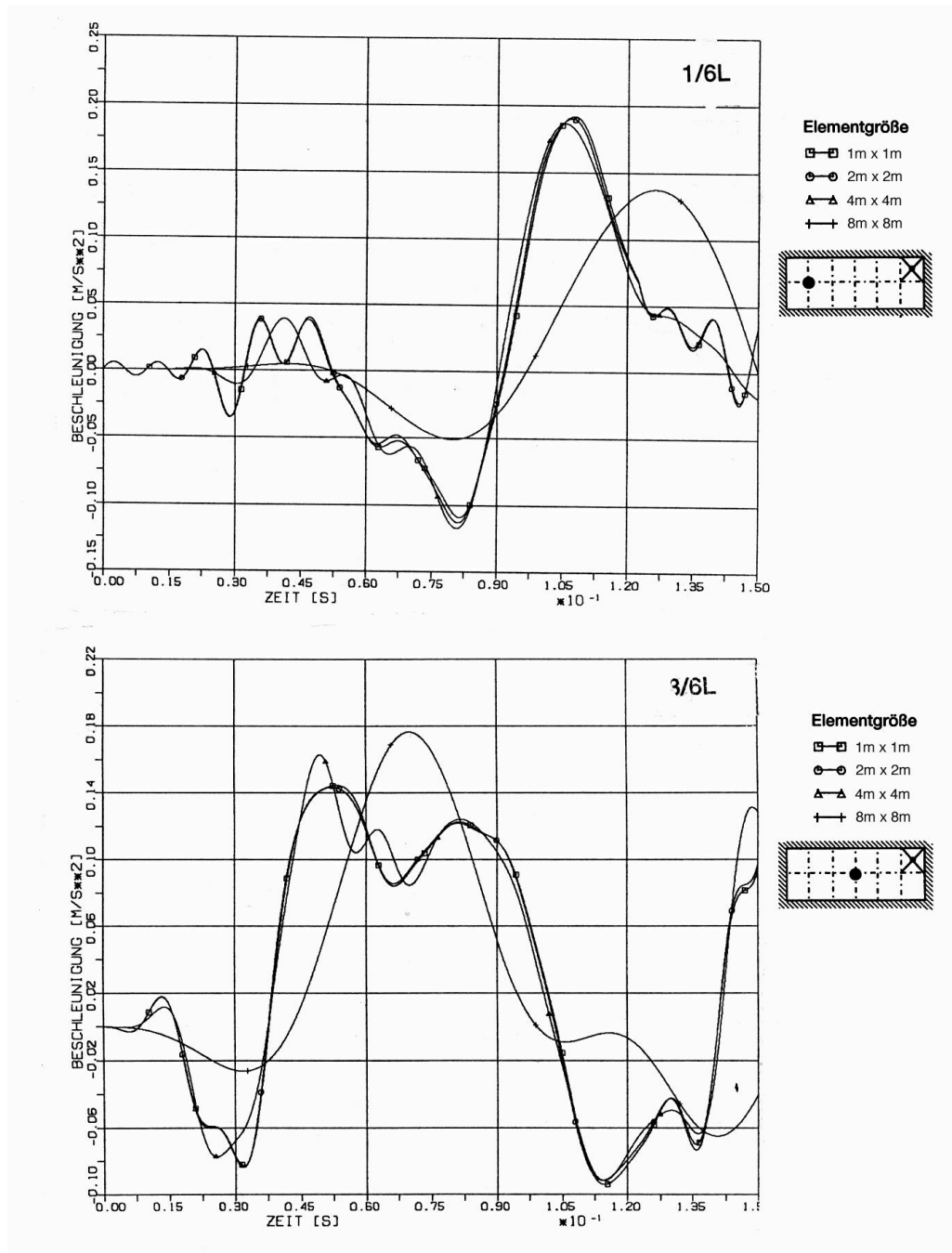


Fig. 3-88: *MODELLDECKENPLATTE (eingespannt)*
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in den Beobachtungspunkten 1/6 und 3/6
Einfluss des Diskretisierungsgrades

- **Stoßbelastung STK senkrecht zur Platte**

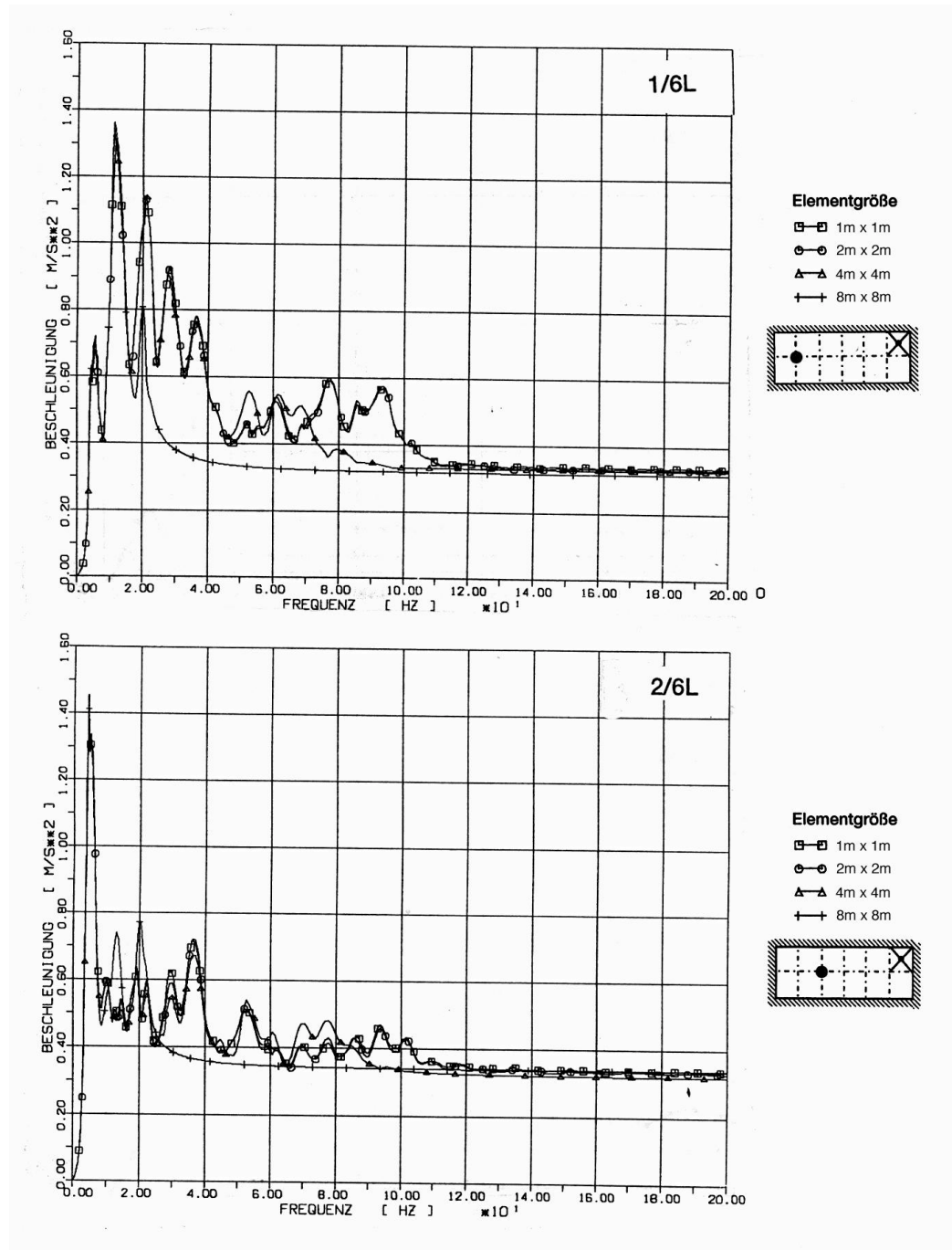


Fig. 3-89: MODELLDECKENPLATTE (eingespannt)
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in den Beobachtungspunkten 1/6 und 2/6
Einfluss des Diskretisierungsgrades

- Stoßbelastung STK senkrecht zur Platte

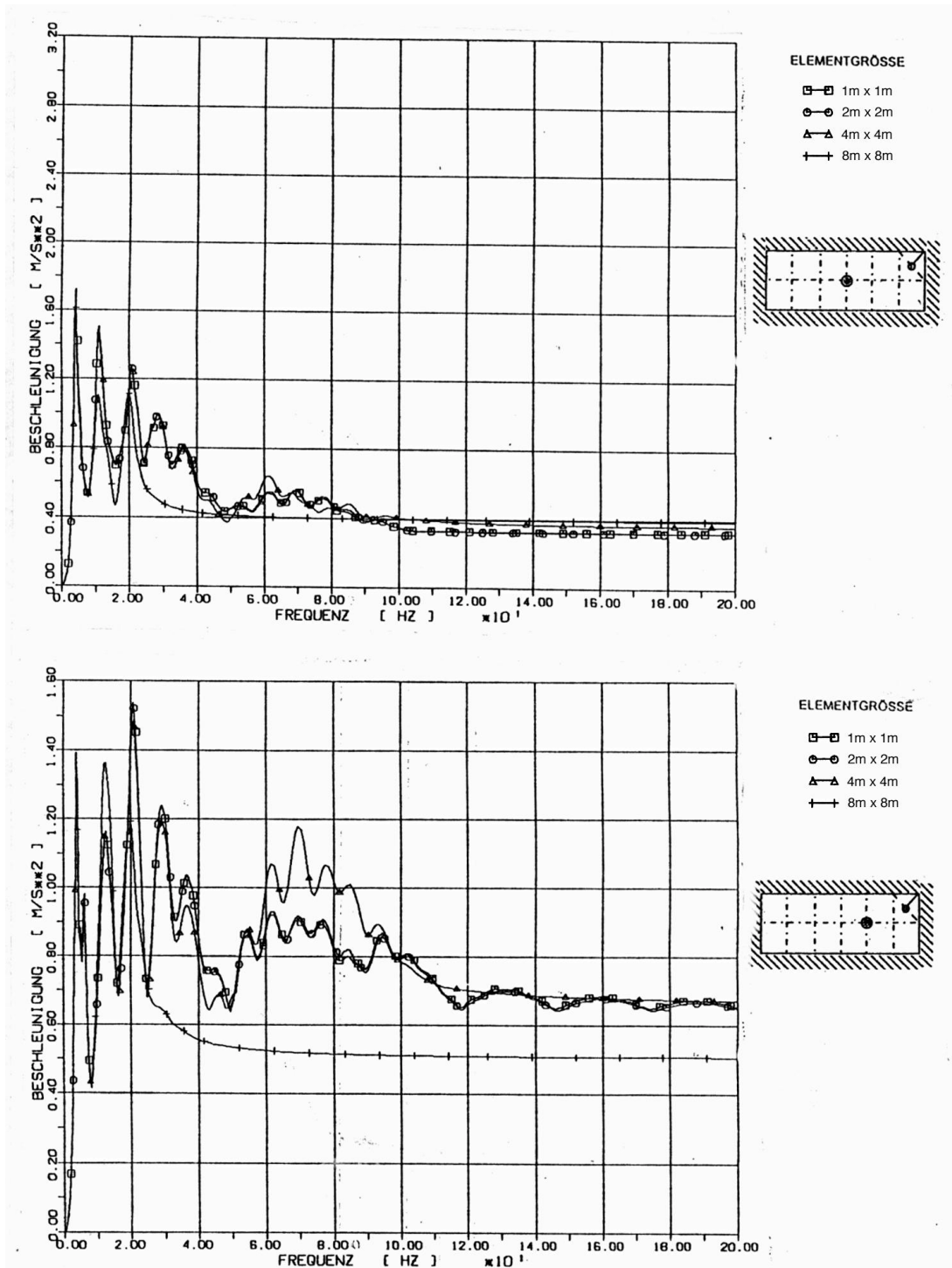


Fig. 3-90: MODELLECKENPLATTE (eingespannt)
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in den Beobachtungspunkten 3/6, und 4/6
Einfluss des Diskretisierungsgrades

- Stoßbelastung STK senkrecht zur Platte

3.3.5.2.3 Räumliche Rechenmodelle kastenförmiger Modellbauwerke

Zwecks weiterer Ergründung der Wellenausbreitungsphänomene in dreidimensionalen Baustrukturen wurde ein vereinfachtes an praktische Ausführungskonzepte angenähertes Modellbauwerk entworfen.

Es besteht aus einer 24 x 36 m großen, steif ausgeführten Fundamentplatte sowie zwei auf ihr aufgebauten Teilstrukturen, nämlich einer äußeren kastenförmigen Schutzhülle sowie dem im Inneren untergebrachten (aus vertikalen Wänden und Deckenscheiben bestehenden) Betontragwerk (Fig. 3-91).

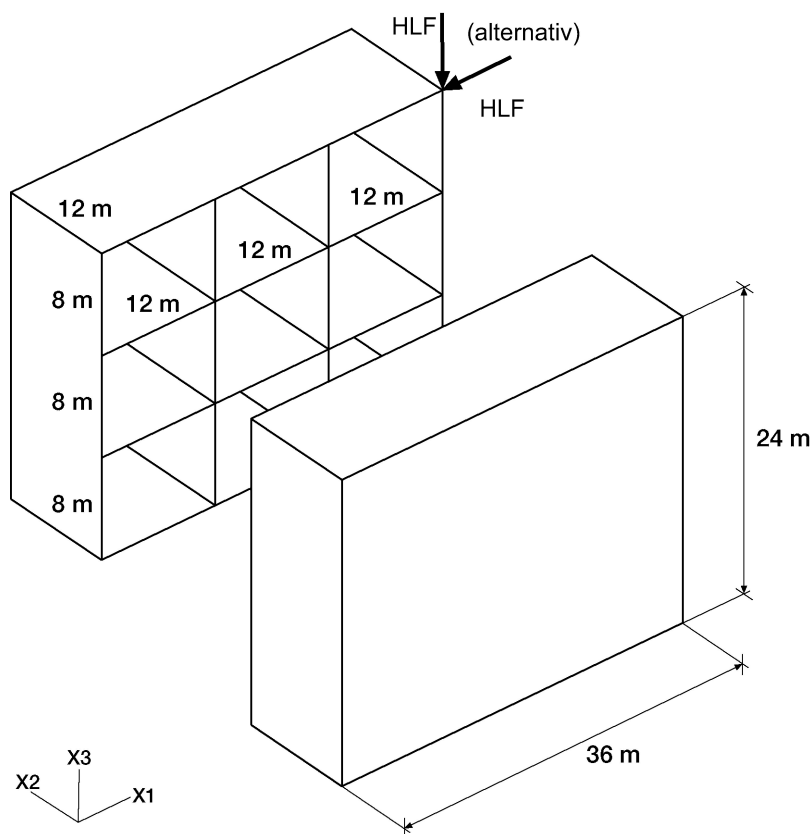


Fig. 3-91: Kastenförmiges Modellbauwerk

Beide Teilstrukturen sind mit der Fundamentplatte monolithisch verbunden. Alle Wände und Decken haben eine Wandstärke von $w = 1$ m. Das innere Bauwerk kann dabei wahlweise als freistehend oder als eine fest mit der Schutzhülle verbundene Struktur betrachtet werden.

Diskretisierung und Lastannahmen

Die Abbildung des Modellbauwerkes erfolgt mit finiten Elementen (Viereckplattenelementen). Auch hier wurden zwecks Ergründung der Einflüsse des Diskretisierungsgrades Rechenmodelle mit verschiedenen Feinheitsgraden erstellt. Ausgehend von einer Diskretisierung mit Elementen von 8 m x 8 m wurden in zwei Stufen Verfeinerungen (Elementgröße 4 m x 4 m und 2 m x 2 m) vorgenommen (Fig. 3- 92).

Die für die drei Modelldiskretisierungsvarianten ermittelten Eigenfrequenzen des Modellbauwerks wurden in der Tabelle 3-11 zusammengestellt. Sie wurden für die Annahme von Baugrundeigenschaften eines mittelsteifen Standortes (180 MPa) ermittelt.

Für die Untersuchungen der Erschütterungsvorgänge hat man einen charakteristischen Lasteinleitungsbereich (Fig. 3-94) ausgewählt. Es wurden dabei separat zwei Belastungsrichtungen (in horizontaler bzw. vertikaler Ebene) angesetzt. Als Stoßbelastung wurde die Referenzfunktion (Fig. 2-1) angenommen.

Diskretisierung (Elementgröße)	Eigenform Nr.	X1	X3
8m x 8m (8w x 8w)	1.	4,29	10,33
	2.	9,91	10,69
	3.	10,36	10,85
	4.	10,98	12,23
	5.	14,89	15,84
4m x 4m (4w x 4w)	1.	4,10	10,18
	2.	9,10	10,47
	3.	10,57	11,13
	4.	11,91	14,49
	5.	16,46	16,71
2m x 2m (2w x 2w)	1.	4,06	10,09
	2.	9,04	10,42
	3.	10,50	11,10
	4.	11,97	14,49
	5.	16,40	16,71

Tab. 3-11: Fundamentale Eigenfrequenzen des kastenförmigen Modellbauwerks

Abweichend zu den in der Praxis ausgeführten Berechnungen mit Berücksichtigung der nicht-linearen Effekte in den Aufprallbereichen des Flugkörpers (/4-15/, /4-27/ /4-28/) werden hier vorwiegend diese Effekte vernachlässigt. Untersucht wird der Vorgang der Erschütterungsübertragung bei Annahme ideal linear-elastischer Materialzustände in allen Strukturbereichen. Im Vordergrund dieser Untersuchungen stand die Ergründung der folgenden Einflüsse auf die Strukturantworten des kastenförmigen Bauwerks:

- Diskretisierung
- Übertragungswege (Abstand vom Lasteinleitungspunkt)
- Streueffekte (Umlenkungen der Wellenausbreitungsrichtung)
- Reflexionen

Die Strukturantworten wurden dabei in Beobachtungspunkten verglichen, die in der Mitte der jeweiligen Decken- bzw. Wandfelder angesiedelt sind (Fig. 3-93 und 3-94).

Zwecks Bewertung der o. g. Einflüsse auf das Erschütterungsübertragungsverhalten im gewählten kastenförmigen Modellbauwerk wurden hier wiederum stellvertretend nur einige Zeitverläufe für charakteristische Bereiche des Bauwerks, sowie die dazugehörigen Antwortspektren der Beschleunigungen (Fig.3-95 bis Fig.3-102) in grafischer Form einander gegenübergestellt. Weitere ausführliche Ergebnisse für alle in Fig. 3-94 dargestellten Beobachtungspunkte sind im Anhang 2, Teil 1, zusammengestellt.

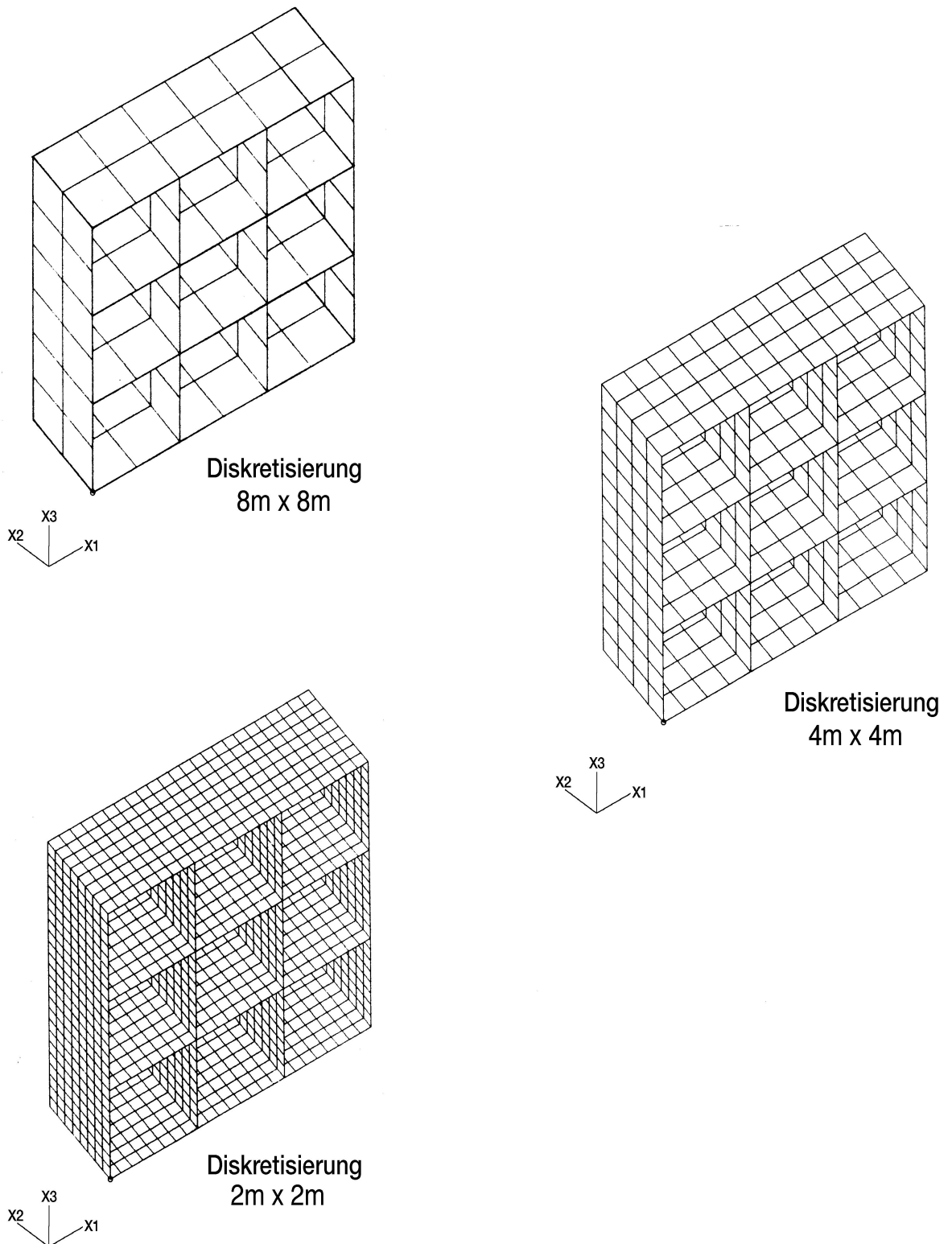


Fig. 3-92: Diskretisierungsvarianten des räumlichen Modellbauwerks (Stärke aller Decken und Wände $w = 1$)

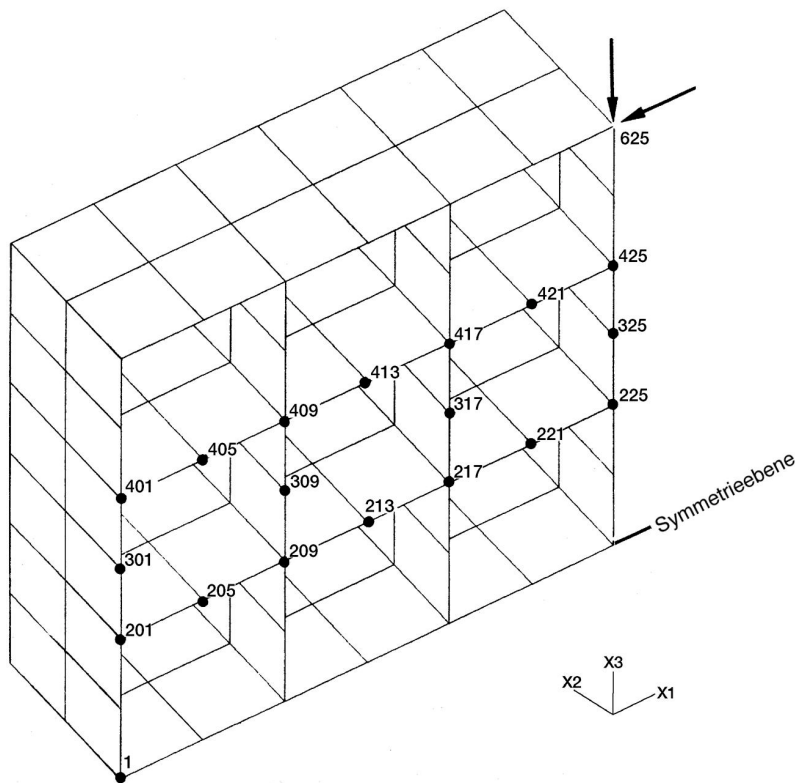


Fig. 3-93: Charakteristische Beobachtungspunkte (Knotennetz)

Charakteristische Ergebnisse

Basierend auf den Ergebnissen und Erkenntnissen, die im Rahmen der Untersuchungen anhand von zweidimensionalen Rechenmodellen (Platten und Scheiben) gewonnen wurden, erwartete man hier, bezogen auf den Diskretisierungsgrad, vergleichbare Effekte und Tendenzen.

Aufgrund der größeren Abmessungen des kastenförmigen Modellbauwerks und der größeren Durchlaufstrecken der Stoßwellen einerseits und der Tatsache der Anwendung eines Stoßes mit viel größerem Lastniveau andererseits, kommen hier die vorher nur schwach deutbaren Stoßübertragungspänomene deutlicher zum Vorschein.

Analysiert man als erstes die mit allen drei Modellvarianten ermittelten Verschiebungs- und Beschleunigungszeitverläufe, so ist zu erkennen, dass die Abweichungen der maximalen Verschiebungen sowohl in den charakteristischen Beobachtungspunkten auf den Deckenplatten als auch den Wandscheiben mit größer werdenden Diskretisierungen zunehmen und mit wachsender Verzögerung ankommen (Fig. 3-95 bis 3-102).

Die Beschleunigungszeitverläufe haben dabei bei größerer Diskretisierung einen tieferfrequenten Charakter (Fig. 3-99 bis Fig. 3-102) und abnehmende Amplituden.

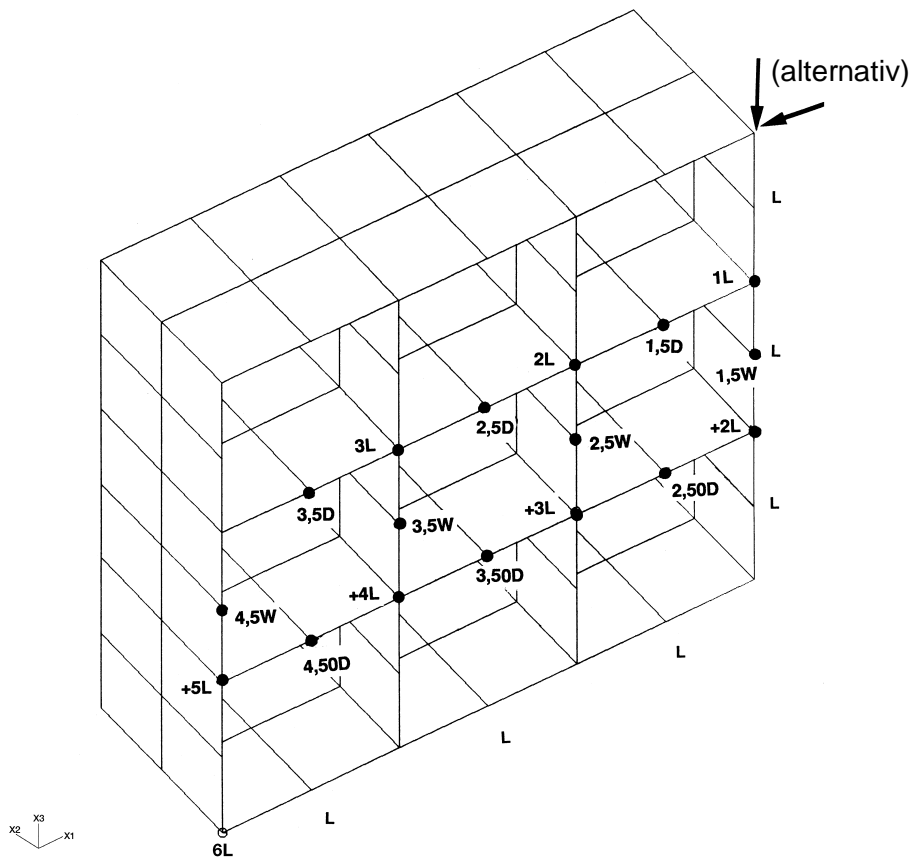


Fig. 3-94: Positionen charakteristischer Beobachtungspunkte (in Entfernungseinheiten D, L, W)

Betrachtet man die Beschleunigungsantwortspektren (Fig. 3-103 bis Fig. 3-106), so kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Studien mit den Modellvarianten $2\text{m} \times 2\text{m}$ und $4\text{m} \times 4\text{m}$ zu vergleichbaren Ergebnissen im relevanten Frequenzbereich (bis ca. 30 - 50 Hz) führen. Demgegenüber weichen die mit der größeren Diskretisierung ($8\text{m} \times 8\text{m}$) ermittelten Ergebnisse beachtlich von den relativ gut konvergierenden Ergebnissen ab. Die Abweichungen sind besonders auf folgende Einflüsse zurückzuführen:

- Tiefpassfiltereffekte größerer finiter Elemente Modelle
- Nicht zuverlässige Erfassung des Eigenverhaltens der beaufschlagten Struktur bei Anwendung zu grober Diskretisierung im höheren Frequenzbereich
- Stärkere Dispersionseffekte größerer FE-Modelle

Eine zu grobe Diskretisierung führt, besonders bei Strukturantworten quer zur Plattenebene (z. B. Antworten in X_1 -Richtung bei den Wandscheiben, Fig. 3-104 und 3-106) bzw. Antworten in X_3 -Richtung bei Deckenplatten (Fig. 3-103 und 3-105) zu starken Abweichungen.

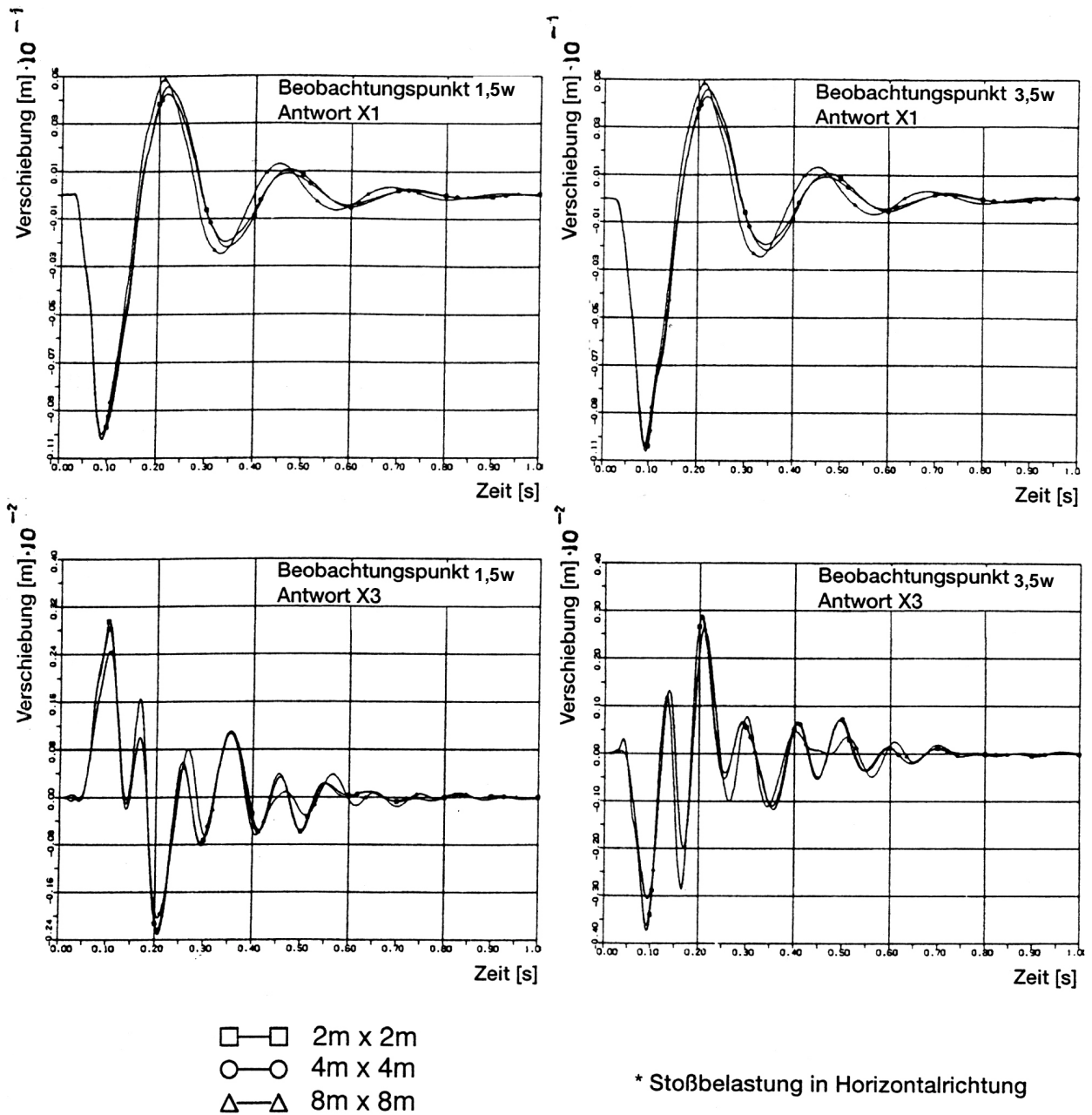


Fig. 3-95: 3D-MODELLBAUWERK
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

Die an einfachen Teilstrukturen (Modellbalken, Modellplatten und Scheiben) beobachteten Phänomene der Erschütterungsausbreitung und Übertragung konnten am Beispiel dieses großen, quasi naturgetreuen Modellbauwerks vollends nachempfunden und bestätigt werden.

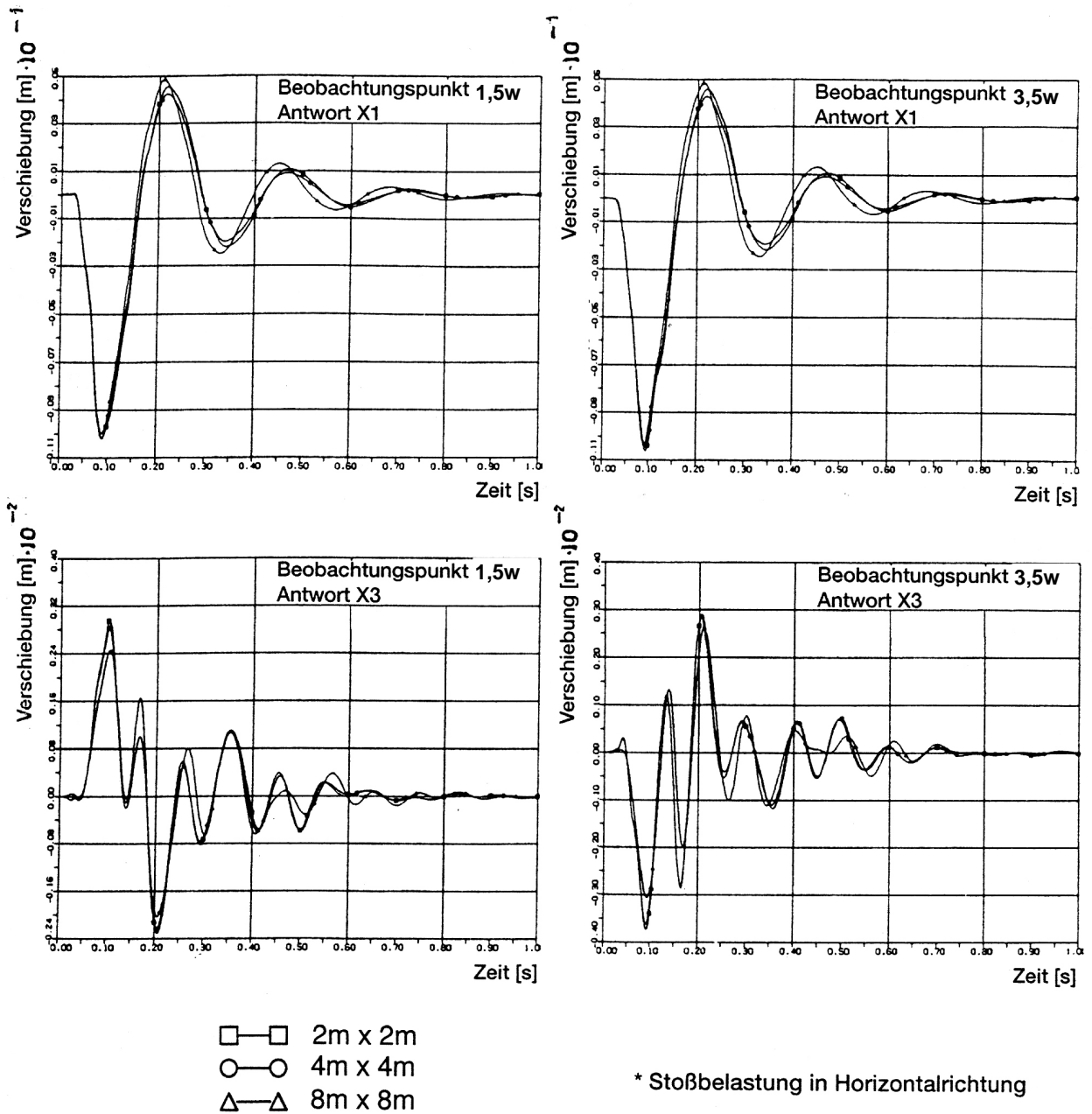


Fig. 3-96: 3D-MODELLBAUWERK
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

Aufgrund der großen Erschütterungs-Übertragungstrecken sowie der gewählten (an den Lastfall Flugzeugabsturz angepassten) Einwirkungsdauer des Stoßes kommen besonders hier die dispersionsabhängigen Phänomene zum Vorschein (Fig. 3-104 Beobachtungspunkt 1,5W und 4,5W Richtung X3, Fig. 3-105 Beobachtungspunkt 3,5D Richtung X1 bzw. Fig. 3-106 Beobachtungspunkt 1,5W und 4,5W Richtung X3).

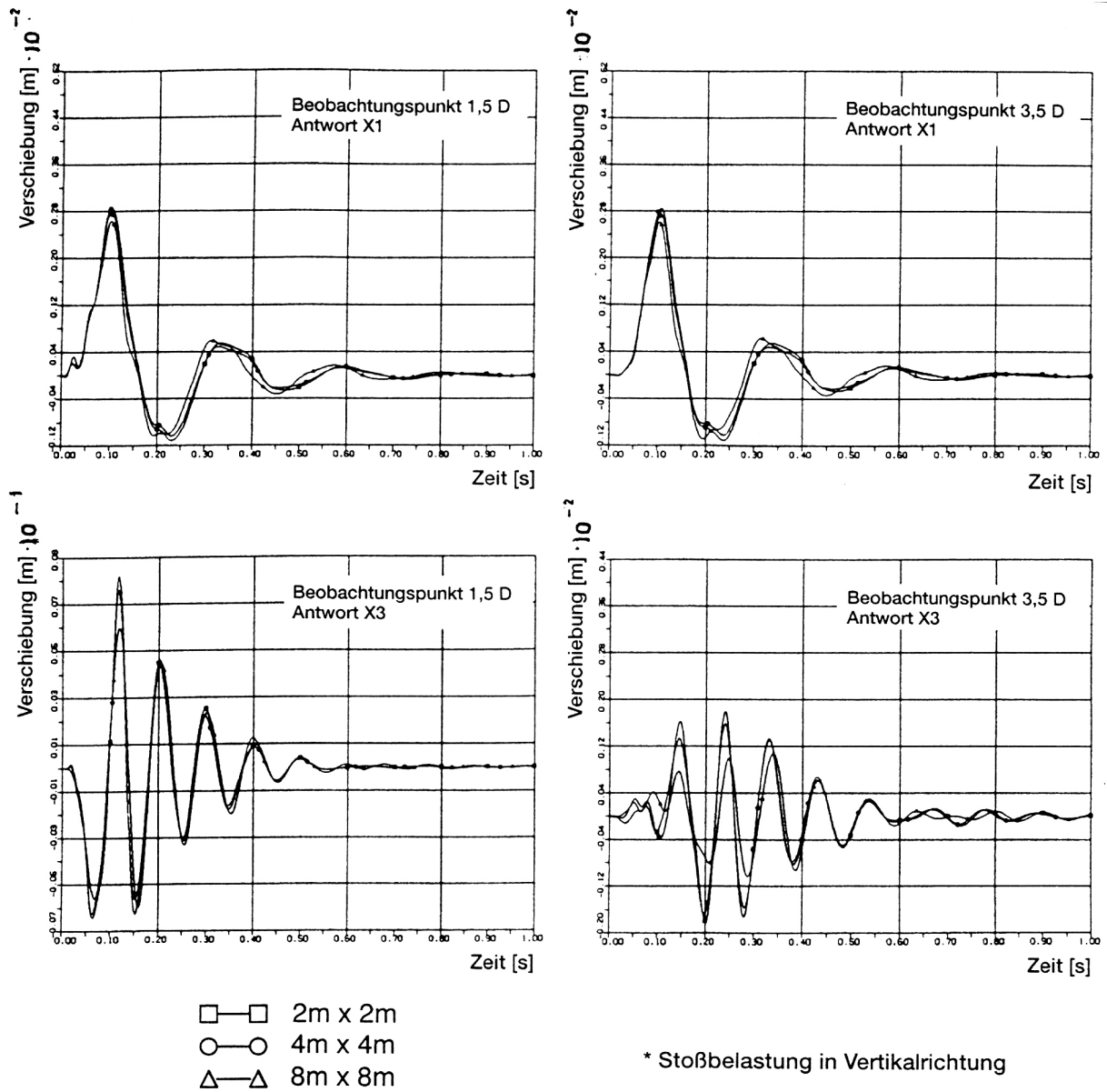


Fig. 3-97: 3D-MODELLBAUWERK
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

Während quasi in allen Ausgabebereichen die konvergierenden (mit Diskretisierungen 2w x 2w bzw. 4w x 4w) ermittelten Ergebnisse abdeckend sind und die mit gröberen (8w x 8w) Diskretisierungen ermittelten Ergebnisse einhüllen, so kommt es in den o.g. spezifischen Bereichen zu einer

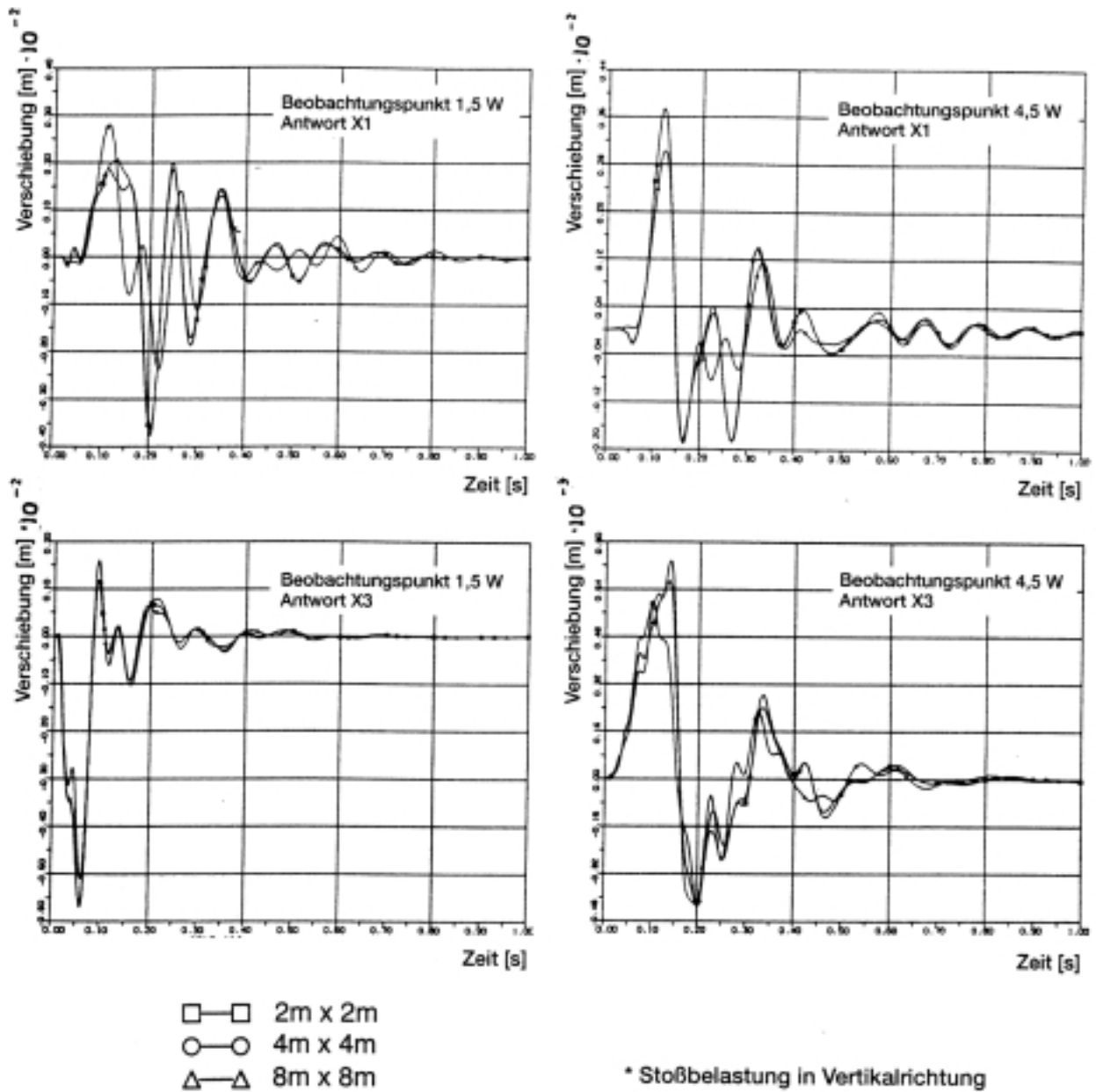


Fig. 3-98: 3D-MODELLBAUWERK
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

starken Streuung der mit größeren Diskretisierungen ermittelten Ergebnisse bis oberhalb der konvergierenden Ergebnisse.

Anhand des gewählten 3D-Modellbauwerks können ebenfalls Aussagen zum Abklingverhalten von propagierenden Stosswellen sowie von Erschütterungen des Bauwerks getroffen werden.

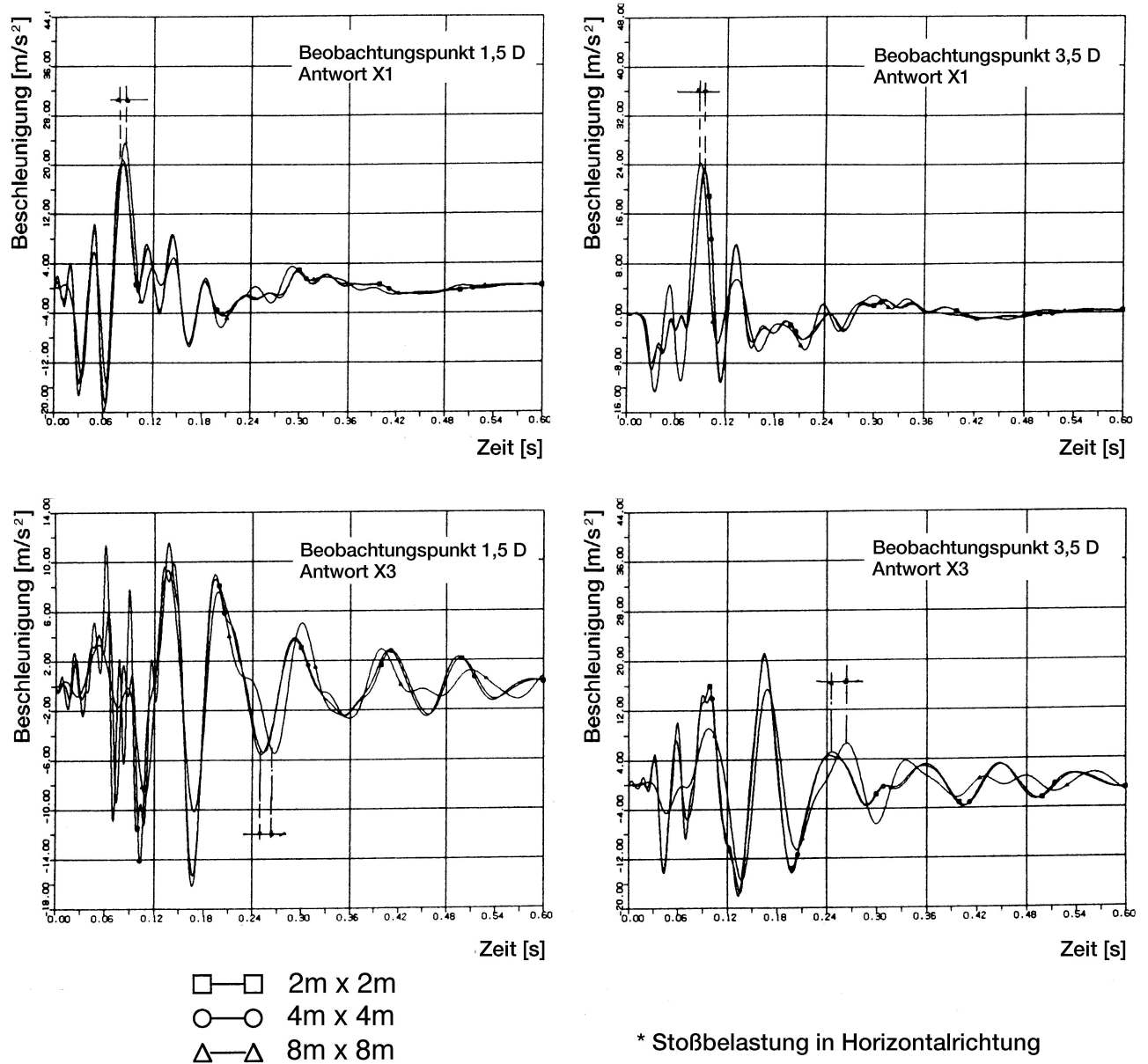


Fig. 3-99: 3D-MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

Es kann nämlich festgestellt werden, dass die Abklingfunktion für den jeweiligen Beobachtungspunkt abhängig ist von der Länge der Durchlaufstrecken sowie der Lage der Umlenkstellen auf den Übertragungswegen. Die Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

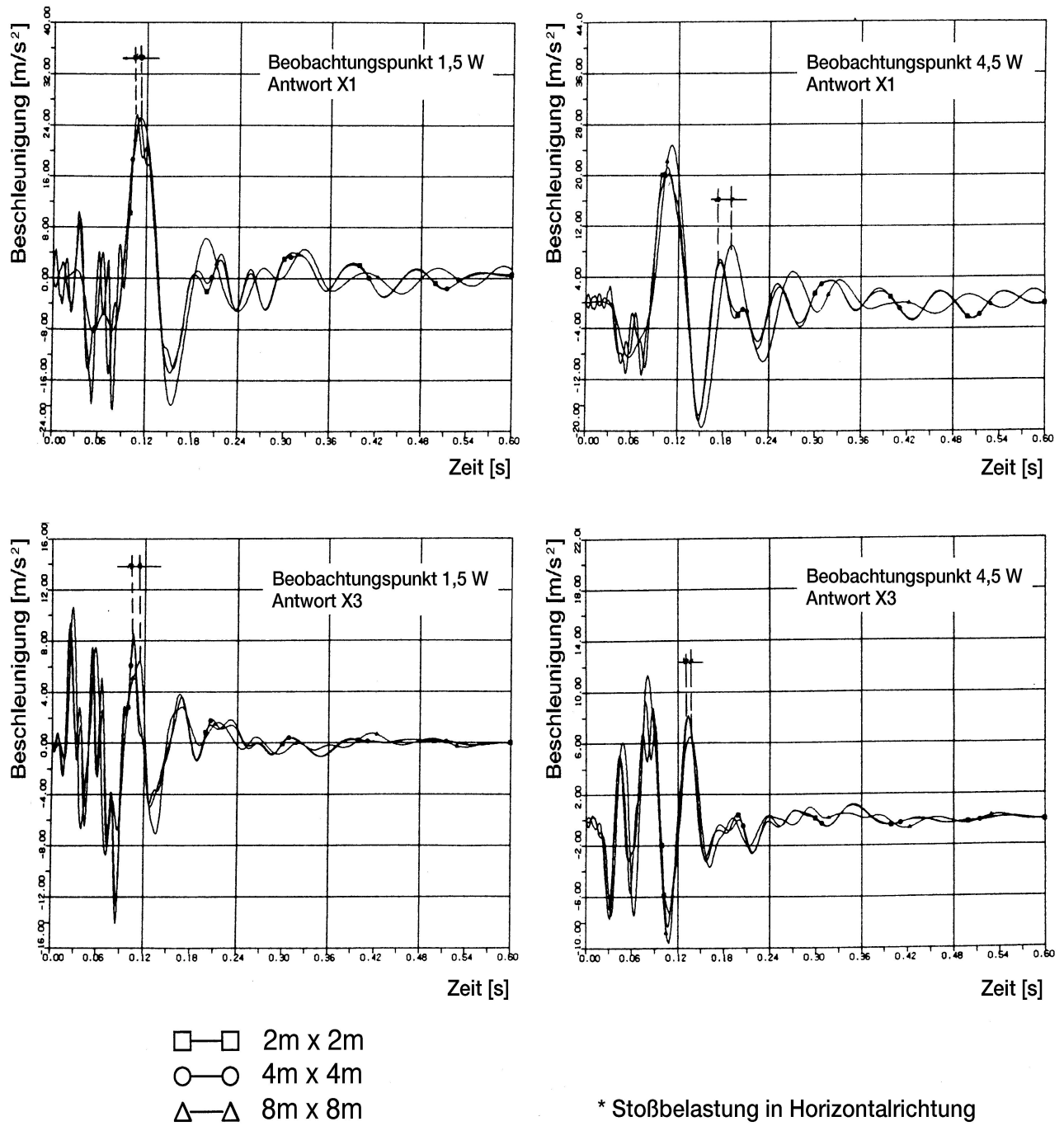


Fig. 3-100: 3D-MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen
Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

- Mit größer werdender Diskretisierung nehmen die Amplituden der erschütterungsinduzierten Beschleunigungen und der hieraus resultierenden Beschleunigungsantwortspektr ab.
- Rechenmodelle mit Diskretisierungen bis zur Elementgröße 4m x 4m führen aus praktischer Sicht zu zuverlässigen Aussagen.

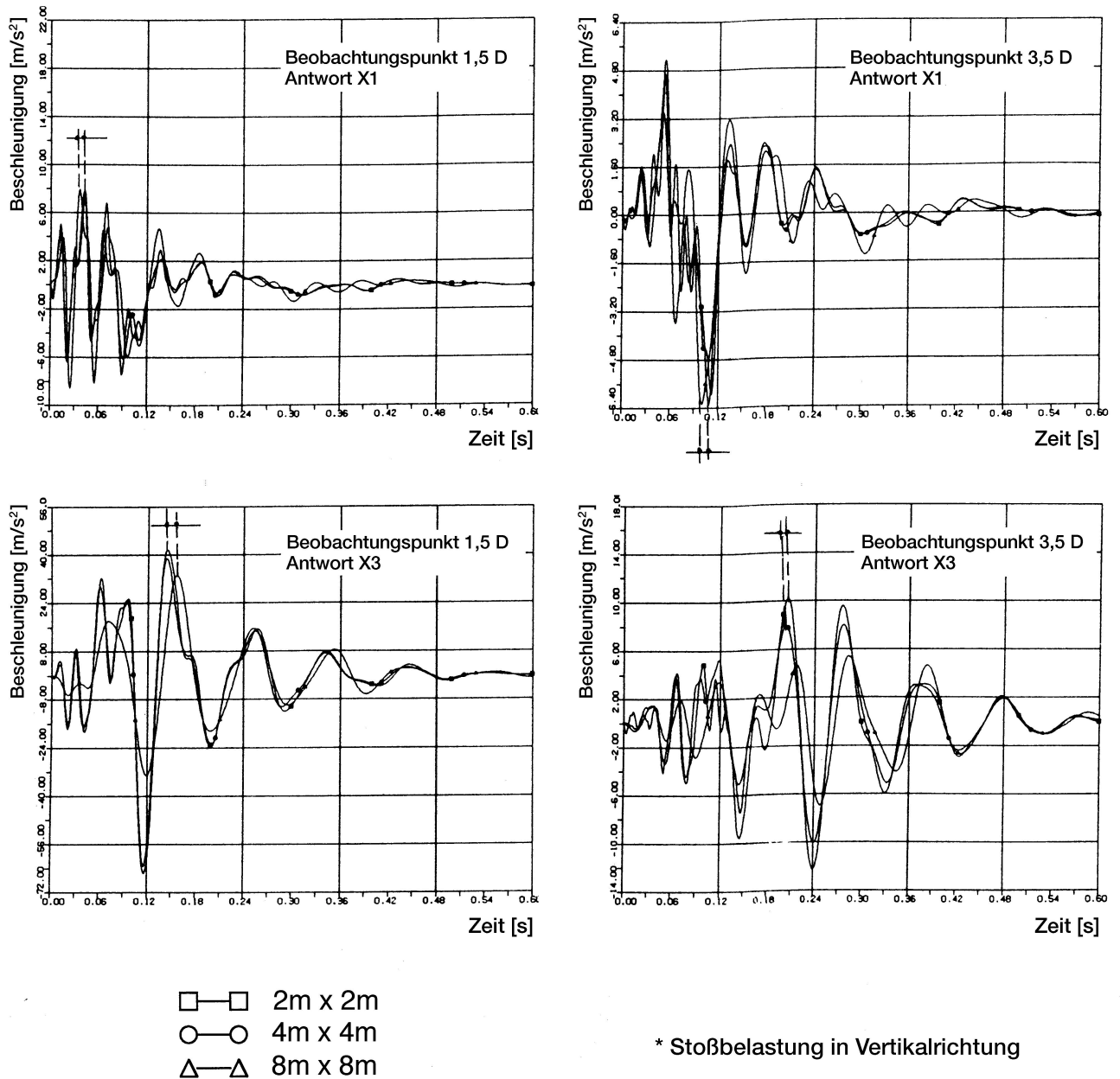


Fig. 3-101: 3D-MODELLBAUWERK
 Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

- Rechenmodelle mit größeren Diskretisierungen führen zu nicht eindeutig interpretierbaren Ergebnissen (Fig. 3-103 bis 3-106).
- In einer Reihe von weiter von den Lasteinleitungspunkten entfernten Beobachtungspunkten sind beachtliche Dispersionseffekte (Fig.3-104 bis 3-106) feststellbar.

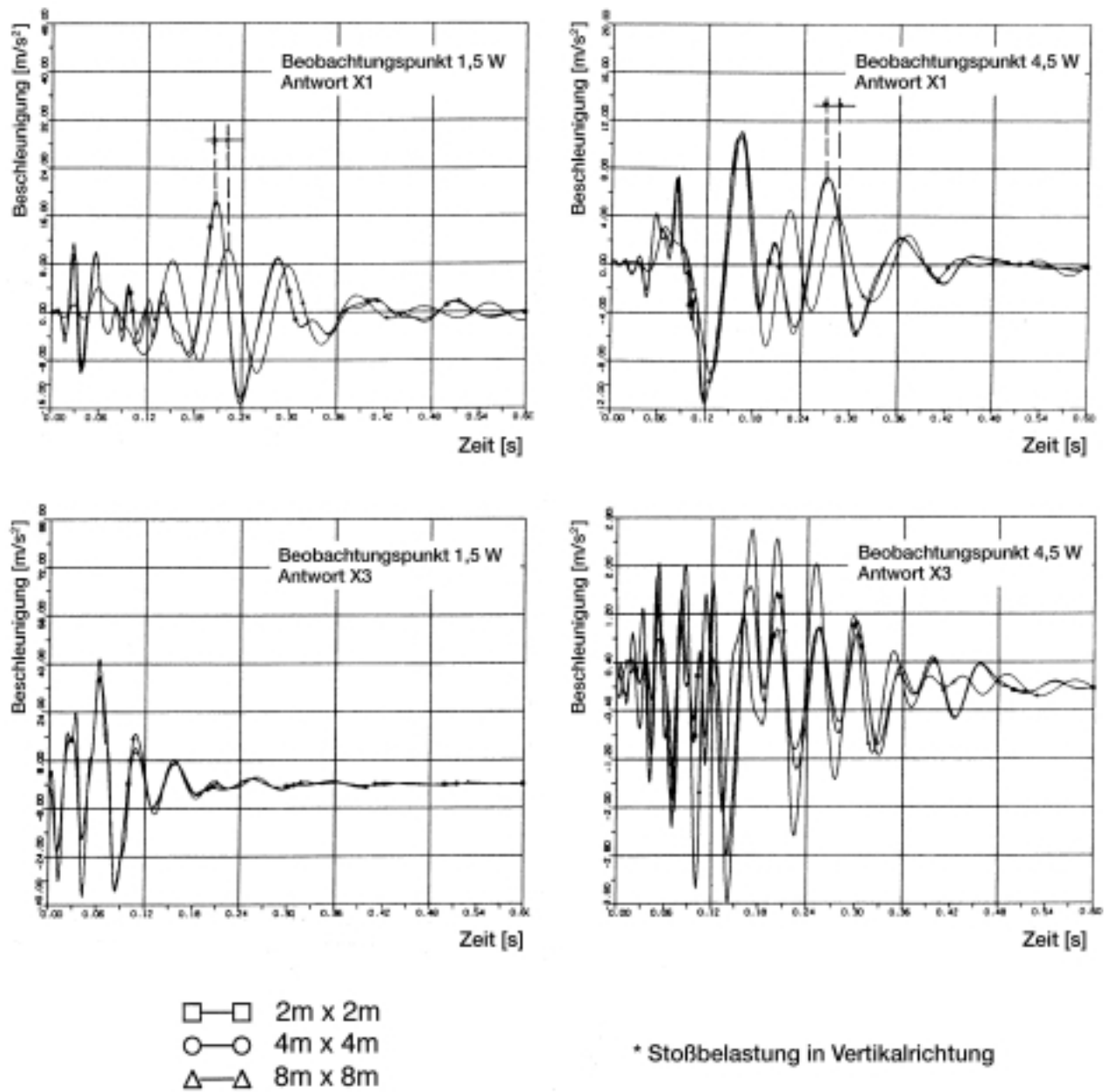


Fig. 3-102: 3D-MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

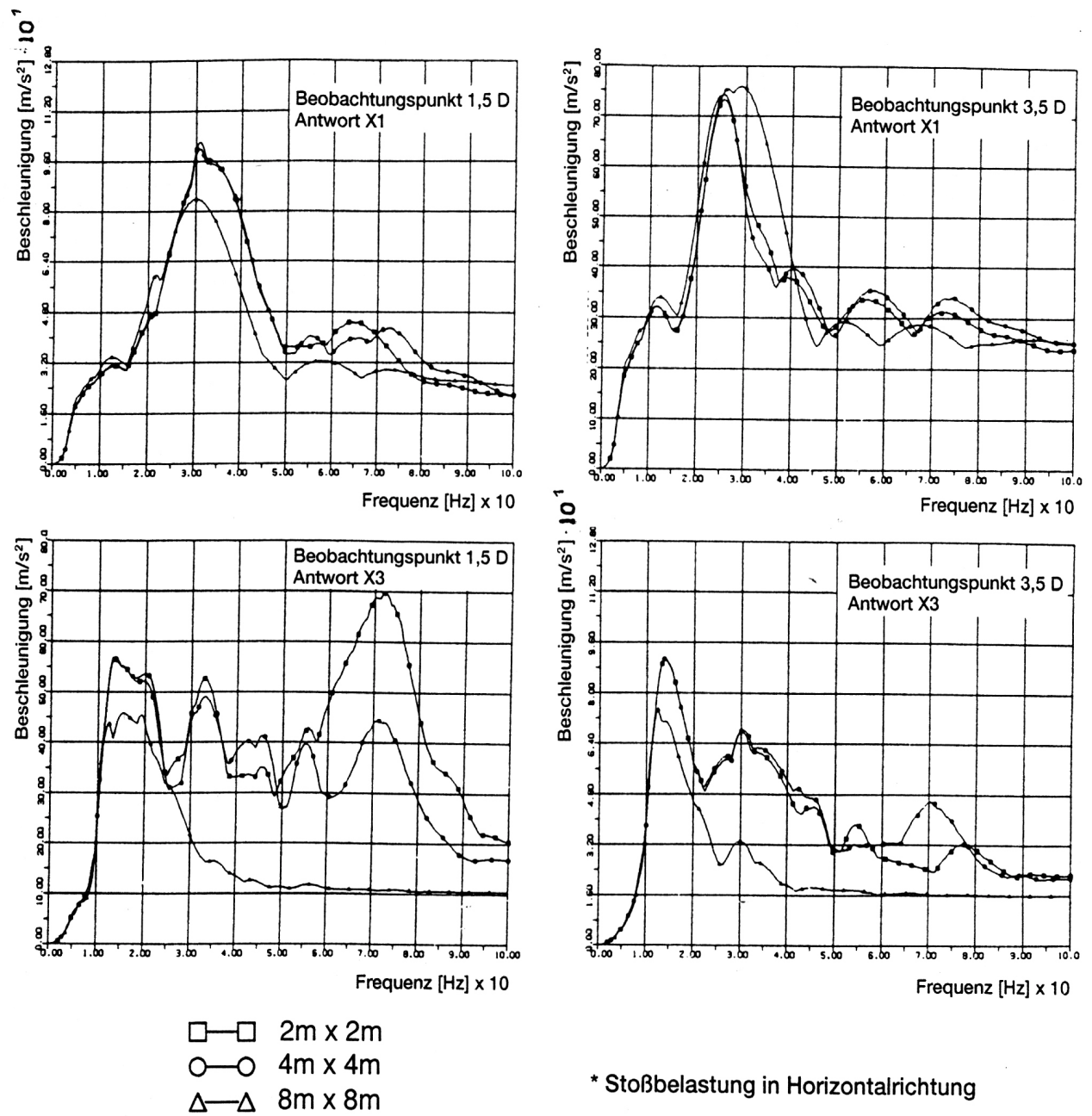


Fig. 3-103: 3D-MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

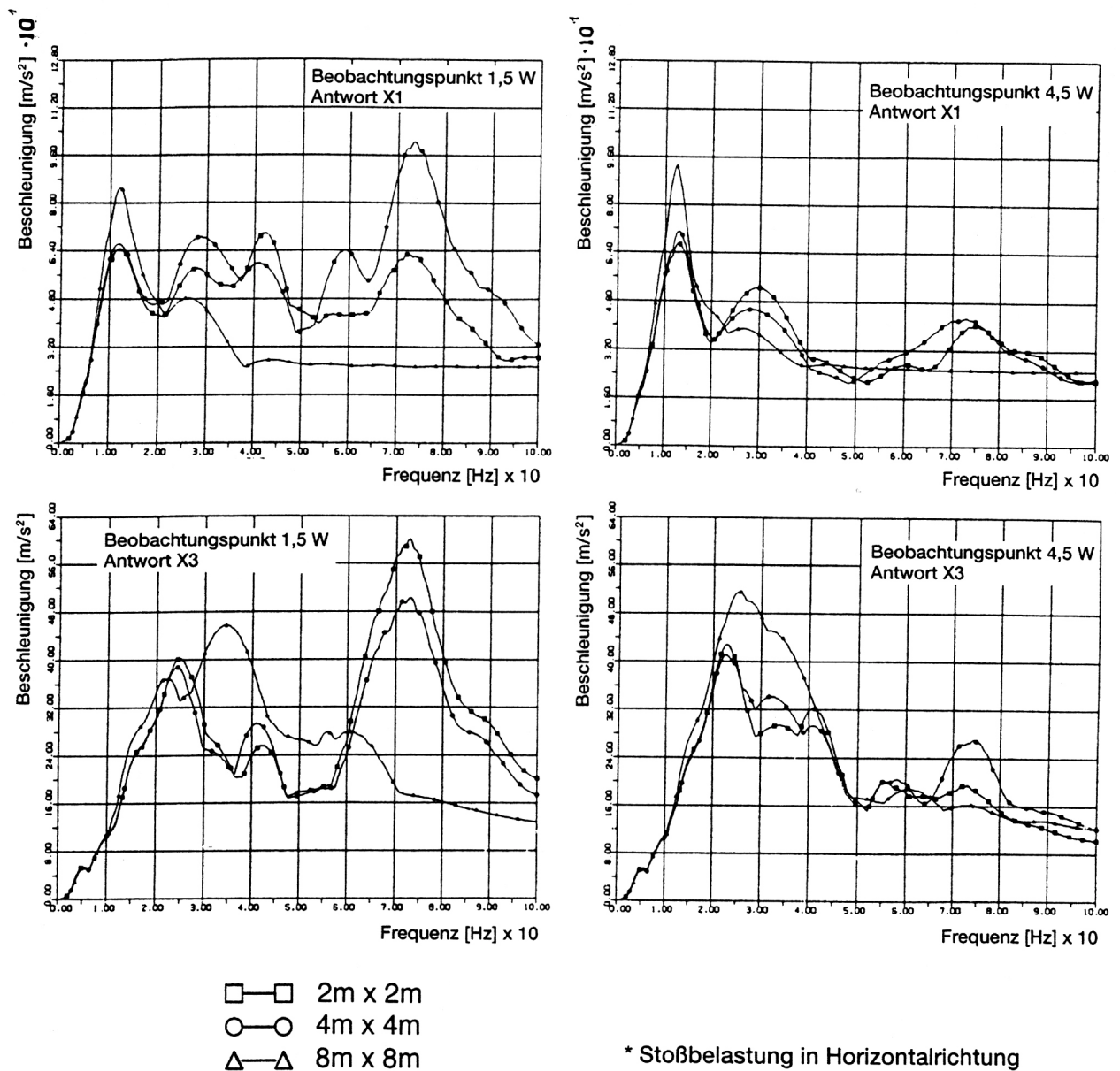


Fig. 3-104: 3D-MODELLBAUWERK
 Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

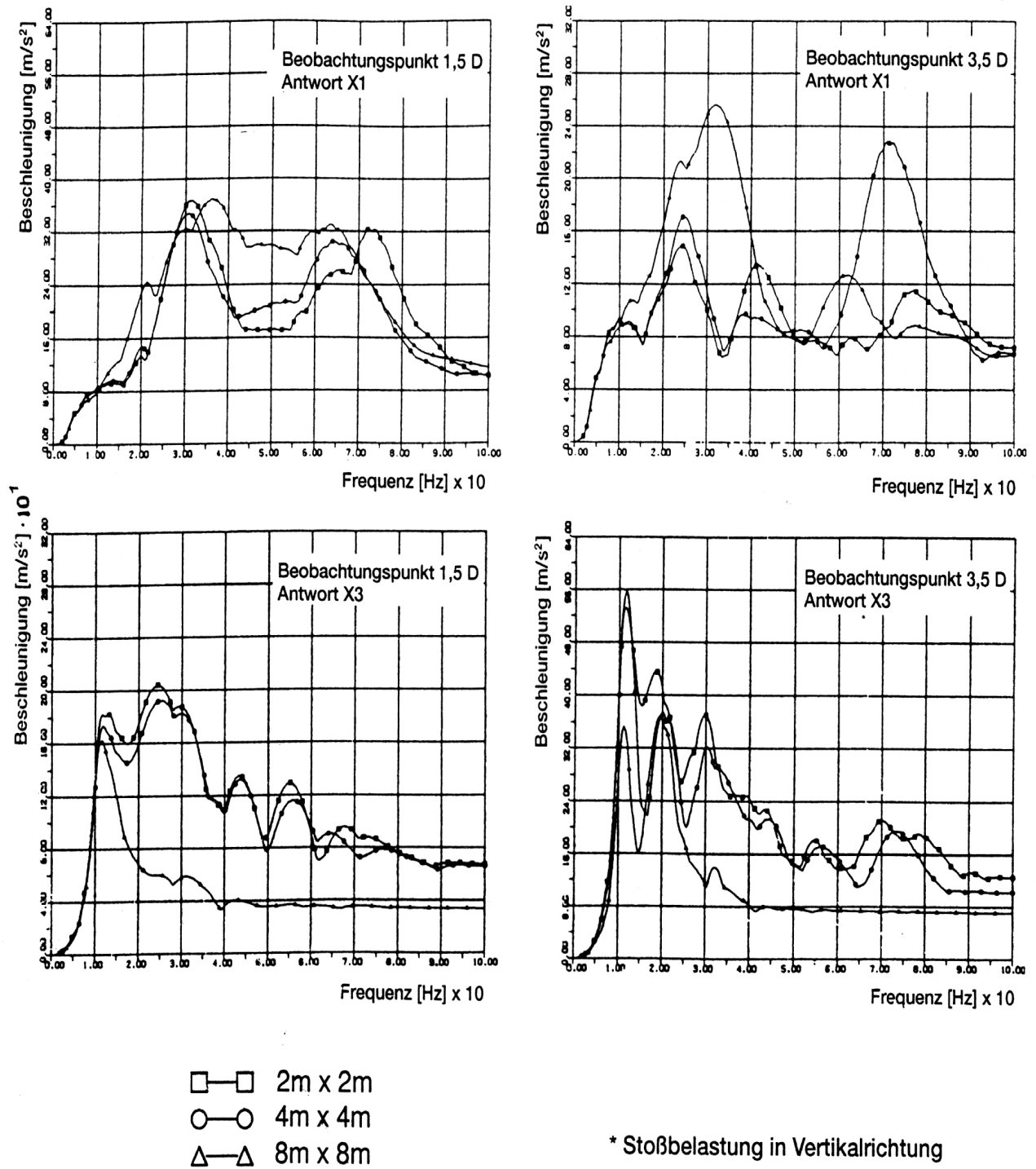


Fig. 3-105: 3D-MODELLBAUWERK
 Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

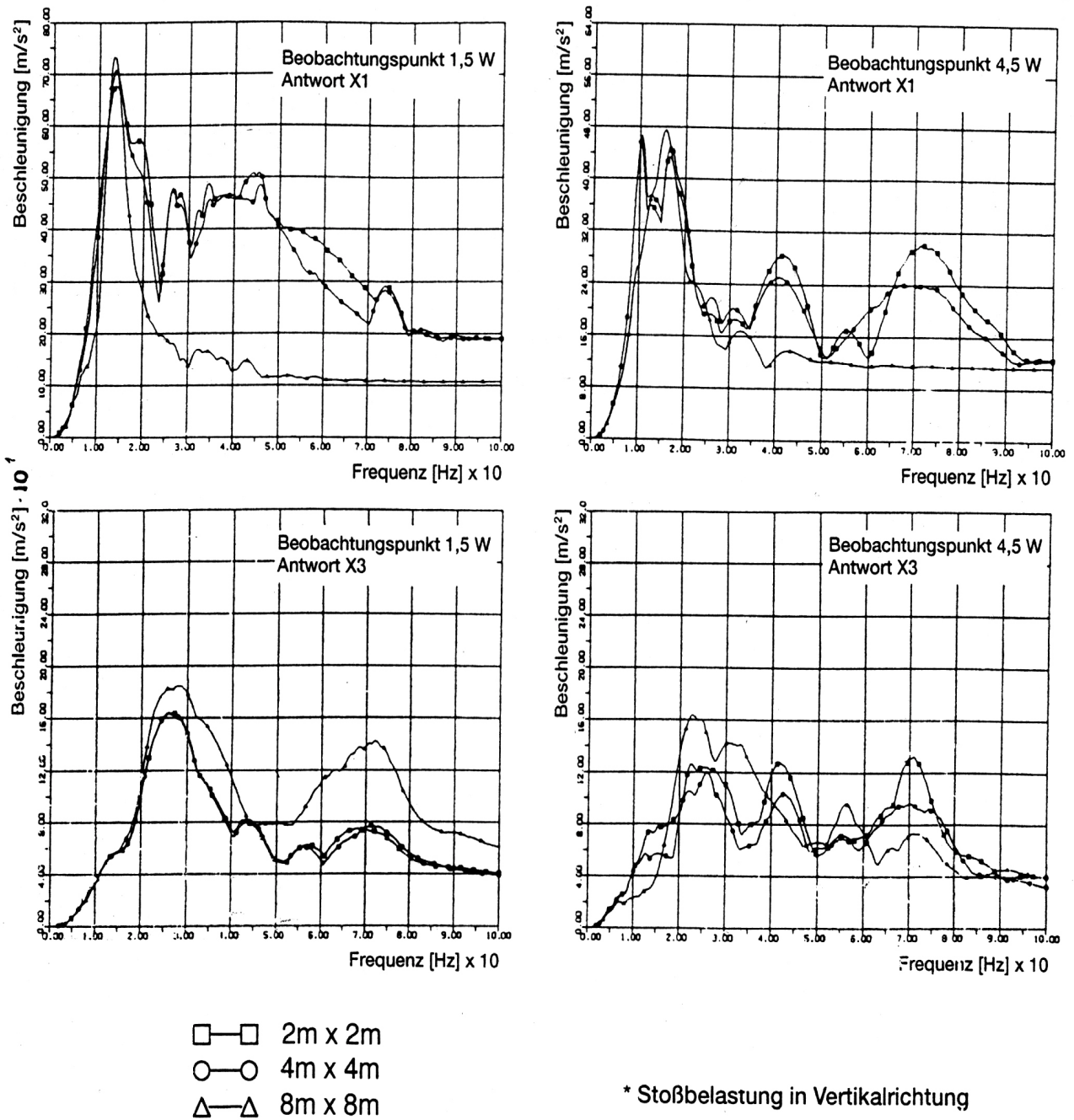


Fig. 3-106: 3D-MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten, Richtungen X1 und X3

3.3.5.2.4 Axisymmetrische Rechenmodelle kreisförmiger Modellbauwerke

Besonders wichtige sicherheitstechnisch relevante Bauwerke (Container, Kühltürme, Silos, Reaktorgebäude nuklearer Anlagen) haben in der Regel eine axisymmetrische Form. Obwohl sich hier für die Bemessung und dynamische Auslegung gegen Stoß- und Impulsbelastungen bevorzugt mathematische Abbildungen in Form von Schalenmodellen (FE-Ringelemente) anbieten, wurden aufgrund der in diesen Studien verfolgten Ziele (Einfluss der Diskretisierung) ebenfalls dreidimensionale Abbildungen angewendet.

Zu Untersuchung der Wellenausbreitungs- und Erschütterungsvorgänge in derartigen Bauwerken wurde ein einfaches kreisförmiges Modellbauwerk konzipiert (Fig. 3-107). Es besteht aus zwei konzentrisch angeordneten Zylindern, die auf einer starren Fundamentplatte angeordnet sind. Auf $1/3$ und $2/3$ der Bauwerkshöhe im Bereich zwischen der kreisförmigen Fundamentplatte und der Dachplatte wurden versteifende Zwischendecken (Kreisringplatten) angeordnet.

Die Wandstärke aller zylindrischen Schalen der Dach- und Zwischendecken und der Fundamentplatte wurde mit $w = 1$ m angenommen.

Zwecks Untersuchung des Einflusses variabler Diskretisierungen und der Lage der verschiedenen Erschütterungsübertragungswege wurden getrennte Berechnungen für zwei an der Oberkante des Bauwerks alternativ angesetzte Lastfälle durchgeführt (Fig. 3-107).

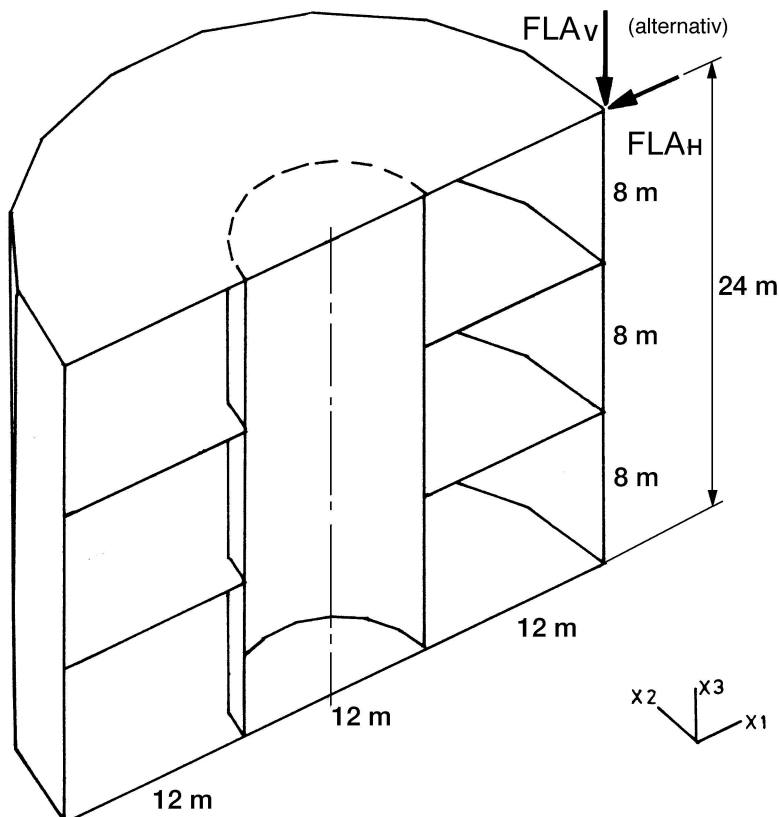


Fig. 3-107: Axisymmetrisches Modellbauwerk

Diskretisierung und Lastannahmen

Die Abbildung der Teilstrukturen erfolgte anhand von 3D-Modellen unter Anwendung von FE-Dreiecks- und Viereckselementen. Ausgehend von einem groben Rechenmodell mit einer Elementgröße von 8m x 8m wurde ebenfalls hier der Diskretisierungsgrad in zwei Stufen (4m und 2m) verfeinert.

Die für die gewählten Diskretisierungsvarianten ermittelten Eigenfrequenzen des Modellbauwerks wurden in Tabelle 3-12 zusammengestellt.

Als Belastung wurde wiederum die Referenzlastfunktion gemäß Fig. 2-1 angenommen. Auf die Applikation der Belastung gemäß den Vorgaben auf eine Wirkungsfläche von 7 m² wurde verzichtet und die Belastung in einem Punkt wahlweise in vertikaler und horizontaler Richtung wir-

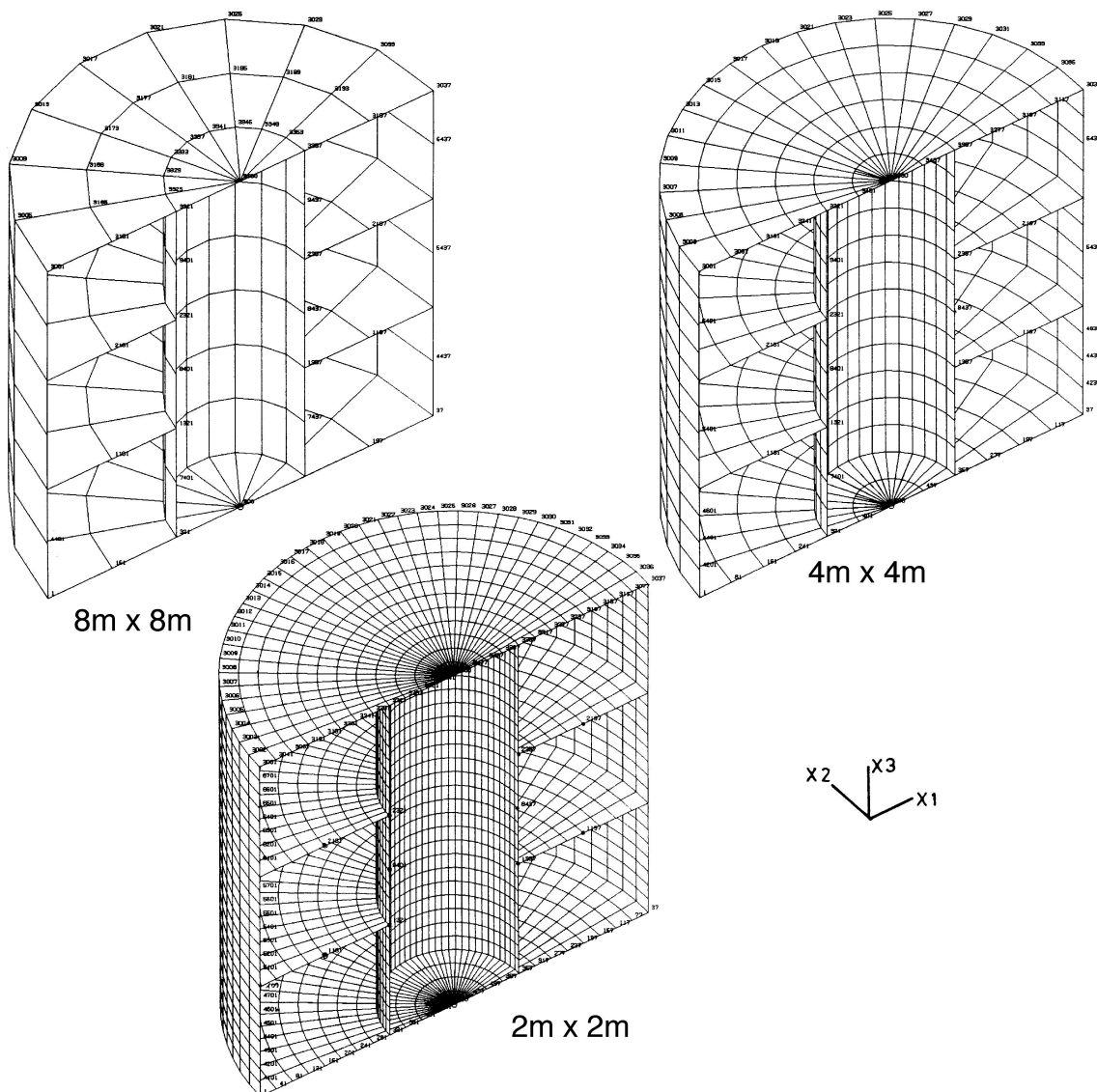


Fig. 3-108: Diskretisierungsvarianten des kreisförmigen Modellbauwerks

kend angesetzt. Variiert wurde außer dem Diskretisierungsgrad die Länge der Stoß- und Wellendurchlaufwege bis zu den Beobachtungspunkten an den Innenstrukturen sowie die hieraus resultierenden Streubereiche.

Charakteristische Ergebnisse

Der Vergleich der Verschiebungs- und Beschleunigungszeitverläufe führt zu ähnlichen Erkenntnissen wie beim kastenförmigen Modellbauwerk. Feine Diskretisierungen führen zu vergleichbaren wenig voneinander abweichenden Ergebnissen. Bei gröberer Diskretisierung (8w x 8w) gelangt man nicht mehr zu zuverlässigen Ergebnissen. Als zuverlässig werden dabei die relativ gut übereinstimmenden Ergebnisse angesehen, die anhand feiner Diskretisierungen (2w x 2w bzw 4w x 4w) erzielt wurden (Fig. 3-114 bis 3-117).

Noch deutlicher kommt dies zum Vorschein beim Vergleich der Beschleunigungsantwortspektren. Anhand der Rechenmodelle mit feinen Diskretisierungen (2w und 4w) gelangt man zu vergleichbaren und daher sich gegenseitig stützenden Ergebnissen (Fig. 3-18 bis 3-21) mit Diskretisierungen 8m x 8m dagegen zu überwiegend sehr stark hiervon abweichenden Ergebnissen.

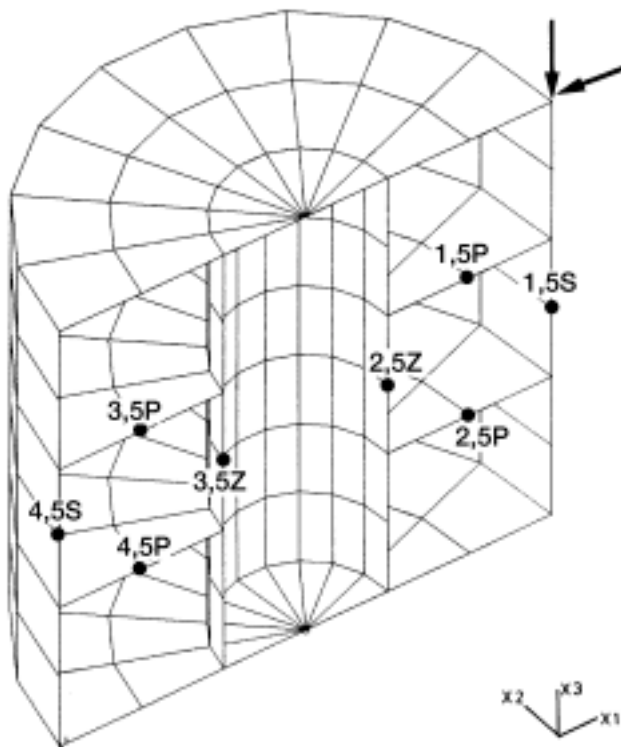


Fig. 3-109: Positionen charakteristischer Beobachtungspunkte (in Entfernungseinheiten P, S, Z)

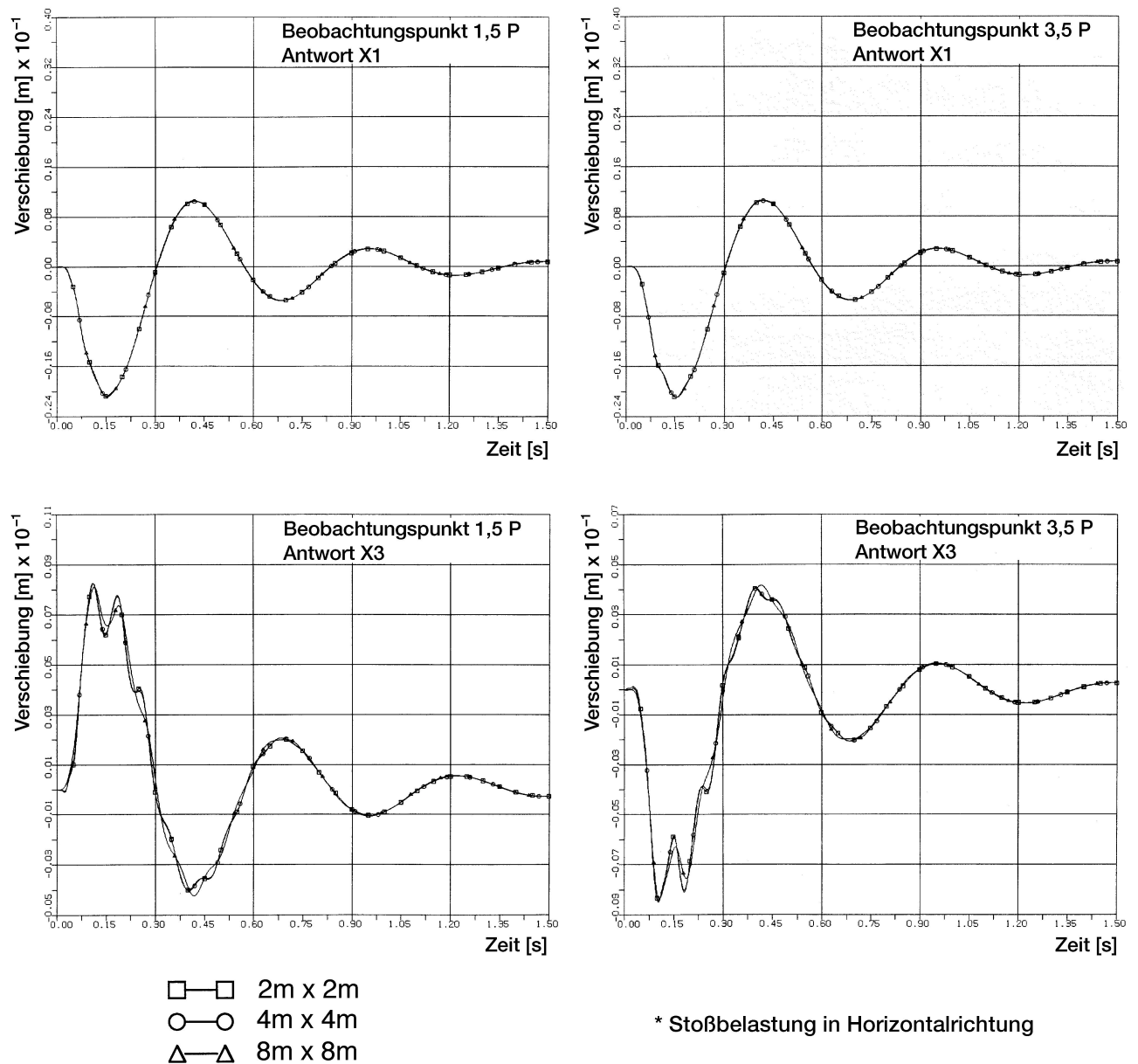


Fig. 3-110: *Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3*

Es können ähnlich wie beim kastenförmigem Gebäude Streueffekte festgestellt werden (Fig. 3-119), Beobachtungspunkte 1,5S und 4,5S, Richtung X3, bzw. Fig. 3-121, Beobachtungspunkt 4,5S, Richtung X3.

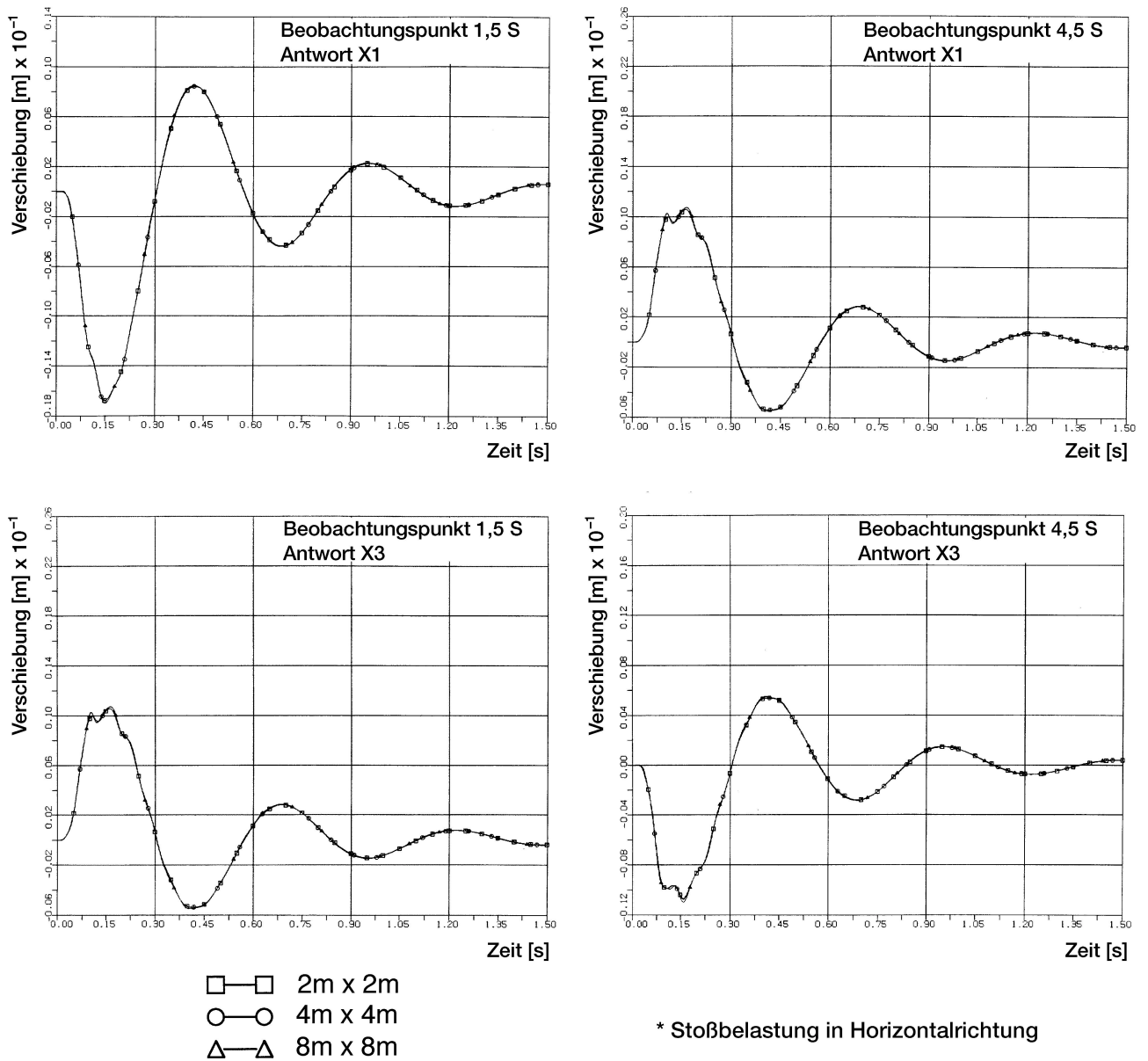


Fig. 3-111: *Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3*

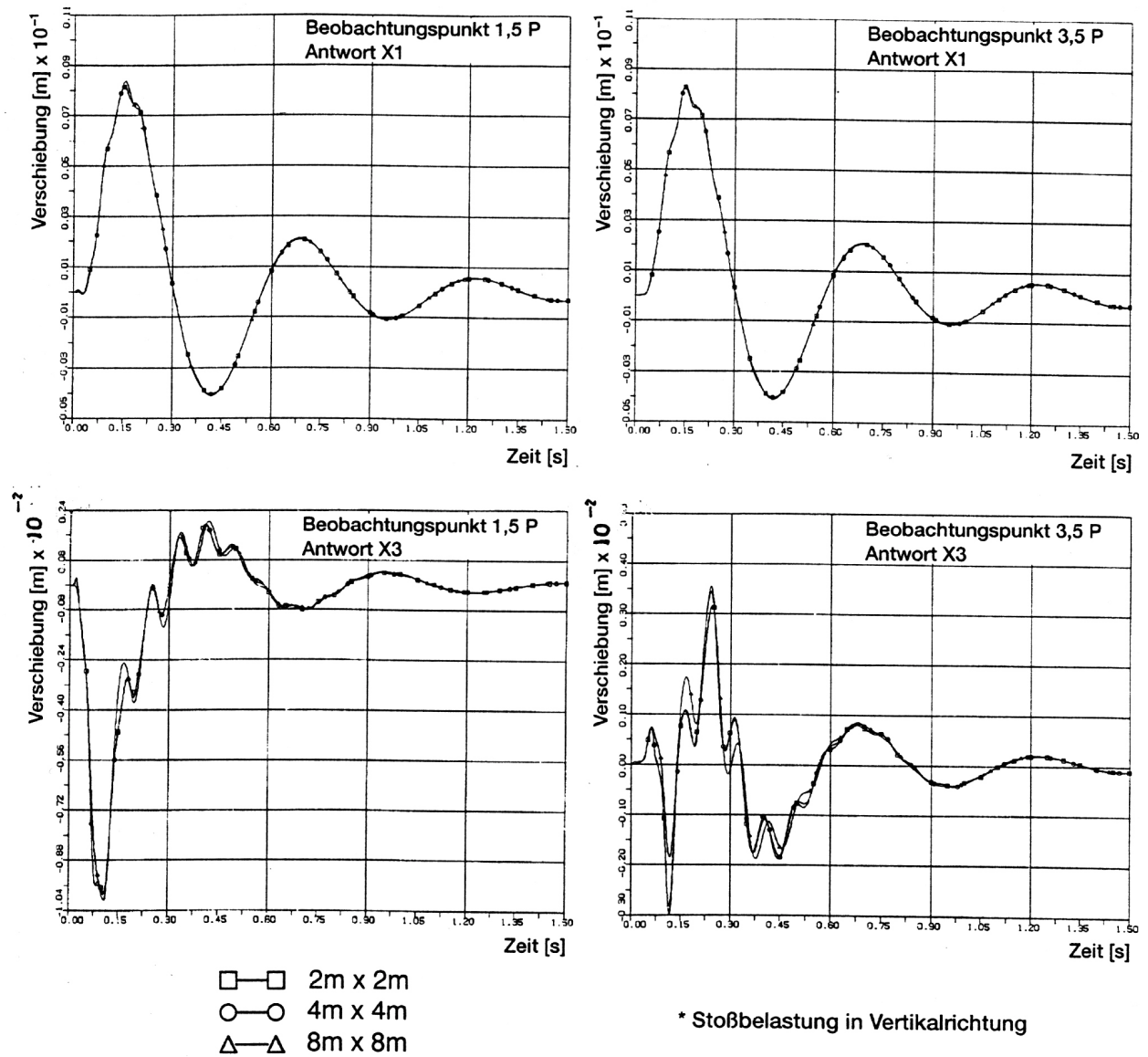


Fig. 3-112: Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3

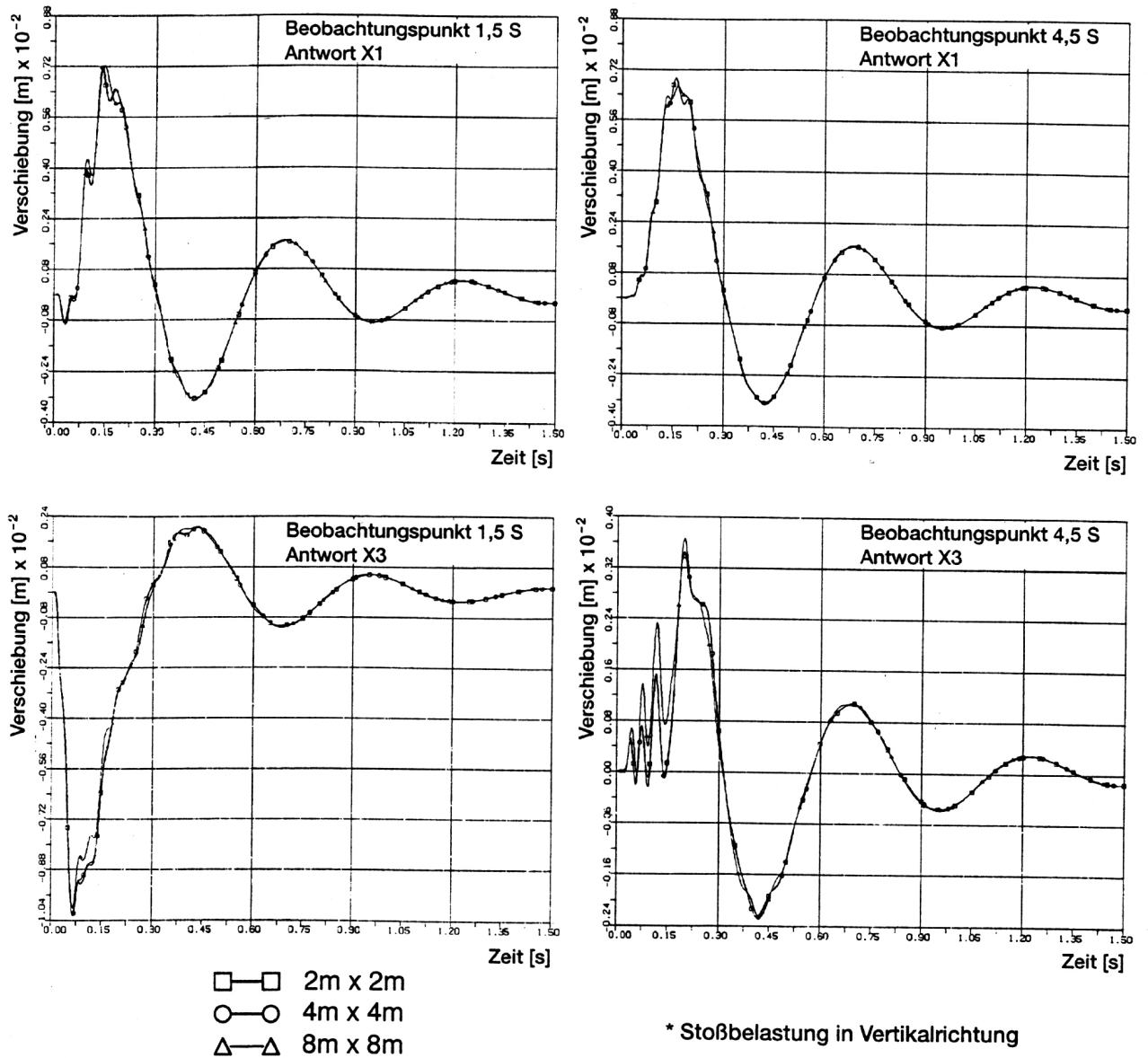


Fig. 3-113: Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
Vergleich von Verschiebungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3

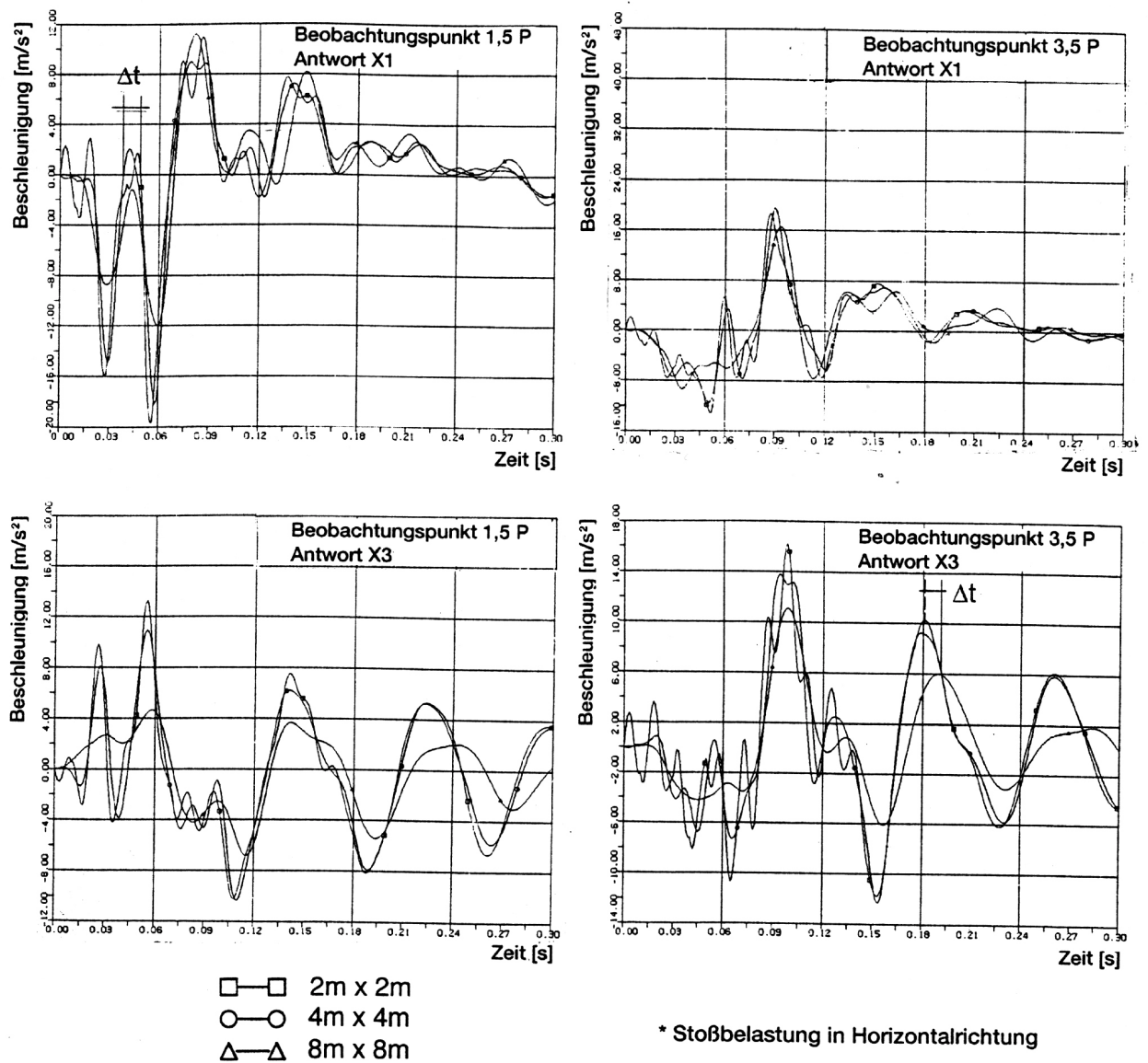


Fig. 3-114: Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
 Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
 Richtungen X1 und X3

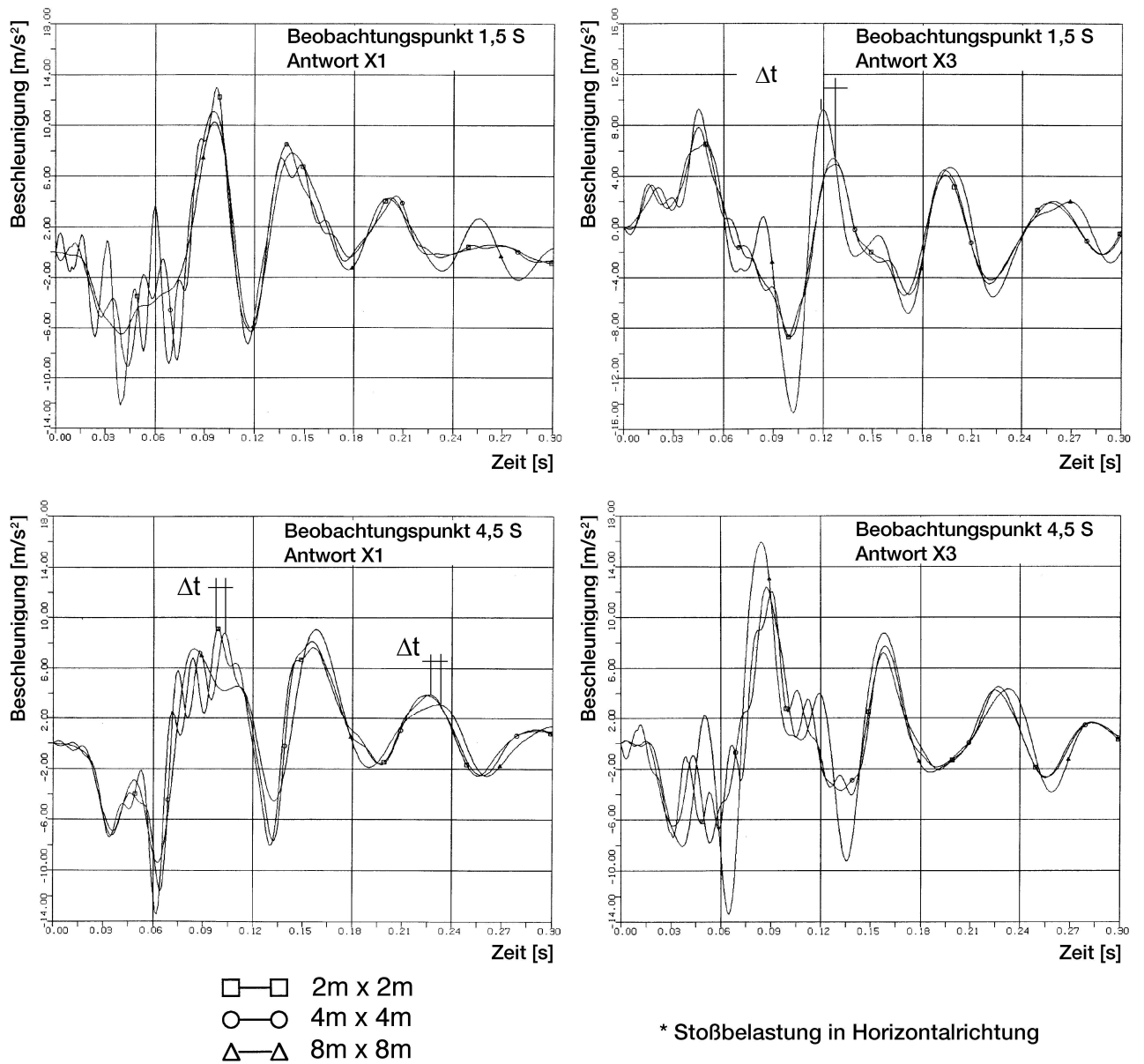


Fig. 3-115: Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3

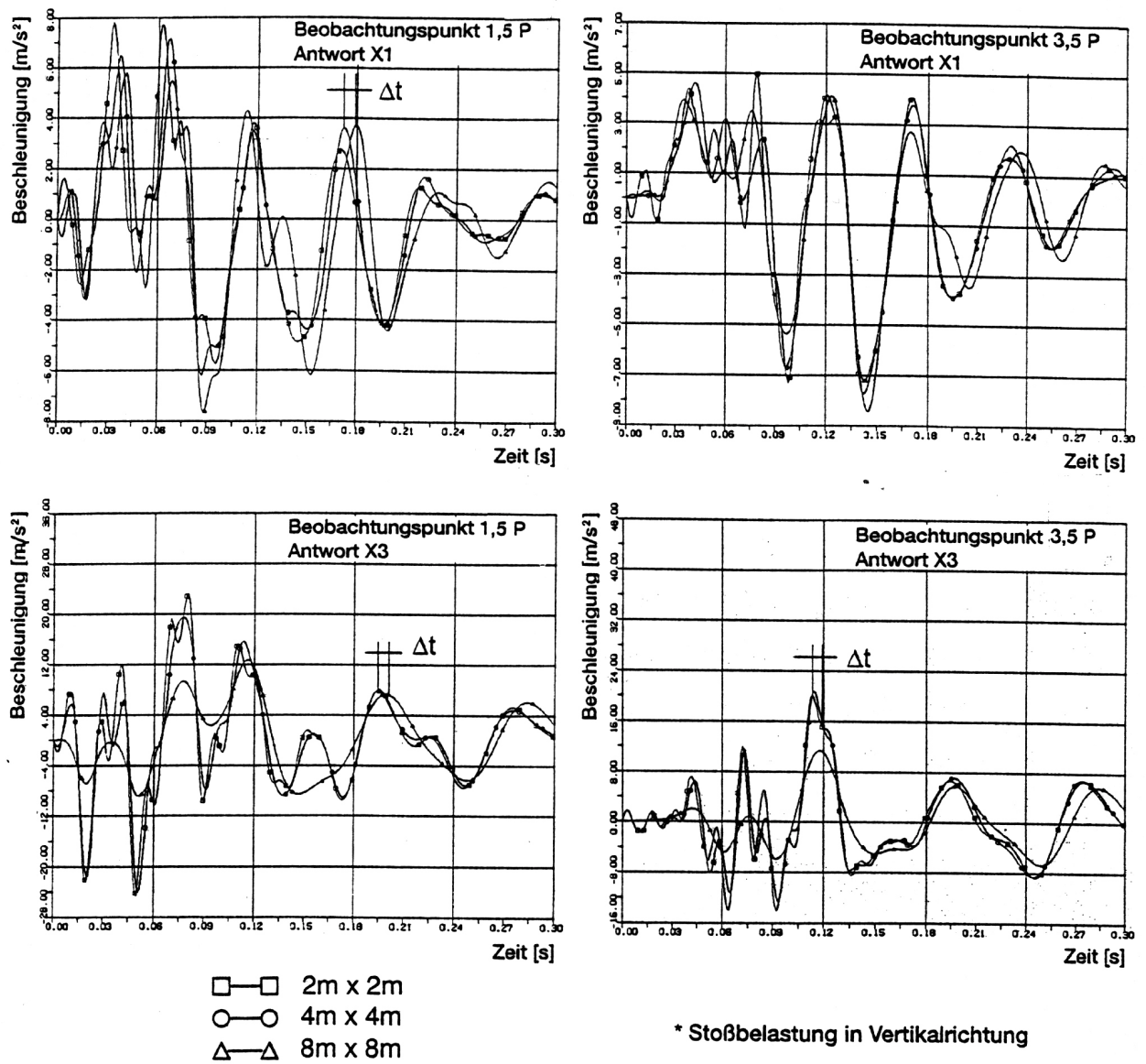


Fig. 3-116: Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3

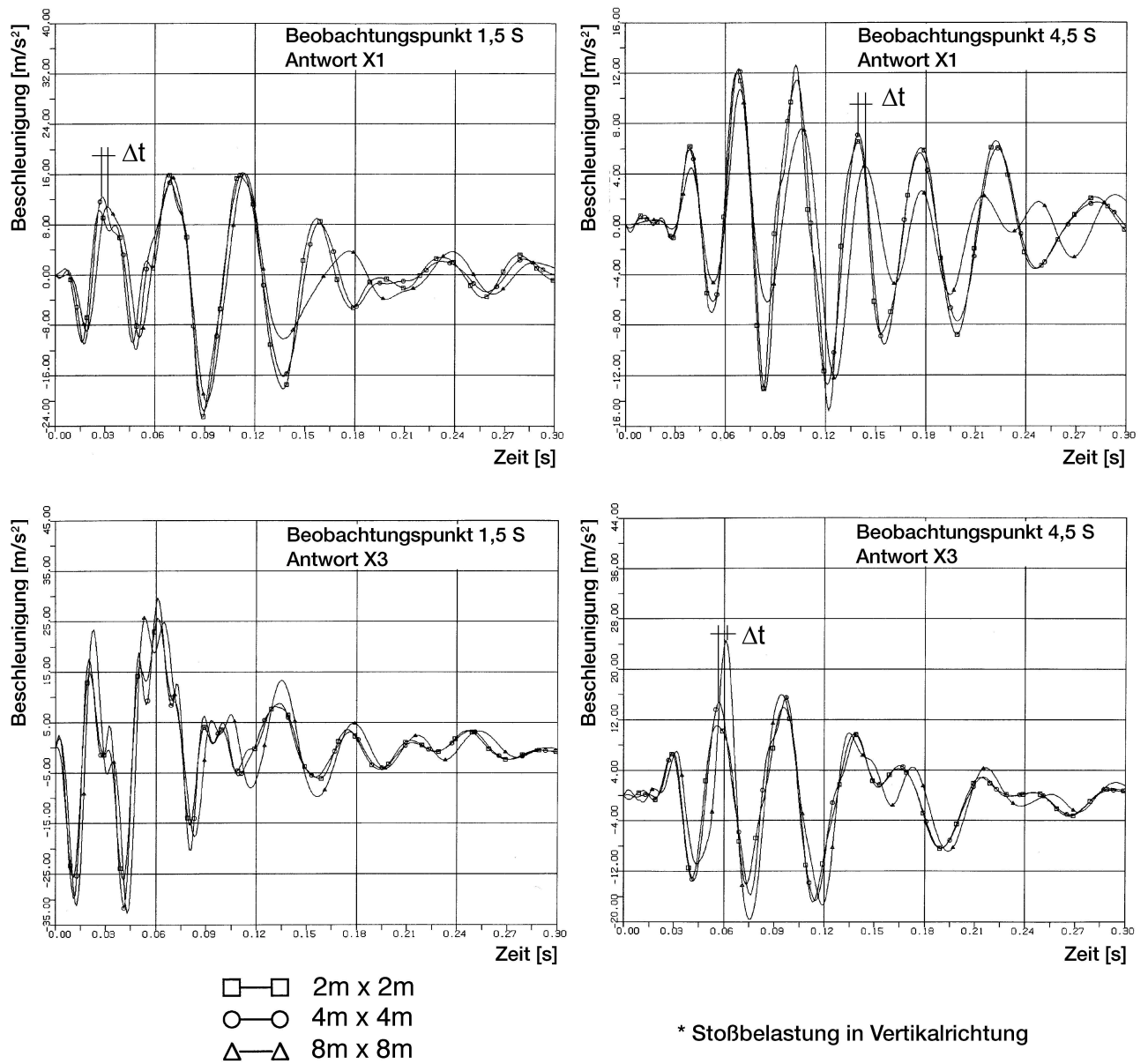


Fig. 3-117: *Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
 Vergleich von Beschleunigungszeitverläufen in charakteristischen Beobachtungspunkten,
 Richtungen X1 und X3*

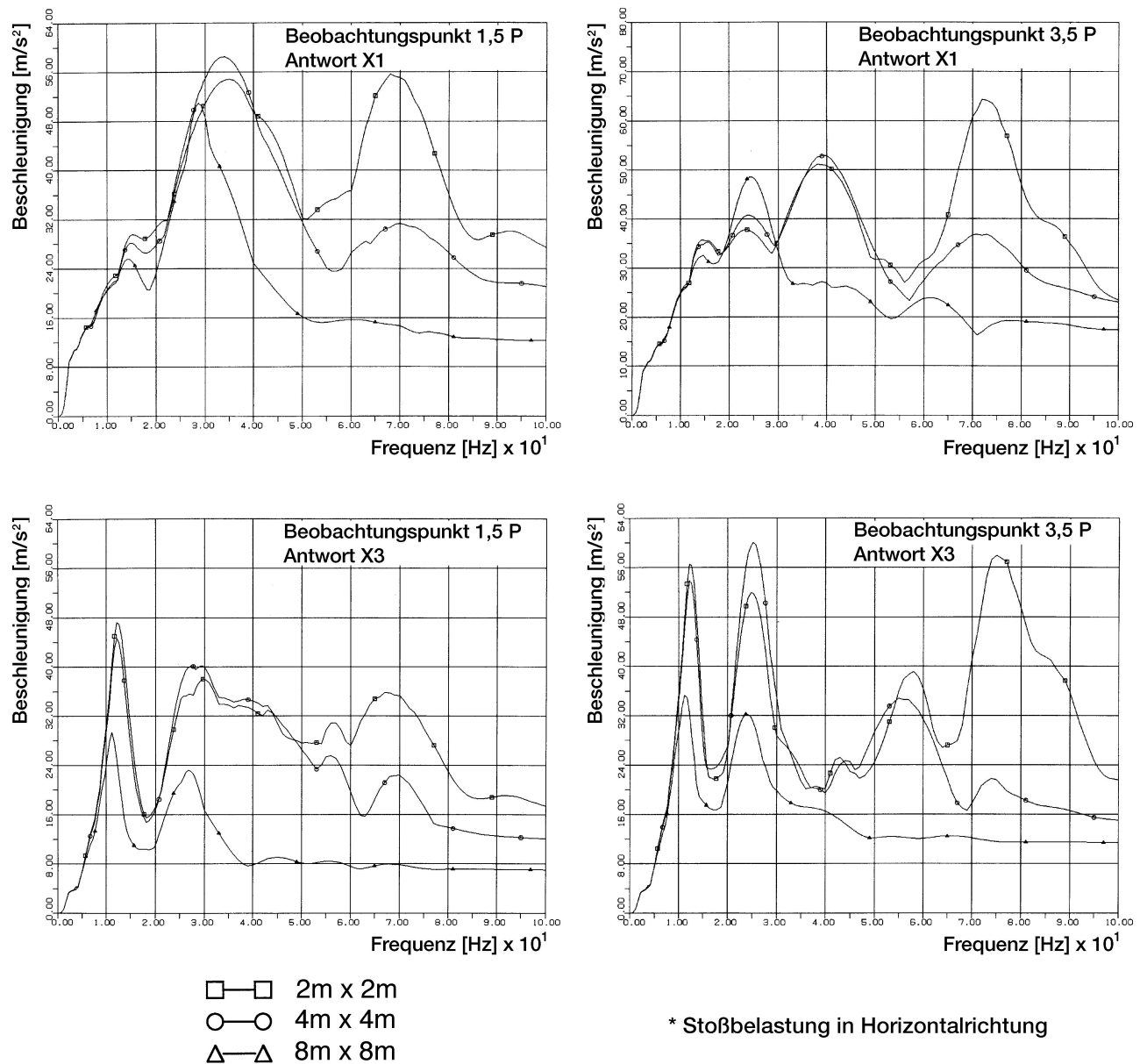


Fig. 3-118: *Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3*

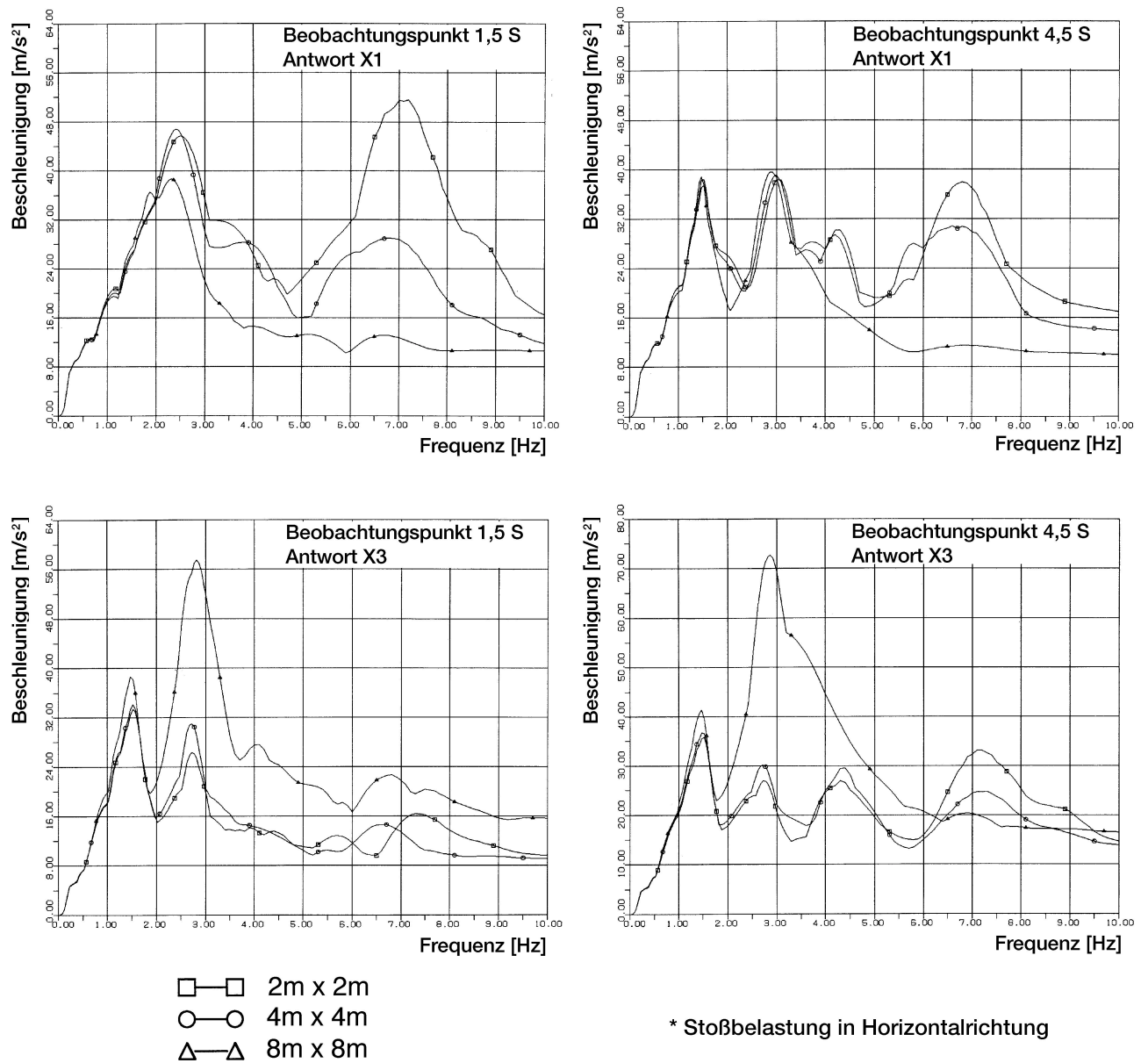


Fig. 3-119: *Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3*

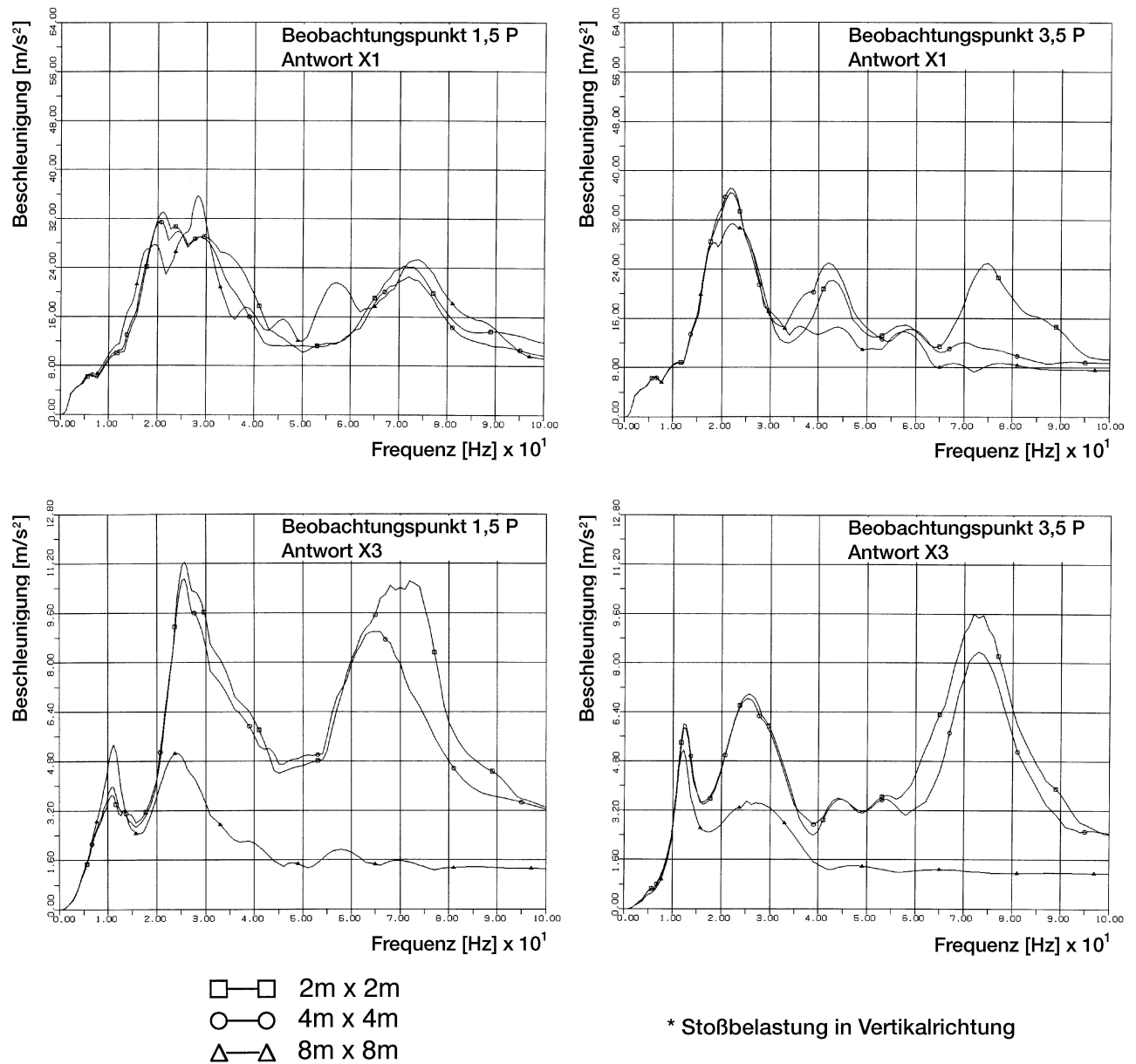


Fig. 3-120: *Axisymmetrisches MODELLBAUWERK*
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3

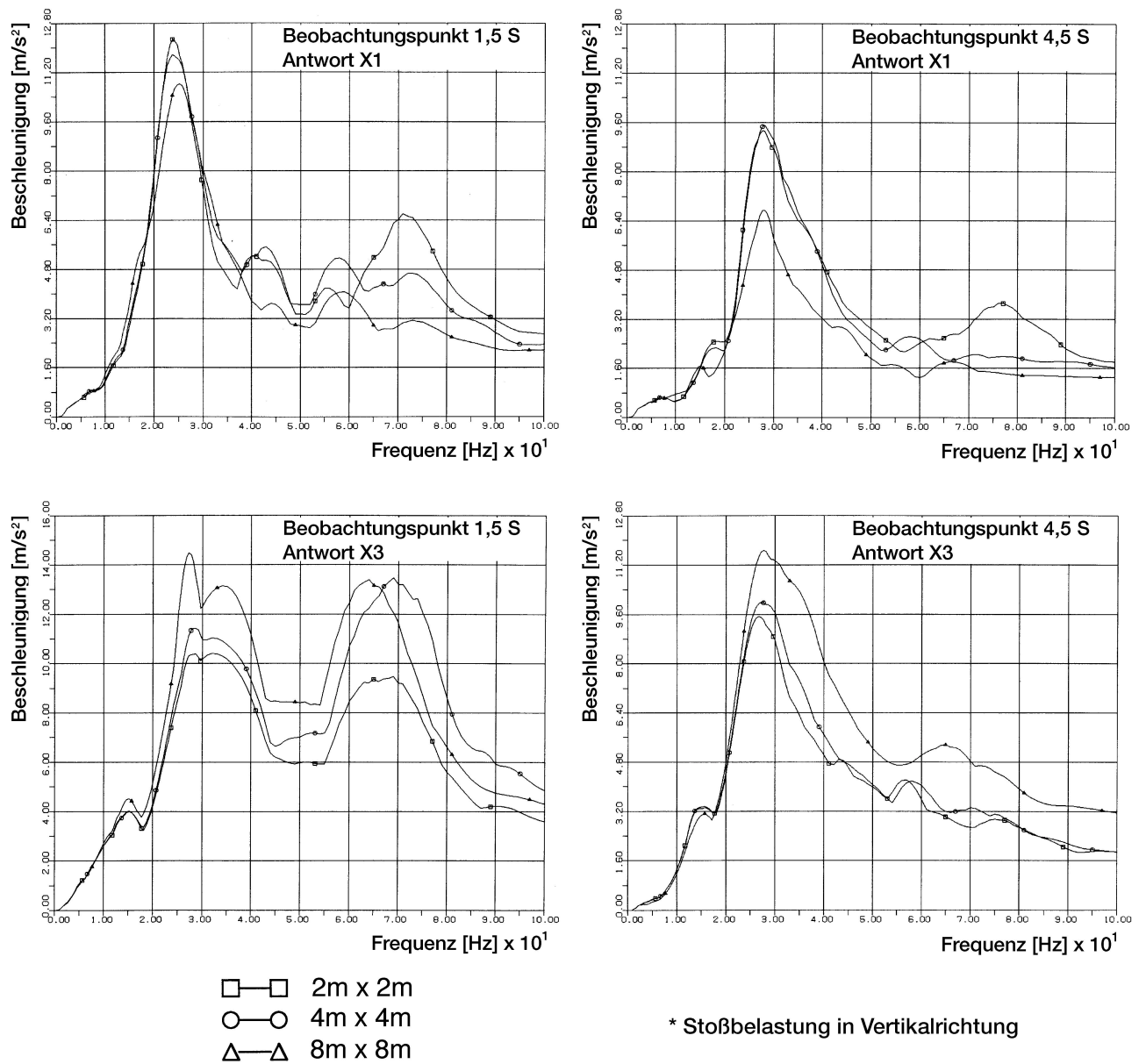


Fig. 3-121: *Axisymmetrisches MODELLBAUWERK
Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten,
Richtungen X1 und X3*

Diskretisierung (Elementgröße)	Eigenformen Nr.	X1	X3
8w x 8w (8m x 8m)	1.	1,92	3,79
	2.	5,92	9,84
	3.	15,2	11,26
	4.	17,19	13,33
	5.	18,35	21,97
4w x 4w (4m x 4m)	1.	1,92	3,57
	2.	5,92	10,7
	3.	13,85	13,85
	4.	17,73	17,73
	5.	21,61	21,61
2w x 2w (2m x 2m)	1.	1,92	3,15
	2.	5,92	10,58
	3.	15,25	11,62
	4.	17,63	17,86
	5.	21,24	21,14

Tab. 3-12: Fundamentale Eigenfrequenzen des kreisförmigen Modellbauwerks

Anhand der Untersuchungen des kreisförmigen Modellbauwerks konnten weitere Erkenntnisse zur Eignung von FE-Rechenmodellen und Simulationsverfahren zur Erfassung von Erschütterungsübertragungsvorgängen bei Stoßbelastungen gewonnen werden. Es wurde festgestellt, dass die Diskretisierungsfeinheit bei axisymmetrischen Bauwerken von gleicher Bedeutung wie bei kastenförmigen Bauwerken ist. Man gelangt auch hier zu der Erkenntnis, dass es Feinheitgrade der Diskretisierung gibt, die nicht unterschritten werden dürfen. Das Abklingverhalten der Strukturantworten zwischen Stoßeinleitungs- und Beobachtungspunkt im Bauwerk folgt den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie vorher beim kastenförmigen Modellbauwerk festgestellt.

Die anhand dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse sind weitgehend mit den unter 3.3.5.3 getroffenen Aussagen abgedeckt. Schließt man die mit FE-Schalenringelementen (Punkt 3.2.2.2) gewonnenen Erkenntnisse mit ein, so kann hier ergänzend festgestellt werden, dass bei Diskretisierungen von kreisförmigen Bauwerken mit Flächenelementen die Elementgrößen beachtlich feiner sein müssen als im Falle der Abbildung mit FE-Schalenringelementen.

Ausgehend von den im Rahmen der Parameterstudien an kastenförmigen und axisymmetrischen Modellbauwerken gewonnenen Ergebnissen gelangt man zu Korrekturfaktoren $k_{(G)L} = L_K / L_W \approx 3w/5,4w^* = 0,56$ für Längswellen bzw. $k_{(G)S} = 3w/3,4w^* = 0,88$ für Scherwellen (s.Tab. 3-9) und für Schalenringelemente (HDR) ca. $k_{(G)SCH} \approx 8w/5,4w=1,1$ (s. Seite 107). Die bei Berechnungen von stoßinduzierten Erschütterungen in Bauwerken zulässigen Konvergenzelementlängen betragen somit:

- bei Diskretisierungen mit Flächenelementen (Wände und Decken kastenförmiger Bauwerke):

$$L_{k(G)} \leq 7,0 \cdot 10^{-2} c_L T_n \quad \text{bzw.} \quad L_{k(G)L} \leq c_{L,S} / 14f_n \quad (\text{Längswellen})$$

$$L_{k(G)} \leq 11 \cdot 10^{-2} c_S T_n \quad \text{bzw.} \quad L_{k(G)S} \leq c_{L,S} / 9 f_n \quad (\text{Scherwellen})$$

-bei Diskretisierungen mit Schalenringelementen (doppelt und einfach gekrümmte Schalen):

$$L_{k(G)} \leq 13,8 \cdot 10^{-2} c_{L,S} T_n \quad \text{bzw.} \quad L_{k(G)} \leq c_{L,S} / 8f_n$$

4 Einfluss nichtlinearer Effekte (Zustand II) im bewehrten Beton auf Erschütterungen von Bauwerken

Die vorgegebene Referenzlastfunktion (Fig. 2-1) entspricht einer Hartstoß-Lastzeitfunktion (HLF), die für idealisierte Bedingungen am Aufprallort abgeleitet wurde. Sie gilt in dieser Form lediglich für einen unendlichen steifen Aufprallort.

In den Aufprallbereichen der nach geltenden Regelwerken /2-47/ ausgelegten Außenwände eines Gebäudes sind jedoch aufgrund der „Dünnwandigkeit“ beachtliche plastische Effekte zu erwarten /4-12/, /4-15/, /4-37/ und /4-38/.

Dies führt besonders in ungestörten Kugel-, Zylinder- und Plattenbereichen der Außenwände bereichsweise zu beachtlichem Energieverzehr und einer Verlängerung der Wirkungsdauer der Stoßlastfunktion.

Aufgrund der eintretenden Deformation ist lokal ebenfalls ein größeres Dämpfungsvermögen (als beim Lastfall Erdbeben) zu erwarten.

Bei Vernachlässigung der o. g. Effekte und Annahme linear-elastischer Bedingungen am Aufprallort /2-11/, /2-15/, /2-26/ und /2-27/ gelangt man zu beachtlich höheren weitergeleiteten Kräften als bei Berücksichtigung des wirklichkeitsnahen lokalen Materialverhaltens.

In folgenden Abschnitten soll anhand von Vergleichen experimentell gewonnener Ergebnisse für Balken und Platten mit Ergebnissen entsprechender Voraus- und Nachberechnungen die Aussagekraft analytischer Verfahren und Materialmodelle zur Erfassung des nichtlinearen Verhaltens von Beton bewertet werden.

Anhand der hierdurch qualifizierten Rechenprogramme wurden im Folgeschritt Flugzeugabsturz-berechnungen zur Modifikation der Hartstoßlastfunktion und Ableitung modifizierter Lastfunktionen und Strukturantworten durchgeführt (Absatz 4.2).

4.1 Bewertung der Aussagekraft nichtlinearer Rechenverfahren durch Vergleich mit experimentellen Ergebnissen

Anhand einer Reihe von nichtlinearen Berechnungen zum lokalen elasto-plastischen Betonverhalten von Reaktorstrukturen beim Lastfall Flugzeugabsturz /4-2/ bis /4-5/, /4-6/, /4-11/, /4-12/, /4-15/, /4-16/, /4-24/, /4-22/, /4-26/, /4-27/, /4-28/, /4-35/, /4-36/ bis /4-39/, /4-72/ wurden besonders Ende der 70er Jahre umfangreiche Erfahrungen mit der Anwendung verschiedener Rechenmethoden und Rechenprogramme gewonnen.

Charakteristisch für alle damals zugänglichen Rechenprogramme war jedoch die mangelnde Absicherung durch experimentelle Untersuchungen. In der ersten Phase der Anwendung o.g. Rechenmethoden und -programme erfolgte die Absicherung der Aussagen lediglich durch Vergleich der nach verschiedenen Methoden erzielten rechnerischen Ergebnisse.

Durch eine Reihe erarbeiteter Versuchsergebnisse (BAM-, MEPPEN- sowie HDR-Versuche) /4-7/, /4-17/, /4-19/, /4-52/, /4-60/, /4-62/ konnte die mangelnde Absicherung der angewandten Rechenprogramme besonders die Qualifikation der Materialmodelle schrittweise behoben werden.

4.1.1 Stoßversuche an Betonbalken

Die Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) entwickelte für Versuche an naturgetreuen Balken eine servohydraulische Versuchsanlage für statische und dynamische Belastungen. Auf dieser Anlage wurde eine Reihe von Betonbalken und -platten unter stoßartigen Belastungen getestet /4-18/, /4-19/.

Ziel der Experimente war die Bereitstellung von Testergebnissen zur Überprüfung der Rechenmethoden und -modelle, die bei der Auslegung von Betonstrukturen verwendet werden.

Für einige dieser Versuche wurden im Rahmen der Absicherung und Verifikation von Rechenprogrammen für nichtlineare Berechnungen, die im Reaktorbau Anwendung finden, u. a. begleitende Berechnungen durchgeführt /4-50/.

Im folgenden soll auf Ergebnisse einiger Voraus- sowie Nachberechnungen eingegangen werden. Basis o. g. Vorausberechnung waren dabei die von der BAM definierten Materialkennwerte sowie vorab festgelegte Erhöhungsfaktoren der Fließgrenzwerte für Stahl und Beton. In der Nachberechnung wurde der Einfluss der dynamischen Verfestigung auf der Grundlage der Ergebnisse der Vorausberechnung und der gewonnenen Messdaten überprüft und der Wirklichkeit besser angepasst.

4.1.1.1 Versuchsanordnung, Versuchskörper, Eingangsdaten

Die servohydraulische Versuchseinrichtung der BAM ermöglicht die Durchführung von Experimenten an Balken und Platten mit realen Abmessungen. Der Maximalwert der Belastung betrug ca. 1000 kN.

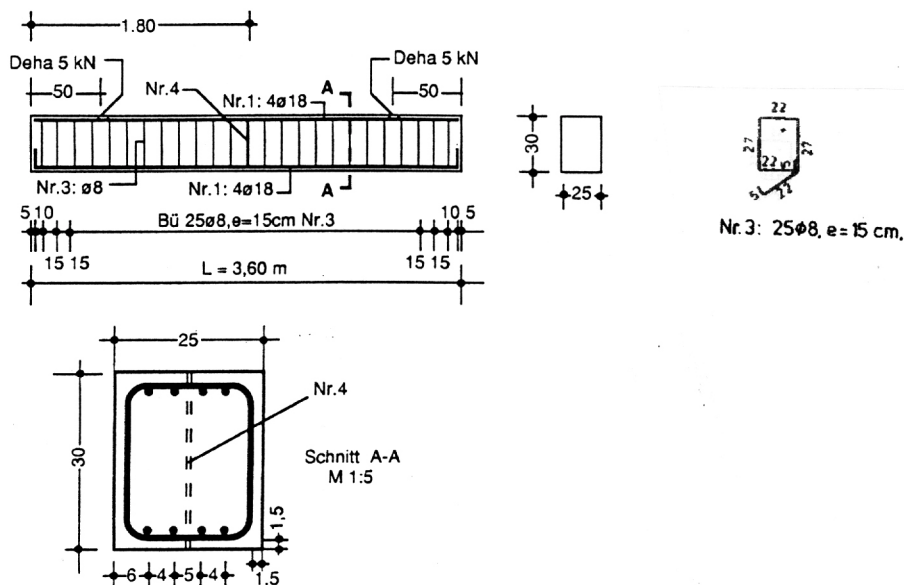


Fig. 4.1: Bewehrung des Stahlbetonbalkens Versuch D3V107 [4-19]

Die Prüfkörper konnten dabei sowohl mit statischen als auch dynamischen Kraftzeitfunktionen beaufschlagt werden. Anhand dieser Anlage wurden Versuche an Balken mit Spannweiten bis zu 6 m bzw. Platten bis zu ca. 3 m Seitenlänge durchgeführt. Die Abmessungen des vorab berechneten Stahlbetonbalkens (Versuch D3V 107) betragen: Höhe 30 cm, Breite 25 cm, Stützweite 320 cm (Fig. 4-1).

Der Balken wurde aus Normalbeton ausgeführt. Die Anordnung der Bewehrung ist aus Fig. 4-1 zu entnehmen. Die beim o.g. Versuch gemessenen Größen (Stoßkraft, Auflagerkräfte, Verschiebungen, Beschleunigungen) /4-19/ sind charakteristisch für alle an dieser Anlage durchgeführten Versuche zum Verhalten von Betonbalken.

Die beim o.g. Versuch aufgebrachte Stoßfunktion sowie die gemessenen Auflagerkräfte sind aus Fig. 4-2 zu entnehmen.

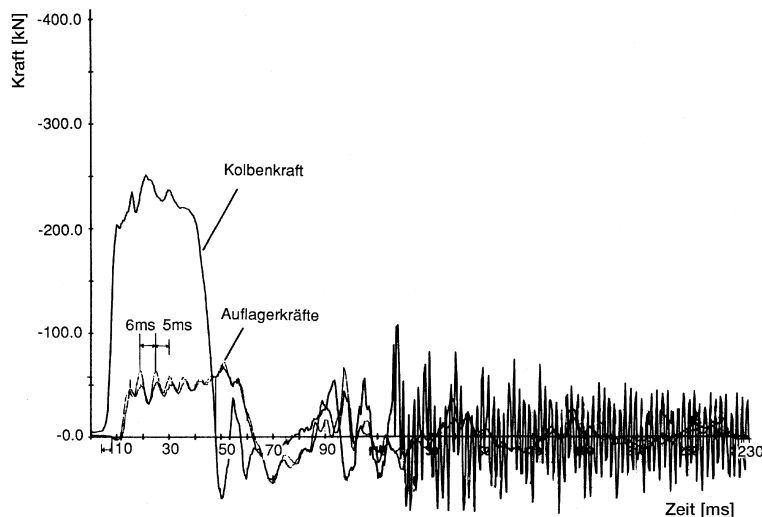


Fig. 4-2: Zeitverläufe der Kolbenkraft und der Auflagerkräfte [4-19] Versuch D3V107

4.1.1.2 Untersuchungen zur Erfassung des elasto-plastischen Materialverhaltens beim Stoßbelastungsvorgang

Vorausberechnungen zum nichtlinearen Verhalten der Stahlbetonbalken /4-50/ wurden unter Anwendung eines dreidimensionalen Finite-Elemente-Programms für elasto-plastische Analysen von Strukturen bei transienten und impulsartigen Belastungen NONDYN /4-57/ durchgeführt.

Die Ecksteine dieser Software waren eigens bei Siemens/KWU konzipierte Materialmodelle für bewehrten Beton (s. Punkt 4.2.3.3). Diese Materialmodelle wurden im Reaktorbau (1974 beginnend) kontinuierlich verbessert und sukzessive durch verfügbare Versuchsergebnisse abgesichert.

Die Beanspruchungen und Schnittgrößen bei nichtlinearem Zustand wurden ausgehend vom aktuellen Bewehrungsgrad des Balkens, den Betoneigenschaften und weiteren Eingangsgrößen ermittelt.

Das Bruchverhalten wird in den hier angewendeten Materialmodellen von den Druckspannungen sowie Zug- und Schubspannungen bestimmt. Dabei werden die Eigenschaften der Bewehrung anhand von linear-elastisch/ideal-plastischen Werkstoffgesetzen erfasst.

Die Spannungszustände in Beton und Stahl werden dabei unabhängig voneinander ermittelt und superponiert. Die Eigenschaften der Bewehrung werden dagegen anhand von linear-elastisch/ideal-plastischen Werkstoffgesetzen erfasst. Das kinematische Bruchverhalten des Verbundwerkstoffes „Stahlbeton“ wird mittels eines speziellen Materialmodellkonzeptes /4-15/, /4-41/, /4-50/ erfasst, in dem mehrere den Bruchrissausbreitungs- und Fließvorgang begleitenden Effekte simuliert werden können.

Auf der Basis der Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Ergebnisse konnten Korrekturen von Parametern und Ansätzen des unter Punkt 4.2.3.3 beschriebenen Materialmodellkonzeptes vorgenommen werden. Das so modifizierte Materialmodell war dann auch Ausgangspunkt für die Wiederholungsrechnung.

Modellabbildung

Die Berechnungen wurde mit einem dreidimensionalen Rechenmodell durchgeführt, das ein Viertel (Symmetriebedingungen) des Balkens erfasst (Fig. 4-3). Der belastete Bereich des Balkens wurde dabei verfeinert abgebildet.

Wie aus Fig. 4-3 zu entnehmen, wurde die Biegebewehrung des Balkens in den äußeren Lagen des mittels von 6 Schichten idealisierten Balkens, die Schubbewehrung dagegen entsprechend in den inneren 4 Elementen der jeweiligen Elementreihe repräsentiert.

Die Belastung wurde als Oberflächenbelastung (Gesamtaufprallfläche 350 cm^2) im Zentrum des Balkens aufgebracht. Zum besseren Vergleich mit den Versuchsergebnissen wurde bei der Modellerstellung die Anordnung der Knotenpunkte der Lage der Messpunkte angepasst. Die Knoten und Elemente, in denen die analytisch ermittelten Größen abgefragt und mit den Messgrößen verglichen werden, sind aus Fig. 4-4 zu entnehmen.

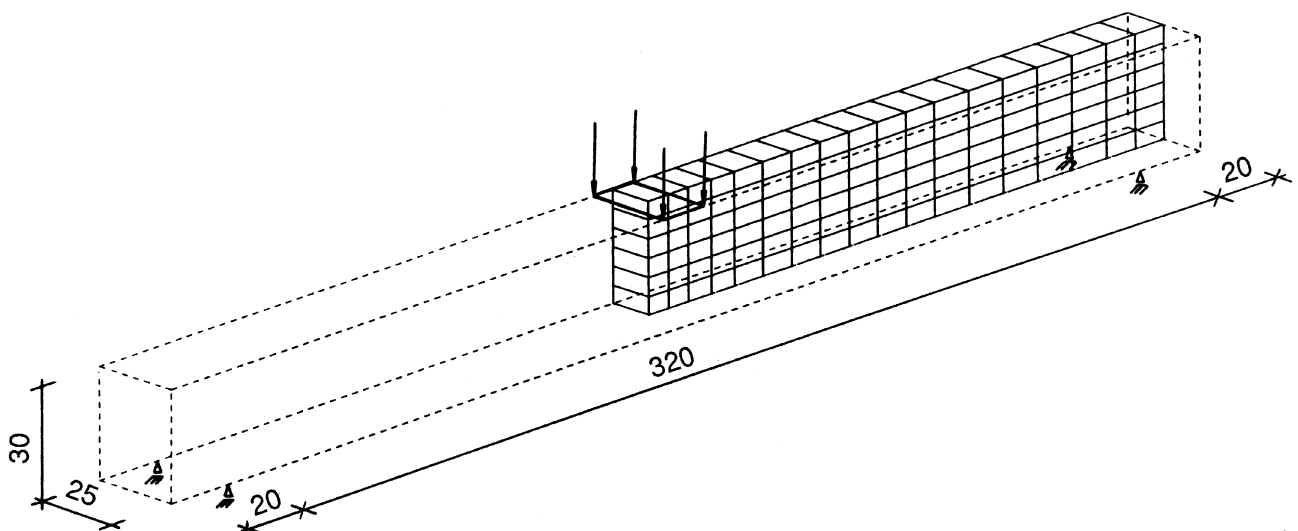


Fig. 4-3: Modellabbildung des Versuchs balkens [4-50], (Abmessungen in cm)

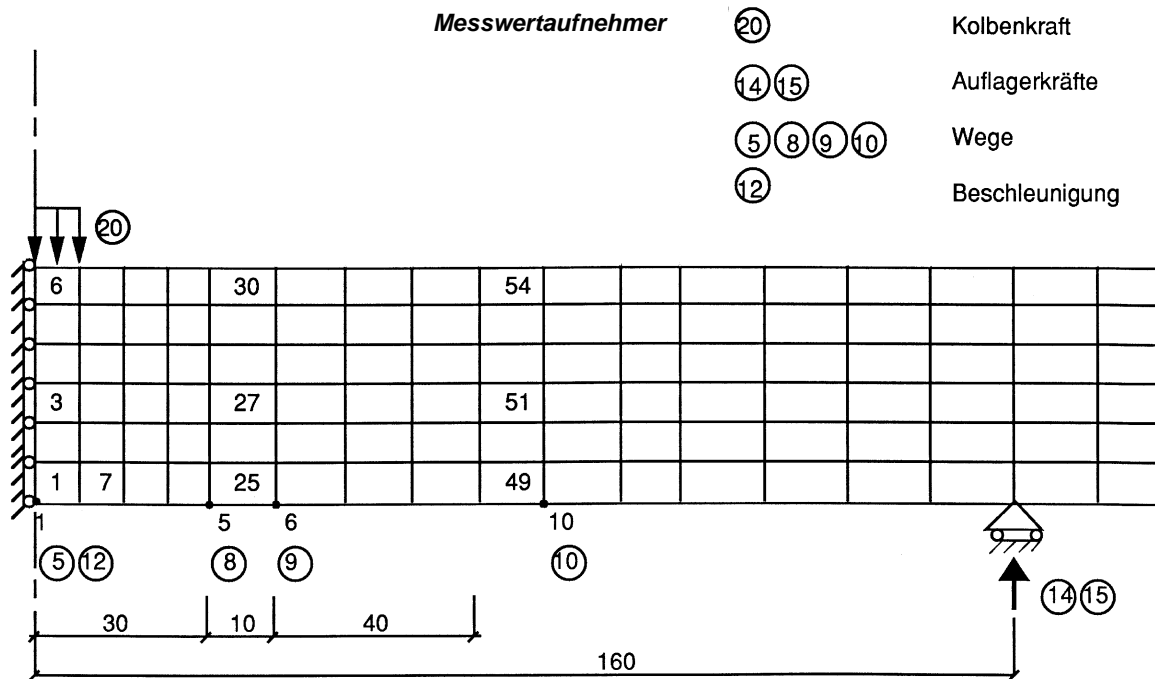


Fig. 4-4: Zuordnung der Messwertaufnehmer und Knotenpunkte [4-50]

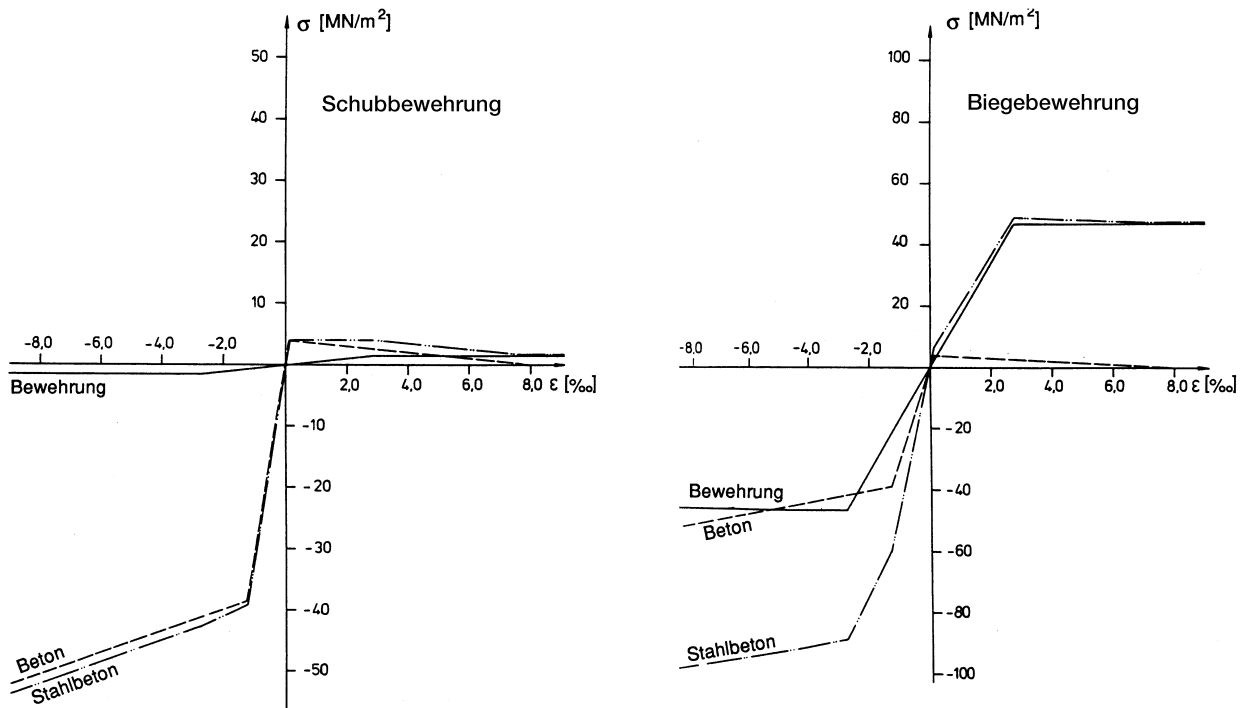


Fig. 4-5: BAM-Balken Versuch D3V 107 - Vorausberechnung [4-50] Spannungsdehnungsdiagramm für Biege- und Schubbewehrungen

Den Verbundwerkstoffen Beton und Stahl wurden annähernd realistische Materialeigenschaften zugeschrieben. Die bei hohen Dehngeschwindigkeiten des Stahls zu erwartenden Verfestigungseffekte (Erhöhung der dynamischen Streckgrenze) werden in diesem Modell auch entsprechend mitberücksichtigt.

Bei der Bestimmung des dynamischen Erhöhungsfaktors der Fließgrenze des Stahls wurde gemäß /4-65/ folgender Ansatz gewählt:

$$\frac{S_{Fd}}{S_F} = 1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{40} \right)^{1/5}$$

mit.

S_{Fd} - Fließgrenze dynamisch

S_F - Streckgrenze statisch

$\dot{\varepsilon}$ - Dehngeschwindigkeit

In der Vorausberechnung wurde von einer geschätzten Dehngeschwindigkeit $\dot{\varepsilon}^*$ von $0,1 \text{ s}^{-1}$ ausgegangen. Hieraus folgt ein dynamischer Verfestigungsfaktor (Fig. 4-16) von:

$$\frac{S_{Fd}}{S_F} = 1,3$$

Der für die Nachrechnung gewählte $\dot{\varepsilon}^*$ -Wert von $5,0 \text{ s}^{-1}$ entsprach der in der Vorberechnung ermittelten mittleren Verformungsgeschwindigkeit. Er führt zu einem dynamischen Erhöhungsfaktor der Fließgrenze von 1,65. Parallel hierzu wurde ebenfalls ein bilineares elastisch-plastisches Werkstoffgesetz mit kinematischer Verfestigung herangezogen und die erhöhte Fließgrenze anhand einer empirischen Beziehung überprüft (Fig. 4-34).

Die angenommenen Materialkenndaten sowie Bewehrungsanteile für die Längs- und Bügelbewehrung sind aus Tab. 4-1 und 4-2 und die angewandten Spannungs-Dehnungsbeziehungen für Beton und Stahl aus Fig. 4-5 zu entnehmen.

Beton (B30)

E-Modul	(E_b)	30 000 MN/m ²
Poissonzahl	(ν)	0,2
Druckfestigkeit	(β_c)	38,50 MN/m ²
Zugfestigkeit	(β_s)	3,85 MN/m ²
Verfestigungsmodul, Druck	(K1)	20 000 MN/m ²
Entfestigungsmodul, Zug	(K2)	500 MN/m ²

Stahl, BST 420/500 (Fig. 4-1):

E-Modul	(E_s)	210 000 MN/m ²
Streckgrenze	(S_F)	420 MN/m ²

	Berechnung 1	Berechnung 2
Dyn. Erhöhungsfaktor S_{Fd}/S_F der Fließgrenze	1,3	1,65
Fließgrenze dynamisch (S_{Fd}) (* bei erhöhter Dehnung)	546 MN/m ²	690* MN/m ²

Tab. 4-1: Materialkenndaten [4-19], [4-50] des Balkens

Biegebewehrung

Oben:	$4 \times \phi 18 = 10,18 \text{ cm}^2$
Unten:	$4 \times \phi 18 = 10,18 \text{ cm}^2$
Schichtdicke:	$= 4,8 \text{ cm}$
Querschnittsfläche:	$= 25 \times 4,8 = 120 \text{ cm}^2$
Bewehrungsanteil:	$= \text{oben } 0,08483$
	$= \text{unten } 0,08483$

Schubbewehrung

a) vertikal:	$2 \times \phi 8, e = 15 \text{ cm} =$	$0,0670 \text{ cm}^2/\text{cm}$
Bewehrungsanteil:		$0,00268$
b) quer: oben:	$1 \times \phi 8, e = 15 \text{ cm} =$	$0,0335 \text{ cm}^2/\text{cm}$
unten:	$1 \times \phi 8, e = 15 \text{ cm} =$	$0,0335 \text{ cm}^2/\text{cm}$
Schichtdicke:	$= 4,8 \text{ cm}$	
Querschnittsfläche:	$= 15 \times 4,8 = 72 \text{ cm}^2$	
Bewehrungsanteile:		
oben:	$= 0,0070$	
Unten:	$= 0,0140$	

Tab. 4-2: Bewehrungsanteile [4-19] des Balkens

4.1.1.3 Ergebnisse von Voraus- und Nachberechnungen

Ausgangspunkt der Untersuchungen waren auch hier die o.g. Materialmodelle sowie das in der Reaktorindustrie entwickelte und abgesicherte Rechenprogramm NONDYN /4-57/.

Die im Rahmen der Vorausberechnung ermittelten Zeitverläufe der Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung, die in der Mitte des Balkens zu erwarten sind, wurden in Fig. 4-6 dargestellt. Die Maximalwerte der Weggrößen betragen entsprechend 24 cm, 8 m/s und 105 g.

In Fig. 4-7 wurde der Spannungs- sowie Rissausbreitungszustand des Balkens für den Zeitpunkt bei ca. 50 ms nach Beginn des Vorganges dargestellt. Die Rissgrößen „crack strain“ werden hier in Form von Rissdehnungen berechnet und dargestellt.

Die Dehnungen in verschiedenen Bereichen der Biege- bzw. Schubbewehrung sind dagegen Fig. 4-8 zu entnehmen. In Fig. 4-9 werden schließlich die Ergebnisse der Vorausberechnung und die Messwerte jeweils in einem Bild vergleichend gegenübergestellt.

Wie zu erkennen, war die Übereinstimmung der Ergebnisse der Vorausberechnung nicht gerade zufriedenstellend. Der Charakter der gemessenen Zeitverläufe stimmte zwar gut überein, aber die Abweichungen betragen bis zu 30 %.

Die Unterschiede waren darauf zurückzuführen, daß die in den Versuchen real vorhandene dynamische Fließgrenze höher lag als die in der Berechnung angenommen.

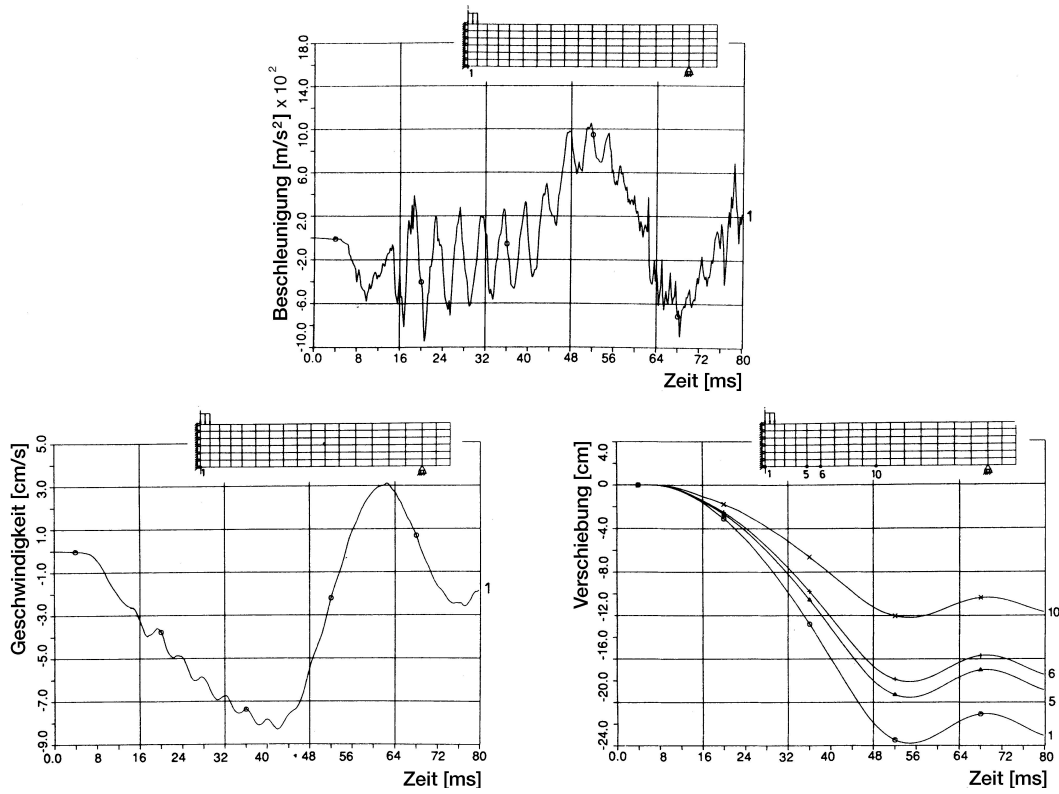


Fig. 4-6: BAM-Balken Versuch D3V107-Vorausrechnung [4-50], Verschiebungen sowie Geschwindigkeiten und Beschleunigungen in Knoten 1, 5, 6,10

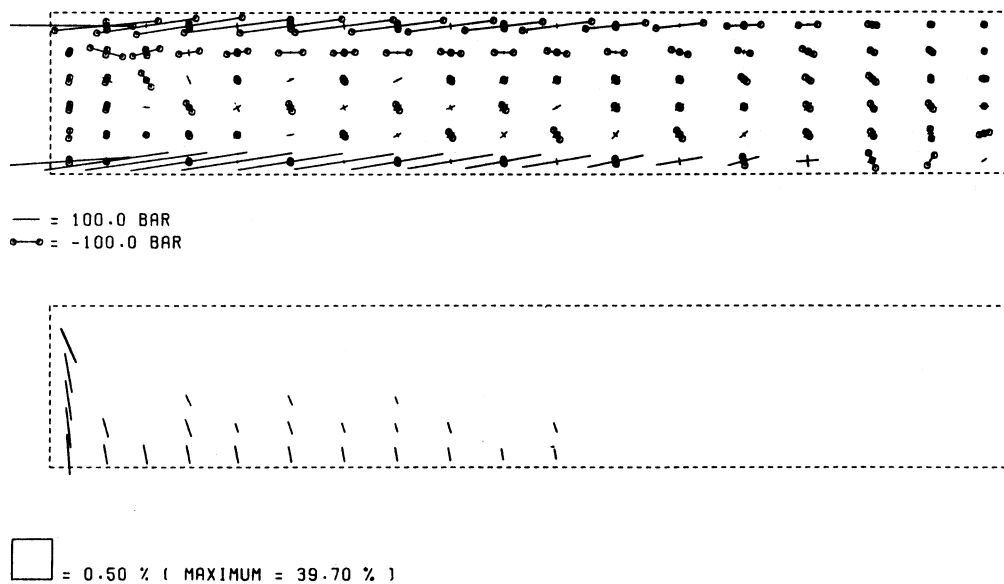


Fig. 4-7: Vorausbe rechnung der Spannungs- und Rissausbreitungszustände im Balken bei $t = 50ms$ (gelenkartiges Versagen) [4-50]

Stoßversuche an Betonbalken und Platten

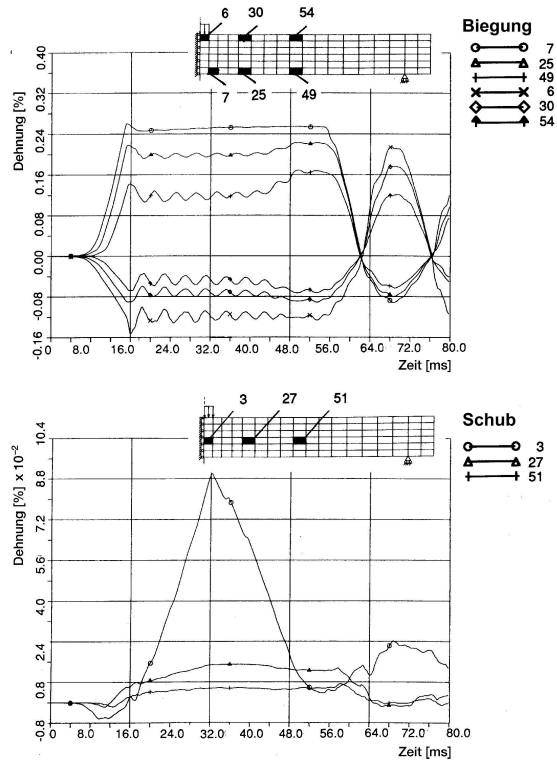


Fig. 4-8: Dehnungszeitverläufe in charakteristischen Messpunkten des Balkens [4-50]

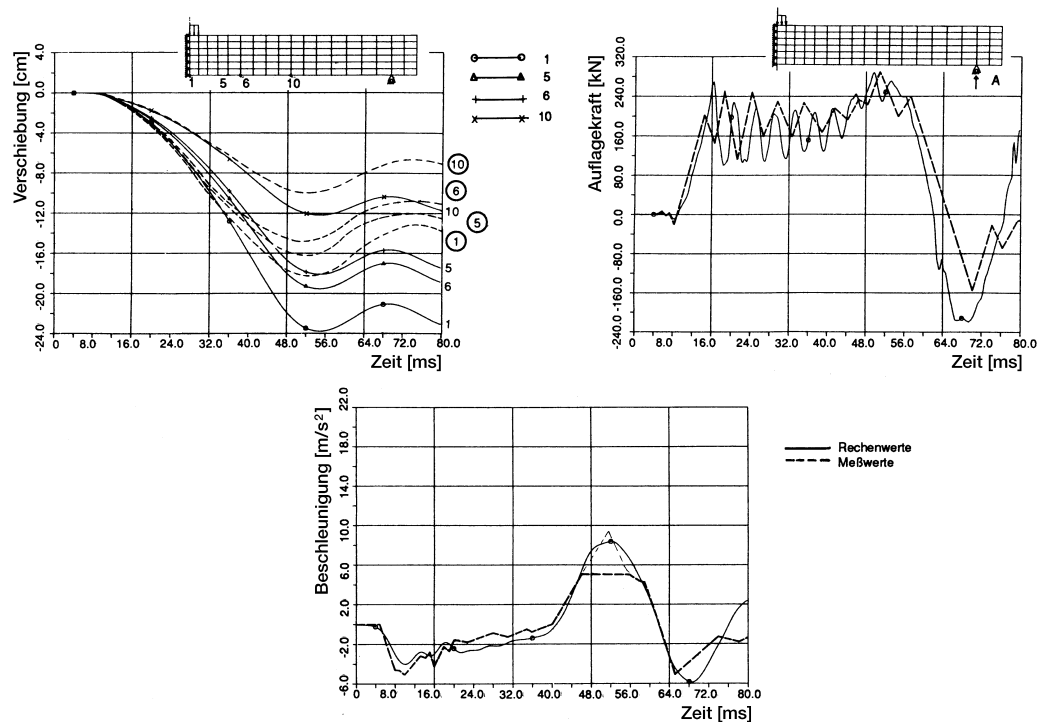


Fig. 4-9: Vergleich der gemessenen und vorausgerechneten Zeitverläufe der Weggrößen sowie der Auflagerkraft in Balkenmitte (Vorausberechnung) [4-50]

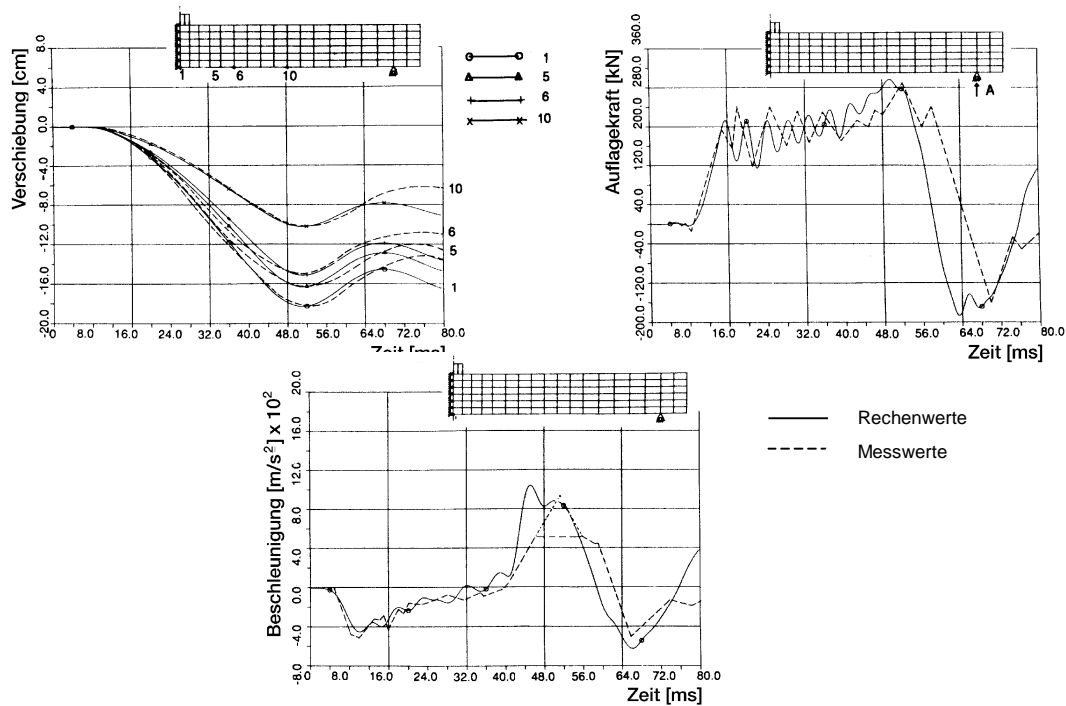


Fig. 4-10: Vergleich der gemessenen und vorausgerechneten Zeitverläufe der Weggrößen sowie der Auflagerkraft in Balkenmitte (Nachberechnung) [4-50]

In Fig. 4-10 wurde im Folgeschritt der Vergleich der errechneten und durch Messungen bestimmten Verformungen, Auflagerkräfte und Beschleunigung vorgenommen. Es kann eine zufriedenstellende Übereinstimmung festgestellt werden.

Ausgangspunkt der Nachberechnung war das gleiche Rechenmodell. Das Werkstoffgesetz (die dynamische Fließgrenze) wurde jedoch entsprechend berichtigt und die Restschubsteifigkeit erhöht.

Die ermittelten Dehnungszeitverläufe sowie der Rissausbreitungszustand bei ca. 50 ms sind aus Fig. 4-11 zu entnehmen.

Die durchgeführte Voraus- und Nachberechnung für den Balken DV3 107 führten zur Verbesserung der Erkenntnis des nichtlinearen Verhaltens von Stahlbetonbalken, welches anhand des hier angewandten Rechenprogramms (NONDYN) sowie des weiter entwickelten Materialmodells (BETMOD) nun besser beschrieben werden konnte.

Nach eingeführten Korrekturen im Materialmodell lagen die Abweichungen der errechneten und gemessenen Weggrößen (Verschiebungen, Beschleunigungen) im Bereich unter 10 %, die Abweichungen der Maximalwerte der Auflager- und Schnittkräfte erreichen in etwa die gleiche Größenordnung.

Es kann festgestellt werden, dass die Erhöhung der dynamischen Fließgrenze infolge erhöhter Dehnungsgeschwindigkeit des Stahls einen maßgebenden Einfluss auf das nichtlineare Verhalten von bewehrtem Beton hat. Durch Sammlung von Erfahrungen an weiteren Versuchen konnten Grundlagen für die Richtigkeit der Wahl der wichtigsten Parameter des Rechenmodells geschaffen werden.

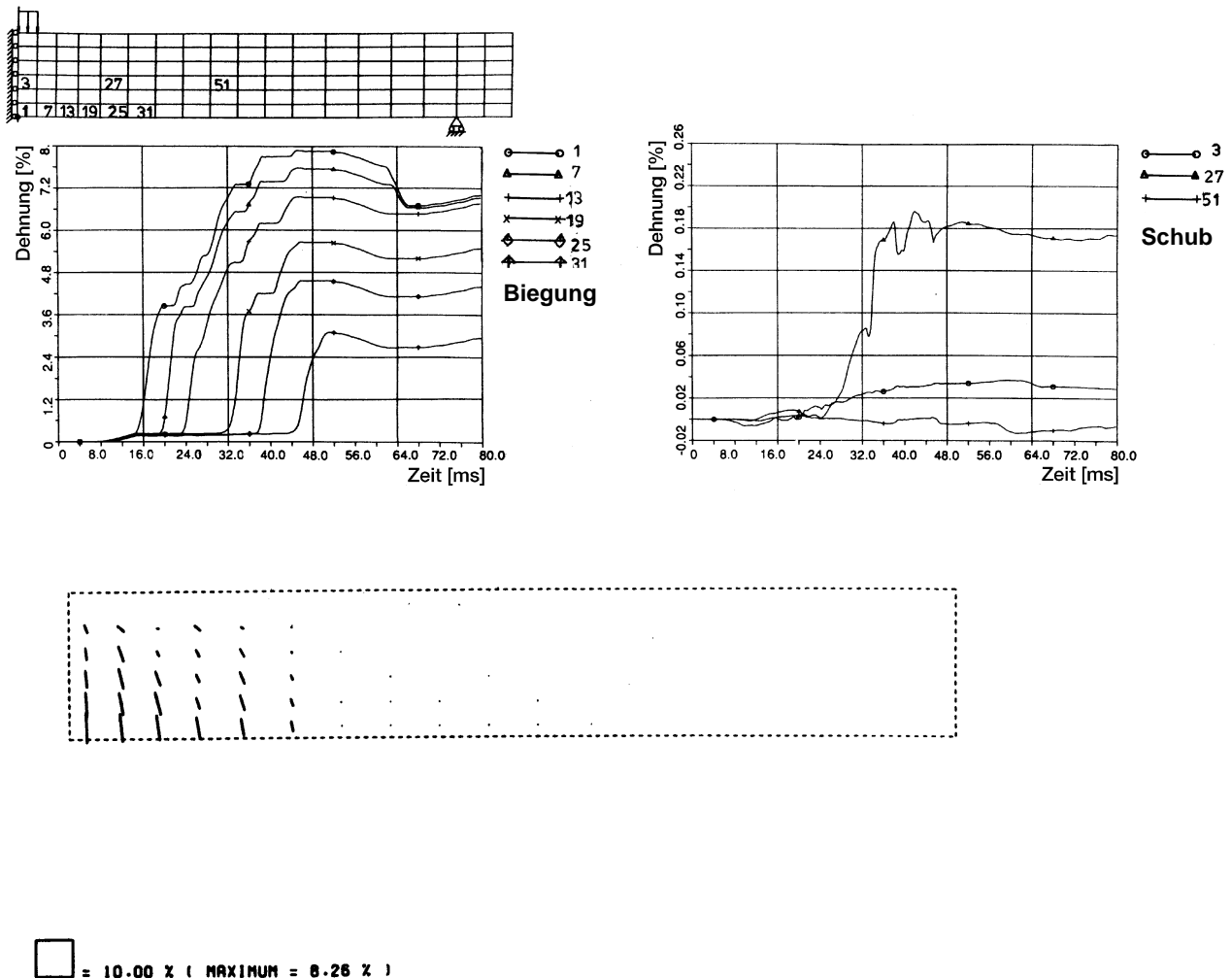


Fig. 4-11: Dehnungszeitverläufe in Balkenmitte (Nachberechnung) [4-50]

4.1.2 Stoßversuche an Betonplatten

Im Rahmen einer Reihe von BMFT-Forschungsvorhaben zur Verbesserung der Reaktorsicherheit wurden von einem Konsortium aus Industrie, Hochschulen und dem Bundesamt für Wehrbeschaffung detaillierte Untersuchungen zur Erweiterung des Kenntnisstandes über das Verhalten von Stahlbetonplatten bei Stoßbelastungen durchgeführt /4-2/, /4-8/ bis /4-10/, /4-14/, /4-16/, /4-17/, /4-20/, /4-21/, /4-23/, /4-44/ bis /4-49/, /4-51/ bis /4-53/, /4-62/. Das Augenmerk wurde insbesondere auf die folgenden Problemkreise gerichtet:

- Ermittlung von Stoßlast-Zeitverläufen beim Aufprall stark deformierbarer Flugkörper (Projektile) auf quasi starre Bauteile unter Berücksichtigung der nichtlinearen Vorgänge.
- Ermittlung der kinetischen Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten, die durch aufprallende stark deformierbare Flugkörper beansprucht werden.

Der experimentelle Teil des Vorhabens wurde mittels einer Versuchsanlage /4-17/ der Erprobungsstelle der Bundeswehr in MEPPEN durchgeführt (Fig. 4-12). Das Versuchsprogramm umfasste, entsprechend den beiden Teilaufgaben des Vorhabens, zwei Messreihen:

1. Messreihe I

Verhalten von deformierbaren Flugkörpern beim Aufprall auf Stahlbetonbauteile, insbesondere Ermittlung der dabei auftretenden Stoßlastzeitverläufe (9 Versuche). Als Zielkörper dienten bei dieser Messreihe quasistarre Stahlbetonblöcke /4-21/.

2. Messreihe II

Untersuchungen zur Ermittlung der kinetischen Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten unter der Einwirkung von deformierbaren Flugkörpern (22 Versuche), insbesondere:

- Untersuchung der Versagensmechanismen von Stahlbetonplatten unter stoßartigen Belastungen /4-43/
- Überprüfung der bisherigen Dimensionierungspraxis für den Lastfall Flugzeugabsturz

Als Zielkörper wurden in dieser Messreihe 50 bis 90 cm dicke Stahlbetonplatten der Abmessungen 6,00 x 6,50 m sowie verschiedener Betongüten und Bewehrung verwendet (Fig. 4-12).

Ergänzend hierzu nutzte die Reaktorindustrie die vorhandenen Voraussetzungen sowie die willkommene Gelegenheit zur Absicherung der bei Berechnungen zum lokalen nichtlinearen Struktur- und Erschütterungsübertragungsverhalten angewandten Materialmodelle. Basierend auf dieser Zielsetzung wurde in der zweiten Versuchsphase das Messprogramm entsprechend erweitert. Insbesondere wurden zusätzliche Messgeber eingesetzt, mit dem Ziel einer genaueren Erfassung der

- Rissausbreitungsvorgänge im beaufschlagten Bereich der Platte
- Reaktions- und Auflagerkräfte (durch Verdichtung der Messstellen) sowie der
- Erschütterungsausbreitungsvorgänge in den beaufschlagten Platten.

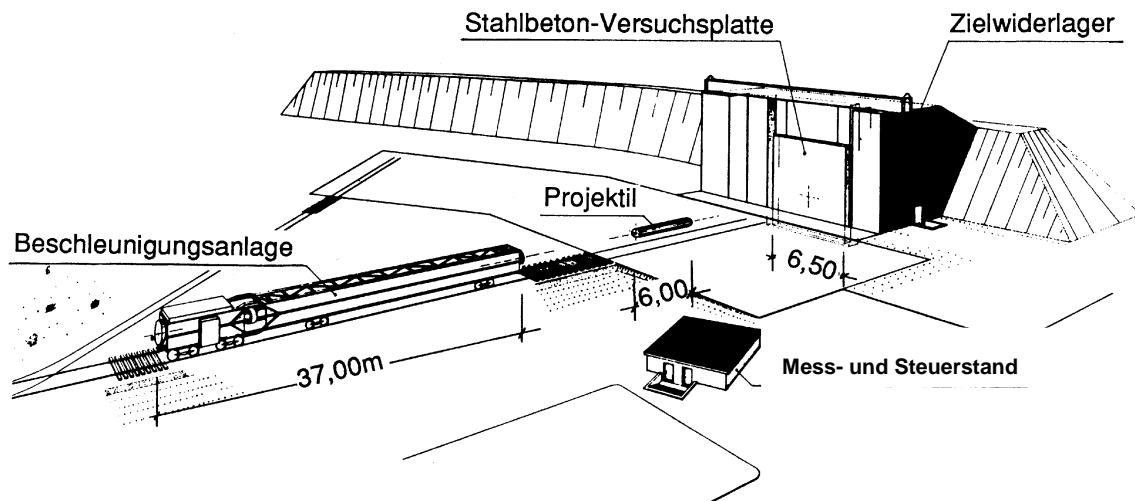


Fig. 4-12: Versuchsanlage in MEPPEN für Beschussversuche auf Stahlbetonplatten [4-17]

In dieser Phase (Versuche II/11 bis II/22) /4-52/ wurden die Messeinrichtungen wie folgt erweitert:

1. Einsatz von 9 zusätzlichen Kraftmessdosen zur Aufzeichnung der Auflagerkraft-Zeitverläufe
2. Einsatz von Beschleunigungsaufnehmern auf der Plattenvorderseite (Versuch II/17)
3. Dynamische Anregung der Versuchsplatte mit Feststoffraketen (Versuchsplatte II/18)
4. Einsatz von resistenten Beschleunigungsaufnehmern (Versuch II/19)
5. Messung der zeitabhängigen Dickenänderung der Versuchsplatte infolge Rissbildung (Versuch II/20)

6. Einsatz von speziellen Messprismen mit Rissdetektoren (Versuch II/18 bis II/21) zwecks Erfassung der Rissausbreitungsvorgänge /4-42/

Parallel hierzu wurden im Vorfeld des jeweiligen Versuchs auf der Grundlage vorgegebener (vorausgesetzter) Materialkenndaten für Beton und Stahl sowie der geplanten Versuchsparameter Vorausrechnungen unter Anwendung geschlossener Verfahren /4-9/, /4-10/, /4-23/, bzw. anhand von 2- bzw. 3-dimensionalen FE-Berechnungen /4-41/, /4-47/ bis /4-51/ erstellt. Für einige charakteristische Versuche wurden ebenfalls im nachhinein auf der Basis der reellen Versuchsdaten und der "Ist-Materialdaten" (nach Aushärtung der Betonplatten) Nachberechnungen durchgeführt.

Im folgenden soll daher insbesondere auf die Ergebnisse und gewonnenen Erkenntnisse, die sich auf die Vorausberechnungen beziehen, kurz eingegangen werden.

Die Versuchsreihe mit den entsprechenden messtechnischen Erweiterungen begann mit dem Versuch II/14. Ziel der von der Reaktorindustrie angestrebten Ergänzung des Messprogramms war es, die im Rahmen der o.g. Vorhaben durchgeführten Tests derart zu erweitern, dass die Ergebnisse über die Absicherung der Bemessungsmethoden hinausgehend auch zur Absicherung der nichtlinearen Berechnungsmethoden von Stahlbeton herangezogen werden können. Nur auf der Basis derartiger abgesicherter Materialmodelle können Vorausberechnungen realistischer Erschütterungen im Gebäudeinnern bei Stoßbelastungen (z.B. Lastfall Flugzeugabsturz) durchgeführt und somit eine optimale Auslegung der Komponenten vorgenommen werden.

Die erweiterten Versuche sollten für die Absicherung der Richtigkeit der (in den angewandten Materialmodellen für bewehrten Beton) getroffenen Annahmen sowie die Qualitätssicherung der Rechenprogramme die folgenden Informationen liefern:

- Rissverteilungs- und Ausbreitungsgeschwindigkeiten (im Stanzkegel)
- Wandstärkenveränderungen (Aufrütteln) der Platte
- Verbesserte schwingungsfreie Beschleunigungsmessungen
- Genauere Auflagerkraftmessungen.

Um die Unabhängigkeit der Vorausberechnungen zu gewährleisten und die Aussagekraft der Rechenmodelle (insbesondere der angewandten Materialmodelle) unter Beweis zu stellen, wurden die Berechnungen jeweils rechtzeitig vor Beginn der Versuche durchgeführt und der versuchskordinierenden Stelle zur Verfügung gestellt.

4.1.2.1 Ertüchtigung von Materialmodellen

Bedingt durch die vorhandenen Genehmigungsaufgaben bemühte sich die Reaktorindustrie (seit Mitte der 70er Jahre), Berechnungen zur Ermittlung des lokalen nichtlinearen Verhaltens am Aufprallort von Flugkörpern unter Anwendung mehrerer damals zugänglicher Rechenprogramme (ADINA, ANSYS, HEMP, MARC, PISCES, STEALTH) durchzuführen. Die mit den o. g. Rechenprogrammen erzielten Ergebnisse wichen jedoch sowohl voneinander als auch von den spärlich vorhandenen Versuchsergebnissen stark ab. Die Ursache dieser Situation war vor allem in verschiedenen unvollkommenen Ansätzen in den Materialmodellen für bewehrten Beton zu suchen. Zu den am besten mit der Wirklichkeit übereinstimmenden Ergebnissen gelangte man schlussendlich anhand einer modifizierten Siemens/KWU-Version des Rechenprogrammes HEMP (HEMP/KWU) /4-40/ mit dem damals aussagekräftigsten Materialmodell (REINCON). Vorerst wurde besonders dieses Materialmodell sukzessive weiter entwickelt und verbessert. Einen beachtlichen Schub gaben hier die damals angelaufenen BAM- und MEPPEN-Versuche. Nach Einführung der Verbesserungen und Korrekturen am Materialmodellkonzept (detaillierter unter Punkt

4.2.3.3 beschrieben) gelangte man zu überraschend guten Übereinstimmungen der Ergebnisse von Vorausberechnungen und Messung.

Durch die weitere Beteiligung der Reaktorindustrie an den MEPPEN-Versuchen wurde der Stand der Erkenntnis in bezug auf das nichtlineare Betonverhalten derart erweitert, dass eine Basis für die Absicherung eines verbesserten Materialmodells (BETMOD) gegeben war. Dieses Ziel wurde im vollen Umfang erreicht. Dies war besonders dank der ab Versuch II/17 auf Betreiben der Reaktorindustrie eingeführten messtechnischen Erweiterungen zur Erfassung spezieller für die Verifikation und Absicherung der Materialmodelle erforderlichen Informationen möglich.

Angestrebtes Ziel war es, Messergebnisse zu erlangen, welche die Möglichkeit bieten, die analytischen Ansätze, Einflussparameter und die berechneten Größen mit den Versuchsergebnissen zu vergleichen und hieraus Erkenntnisse hinsichtlich Bestätigung der Richtigkeit der durchgeführten Berechnungen bzw. Ansätze für Verbesserungen der Erfassung von Materialeigenschaften zu gewinnen.

4.1.2.2 Versuchsstand und Versuchsobjekte

Die Versuchsanordnung des Großversuchsstandes MEPPEN ist in Fig. 4-12 dargestellt. Detaillierte Informationen zum Versuchsstand sind /4-17/ zu entnehmen.

Der Versuchsaufbau war bei allen Versuchen der Phase II derselbe. Die Tragfähigkeit (Steifigkeit) der beaufschlagten Betonplatten wurde durch Variation der Wandstärke, der Betongüte sowie der Bewehrungsanteile und der Stahlgüte verändert. Aus der Reihe mehrerer in der Phase I getesteten Projektile /4-21/, /4-60/ wurden in der Phase II ausschließlich nur noch die in Fig. 4-13 dargestellten Projektile (Typ 11 und Typ 17) angewendet /4-52/.

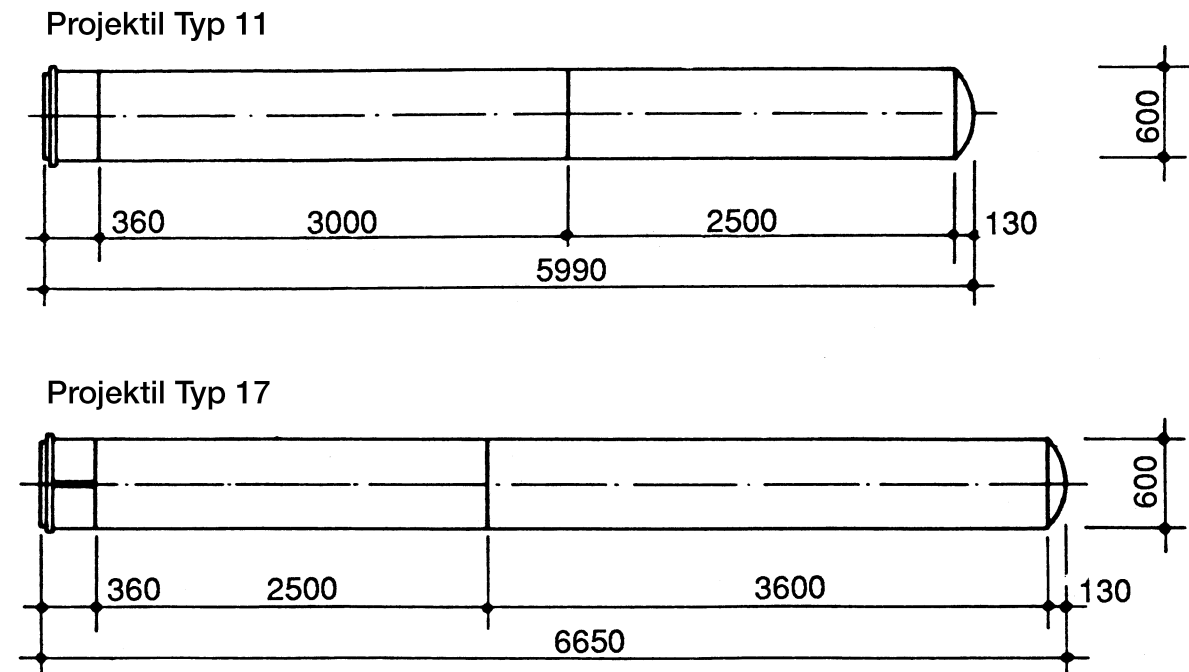


Fig. 4-13: Deformierbare Versuchsprojekte (MEPPEN) [4-53] Versuche II/11 bis II/22, (Maße in cm)

In Tab. 4-3 wurden die Massen und Geschwindigkeiten aller in der Versuchsreihe II angewandten Projektile zusammengestellt /4-66/.

Die Projektile bestanden aus einem dünnwandigen Rohr, welches am Kopf mit einem Klöpperboden abgeschlossen war. Der Durchmesser betrug 600 mm, die Wandstärke 5 bis 10 mm und die Gesamtlänge der Projektile von ca. 6600 bis 8000 mm (Fig. 4-13). Die Gesamtmasse variierte zwischen 954 und 1040 Kg.

Das Projektil wurde durch Schalenelemente mit äquivalenten Eigenschaften getreu abgebildet. Zur Erfassung des Beulvorganges musste dabei ein relativ feines Diskretisierungsmaß gewählt werden. Es wurde angenommen, dass das Projektil auf ein unendlich steifes Hindernis auftrifft. Ergebnis dieser Berechnungen waren Informationen über zeitlich veränderliche Deformationszustände des Projektils sowie die Zeitverläufe der Stoßkraft, die anhand des gesamten Impulses ermittelt wurden. Alle Schalenelemente im Bereich der sich bildenden Beulen sind plastifiziert. Der Verformungszustand für einige charakteristische Zeitpunkte nach dem Aufprall wurde in Fig. 4-14 dargestellt.

Die Abmessungen der rechteckigen Stahlbetonplatten betragen 6,5 x 6,0 m, die Wandstärken 50 bis 90 cm (Fig. 4-12). Die Belastung des Projektils wurde im Zentrum auf der Vorderseite der Platten angebracht. Die Parameter der Stahlbetonplatten können ebenfalls der Tabelle 4-3 entnommen werden.

4.1.2.3 Lösungsverfahren

Im ersten Schritt der Untersuchungen wurden Aufprall und Beulvorgang des Projektils untersucht und die aus dem Beulvorgang resultierende Belastung in Form einer Last-Zeitfunktion ermittelt.

Im zweiten Schritt wurde ausgehend von dieser Lastfunktion das nichtlineare Verhalten der Stahlbetonplatten unter Belastung mit der o.g. Lastfunktion untersucht.

Wie bereits angemerkt, wurden in den seitens der Reaktorindustrie (Siemens/KWU) durchgeführten Vorausrechnungen /4-41/, /4-47/, bis /4-51/ die nichtlinearen Vorgänge sowohl der Projektile als auch der beaufschlagten Betonplatten unter Anwendung der weiterentwickelten Version des Finite-Differenzen-Codes HEMP/KWU /4-40/ mit dem verifizierten Materialmodell REINCON verfolgt. Dabei wurden zur Begrenzung des Modellierungs- und Berechnungsaufwandes die frei aufgelagerten rechteckigen Platten auf äquivalente axisymmetrische Platten zurückgeführt.

Zwecks Herausstellung der Zulässigkeit dieser Annahme wurde für eine charakteristische Platte (II/18) ebenfalls eine exakte 3-dimensionale Abbildung vorgenommen /4-47/, /4-49/ /4-51/. Diese Berechnungen wurden unter Anwendung des Siemens/KWU-eigenen Finite-Elemente-Programms NONDYN /4-57/ mit dem Materialmodell BETMOD durchgeführt. Es basierte auf den Ansätzen von REINCON, wurde jedoch anhand der durch die BAM- und MEPPEN-Versuche gewonnenen Ergebnisse vielfach verifiziert und abgesichert.

Die Eignung dieser Materialmodelle zur Simulation der bruchmechanischen und kinematischen Vorgänge, die das nichtlineare Verhalten der Stahlbetonplatte bestimmen, wurden anhand einer Reihe von Versuchsplatten /4-41/, /4-47/ bis /4-51/ getestet.

Aufgrund der beim Aufprall zu erwartenden starken Deformationen sowie der auftretenden physikalischen Vorgänge (Beulvorgang, Energieverzehr) musste das Projektil getreu anhand einer relativ feinen Diskretisierung abgebildet werden. Zur Bewältigung der rechentechnischen Anforderungen wurden spezielle Umnummerierungstechniken des FE-Knotennetzes (Rezoning) in den nacheinander folgenden Schritten des Beulvorganges des Projektils eingeführt.

Diese programmtechnischen Erweiterungen wurden speziell im Programm HEMP/KWU eingeführt, mit dem auch die Voraus- und Nachrechnungen für alle untersuchten Projektile erfolgten. In Fig. 4-14a wurde ein vorausberechneter Zeitverlauf für das Projektil Nr. 11 bei Anwendung der Parameter des Versuchs Nr. II/16 dargestellt.

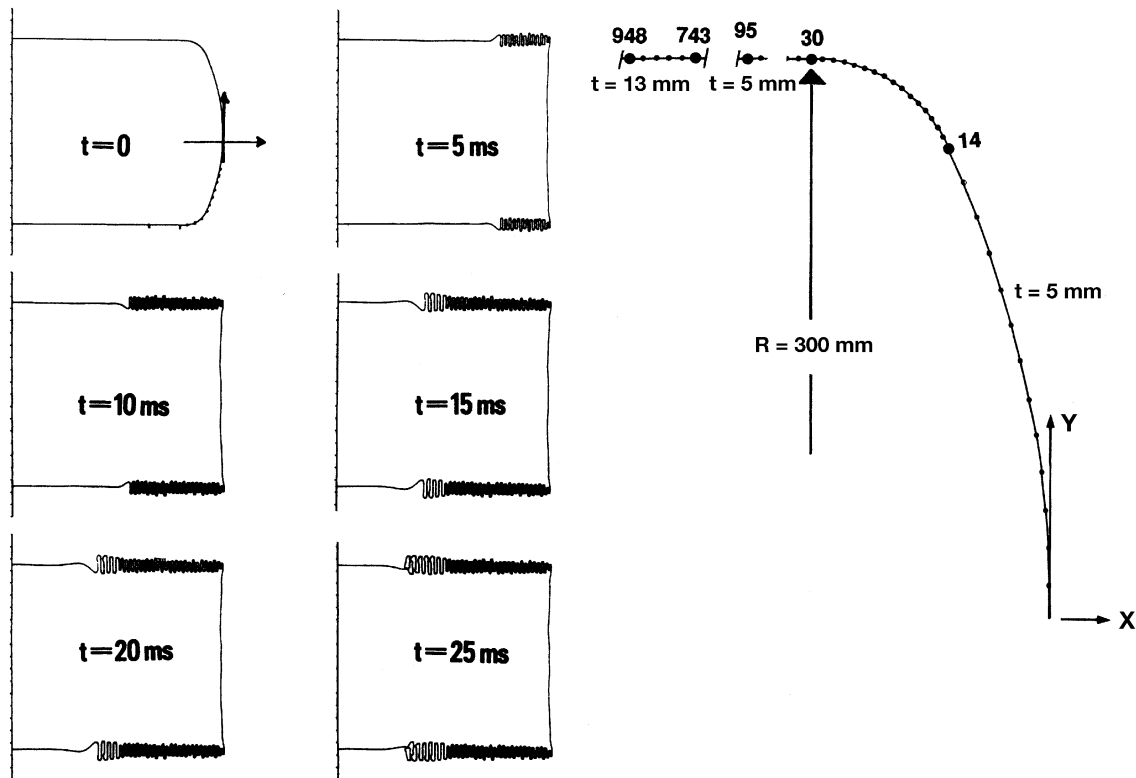


Fig. 4-14: Rechenmodell und Beulvorgang der Projektile [4-41]

4.1.2.4 Modellabbildung

Das Projektil wurde (Fig. 4-14) anhand von ca. 950 dünnen Schalenelementen mit drei Freiheitsgraden abgebildet [4-41/, /4-47/]. Die Veränderung der Fließgrenze und Zugfestigkeit des Projektilmaterials infolge des „strain-rate“-Effektes wurde auch hier wie vorher beim Betonbalken anhand empirischer Formeln und experimentell gewonnener Erkenntnisse angenommen [4-65/.

Für $\dot{\varepsilon}$ wurde dabei ein Wert genommen, welcher der gemittelten Verformungsgeschwindigkeit im Bereich der Aufprallzone des Projektils entspricht.

Wie bereits angemerkt, wurden die quadratischen Betonplatten in der Regel als äquivalente, axisymmetrische Platten abgebildet [4-47/]. Der äußere Durchmesser der runden Platte wird dabei auf der Basis der Einhaltung der Gesamtmasse ermittelt. Die Festlegung des Auflagerdurchmessers der äquivalenten, axisymmetrischen Platte dagegen erfolgt unter Berücksichtigung der bekannten Eigenfrequenzen der quadratischen Platte im linear-elastischen Bereich (Zustand I).

Die Stahlbetonplatte wurde anhand von 7 Schichten und 23 Reihen mit finiten Elementen idealisiert (Fig. 4-15).

Statische Festigkeitswerte (ST37)

Elastizitätsmodul (E_S)	210 000 MN/m ²	
Spezifisches Gewicht (γ)	78,0 kN/m ³	
Querdehnungszahl (ν)	0,3	
Kennwerte(MN/m ²)	Klöpperboden	Zylinder
Fließgrenze (S_F):	240	220
Zugfestigkeit (S_R):	370	350

Dynamische Festigkeitswerte

Unter Zugrundelegung der Fließgrenzen-und Zugfestigkeitsveränderungen nach /4-65/ und Annahme einer Dehngeschwindigkeit von $\dot{\epsilon} = 4 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$ auf der Basis von Vorversuchen gelangt man mit der empirischen Formel:

$$S_{Fd}/S_F = 1 + (\dot{\epsilon} / 40)^{1/5}$$

zu

$$S_{Fd}/S_F = 5,0$$

Somit betragen die dynamischen Festigkeitswerte (MN/m²):

	Klöpperboden	Zylinder
Fließgrenze (S_{Fd})	1200	1100
Zugfestigkeit (S_R)	1850	1750

Tab. 4-4: Materialkennwerte des Projektils Nr. 11 /4-41/

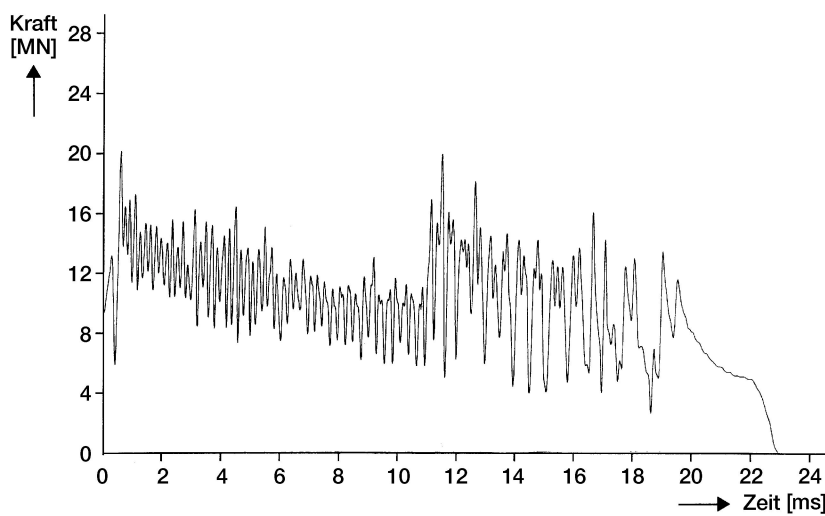


Fig. 4-14a: Analytisch vorausberechneter Zeitverlauf der Lastfunktion für das Projektil Nr. 11/4-41/

Stoßversuche an Betonbalken und Platten

Nr	Versuchsplatte						Projektile			Ergebnis Platte		Ergebnis Projektil				
	Dicke	β_c	σ_s	σ'_s	Stahlsorte	σ_{st}	Typ	Masse	v	Vorderseite	Rückseite	H _T	L _T	max P	T _S	
	m	N/mm ²	cm ² /m	cm ² /m	BSt 420/500	cm ² /m ²		kg	m/s	Eindringtiefe e	bleibende Verformung d	cm	cm	MN	ms	
										cm	cm					
1	70	21.1	88.6	50.2	RK	24.6	11	1014	247.6	e = 25	d = 30 Abplatzungen	84	120..150			
2	70	34.4	53.6	27.3	RK	24.6	11	1016	172.2	e = 2	feine Risse	40	238..263	6.85	30.5	
3	Zweiter Schuß auf Platte Nr. 2							11	992	217.9	Perforation					
4	70	37.3	53.6	27.3	RK	50.2	11	1016	247.7	e = 4	d = 5 netzförmige Risse	64	145..154	13.1	26.0	
5	70	39.7	53.6	27.3	RK	12.6	11	974	234.8	Perforation						
6	70	35.0	53.6	27.3	RK	50.2	11	956	257.6	e = 5 bis 15	d = 15 Abplatzungen	76	110	13.7	27.0	
7	70	35.5	53.6	27.3	RK	24.6	11	940	225.3	e = 5	d = 12 netzförmige Risse	72	155	11.2	28.0	
8	70	40.6	53.6	27.3	RU	37.7	11	990	235.9	e = 7	d = 4 netzförmige Risse	50	180	12.0	26.5	
9	70	38.9	56.0	28.5	RU	50.2	11	970	235.8	e = 4	d = 4 netzförmige Risse	48	163	11.7	27.5	
10	90	43.1	53.6	27.3	RU	12.6	11	965	245.6	e = 4	d = 2 feine Risse	60	168	13.0	25.0	
11	70	32.9	40.1	20.4	RU	37.7	11	1000	222.5	e = 9	d = 5 netzförmige Risse,	74	130	12.5	33.0	
12	70	39.6	40.1	20.4	RU	52.3	11	980	241.5	e = 7	d = 5 keine Abplatzungen	76	142	14.5	36.0	
13	70	33.3	15.5	8.0	BSt 1100	50.2	11	996	244.8	Perforation		48..62	180..200	(16.1	35.0)	
14	70	32.6	31.4	15.4	RK	50.2	11	960	247.9	e = 30	d = 35 Abplatzungen	44..47	137	14.2	33.0	
15	50	39.6	56.0	23.1	RK	64.9	11	1000	236.3	Perforation		30..45	221	(13.5	30.0)	
16	70	32.0	31.4	15.4	RK	50.2	11	970	247.1	e = 20	d = 16 Abplatzungen	37..43	172	13.9	32.0	
17	50	33.9	56.0	23.1	RK	64.9	11	954	178.4	e = 11	d = 12 Abplatzungen	70	247	10.0	32.0	
18	70	31.2	40.1	20.4	RK	52.3	17	1060	237.4	e = 13.5	d = 11 Abplatzungen	85	122	15.3	32.5	
19	70	29.1	40.1	20.4	RK	52.3	11	980	240.3	Perforation		61..65	212	(16.5	30.0)	
20	50	33.7	58.2	23.1	RK	87.0	11	972	197.7	e = 22	d = 15 Abplatzungen	30..55	255..294	11.3	30.0	
21	90	33.2	25.5	10.5	RK	26.5	11	1000	237.0	e = 8	d = 6 Risse; geringe Abp.	50	186	14.6	33.0	
22	70	36.8	23.1	11.6	BSt 1100 +Zulage RK	52.3	11	1000	248.8	e = 15	d = 20 Abplatzungen	55..67	128..144	14.4	33.0	

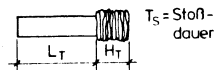
Stützweite der Versuchsplatten 5.40 x 5.40 m
Schubbewehrung BSt 420/500, [-Form
(Versuche 16 und 20 □ -Bügel)

Außendurchmesser
Wanddicke / Länge, vorn
Wanddicke / Länge, hinten
Gesamtlänge
Werkstoff

Projektile Typ 11
600 mm
7 / 2500 mm
10 / 3300 mm
5990 mm
RSt 37-2

Projektile Typ 17
600 mm
5 / 3600 mm
13 / 2860 mm
6650 mm
RSt 37-2

Deformationszustand



Tab. 4-3: MEPPEN-Versuche II/1 bis II/22, Versuchsdaten [4-66]

Die Längsbewehrungen wurden in der oberen und unteren Schicht, die Schubbewehrung in den jeweiligen Elementreihen verschmiert abgebildet.

Die Materialkennwerte für Beton und Stahl (Beispiel Platte II/18) sind aus Tabelle 4-5 zu entnehmen /4-49/.

Zur Berücksichtigung der Festigkeitsveränderung infolge des zwei axialen Spannungszustandes wurde die Druckfestigkeit des Betons um den Faktor ca. 1,15 erhöht und die Druck- und Zugfestigkeit des Bewehrungsstahles (Verfestigung) gemäß der Verformungsgeschwindigkeit (0,1 s⁻¹ < ε̇ < 1.0 . s⁻¹) ebenfalls entsprechend erhöht.

Der für diese Dehnungsgeschwindigkeiten abgeleitete dynamische Erhöhungsfaktor der Druckfestigkeit von Beton (s. Fig. 4-16) liegt bei ca. 1,40.

In Fig. 4-17 wurden die für die Platte II/18 abgeleiteten Spannungs-Dehnungskurven des bewehrten Betons dargestellt.

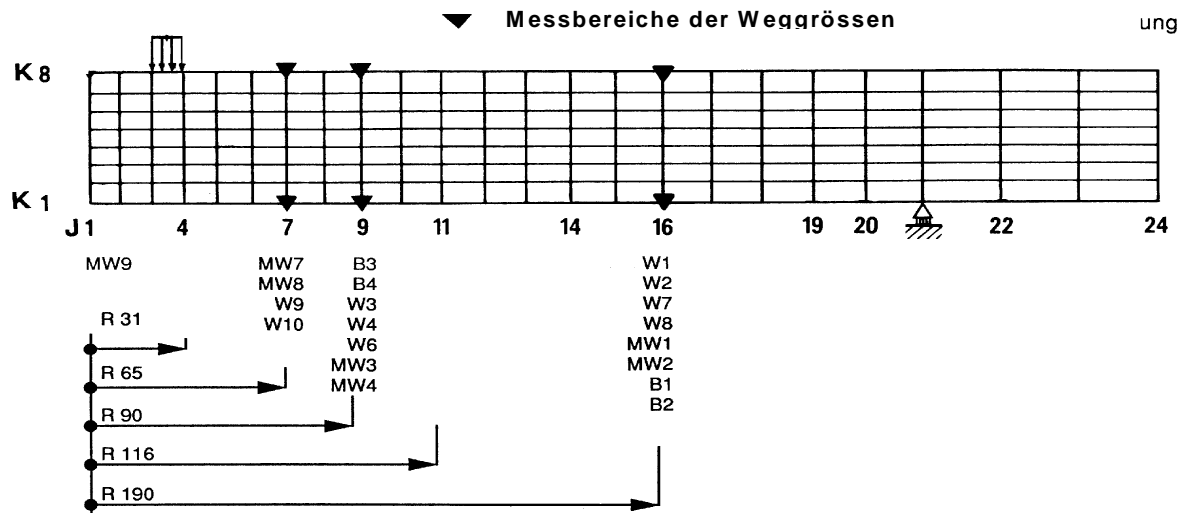


Fig. 4-15: Zuordnung der Mess- und Berechnungspunkte der Bewegungsgrößen [4-47]

Bewehrung (BST 420/500)

Elastizitätsmodul (E_s) : 210.000 MN/m²

Fließgrenze, statisch (S_F) : 420 MN/m²

Mit $\epsilon^* = 0,40 \text{ s}^{-1}$ aus Vorversuchen gelangt man mit:

$$S_{Fd} / S_F = 1 + (\epsilon^* / 40)^{1/5}$$

zu

$$S_{Fd} / S_F = 1,40$$

und der dynamischen Fließgrenze (S_{Fd}) von 590 MN/m²

II Beton (B35)

Elastizitätsmodul (E_b) 31.200 MN/m²

Querkontraktionszahl (ν) 0,2

Spezifisches Gewicht (γ) 25,0 kN/m³

Biaxialer Spannungszustand 1,15

Festigkeitserhöhungsfaktor 1,40

Statische Festigkeitswerte (MN/m²):

Zugfestigkeit (β_z) 4,0

Druckfestigkeit (β_c) 40,5

Dynamische Festigkeitswerte (MN/m²):

Zugfestigkeit (β_{zd}) 5,5

Druckfestigkeit (β_{cd}) 55,0

Tab. 4-5: Materialkennwerte der Betonplatten [4-49]

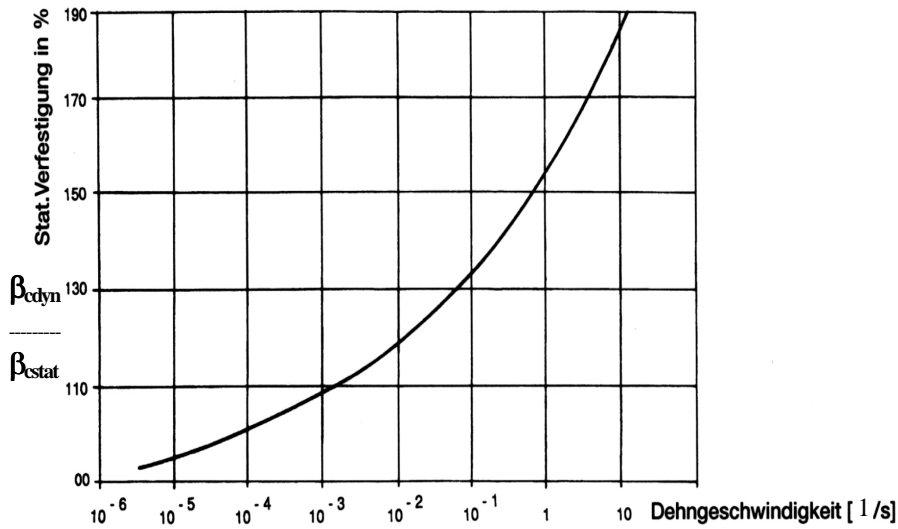


Fig. 4-16: Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf die Druckverfestigung von Beton /4-1/, /4-4/

Biegebewehrung

Vorderseite

Betonüberdeckung	$\ddot{U} = 3,0 \text{ cm}$
Durchmesser der Stäbe	$\phi = 1,8 \text{ cm}$
Anordnung der Bewehrung	orthogonal
Abstand	$e_x = e_y = 12,5 \text{ cm}$
Bewehrungsmenge	$A_x = A_y = 20,4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

Rückseite

Betonüberdeckung	$\ddot{U} = 3,0 \text{ cm}$
Durchmesser der Stäbe	$\phi = 2,5 \text{ cm}$
Anordnung der Bewehrung	orthogonal
Abstand	$e_x = e_y = 12,5 \text{ cm}$
Bewehrungsmenge	$A_x = A_y = 39,2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

Schubbewehrung

16 Bügel $\phi 20/\text{m}_2$	$A_s = 50,2 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$
-------------------------------	--

Tab. 4-5a Bewehrungsanteile [4-49] einer typischen Meppen-Platte

Stoßversuche an Betonbalken und Platten

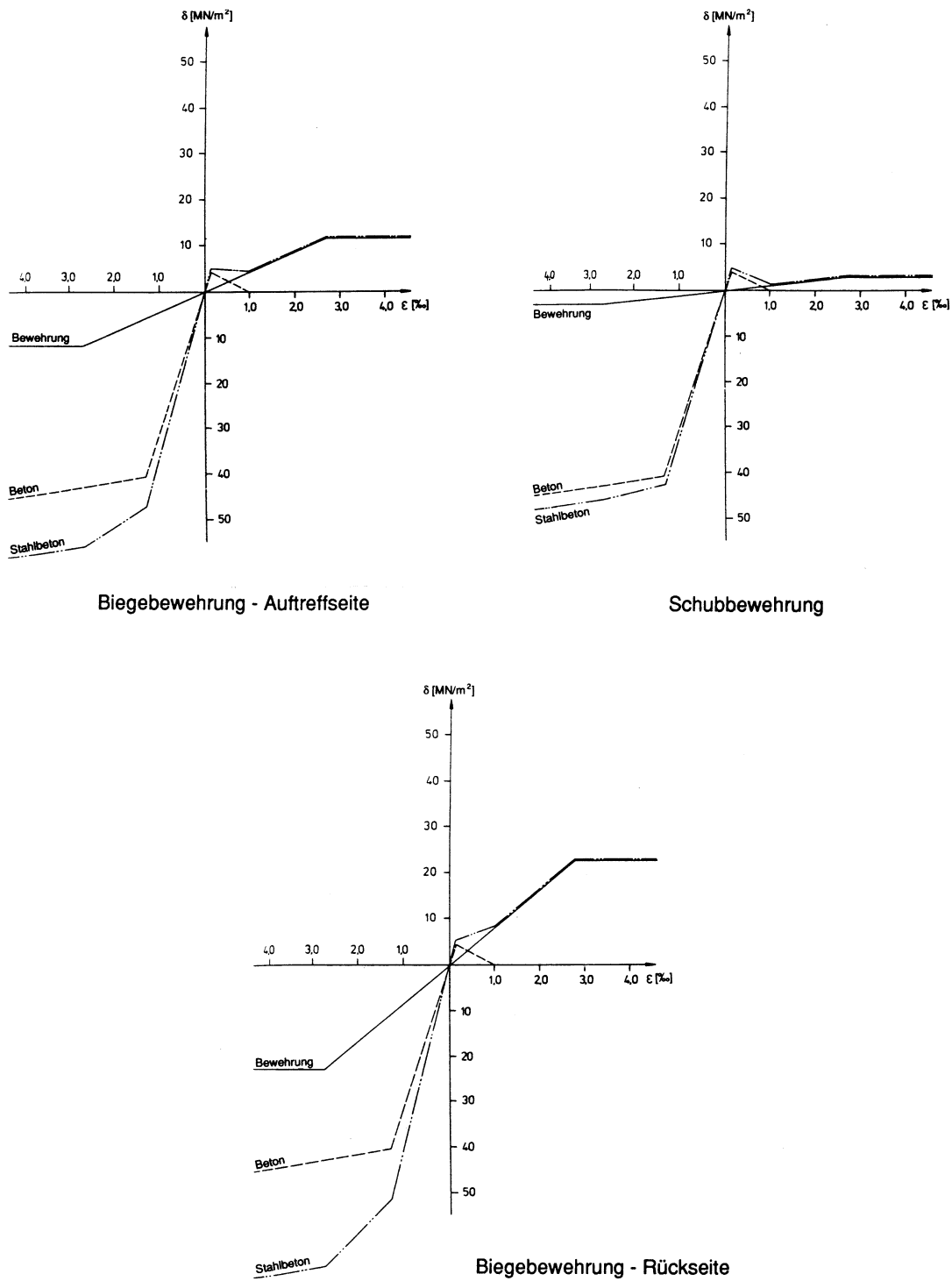


Fig. 4-17: Spannungs-Dehnungs-Diagramm [4-49] Platte II/18

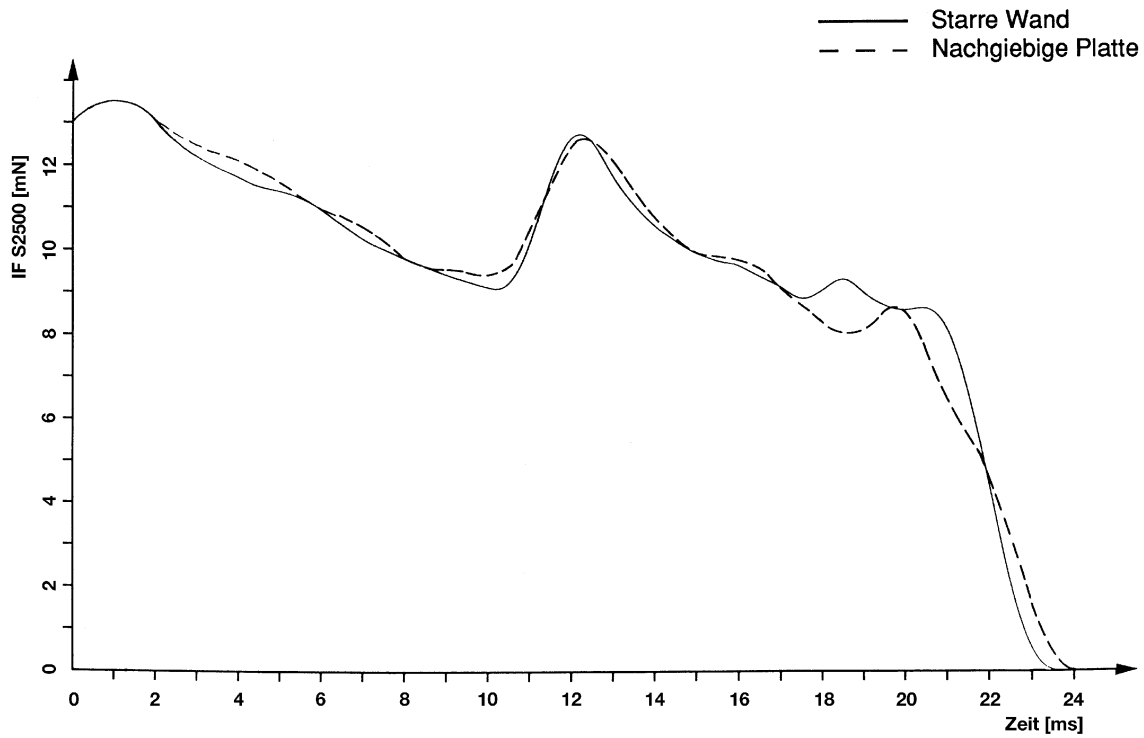


Fig. 4-18: Vorausberechnete Zeitverläufe der Stoßkraft (Projektil 11) für verschiedene Aufprallorte /4-41/

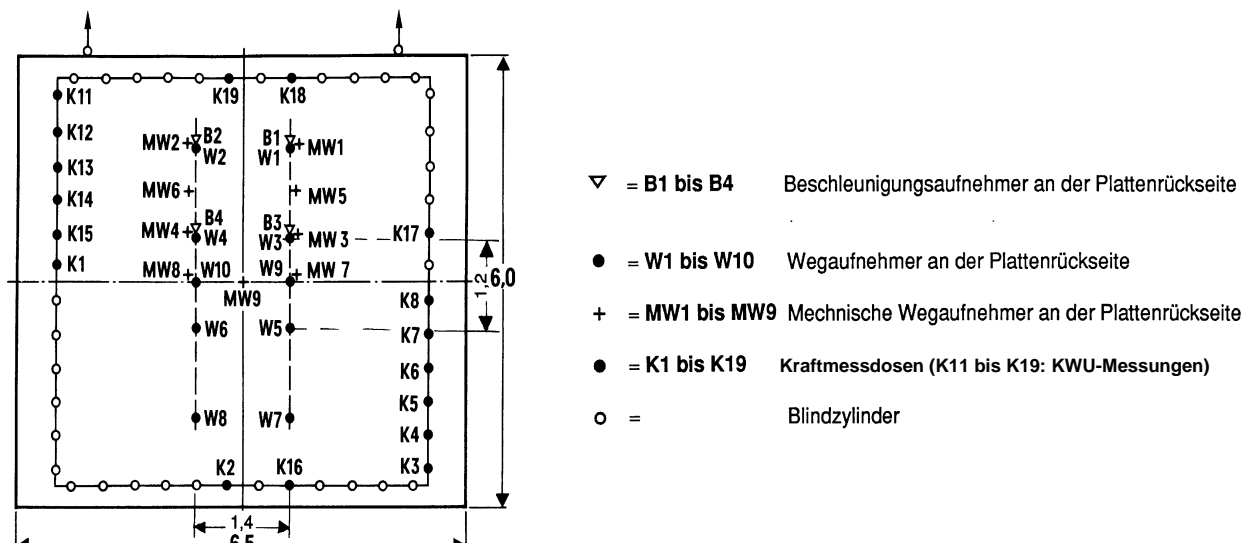


Fig. 4-19: Messstellenplan MEPPEN-Versuche II/11 bis II/22 [4-47]

4.1.2.5 Charakteristische Ergebnisse

Die Stahlbetonplatten wurden, wie vorher beschrieben, idealisiert und in unabhängigen Berechnungen mit den vorab abgeleiteten und durch Versuche abgesicherten Kraftzeitverläufen beaufschlagt (Fig. 4-18).

Alle Berechnungen wurden für einen zentralen Aufprall des Projektils durchgeführt. Für die charakteristischen Punkte der Stahlbetonplatte wurden die Weggrößen (Verschiebung, Geschwindigkeit, Beschleunigung) sowie die Schnittgrößen ermittelt.

Auf der Basis dieser Größen konnten Informationen über Rissausbreitungen im Beton gewonnen sowie Dehnungen der Bewehrung berechnet und mit den gemessenen Größen verglichen werden. Es wurde ebenfalls die Auflagerkraft (summarische Reaktionskraft aller Auflager) bestimmt.

Um einen ortsbezogenen Vergleich der Rechen- und Messergebnisse zu ermöglichen, wurde dabei das Knotennetz des Rechenmodells an die Lage der Messgeber angepasst (Fig. 4-19).

Während der Belastungsvorgänge wurde fast bei allen Platten ein nichtlinearer Beanspruchungszustand erreicht. Risse erstreckten sich in der Regel von der Aufprallfläche ausgehend auf den überwiegenden Bereich der Platte.

Verschiebungen

Zur Messung der Plattendurchbiegungen wurden an der Plattenrückseite 10 induktive Wegaufnehmer zur zeitabhängigen Aufzeichnung der Verschiebungen und als Kontrollmessung 9 mechanische Wegaufnehmer zur Messung der Maximalverschiebung angeordnet. Die Messstellenanordnung, die bei allen Versuchen der Messreihe II unverändert gelassen wurde, kann Fig. 4-19 entnommen werden. Gemessen wurde die Relativverschiebung zwischen der Plattenrückseite und der Halterung der Wegaufnehmer am Widerlager.

Stellvertretend für die durchgeführten Versuchsreihen sind in Fig. 4-20 bis 4-23 Vergleiche der berechneten und gemessenen Verschiebungszeitverläufe für die Platten II/17, II/18, II/20 und II/21 vorgenommen worden. In Fig. 4-40 dagegen wurde am Beispiel des Versuchs II/18 der Verformungszustand am Ende der Belastungsphase (28 ms) dargestellt.

Die gemessenen Zeitverläufe der Verschiebungen der Plattenrückseite werden mit den vorausberechneten Verschiebungen bei den Abständen $R = 65$ cm (W9,W10), 90 cm (W3,W4,W6) und 190 cm (W1,W2,W7,W8) von der Plattenmitte aus verglichen (Fig. 4-15).

Der Vergleich der Verschiebungen für die einzelnen Messstellen ergibt ein unterschiedliches Verhältnis zu den Rechenergebnissen. Bei den meisten Versuchen zeigen die Messungen im Zentrum große bleibende Verformungen oder Abplatzungen, die in der Regel durch die Rechnung nicht wiedergegeben werden. Durch die Ausbildung der rückseitigen Betonablösung im Bereich der Messwertaufnehmer W9, W10 werden diese Messstellen verschoben. Dieser Effekt kann in der Rechnung ebenfalls nicht erfasst werden. In den Messstellen W9/W10 ergibt sich bei allen Platten in der Anfangsphase eine relativ gute Übereinstimmung mit allen Messwerten. In der Nachschwingphase kann es aus o.g. Gründen zu keiner Übereinstimmung kommen.

Im ungestörten Plattenbereich W1, W2, W7, W8 ergab sich in allen Fällen eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung. Eine etwas niedrigere Durchbiegung wurde lediglich bei der dicksten, am wenigsten ausgelasteten Platte (II/21) festgestellt (Fig 4-23).

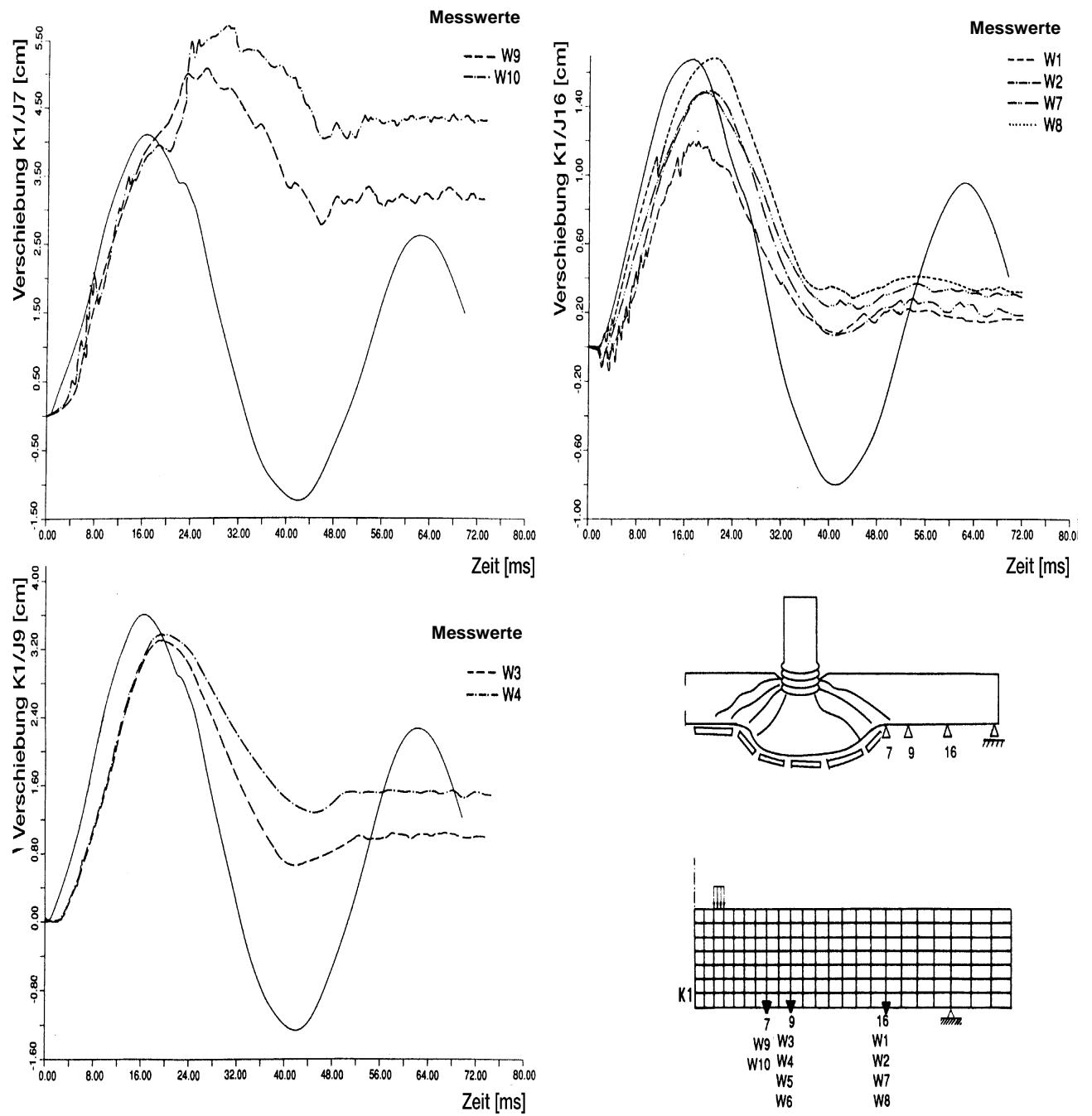


Fig. 4-20: MEPPEN-Versuch II/17, Vergleich der gemessenen und vorausgerechneten (—) Verschiebungszeitverläufe [4-41b]

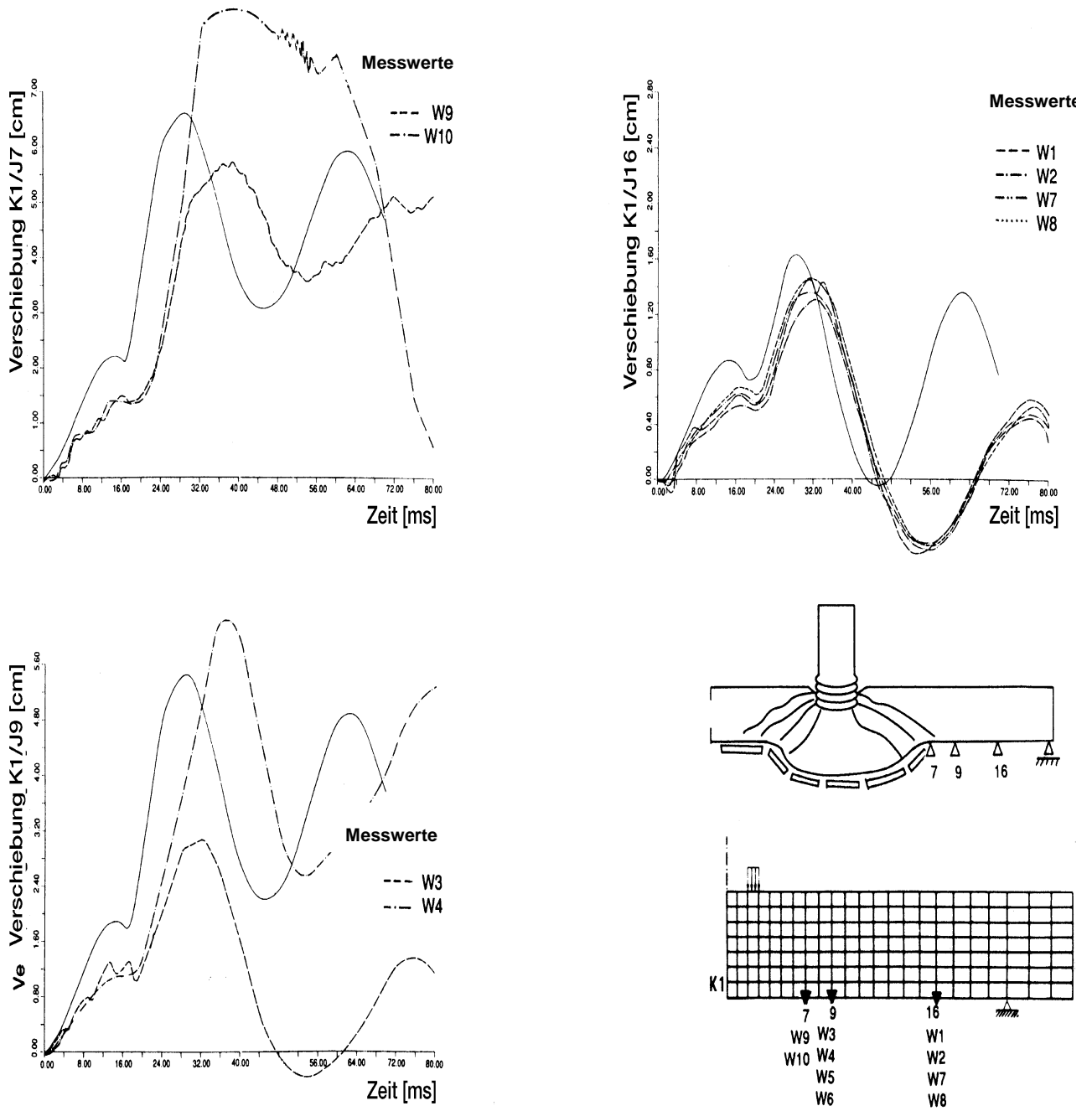


Fig. 4-21: MEPPEN-Versuch II/18, Vergleich der gemessenen und vorausgerechneten (—) Verschiebungszeitverläufe[4-47b]

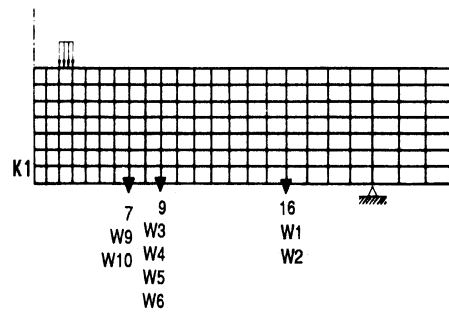
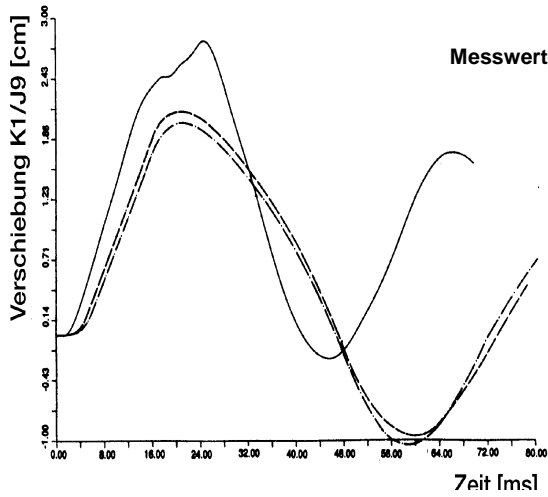
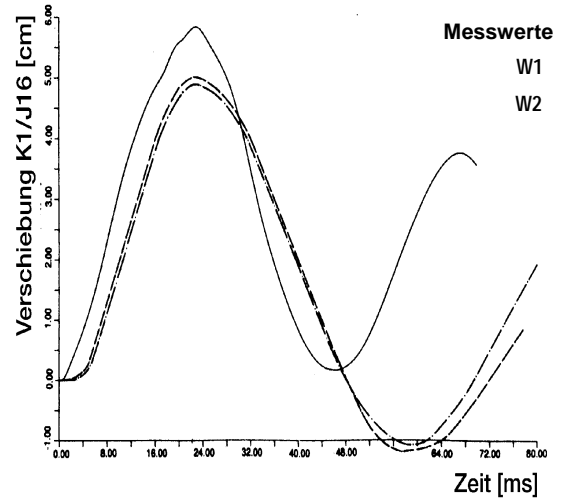
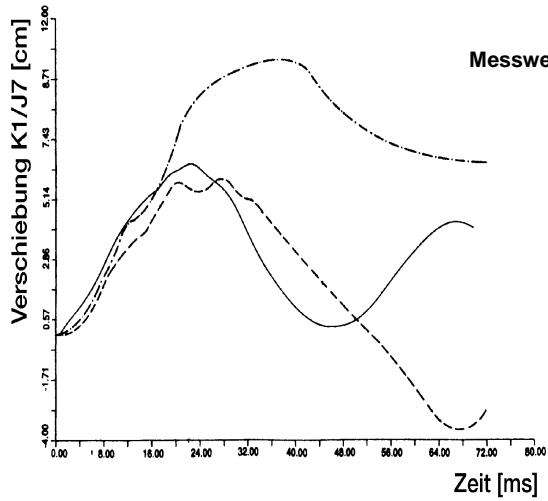


Fig. 4-22: MEPPEN-Versuch II/20, Vergleich der gemessenen und vorausberechneten (—) Verschiebungsverläufe [4-47d]

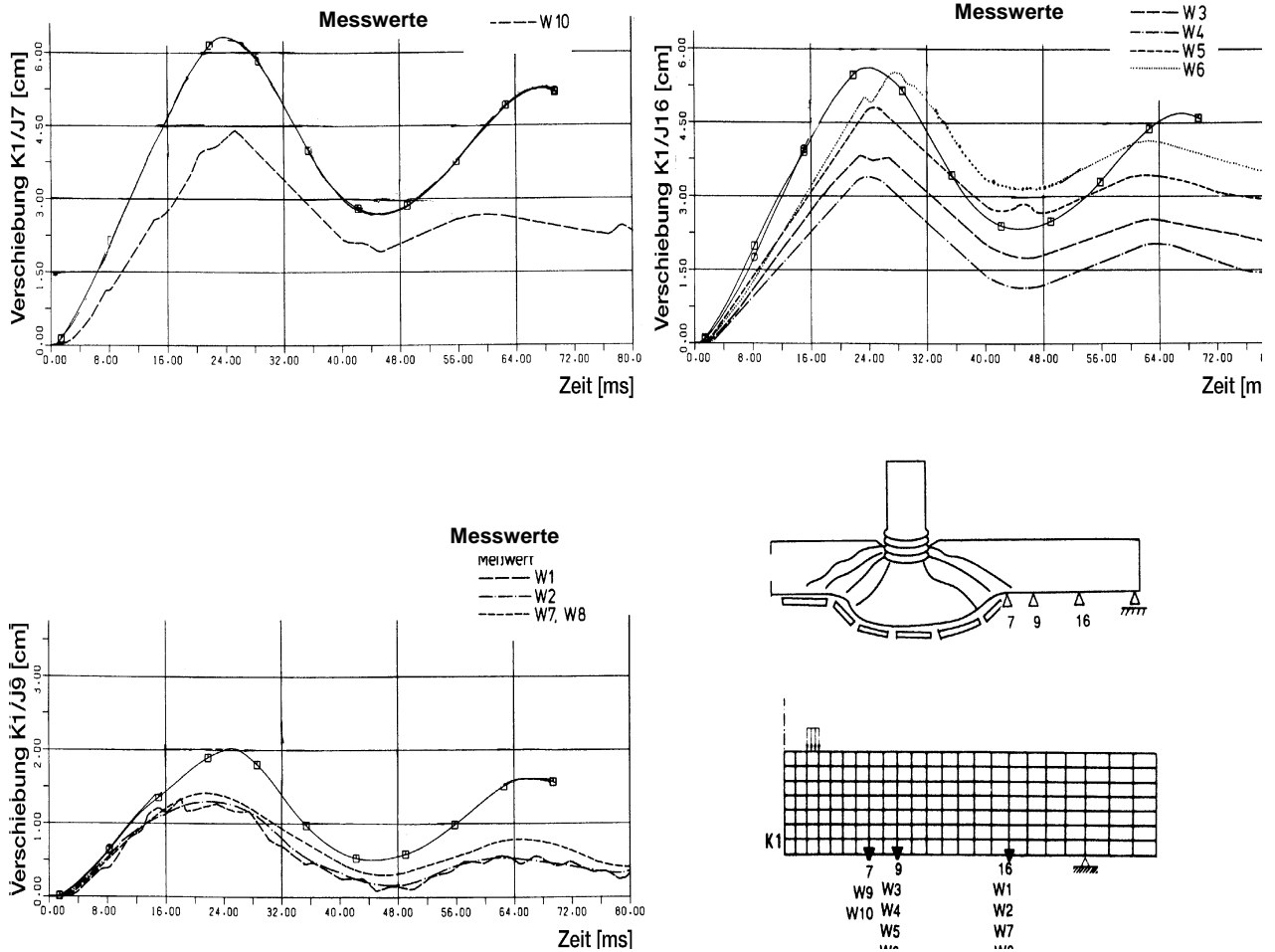


Fig. 4-23: MEPPEN-Versuch II/21, Vergleich der gemessenen und voraus berechneten(—) Verschiebungszeitverläufe [4-47e]

Dehnungen an der Biege- und Schubbewehrung

Zwecks Vergleich und Bewertung der analytisch ermittelten Dehnungen mit den anhand von Dehnungsmessstreifen (DMS) gemessenen Dehnungen wurden beide Ergebnisse in grafischer Form gegenübergestellt.

Die Anordnung der Messgeber (insgesamt 47 Messstellen) für die Dehnungsmessungen an der Biege- und Schubbewehrung sowie die Zuordnung der Mess- und Berechnungspunkte sind aus Fig. 4-24 und 4-25 zu entnehmen.

Die in den Symmetrieebenen der Platte gemessenen Dehnungen an der Biegebewehrung sind im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass der Messwert zunächst - relativ geradlinig - auf den Maximalwert ansteigt (Anstiegszeit 15-25 ms) und dann auf den bleibenden Endwert innerhalb von 10 bis 15 ms abfällt.

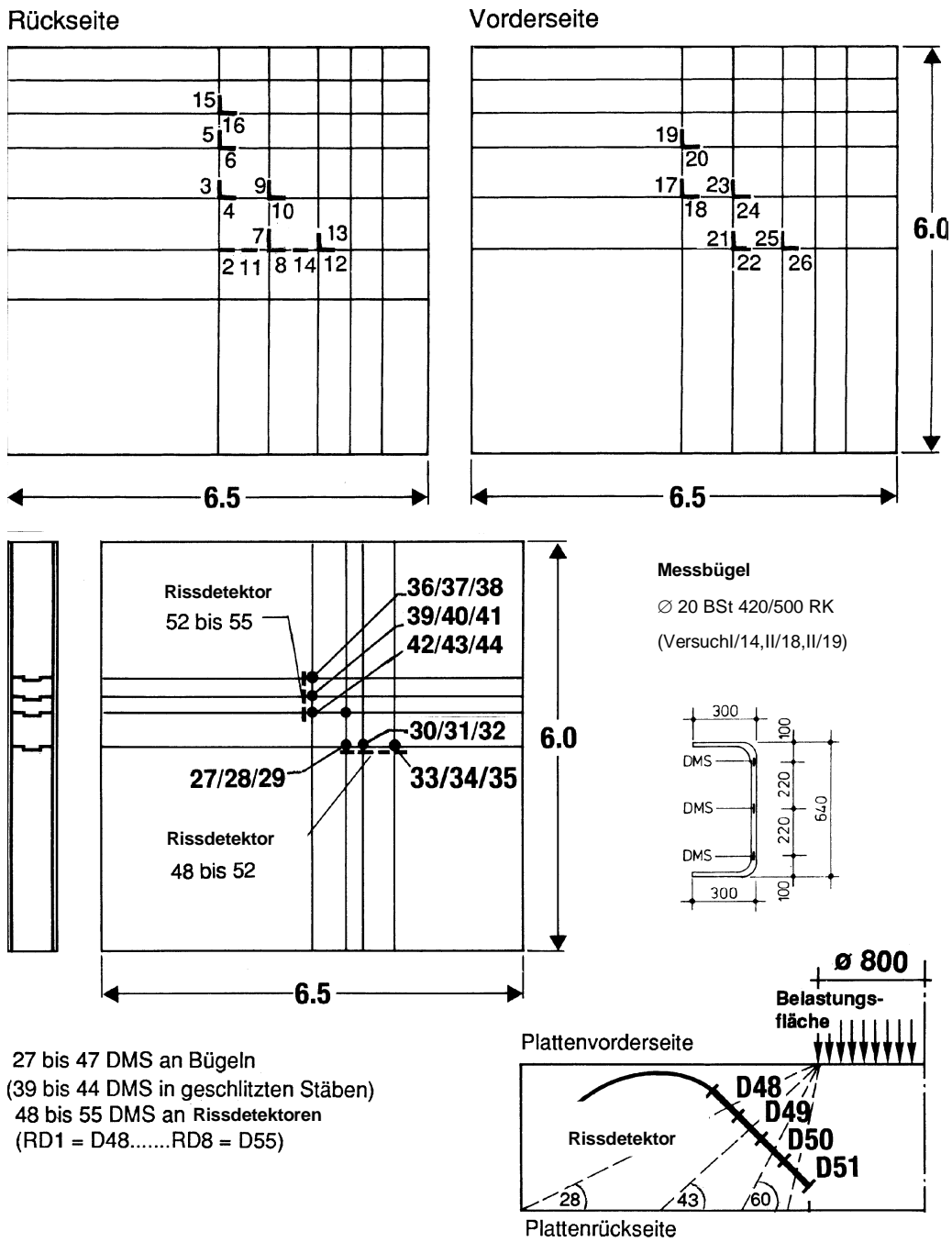


Fig. 4-24: Messstellenplan; Dehnungsmessungen an der Biege- und Schubbewehrung (Versuche II/11 bis II/22) [4-47b]

Die DMS sind so angeordnet bzw. geschlittet, dass in den gemessenen Dehnungsverläufen örtliche Biegedehnungen der Bewehrungsstäbe eliminiert werden. Es wurden sowohl auf dem Bewehrungsstab applizierte DMS als auch DMS im Stabinnern geschlitzter Bewehrungsstäbe verwendet.

In Fig. 4-26 bis 4-29 wurde ein Vergleich der vorausgerechneten und der gemessenen Dehnungen vorgenommen.

Die aufgezeichneten maximalen Dehnungen betragen ca. 54 o/oo (Versuche II/14 und II/19).

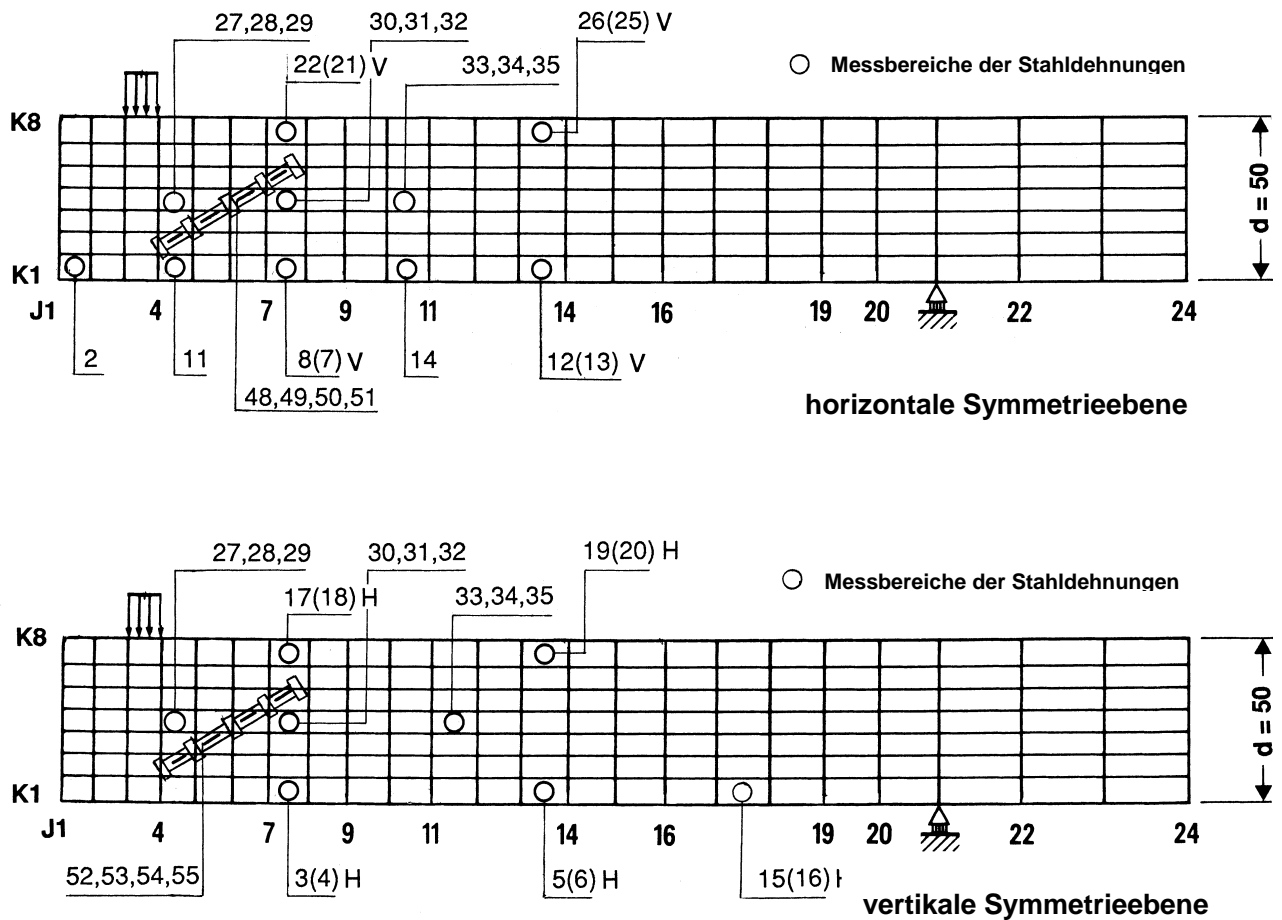


Fig. 4-25: Zuordnung der Mess- und Berechnungspunkte der Dehnungen im Schnitt durch die horizontale und vertikale Symmetrieebene (2D-Modell) [4-47b]

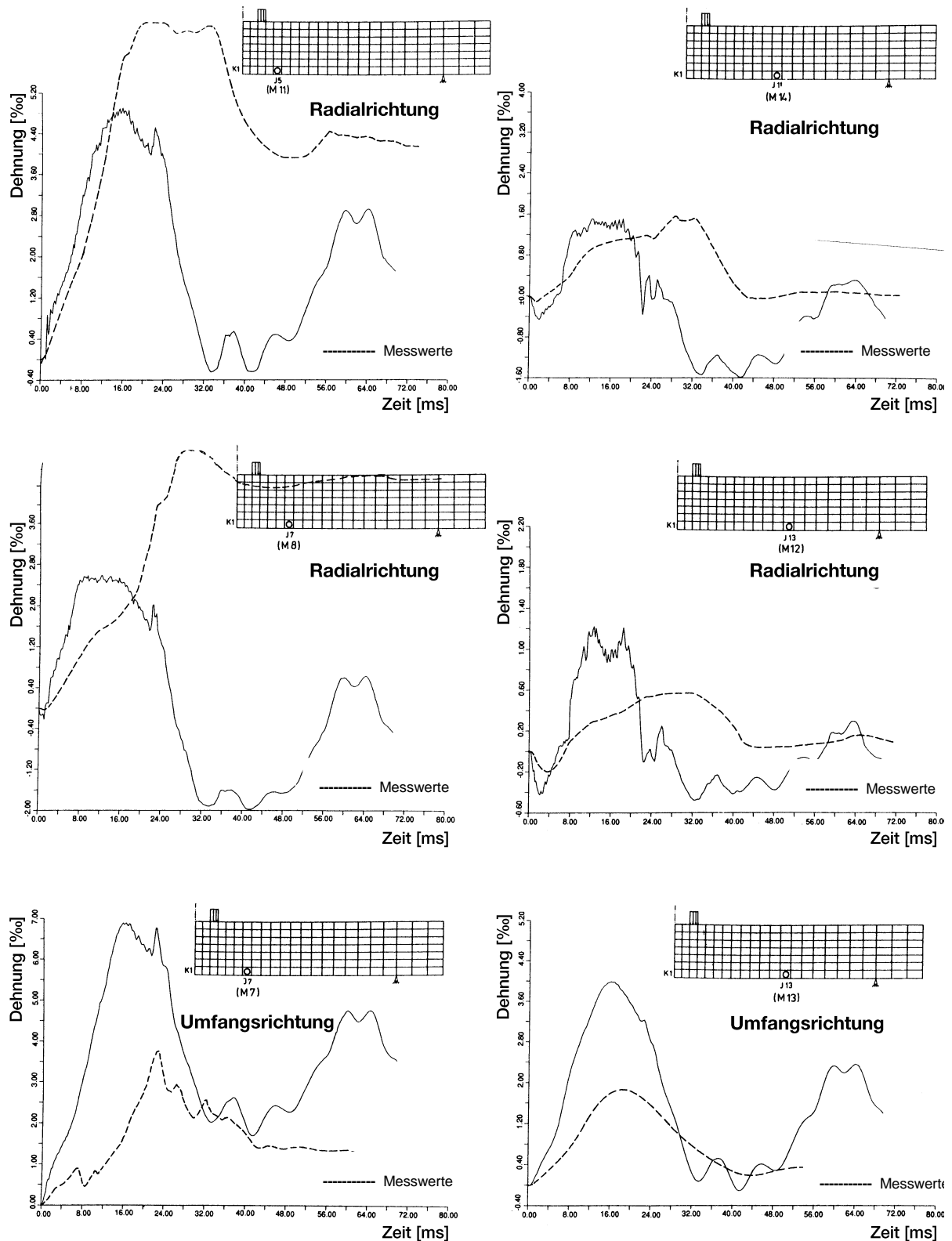


Fig. 4-26: MEPPEN-Versuch II/17

Vergleich der vorausgerechneten (—) und gemessenen Stahldehnungen im Horizontalschnitt/Rückseite [4-41b], [4-52]

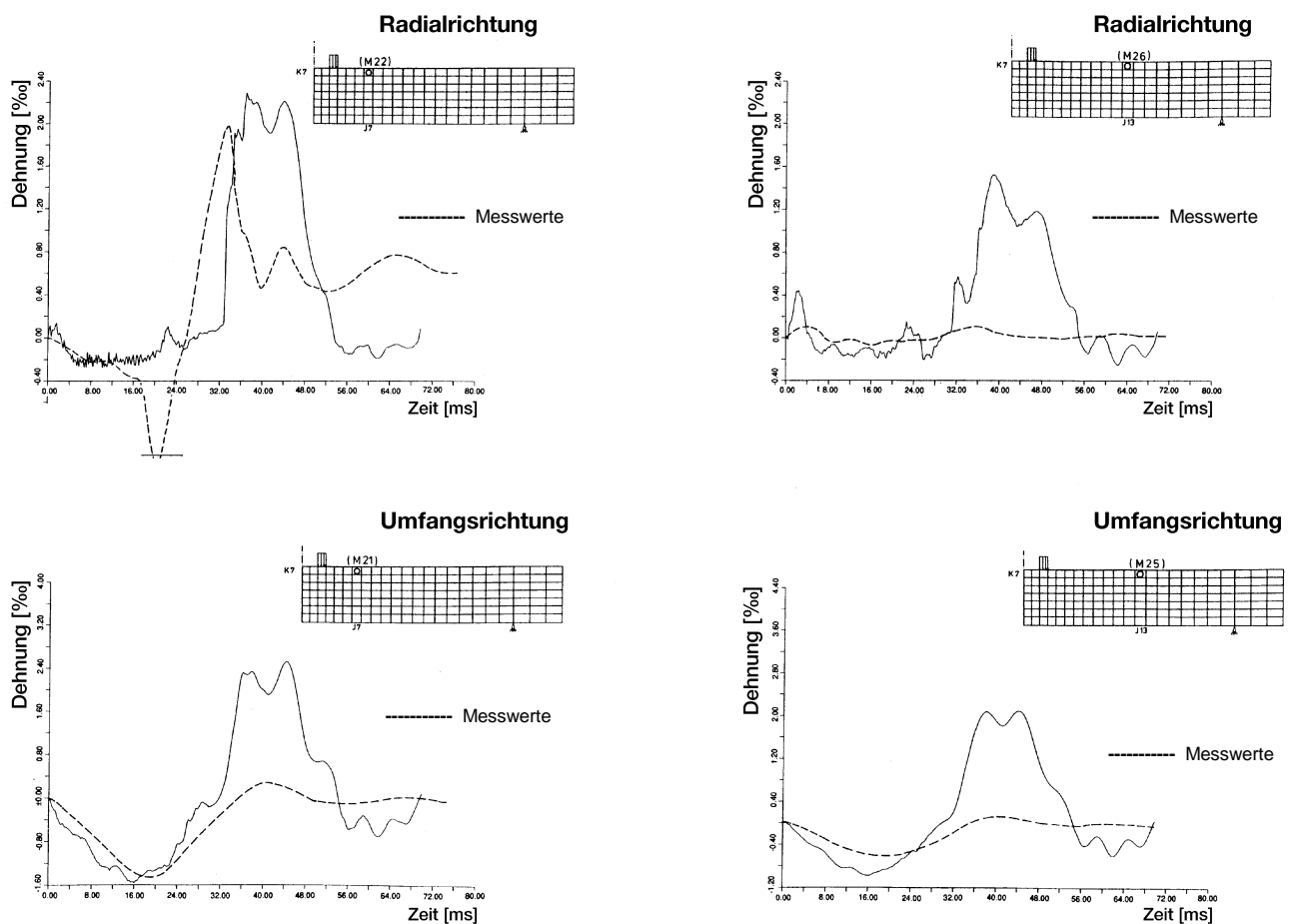


Fig. 4-27: MEPPEN-Versuch II/17

Vergleich der vorausberechneten (—) und gemessenen Stahldehnungen im Horizontalschnitt/Vorderseite [4-41b], [4-52]

Rissbilder

Mittels speziell entwickelter Rissdetektoren auf DMS Basis, die in der vertikalen Schnittebene angeordnet waren, wurden die Zeitverläufe der Rissdehnungen gemessen (Fig. 4-30 und 4-31).

Die Anordnung der Rissdetektoren sowie die Zuordnung der Mess- und Berechnungspunkte gehen aus Fig. 4-24 und 4-25 hervor. Der Zeitbereich des Vergleichs wurde auf 80 ms nach Aufprallbeginn begrenzt. Diese Zeitspanne umfasst bei einer Dauer der Belastungsphase von 30 - 40 ms einen hinreichend großen Bereich der Nachschwingphase. Ein typischer Risszustand am Ende des Belastungsvorganges wurde in Fig. 4-32 dargestellt.

Der Anstieg des Messsignals in den Rissdetektormessungen (Fig. 4-30 und 4-31) beginnt nach Aufprallbeginn mit einem Zeitversatz von ca. 15 ms und verläuft in den meisten Fällen fast geradlinig bis zum Maximalwert, der bei ca. 25 ms erreicht wird. Der Abfall auf den bleibenden Endwert erfolgt innerhalb von weiteren 15 bis 20 ms.

Mit dem Ziel, die Rissausbreitung in der Platte auch außerhalb des unmittelbaren Lasteinleitungsbereiches zu erfassen, wurden, wie bereits angemerkt, von der Reaktorindustrie zusätzliche Rissdetektoren in die Stahlbetonplatte implementiert. Die mit Graphitstäben bestückten Rissdetektoren basierten auf dem Reissdrahtprinzip [4-42]. Als Träger für die Rissaufnehmer wurden Mörtelprismen verwendet [4-42]. Damit wurde eine Störung des Betongefüges durch die große Anzahl

der Rissdetektoren weitgehend vermieden. Zur Erfassung der Rissausbreitung wurde ebenfalls ein Reißdrahtzeitspeicher (MPAStuttgart) eingesetzt.

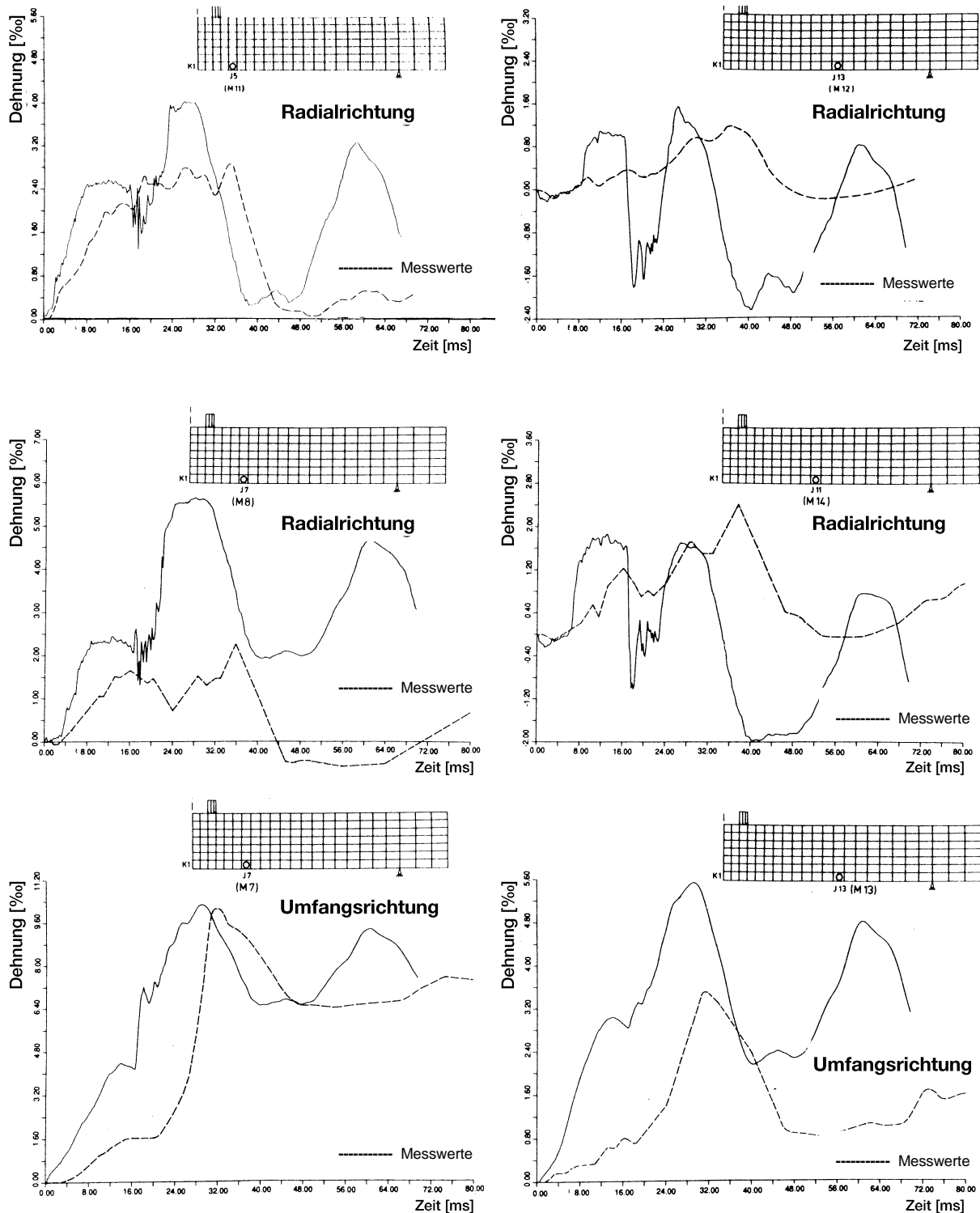


Fig. 4-28: MEPPEN-Versuch II/18

Vergleich der vorausberechneten (—) und gemessenen Stahldehnungen im Horizontalschnitt/Rückseite [4-47b], [4-52]

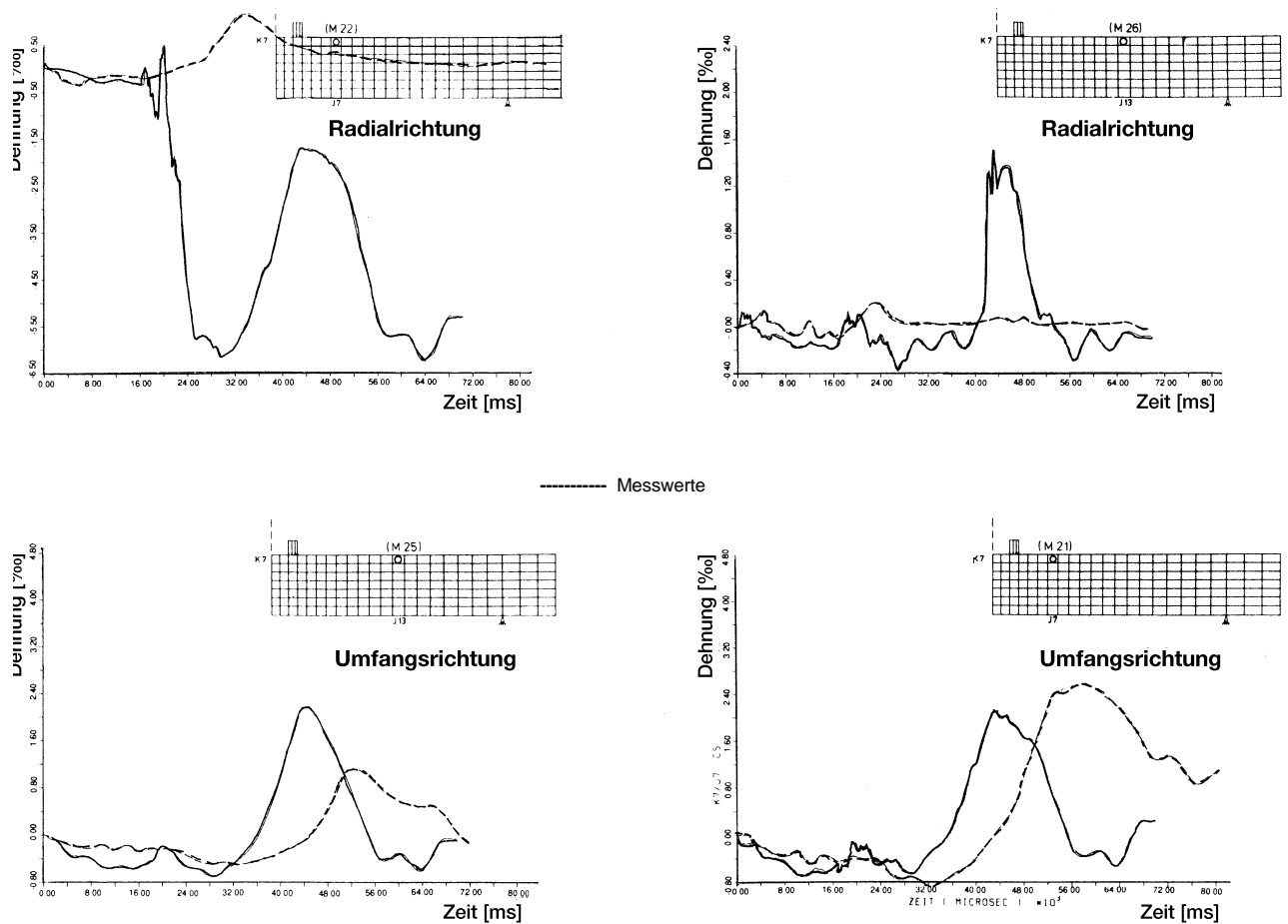


Fig. 4-29: MEPPEN-Versuch II/18
Vergleich der vorausberechneten (—) und gemessenen Stahldehnungen im Horizontalschnitt/Vorderseite [4-47b], [4-52]

Mit dieser Registriereinrichtung war die Möglichkeit gegeben, die Position und den Zeitpunkt der Unterbrechung von insgesamt 64 Reißdrähten (Grafitstäbe) zu speichern. Die durch diese Messungen gewonnenen neuen Erkenntnisse erfüllten jedoch nicht die erhofften Erwartungen.

Beschleunigungen

An der Plattenrückseite wurden in 4 Stellen die während des Aufpralls des Projektils zu erwartenden Beschleunigungen gemessen. Ein quantitativer Vergleich von vorausberechneten (Platte II/18) und gemessenen Zeitverläufen geht aus Fig. 4-33 hervor.

In Anbetracht der Vielzahl von Einflussfaktoren sowohl auf der Seite der Modellerfassung als auch der Lastdefinition ist das Ergebnis als überraschend gut zu bewerten.

Das Abklingverhalten und der Charakter der Zeitverläufe sowie der Frequenzgehalt sind weitgehend ähnlich.

Die feststellbaren Unterschiede in der Größe der Schwingungsamplituden sind wiederum darauf zurückzuführen, dass das mit der Rissausbreitung verbundene Dämpfungsvermögen der beaufschlagten Betonplatten größer war als in der Berechnung angenommen (5%). Die Auswirkungen

sind aufgrund der größeren Verformung und Rissbildung natürlich größer im Zentrum (Messgeber B3, B4) als am weniger zerstörten Außenbereich der Platte (Messgeber B1, B2).

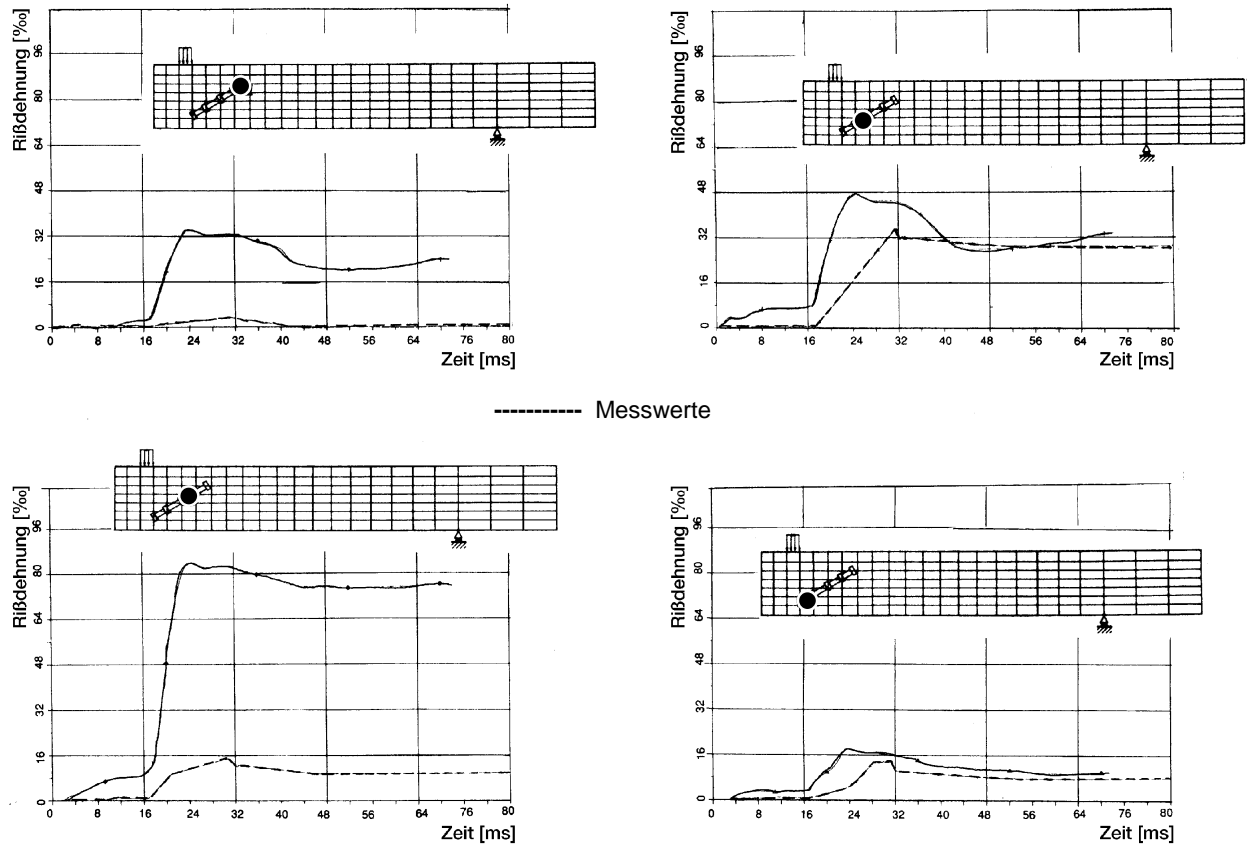


Fig. 4-30: MEPPEN-Versuch II/17

Vergleich der vorausgerechneten (—) und gemessenen Vergleich der Zeitverläufe der Umfangsrisse in horizontaler Schnittebene [4-41b], [4-52]

4.1.2.6. Ergebnisvergleich der Plattenversuche, maßgebende Einflussparameter

Einfluss der Nachgiebigkeit des Aufprallortes auf den Beulvorgang des Projektils

Die Untersuchungen zum Verhalten von Projektilen wurden für die Annahme eines Aufpralls auf eine unendlich steife Wand durchgeführt. Da die Platten sich während des Aufpralls durchbiegen (maximale Geschwindigkeit der Platte: ca. 10 m/s), ist diese Annahme nur annähernd gültig.

Um den Einfluss der Nachgiebigkeit der Platten zu untersuchen, wurden Berechnungen für den Aufprall des Projektils auf eine reelle Platte durchgeführt /4-41a/. Die Modellabbildung des Projektils und die übrigen Randbedingungen entsprechen den früheren Annahmen (Punkt 4.1.2.4). In Fig. 4-14 ist die Endgeometrie des Projektils und in Fig. 4-18 sind die Zeitverläufe der Stoßkraft dargestellt. Anhand des Vergleichs der geglätteten Zeitverläufe der Stoßkraft kann festgestellt werden, dass der Einfluss der Nachgiebigkeit der Platte auf den Charakter des Zeitverlaufes der Stoßkraft des Projektils von untergeordneter Bedeutung ist.

Einfluss kleiner Dehngeschwindigkeiten des Bewehrungsstahls

Der Einfluss kleiner Dehngeschwindigkeiten des Betonstahls auf das nichtlineare Verhalten von Stahlbetonstrukturen wurde am Beispiel der Platte II/18 untersucht /4-51/

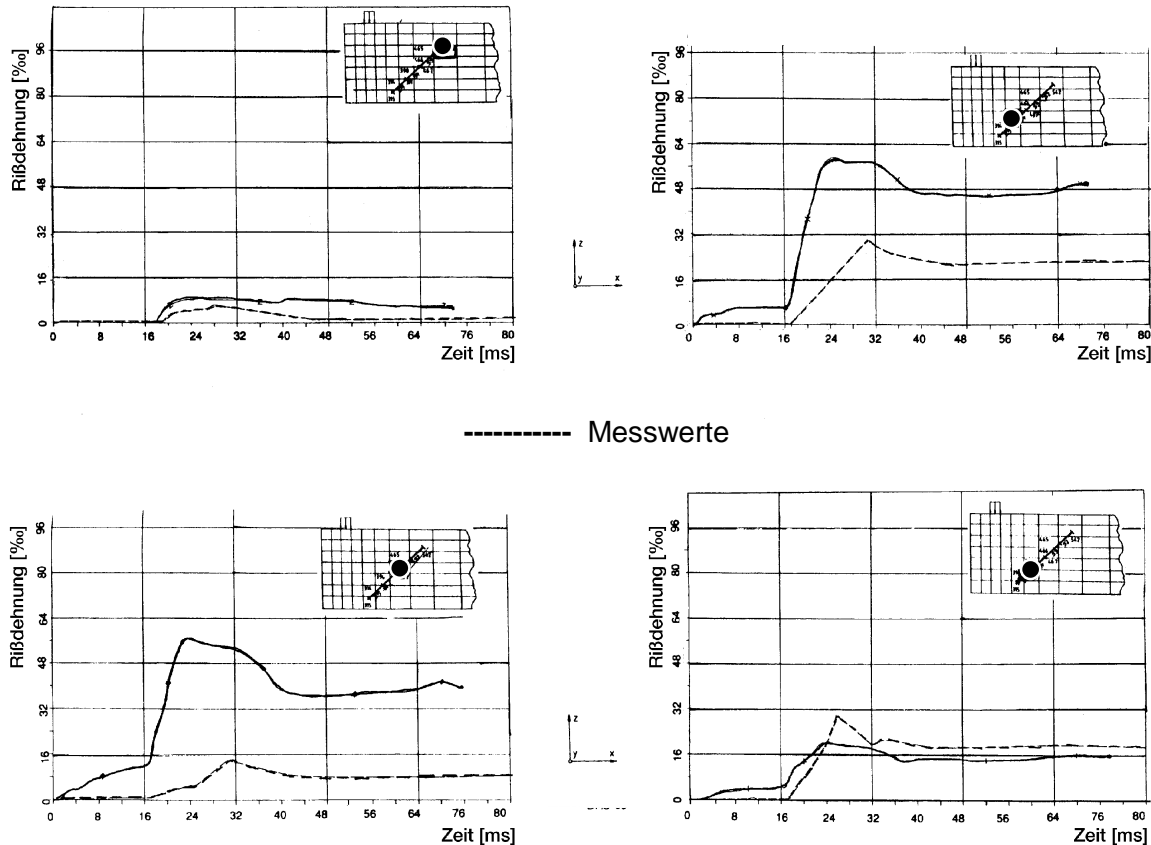


Fig. 4-31: MEPPEN-Versuch II/18

Vergleich der vorausberechneten (—) und gemessenen Vergleich der Zeitverläufe der Umfangrisse in horizontaler Schnittebene 4-47b), [4-52]

Für den Bewehrungsstahl wurde dabei ein linear-elastisch / ideal-plastisches Werkstoffgesetz (Fig. 4-34) angenommen mit einer Spannungs-Dehnungsbeziehung:

$$\sigma = F (\varepsilon, \dot{\varepsilon})$$

Dabei wird für die Zugfestigkeit von B St 420/500 RK die folgende Beziehung /4-25/ angesetzt:

$$S_R = 558 + 6,15 \ln (\dot{\varepsilon}_i)$$

mit:

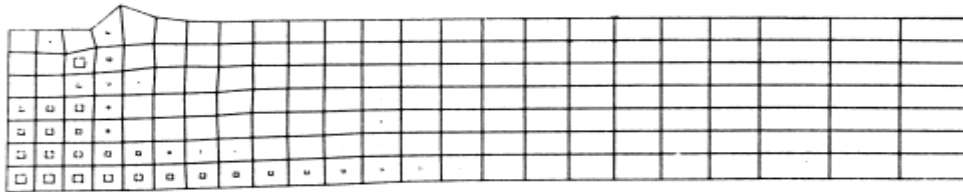
S_R - Zugfestigkeit

$\dot{\varepsilon}_i$ - Dehngeschwindigkeit

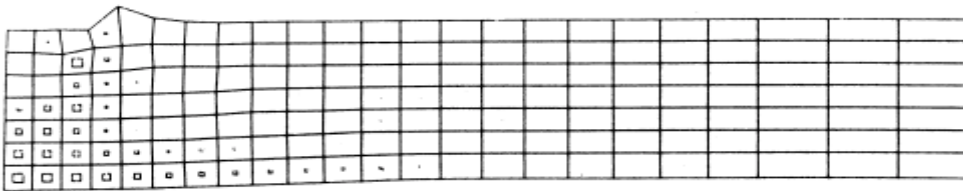
Unter Zugrundelegung zweier verschiedener Dehngeschwindigkeiten von $\dot{\varepsilon}_1 = 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ und $\dot{\varepsilon}_2 = 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ wurden die Spannungs-Dehnungsdiagramme (analog Fig. 4-17) konzipiert und die entsprechenden Eingangsgrößen für die Berechnung festgelegt. Die für charakteristische Bereiche der Platte II/18 mit diesen kleinen Dehngeschwindigkeiten ermittelten Verschiebungszeitverläufe wurden in Fig. 4-35 dargestellt. Auch der Vergleich sowohl der Zeitverläufe der Auflagerkräfte als auch der ermittelten Rissbilder für charakteristische Zeitbereiche läßt eine weitgehende Übereinstimmung erkennen. Die durchgeführten Untersuchungen führten zu der Erkenntnis, dass bei kleinen Dehngeschwindigkeiten des Bewehrungsstahls das Verhalten von Stahlbeton sowie die charakteristischen Rechenergebnisse nur unwesentlich verändert werden.

Die maximale Abweichung beträgt ca. 5 %. Hieraus resultiert die Feststellung, dass bei Belastungsvorgängen mit kleinen Geschwindigkeiten die Veränderung von Spannungs-Dehnungsbeziehungen gering ist und keine praktische Auswirkung hat. Erst bei höheren Belastungsgeschwindigkeiten ($\dot{\epsilon}$ größer 10^{-1} 1/s) ist eine Festigkeitssteigerung vom Bewehrungsstahl /4-65/ und Beton /4-70/ zu erwarten. Dies konnte auch anhand der BAM- und MEPPEN-Versuche nachgewiesen werden.

Radialrisse

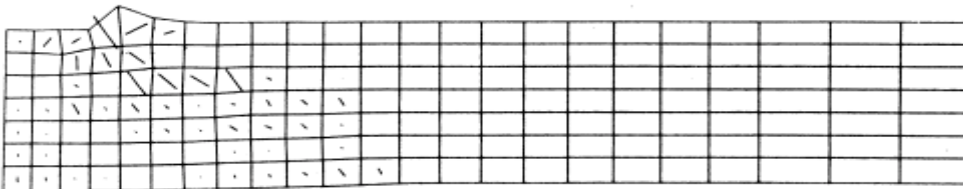


$$S_R = f(\dot{\epsilon}_1)$$

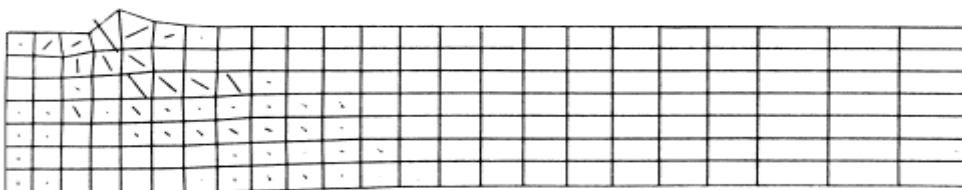


$$S_R = f(\dot{\epsilon}_2)$$

Umfangsrisse



$$S_R = f(\dot{\epsilon}_1)$$



$$S_R = f(\dot{\epsilon}_2)$$

Fig. 4-32: MEPPEN-Versuch II/18, Rissbilder der Stahlbetonplatte für verschiedene Spannungs-Dehnungsbeziehungen, Radialrisse bei $t = 32$ ms [4-51]

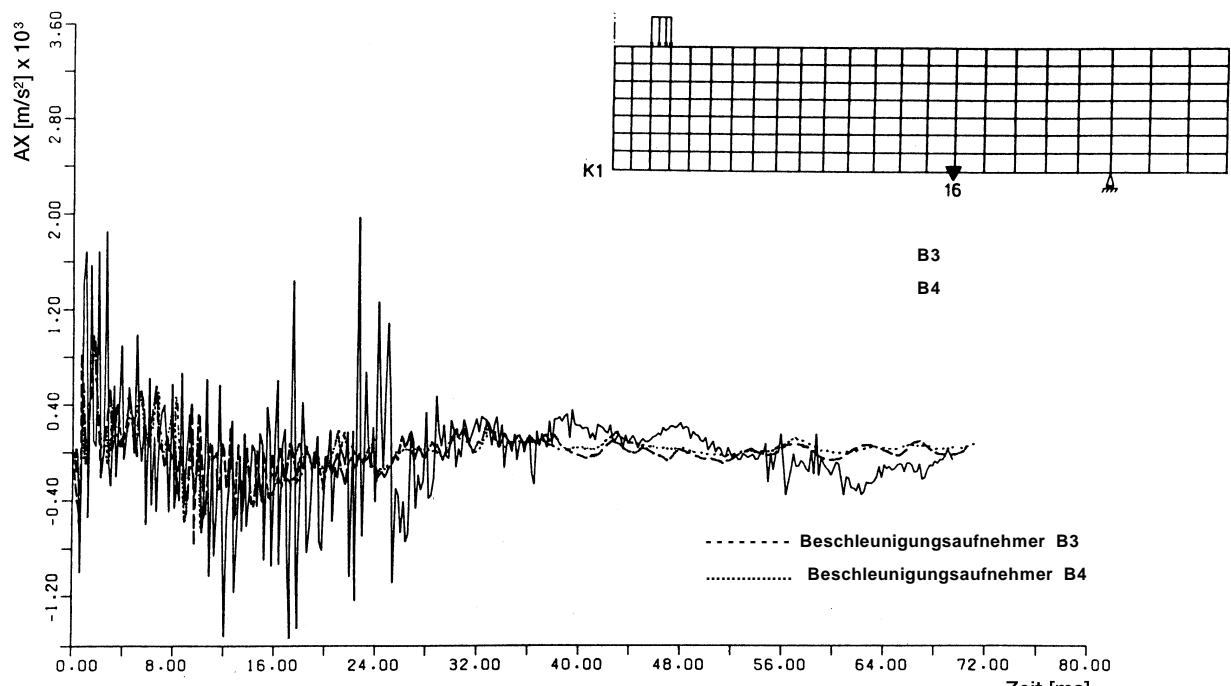
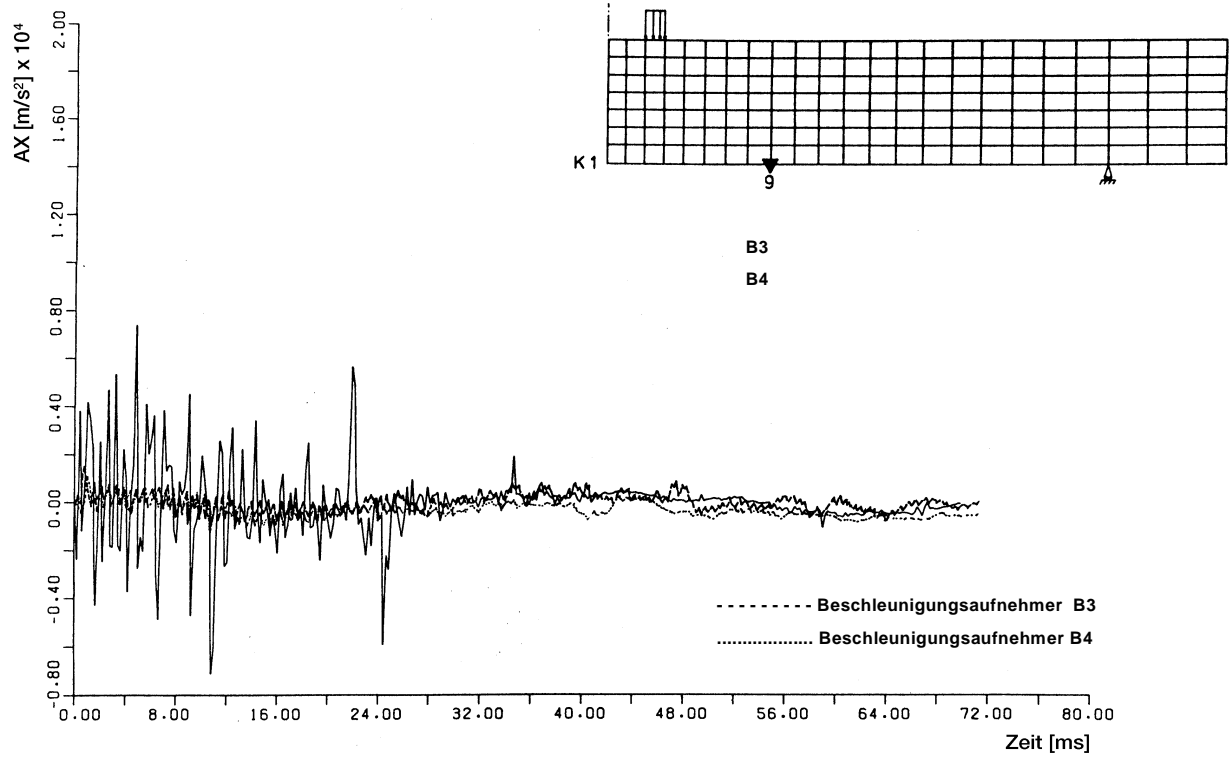
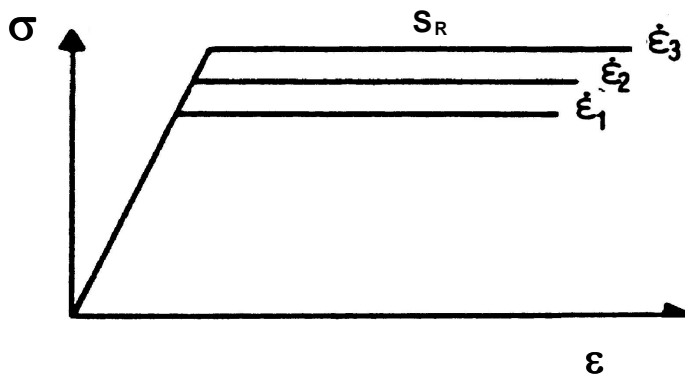
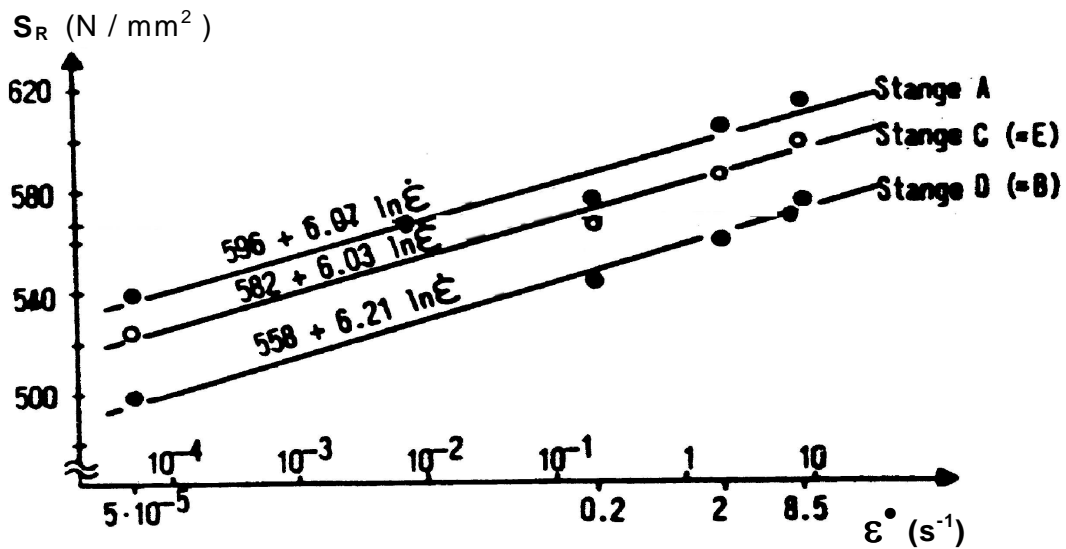


Fig. 4-33: MEPPEN-Versuch II/18, Vergleich der gemessenen und vorausberechneten Beschleunigungszeitverläufe [4-50] und [4-51]



Steigerung der Zugfestigkeit von Bewehrungsstahl mit linear-elastisch / ideal plastischer Spannungsbeziehung bei $\dot{\epsilon}_1 > \dot{\epsilon}_2 > \dot{\epsilon}_3$



Abhängigkeit der Zugfestigkeit S_R von der Dehngeschwindigkeit für Bewehrungsstahl BSt 420/500 RK [4-25]

Fig. 4-34: Spannungs-Dehnungsbeziehungen bei verschiedenen Dehngeschwindigkeiten /4-25/

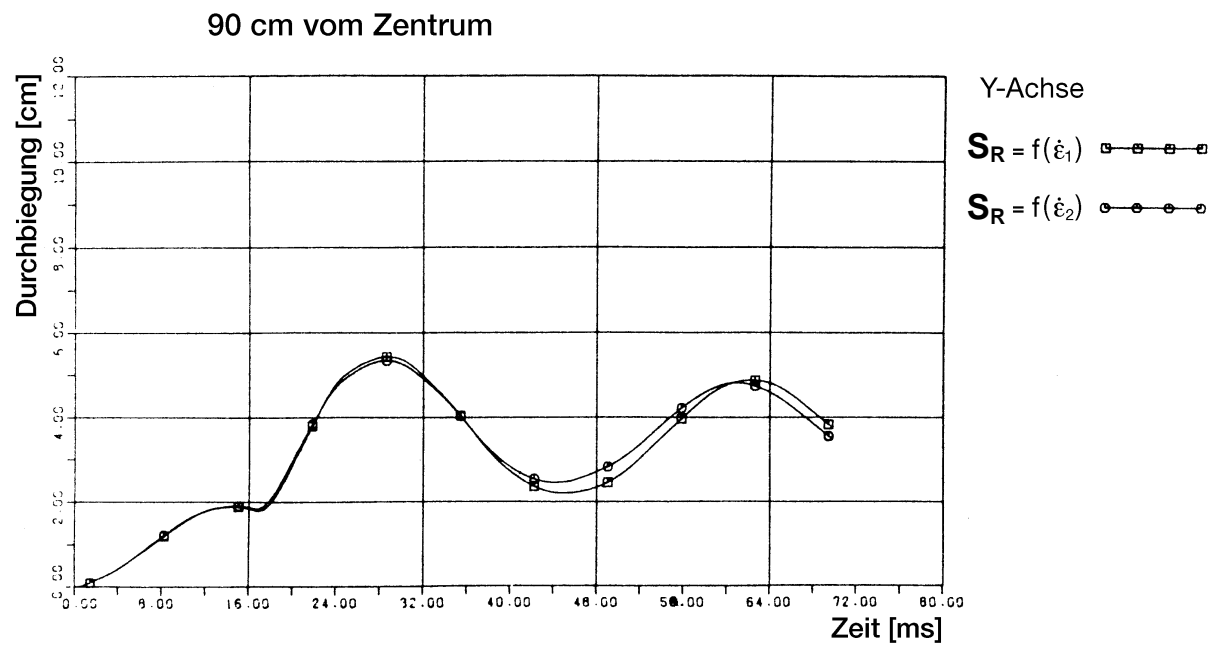
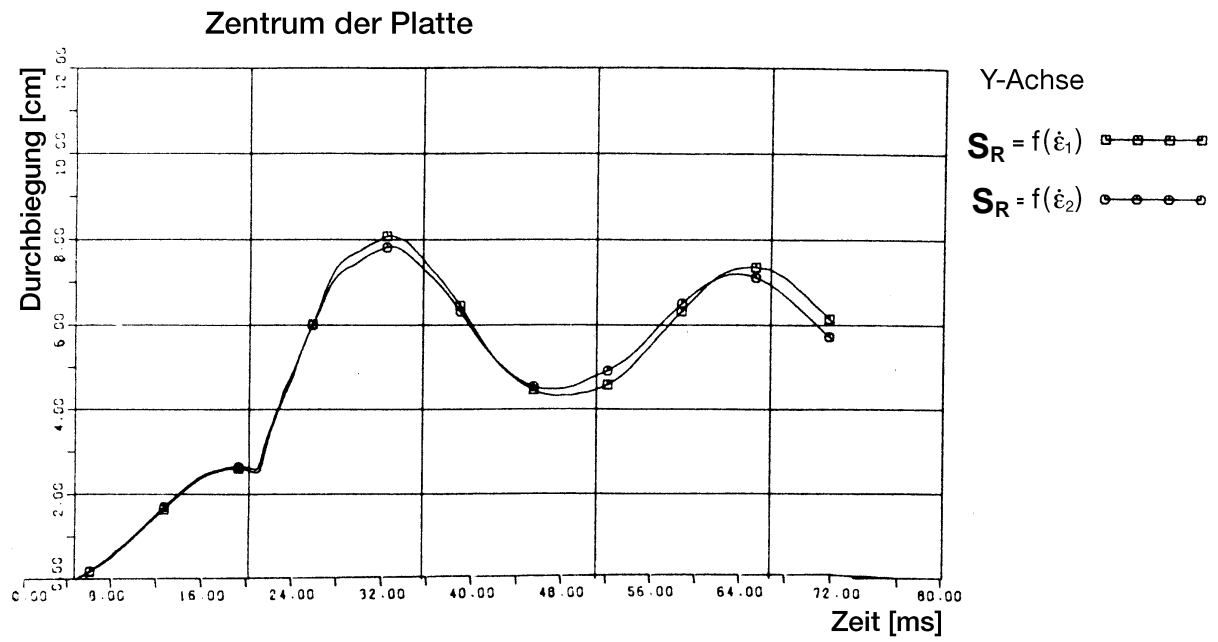


Fig. 4-35: MEPPEN-Versuch II/18, Verformungszeitverlauf für verschiedene Spannungs-Dehnungsbeziehungen der Platte (Rückseite) [4-51]

Einfluss der Modellabbildung

Zwecks Ergründung der Zulässigkeit der Abbildung einer quadratischen Stahlbetonplatte anhand einer kreisförmigen Platte mit äquivalentem Radius wurden für einen typischen Versuch (II/18) Berechnungen sowohl mit axisymmetrischer als auch 3-dimensionaler Abbildung (Fig. 4-36) durchgeführt.

Die charakteristischen Ergebnisse aus beiden nichtlinearen Berechnungen wurden anhand von grafischen Gegenüberstellungen verglichen. Hierdurch kann eine direkte Bewertung sowohl bezüglich der Relation der Maximalwerte als auch des zeitlichen Charakters der Verschiebungs- und Geschwindigkeitszeitverläufe vorgenommen werden.

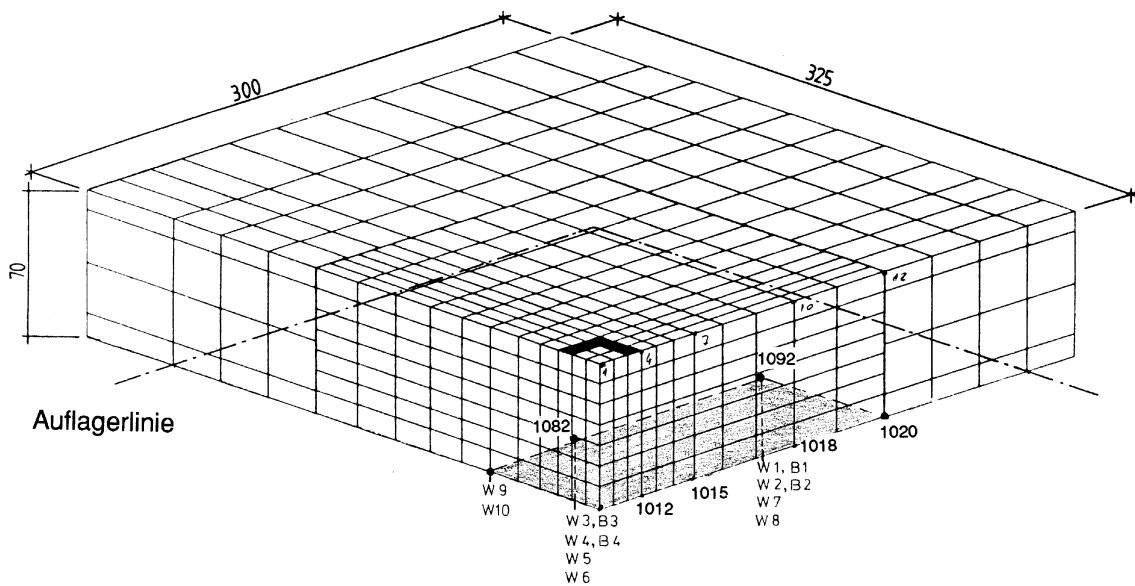


Fig. 4-36: MEPPEN-Versuch II/18, Zuordnung der Mess- und Berechnungspunkte der Bewegungsgrößen (3D-Modell) [4-49]

Für die Plattenmitte sowie für Ausgabepunkte in ca. 90 cm Entfernung vom Zentrum wurden in Fig. 4-37 und 4-38 die Zeitverläufe der Verschiebungen und Geschwindigkeiten dargestellt. Es kann festgestellt werden, dass der Charakter der für beide Modellabbildungsarten ermittelten Zeitverläufe gut vergleichbar ist. Die Verformung der 3-dimensionalen Platte mit rechteckiger Auflagerung ist erwartungsgemäß größer (besonders im Plattenzentrum) als die der äquivalenten Kreisringplatte. Im übrigen Bereich sind die Unterschiede jedoch aus praktischer Sicht akzeptabel.

In Fig. 4-39 sowie 4-40 wurden dagegen für einen charakteristischen Zeitpunkt die ermittelten Verformungs- und Rissausbreitungsbilder sowie das aus der 3D-Berechnung resultierende räumliche Rissausbreitungsbild der Platte (Fig. 4-41) dargestellt.

Gegenübergestellt wurde schließlich die bei Anwendung der verschiedenen Modellabbildungen abgeleitete Auflagerkraft (Fig. 4-42).

Der rotationssymmetrische Charakter der Riss- und Spannungsbilder rund um den Aufprallbereich (s. Fig. 4-41) beweist, dass die Form der Auflagerlinie auf das Verhalten des Innenbereichs der Platte von untergeordneter Bedeutung ist. Auf der Basis der Ergebnisse und der zugänglichen Informationen über die gemessenen Größen kann auch eine relativ gute qualitative Übereinstimmung der Verformung, Dehnung sowie der Rissausbreitung festgestellt werden.

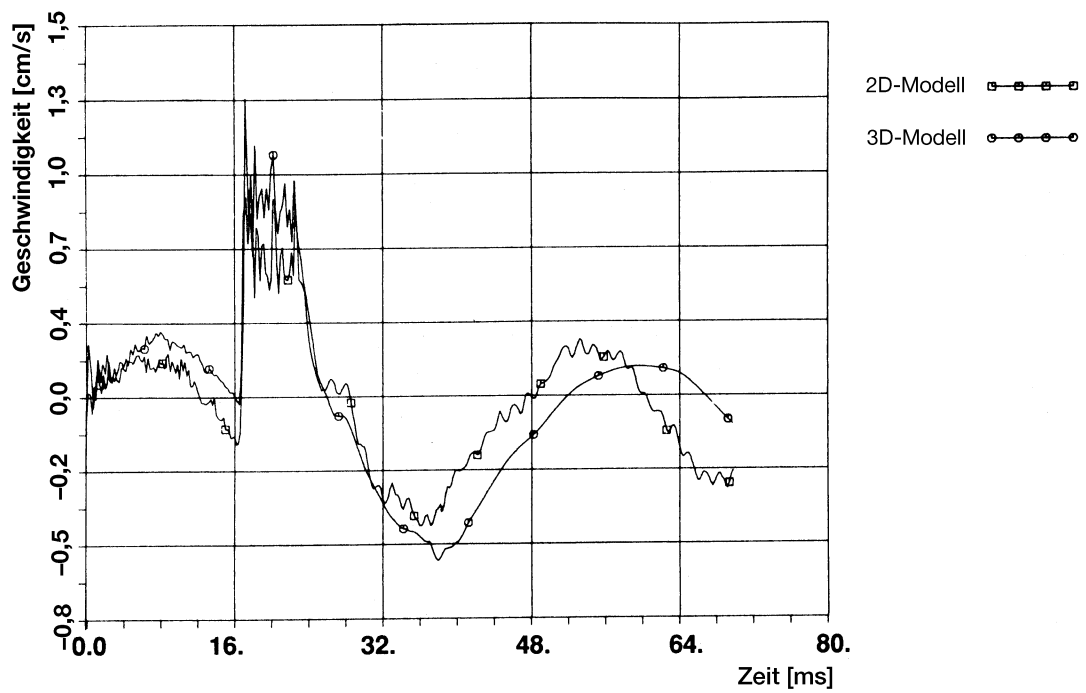
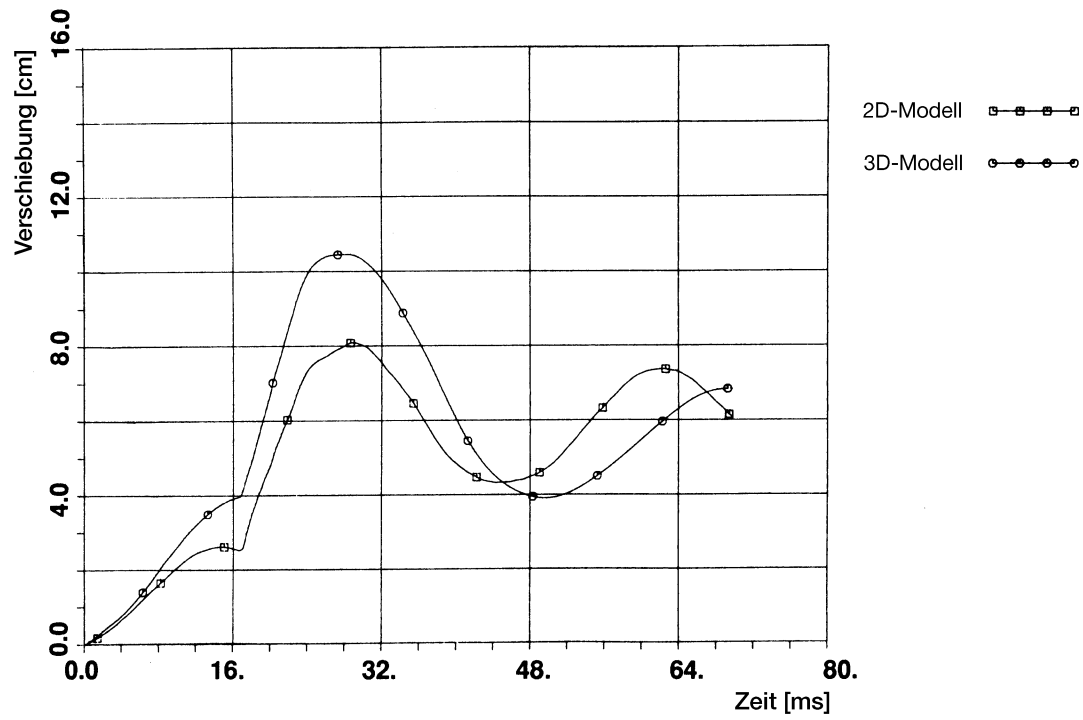


Fig. 4-37: MEPPEN-Versuch II/18, Zeitverläufe der Verschiebungen und Geschwindigkeiten im Zentrum der Platte (Rückseite) [4-47b], [4-49]

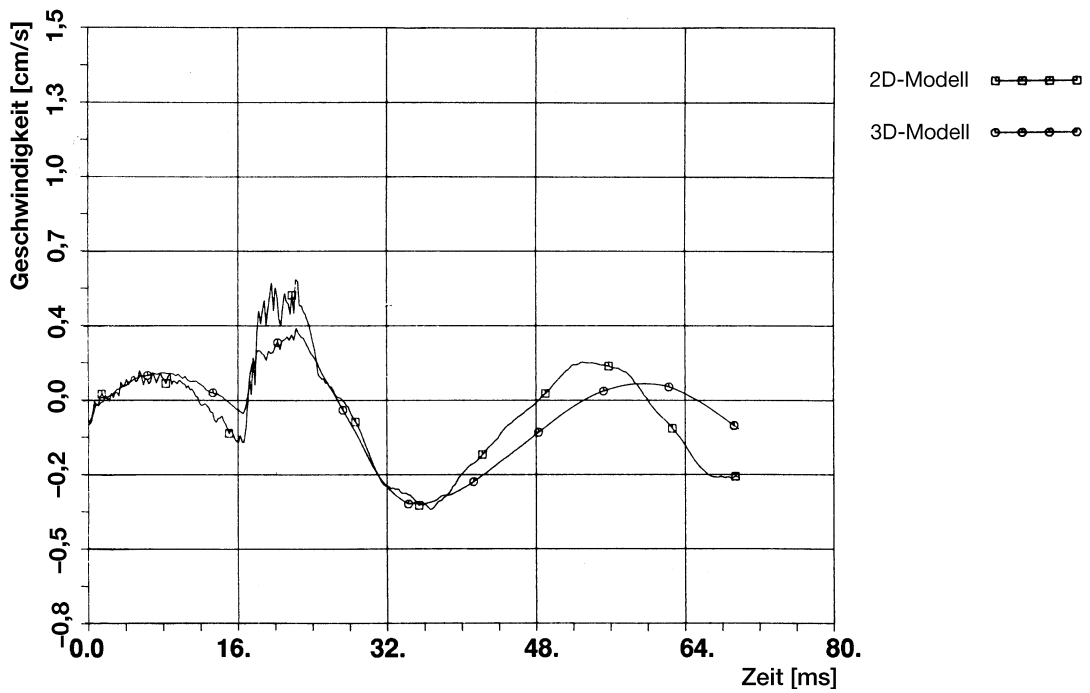
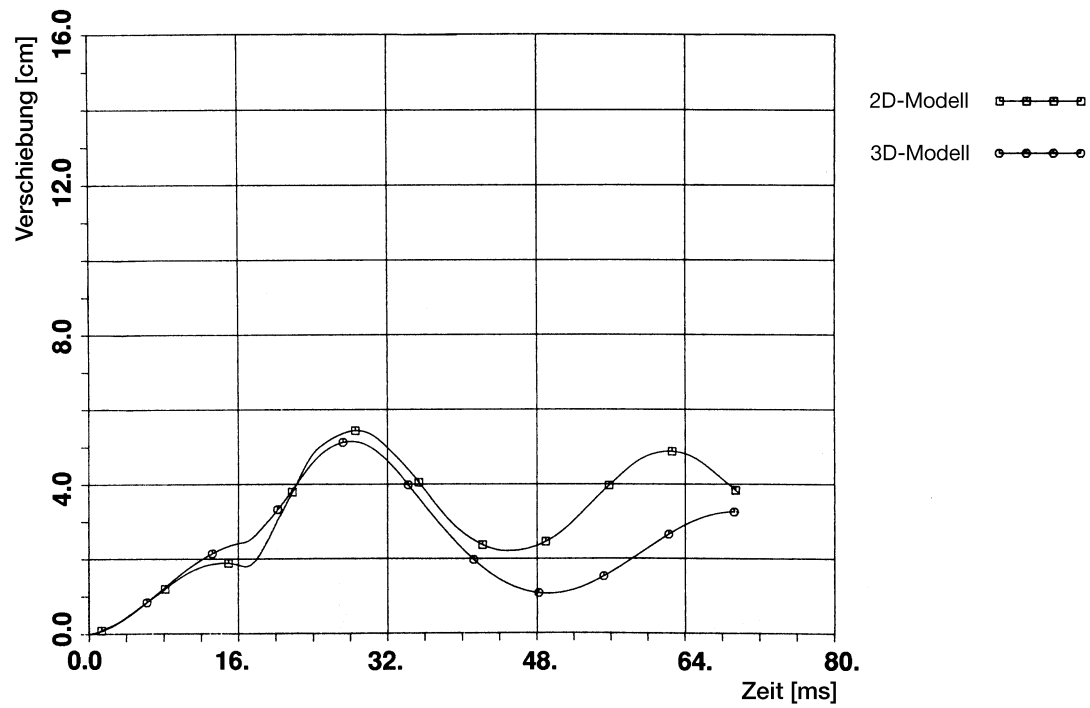
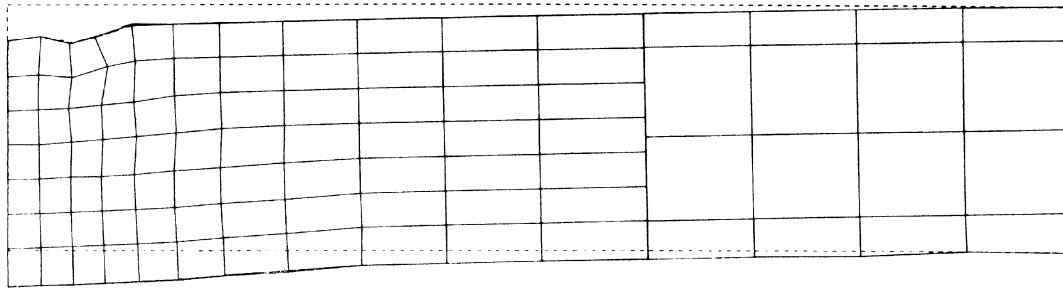
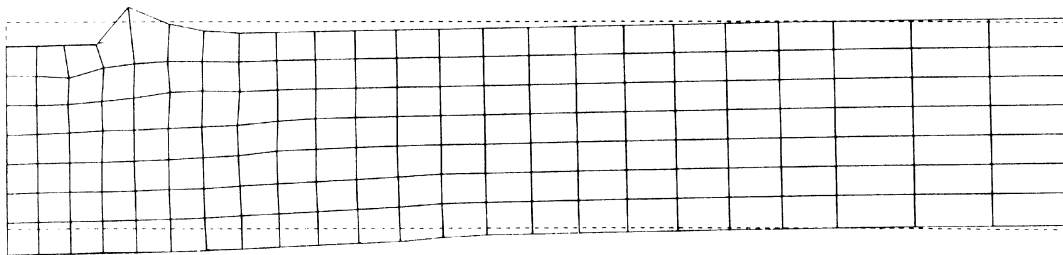


Fig. 4-38: MEPPEN-Versuch II/18, Zeitverläufe der Verschiebung und Geschwindigkeit in 90 cm Abstand von der Mittelachse (Rückseite) [4-47b], [4-49]

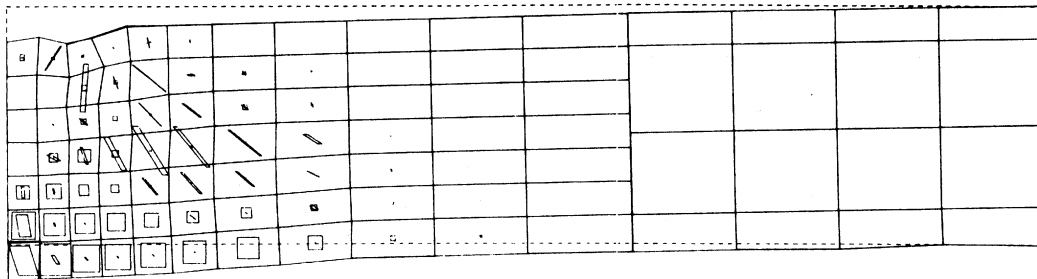


3D-Modell

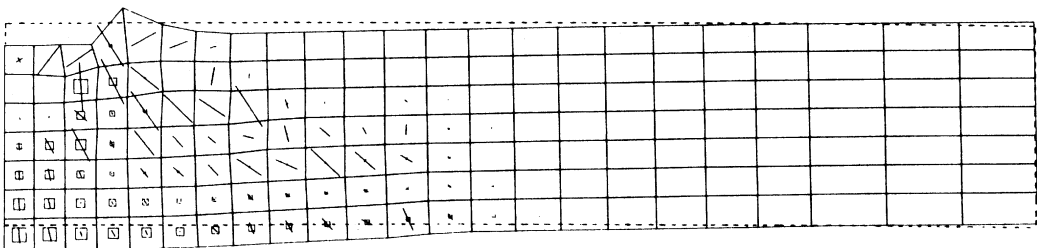


2D-Modell

Fig. 4-39: Vorausberechnete Verformungsbilder der Stahlbetonplatte, Zeitpunkt 28 ms Platte II/18 [4-47b], [4-49]



3D-Modell



2D-Modell

Fig. 4-40: MEPPEN-Versuch II/18, Vorausberechnete Rissausbreitungsbilder der Betonstruktur zum Zeitpunkt 28 ms (Radial- und Umfangsrisse) [4-47b], [4-49]

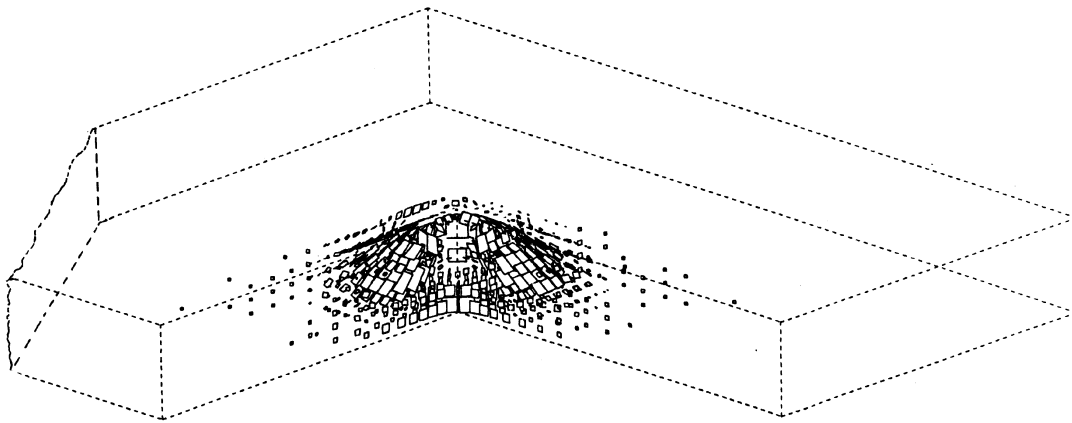


Fig. 4-41: Rissbild der 3D-abgebildeten Platte bei 28 ms, MEPPEN-Versuch II/18 [4-49]

4.1.3 Stand der Erkenntnis zum nichtlinearen Betonverhalten

Anhand der bisher durchgeführten Berechnungen zum lokalen Verhalten von Betonstrukturen beim Lastfall Flugzeugabsturz wurden umfangreiche Erfahrungen mit der Anwendung verschiedener Rechenmethoden und Rechenprogramme zur Untersuchung des nichtlinearen Betonverhaltens gesammelt. Sie bildeten die Basis für eine Reihe von zwischenzeitlich erstellten projektbezogenen Untersuchungen und der praktischen Auslegung verschiedener Anlagen.

Ausgangspunkt der hier analysierten Untersuchungen waren zweidimensionale (axisymmetrische) bzw. dreidimensionale Rechenmodelle, welche den geometrischen Eigenschaften der quadratischen Platte Rechnung trugen. Die Biegebewehrungen der Platten wurden in den äußeren Schichten der idealisierten Platte, die Schubbewehrung dagegen wird entsprechend in den 6 inneren Elementen der Elementreihen repräsentiert.

Den Verbundwerkstoffen Beton und Stahl wurden realistische Materialeigenschaften zugeschrieben, wobei die bei den hohen Dehngeschwindigkeiten des Stahls zu erwartenden Verfestigungseffekte mitberücksichtigt werden [4-51/].

Das kinematische Bruchverhalten des Verbundwerkstoffs „Stahlbeton“ wurde mittels spezieller Materialmodelle erfasst. Anhand der verifizierten Materialmodelle (REINCON und BETMOD) werden die Spannungszustände in beiden über die Verbundwirkung gekoppelten Werkstoffen errechnet und superponiert. In o.g. Materialmodellen werden, wie bereits erläutert, mehrere den Bruchrissausbreitungs- und Fließvorgang begleitende Effekte simuliert.

Auf der Basis dieser analytischen Ergebnisse und zugänglichen Informationen über die gemessenen Größen war eine quantitative Beurteilung der Übereinstimmung der Verformungen und Rissbilder sowie der visuell erkennbaren Zerstörungsbilder und somit eine direkte Bewertung der Erfassbarkeit der Vorgänge anhand der angewandten Materialmodelle möglich. Es konnte eine weitere Eingrenzung der Phänomene, die einen wichtigen Einfluss auf das Verhalten des Projektils und der Platten hat, vorgenommen werden. Insbesondere konnte aufgrund der relativ guten Übereinstimmung der Ergebnisse, die unter Anwendung der zwei- und dreidimensionalen Rechenmodelle gewonnen wurden, festgestellt werden, dass das nichtlineare Verhalten (rechteckiger Meppen-Platten) anhand von äquivalenten zweidimensionalen Rechenmodellen erfasst werden kann.

Geklärt wurden durch die Vorausrechnungen und Vergleiche mit Messergebnissen ebenfalls eine Reihe weiterer Fragen, insbesondere zum Einfluss der Nachgiebigkeit der Platte auf den Knautschvorgang des Projektils und zum Einfluss der Dehngeschwindigkeit der Bewehrung auf die Ergebnisse nichtlinearer Berechnungen für bewehrten Beton.

Es kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der nichtlinearen Berechnungen in bezug auf die Annäherung an das wirkliche Materialverhalten von bewehrtem Beton weitgehend abhängig sind von der Richtigkeit der Simulation der o.g. nichtlinearen Effekte. Anhand der nichtlinearen Voraus- und Nachrechnungen der MEPPEN-Platten konnte jedoch die Richtigkeit der getroffenen Annahmen zum Materialverhalten weitgehend bestätigt werden.

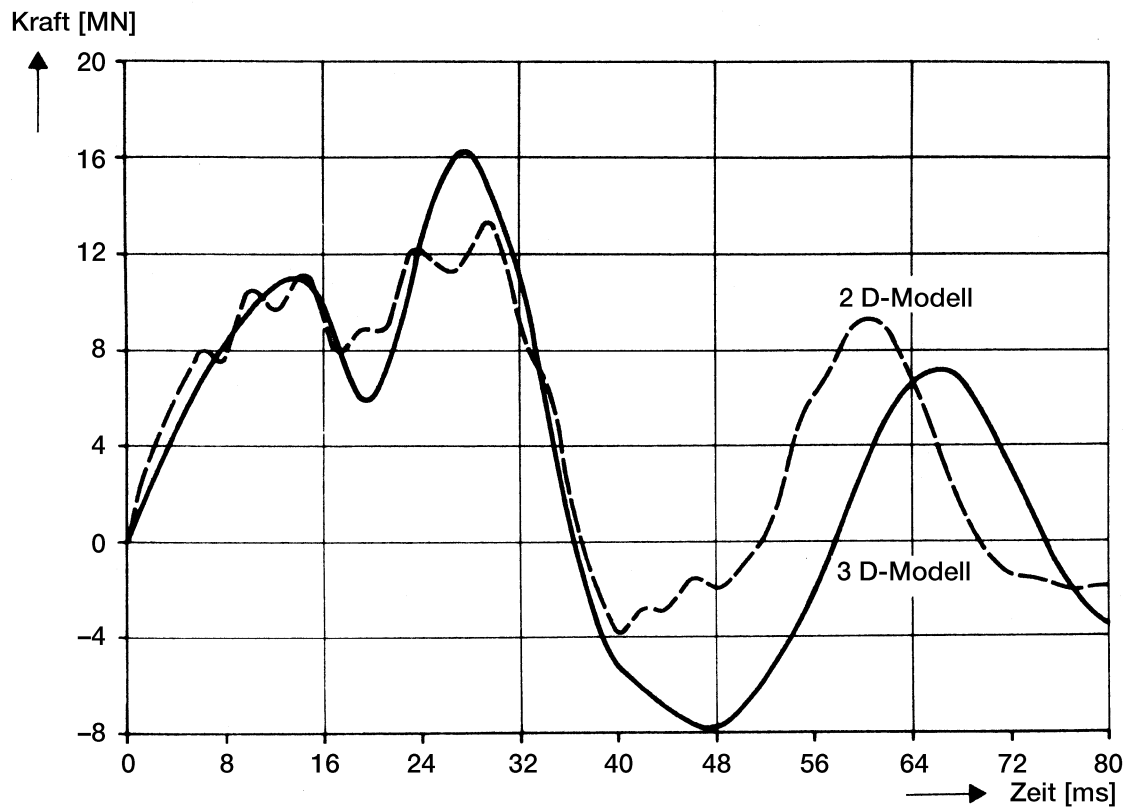


Fig. 4-42: Zeitverlauf der Auflagerkräfte [4-47b], [4-49]

4.2 Strukturantworten typischer Bauwerke bei Berücksichtigung nichtlinearer Effekte im Aufprallbereich

4.2.1 Einleitung

Anhand einer Reihe von bisher durchgeführten Berechnungen zum lokalen nichtlinearen Verhalten verschiedener Gebäudestrukturen beim Lastfall Flugzeugabsturz (insbesondere /4-2/, /4-3/, /4-5/, /4-11/, /4-12/, /4-15/, /4-16/, /4-20/, /4-26/ bis /4-28/, /4-35/ bis /4-39/, /4-44/ bis /4-46/, /4-59/, /4-64/, /4-67/, /4-69/ und /4-74/ sowie den Schlussfolgerungen aus /4-3/, /4-15/, /4-26/, /4-38/, /4-46/ und /4-67/ wurden methodische Verfahren für eine analytische Quantifizierung der reellen, im beaufschlagten Bereich auf die Gebäude eingeleiteten Belastungen geschaffen.

Anstelle verallgemeinerter für alle Aufprallorte eines Flugkörpers vorgegebenen /2-10/ Hartstoßfunktionen (Fig. 2-1) konnte nun eine der konstruktiven Gestaltung, Bemessung und Bewehrung entsprechende (die Steifigkeit des Aufprallortes berücksichtigende) verifizierte Lastfunktion abgeleitet werden. Die o.g. Untersuchungen führten zu der Erkenntnis, dass bei Berücksichtigung der nichtlinearen Effekte (Durchbiegung, Rissbildung, Fließen und Rutschen der Bewehrung) im Grenzgebiet der plastifizierten Zone die Schnittgrößen gegenüber denen einer elastischen Berechnung einen merklich veränderten Charakter haben.

Die hieraus resultierenden verifizierten Lastzeitfunktionen sind charakterisiert durch ein niedrigeres Lastniveau und eine längere Einwirkungszeit (Fig. 4-43).

Werden bei den strukturdynamischen Berechnungen zur Ermittlung des dynamischen Responses von Gebäudestrukturen anstelle der vorgegebenen Hartstoß-Lastfunktion /2-10/ die ortsbezogenen modifizierten Lastfunktionen angesetzt /4-12/, /4-15/, /4-37/ und /4-38/, so gelangt man im allgemeinen zu einem (um ca. 30 bis 50 %) niedrigeren dynamischen Response /4-27/, /4-35/, /4-38/, /4-45/ und /4-46/.

In diesem Kapitel werden eingangs die für charakteristische Gebäudebereiche ermittelten modifizierten Lastzeitfunktionen gegenübergestellt und diskutiert. Im Anschluss daran werden an Beispielen von Berechnungen für typische Reaktor- und Notspeisegebäude unter Anwendung der vorgegebenen Hartstoß-Lastzeitfunktion (HLF) und der ermittelten modifizierten Lastfunktionen (MLF) die Ergebnisse (Strukturantworten) verglichen und aus Sicht der Auswirkungen auf die Komponentenauslegung bewertet.

4.2.2 Konservativitäten vorgegebener Lastfunktionen

Die vorgegebene (Fig. 2-1) Hartstoß-Lastzeitfunktion (HLF) wurde für idealisierte Bedingungen am Aufprallort abgeleitet. Sie gilt in dieser Form lediglich für einen unendlich steifen Aufprallort.

In den Aufprallbereichen der nach geltenden Regelwerken /2-47/ ausgelegten Außenwände eines Gebäudes sind jedoch aufgrund der „Dünnwandigkeitsverhältnisse“ beachtliche plastische Effekte zu erwarten /4-12/, /4-15/, /4-37/ und /4-38/.

Dies führt besonders in ungestörten (Kugel-, Zylinder- und Platten-) Bereichen der Außenwände bereichsweise zu beachtlichem Energieverzehr und einer Verlängerung der Wirkungsdauer der Stoßlastfunktion.

Aufgrund der eintretenden beachtlichen Deformationen ist lokal ebenfalls ein größeres Dämpfungsvermögen (als beim Lastfall Erdbeben) zu erwarten.

Bei Vernachlässigung der o.g. Effekte und Annahme linear-elastischer Bedingungen am Aufprallort /2-11/, /2-15/, /2-26/ und /2-27/ gelangt man zu beachtlich höheren Antwortspektren als bei Berücksichtigung des wirklichkeitsnahen lokalen Materialverhaltens.

Eine weitere Konservativität verbirgt sich in der praktizierten Vorgehensweise zur Ableitung der Auslegungsspektren (Einhüllen der Erschütterungen aus mehreren Auftreffbereichen).

Nicht bedeutungslos auf die reell zu erwartenden Strukturantworten sind Rückwirkungseffekte von Komponenten am Aufstellort. Bei flugzeugabsturzinduzierten Erschütterungen, die zu großen Beschleunigungskräften und daher zu Bauwerksbelastungen am Aufstellort von Komponenten führen, sind örtliche Plastifizierung des Betons, Anstieg des Dämpfungsvermögens im Verankerungsbereich und in der Konsequenz eine Reduktion der auf die Komponente wirkenden Beschleunigungen (plastische Spektren) zu erwarten /4-56/.

4.2.3 Modifikation der vorgegebenen Lastfunktion für die Gegebenheiten am Aufprallort

Die modifizierten, äquivalenten Ersatzlastzeitfunktionen werden nacheinander in folgenden Schritten abgeleitet. Ausgehend von einem detaillierten Rechenmodell des beaufschlagten Bereiches der Außenstruktur sowie der vorgegebenen Hartstoßlastfunktion (HLF) wird jeweils eine komplexe nichtlineare Berechnung durchgeführt.

Ergebnis dieser Berechnungen sind Zeitverläufe der Verschiebungen, Schnittgrößen und Verformungsbilder der beaufschlagten Bereiche sowie alle erforderlichen Informationen über die Größe der auftretenden Risse im Beton und Plastifizierung im Stahl (Fig. 4-49). Anhand der o.g. Rissbilder lässt sich der Grenzbereich zwischen den nichtlinear und linear beanspruchten Strukturen festlegen /4-49/.

Die für den charakteristischen Bereich (Grenzbereich) ermittelten Zeitverläufe der Schnittgrößen sind von ausschlaggebender Bedeutung. Sie stellen die reelle Belastung der komplexen Gebäudestrukturen außerhalb des Auftreffbereiches dar, die im linear-elastischen Zustand verblieben sind. Die Zeitverläufe der Schnittgrößen bilden die Grundlage für die Ableitung einer modifizierten (die reellen Gegebenheiten am Aufprallort erfassenden) Lastzeitfunktion (MLF). Sie wird durch eine Abgleichsrechnung bestimmt, in der eine Lastfunktion gesucht wird, die auf die gleiche Außenstruktur wirkend (für die auch im Aufprallbereich linear-elastisches Materialverhalten unterstellt wird) in einer charakteristischen Schnittstelle in der Grenzzone die gleichen Schnittgrößenzeitverläufe wie die nichtlineare Berechnung liefert.

Zur Absicherung der modifizierten Lastzeitfunktion werden der dynamische Response der Gebäudestrukturen einerseits ausgehend von ermittelten Zeitverläufen der Schnittgrößen in der Grenzzone (angesetzt am komplexen Gebäudemodell) Fig. 4-50 und 4-51, andererseits unter Anwendung der am gleichen Aufprallpunkt wirkenden modifizierten Lastfunktion ermittelt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen (Spektren) werden miteinander verglichen.

4.2.3.1 Charakteristische Strukturbereiche

Die hier dargestellten Untersuchungen wurden basierend auf den aktuellen Abmessungen eines Standard-Reaktorgebäudes (Fig. 2-13) und Notspeisegebäudes (Fig. 2-14) durchgeführt. Sie wurden für charakteristische Aufprallbereiche (Kugel-, Zylinder-, Platten- sowie Kanten- und Eckbereiche) vorgenommen.

4.2.3.2 Rechenmodelle

Der Lastfall Flugzeugabsturz stellt eine relativ kurze Impulsbelastung dar. Die infolge dieser Belastung induzierten Erschütterungen breiten sich, verglichen mit der Zeitdauer der Vorgänge im örtlichen Aufschlagbereich, „relativ langsam“ auf das gesamte Gebäude aus. Zwecks Erfassung dieser Vorgänge wurde daher nur ein begrenzter Bereich der beaufschlagten Struktur detailliert modelliert. Um die eventuell auftretenden Einflüsse (z.B. Steifigkeit) in den zum beaufschlagten Strukturbereich benachbarten Zonen erfassen zu können, wurde in der Regel ein entsprechend großer Bereich des Gebäudes im nichtlinearen Rechenmodell erfasst (Fig. 4-43 bzw. 4-49).

Kugelbereich des Reaktorgebäudes

Das der Berechnung zugrundegelegte Globalmodell /4-12/, /4-15/ und /4-45/ ist in Fig. 4-43 dargestellt. Hiernach wurde die gesamte Außenhülle sowohl im Kugel-, als auch im Zylinderbereich mittels äquivalenter Schalenelemente abgebildet. Zwecks Erfassung des lokalen (nichtlinearen) Verhaltens im Aufprallbereich wird für einen entsprechenden Bereich eine verfeinerte Modellierung vorgenommen. Die Berechnungen wurden mit durch Großversuche /4-17/, /4-19/ verifizierten Rechenprogrammen und Materialmodellen durchgeführt /4-40/, /4-57/. Das „Lokalmodell“ erstreckt sich hier bis zu einem Radius von ca. 15,0 m.

Die Wandstärke mit insgesamt 1,8 m wurde in mehrere Schichten von axisymmetrischen Elementen aufgeteilt. In Meridianrichtung der Kugelschale sowie der anschließenden dünnen Zylinderschale wurde ebenfalls eine entsprechend feine Diskretisierung angenommen. Die Bewehrungsanteile entsprechen denen eines Standard-DWR-Reaktorgebäudes.

Die angewendeten Werkstoffeigenschaften für den Beton und die Stahlbewehrung der Kugelkappe wurden in Tab. 4-6 und 4-7 zusammengestellt.

Zylinderbereich des Reaktorgebäudes

Die der Berechnung zugrundegelegte Geometrie des Zylinderbereiches (der Reaktorgebäudewand) wurde in Fig. /4-15/, /4-44/, /4-45/ dargestellt.

Aufgrund der vorhandenen Symmetriebedingungen wurde die Berechnung für ein Viertel dieses Teilbereiches durchgeführt. Dieser Ausschnitt (Höhe 30 m, Radius 30,5 m, Halbwinkel ca. 28,30°) wurde besonders im beaufschlagten Bereich entsprechend fein abgebildet. Die Wandstärke der Platte wurde in 4 Schichten aufgeteilt.

Die Auftrefffläche wird durch eine Rechteckfläche von 7 m² abgebildet (Fläche des auftreffenden Flugzeuges).

Die angewandten Materialeigenschaften für Beton und Stahl sind aus Tabelle 4-6 und 4-7 zu entnehmen.

Kenngröße		
Reaktorgebäude	- E-Modul	35 000 MN/m ²
	- Druckfestigkeit	35 MN/m ²
	- zulässige Zugspannung	3,5 MN/m ²
	- Poissonzahl	0,25
	- Dichte	2,5 t/m ³
Notspeisegebäude	- E-Modul	30 000 MN/m ²
	- Druckfestigkeit	30 MN/m ²
	- zulässige Zugspannung	3,0 MN/m ²
	- Poissonzahl	0,20
	- Dichte	2,50 t/m ³

Tab. 4-6: Materialkenndaten für Beton /4-15/, /4-39/

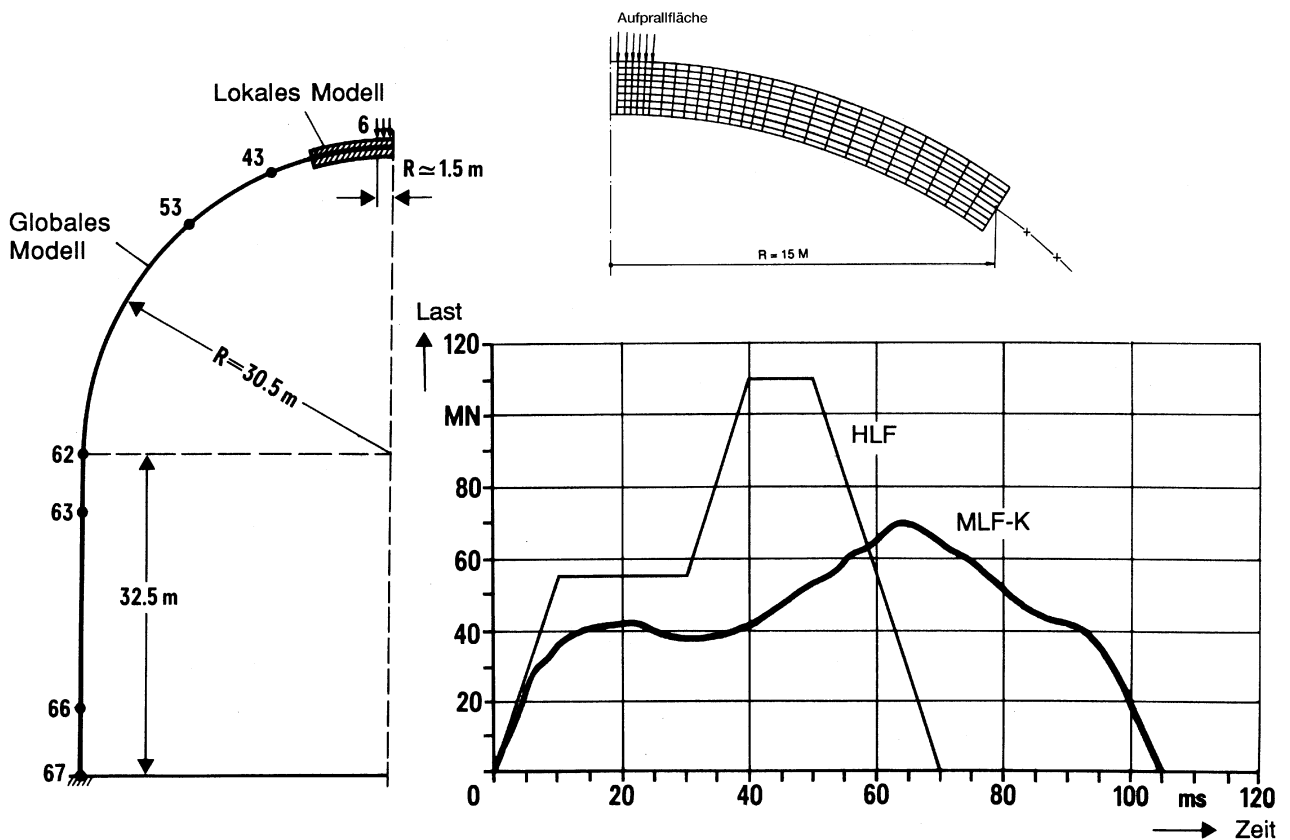


Fig. 4-43: Modifizierte Lastfunktion für den Aufprall im Kugelbereich (MLF-K) der Außenhülle eines axisymmetrischen Reaktorgebäudes /4-15/, /4-45/

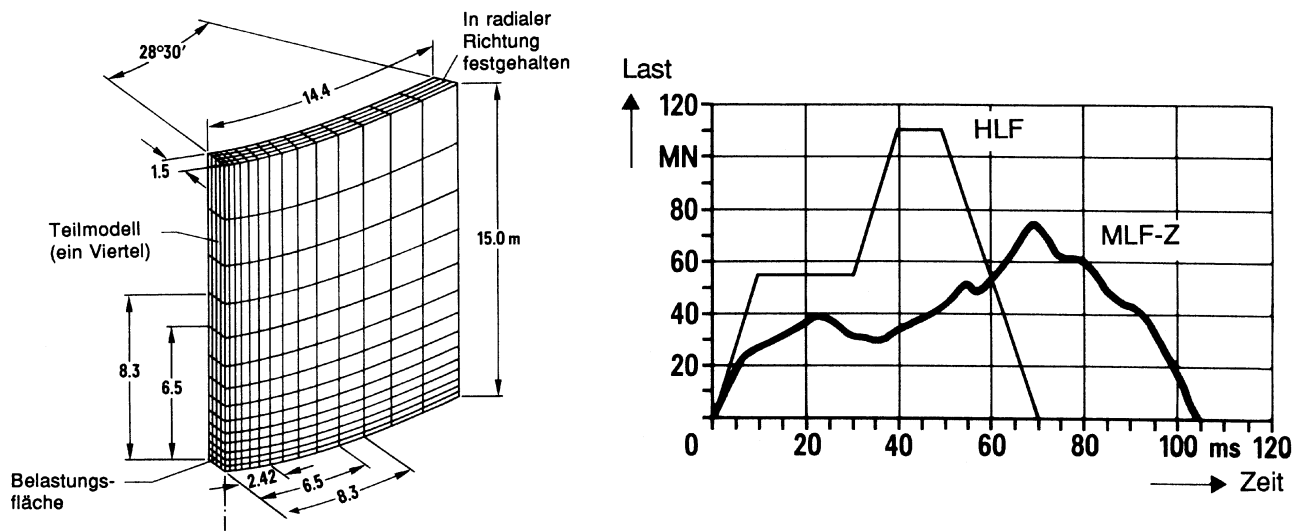


Fig. 4-44: Modifizierte Lastfunktion (MLF-Z) für den Aufprall im Zylinderbereich eines axisymmetrischen Gebäudes /4-15/, /4-45/

Bereich	Bewehrungsanteile (cm ² /m)			E-Modul (MN/m ²)	Fließgrenze (MN/m ²)
	tangential	meridian	Schub		
Kugel				2 x 10 ⁵	
BST1080(420)					
– außen	26,6	26,6			
– innen	26,5	26,5			
– quer			43,4		420
Zylinder				2 x 10 ⁵	
BST 1100					
– außen	26,5	26,5			
– innen	26,5	42,4			
– quer			25,8		1100

Tab. 4-7: Bewehrungsanteile und Stahlkennwerte für die Aufprallbereiche bei einem typischen DWR-Reaktorgebäude /4-15/

Ebene Platte

Zwecks Untermauerung der Ergebnisse der dreidimensionalen Berechnungen für den Zylinderbereich (besonders in Meridianrichtung) sowie Ableitung einer verifizierten Lastzeitfunktion für Seitenwände und Deckenbereiche kastenförmiger Gebäude wurden Untersuchungen für äquivalente ebene Platten durchgeführt (Fig. 4-45).

Ausgangspunkt der Untersuchungen war ein zweidimensionales Rechenmodell, in dem die Platte im Aufprallbereich detailliert und außerhalb (bis zu einem Radius von ca. 28 m) mit Schalenelementen diskretisiert wurde /4-45/, /4-39/.

Die Betongüte, Bewehrungsanteil und Stahlkennwerte wurden entsprechend den Gegebenheiten, die bei typischen Reaktor- bzw. Notspeisegebäuden vorkommen, angenommen.

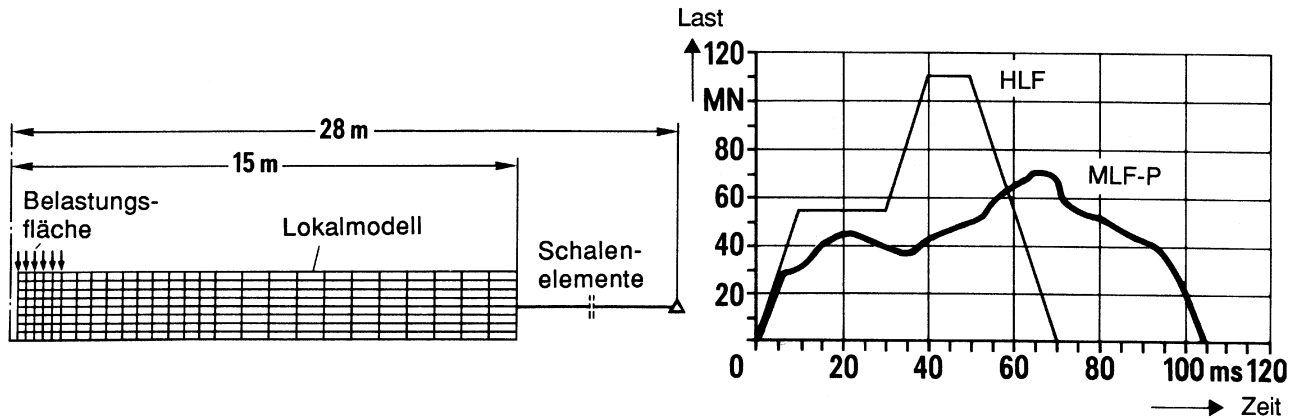


Fig. 4-45: Modifizierte Lastfunktion (MLF-P) für den Aufprall auf eine große kreisförmige Platte /4-39/

Verstärkte Bereiche abschirmender Bauwerke

Das Rechenmodell des betrachteten Gebäudeteilbereichs (ebene Deckenplatte mit Abmessungen ca. 25 x 30 m) ist in Fig. 4-46 dargestellt /4-38/ und /4-39/.

Im Aufprallzentrum sowie im benachbarten Bereich wurde ein verfeinertes Knotennetz angenommen. Die Gebäudedecke ist im Aufprallbereich 2,5 m dick, im Anschlussbereich mit den Vertikalwänden ca. 2,25 m.

Außerhalb dieses Bereiches wird das Rechenmodell mit größerem Knotennetz fortgesetzt. Zwecks Erfassung des Einflusses der Randbedingungen im Bereich der Auflagerung der Decke auf die Vertikalwände wurden im Randbereich äquivalente Federsteifigkeiten eingeführt.

Die Elementierung sowie die Materialeigenschaften entsprechen dem Detailmodell der großen Platte. Die Platte ist am Außenrand gelagert bzw. eingespannt.

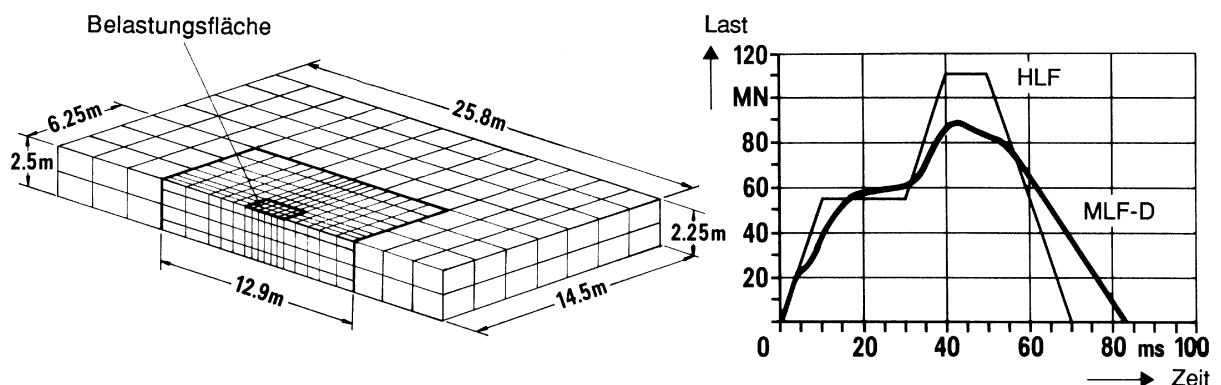


Fig. 4-46: Modifizierte Lastfunktion (MLF-D) für den Aufprall im verstärkten Deckenbereich eines abschirmenden Gebäudes /4-38/ und /4-39/

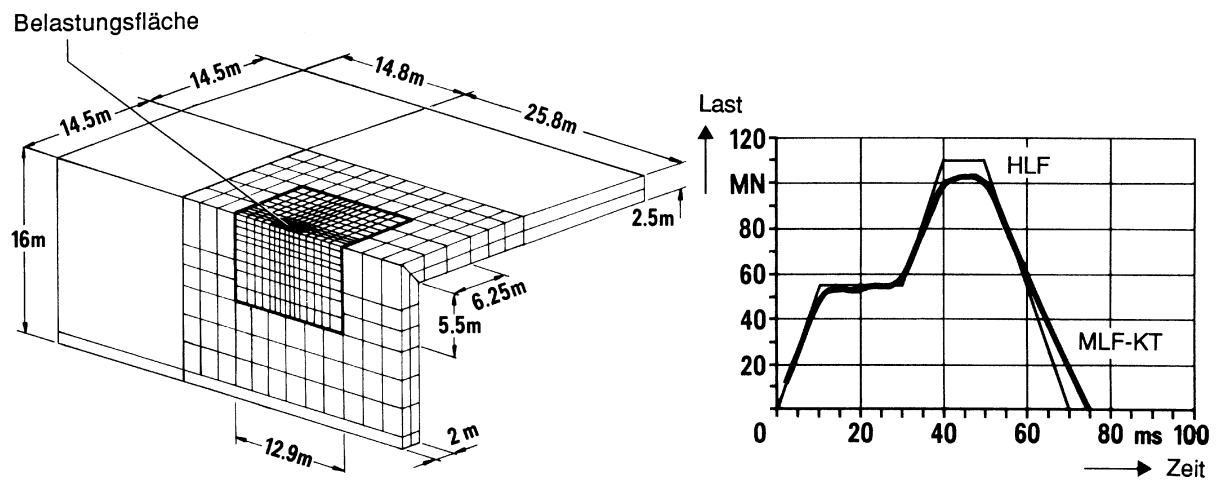


Fig. 4-47: Modifizierte Lastfunktion (MLF-KT) für den Aufprall im verstärkten Kantenbereich eines abschirmenden Gebäudes /4-38/, /4-39/

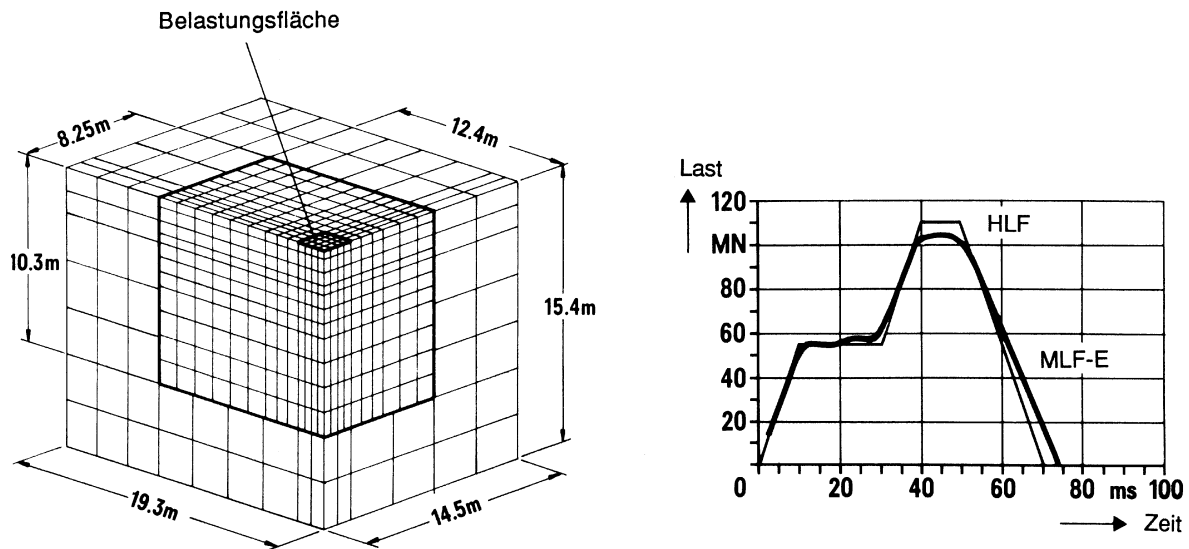


Fig. 4-48: Modifizierte Lastfunktion (MLF-E) für den Aufprall im Eckenbereich eines abschirmenden Gebäudes /4-37/ bis /4-39/

Die für je einen typischen Aufprallpunkt im Kanten- und Eckenbereich eines abschirmenden Gebäudes angewandten Rechenmodelle wurden in Fig. 4-47 und 4-48 dargestellt. Es ist jeweils eine dreidimensionale Idealisierung eines entsprechend großen Ausschnittes der Struktur. Wie aus obigen Figuren zu ersehen ist, kann hier durch Mitverfassung der nichtlinearen Effekte die Hartstoßlastfunktion nur in geringem Maße modifiziert werden.

4.2.3.3 Berechnungsverfahren und Materialmodelle

Die nichtlinearen dynamischen Berechnungen für die verschiedenen Aufprallbereiche wurden unter Anwendung abgesicherter Rechenprogramme HEMP /4-40/ bzw. NONDYN /4-57/ durchgeführt. Die Programme ermöglichen die analytische Erfassung sowohl des nichtlinearen anisotropen Materialverhaltens von Stahlbeton als auch der geometrischen Nichtlinearitäten.

Die Spannungszustände im Beton und Stahl werden unabhängig voneinander ermittelt und unter Berücksichtigung der Verbundwirkung superponiert.

Das kinematische durch die Formulierungen in den Materialmodellen REINCON bzw. BETMOD erfasste Bruchverhalten des Verbundwerkstoffs Stahlbeton (dokumentiert in Anhängen zu /4-41a/ bzw. /4-49/) kann zusammenfassend mit der folgenden Beschreibung charakterisiert werden:

- Die Bewehrung wird dem Bewehrungsgrad entsprechend im Element verschmiert.
- Innerhalb des Elementes wirken Stahl- und Betonanteile unabhängig, am Elementrand wird Verschiebungsgleichheit angenommen.
- Das Betonverhalten wird durch abschnittsweise konstante Kompressions- und Schubmoduli beschrieben, die von der Dehngeschwindigkeit und dem räumlichen Spannungszustand unabhängig sind.
- Als Bruchhypothese wird im Zustand I das Kriterium der maximalen Hauptspannung verwendet. Im Zustand II wird für den Druckbereich nach Erreichen der eingegebenen Fließspannung kinematische Verfestigung angenommen.
- Bei Zugbeanspruchung reißt der Beton nach Erreichen der Zugbruchspannung senkrecht zu der entsprechenden Hauptspannungsrichtung.
- Das Mittragen des Betons auf Zug zwischen den Rissen (tension stiffening) wird durch den Entfestigungsast der Zugspannungs-Dehnungskurve berücksichtigt.
- Es werden drei zueinander orthogonale Zerstörungsrichtungen des Betons erfasst.
- Die Schubkraftübertragung ist eine Funktion der Rissweite. Die Schubsteifigkeit wird analog zum Zugentfestigungsast des Betons linear auf einen festzulegenden Restwert reduziert.
- Risse im Beton können sich schließen und wieder öffnen. Die Schubsteifigkeit an einem wieder geschlossenen Riss ist von dem Winkel der schiefen Druckstrebe abhängig.
- Es gibt keine Rissverzögerungszeiten, d. h., der Beton reißt sofort bei Erreichen der Zugbeanspruchung. Die dadurch entstehenden Kräfte werden allerdings mit endlicher Geschwindigkeit freigesetzt.
- Es wird ein orthogonales Bewehrungsstahlnetz angenommen.
- Das Materialverhalten des Stahls wird als elasto-plastisch mit Verfestigung angenommen.
- Der Stahl wirkt innerhalb des Elementes als Fachwerkstab, kann also keine Schubkräfte aufnehmen.
- Mehraxiale und dehngeschwindigkeitsabhängige Effekte werden skalar durch Erhöhung der E-Moduli und Fließ- bzw. Bruchspannungen berücksichtigt.

Die Verifikation der in den Materialmodellen enthaltenen Annahmen, Ansätze und physikalischen Eigenschaften erfolgte anhand der mit den unter 4.1 beschriebenen Versuchen an Balken und Platten gewonnenen umfangreichen Ergebnisse.

4.2.3.4 Ableitung modifizierter Lastfunktionen

Die Schnittkräfte in dem an das beaufschlagte Gebiet angrenzenden elastischen Bereich stellen prinzipiell ausreichende Informationen dar, um realistische Berechnungen zur Ermittlung des dynamischen Responses des gesamten Gebäudes durchführen zu können. Aufgrund jedoch der Schwierigkeiten der simultanen Erregung des Gebäudes in den entsprechenden Knotenpunkten der Struktur (besonders im Zylinderbereich) mittels mehrerer Kraft- und Momentenzeitverläufe wird, wie schon erwähnt, anhand einer „Abgleichsrechnung“ eine Lastfunktion abgeleitet, die (bei der Annahme, dass sich das Material im zerstörten Bereich linear-elastisch verhält) in den Grenzbereichen (Fig. 4-50 und 4-51) die gleichen Schnittkräfte wie bei einer nichtlinearen Berechnung liefert.

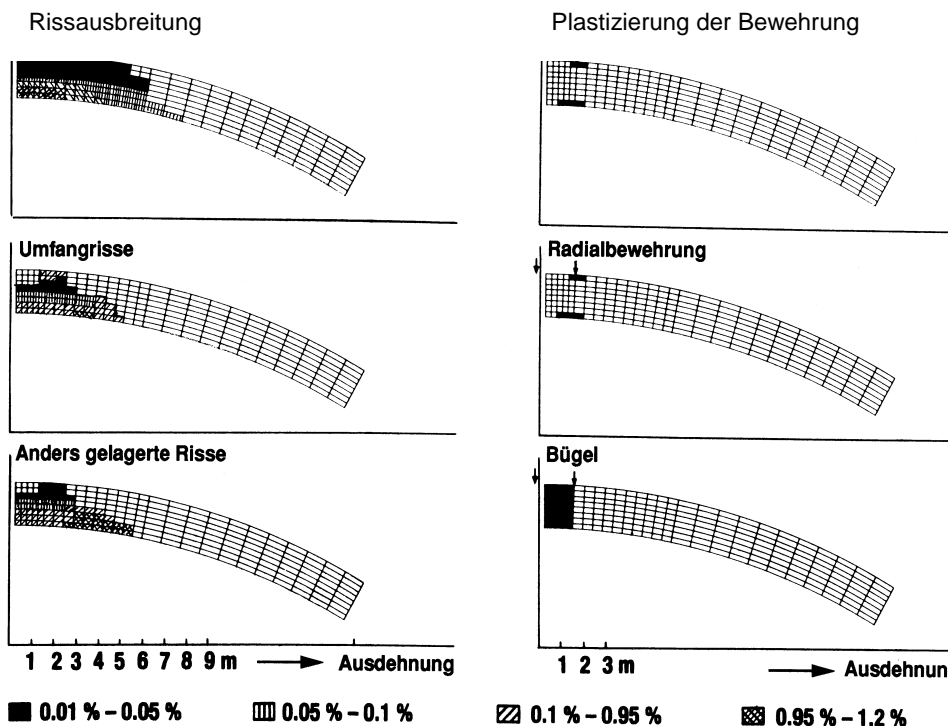


Fig. 4-49: Rissausbreitungs- (Beton) und Plastizierungsbilder (Bewehrung) im Kugelbereich der Außenhülle /4-15/

Das heißt, im Schritt 2 (Abschnitt 4.2.3.5) wird eine äquivalente (modifizierte) Belastungsfunktion gesucht, die auf das linear-elastische Modell der Struktur wirkend zu inneren Kräften im „Grenzbereich“ führt, die so gut wie möglich mit denen übereinstimmen, die anhand einer nichtlinearen Analyse für diesen Bereich ermittelt wurden.

Das Verfahren zur Ableitung dieser so definierten "modifizierten" Belastungsfunktion wurde näher in /4-15/ beschrieben. Dort wurde auch die Qualitätssicherung des Verfahrens anhand einiger Testbeispiele vorgenommen.

Kugel- und Zylinderbereiche

Zur Bestimmung der modifizierten Belastungsfunktion wird ein globales linear-elastisches Modell des Bauwerks /4-12/, /4-15/ und /4-45/ verwendet. Es entspricht weitgehend dem bei der linearen Berechnung angewandten Modell (Fig. 4-50).

Die Festlegung der Stellen, in denen die Schnittgrößen abgegriffen werden, erfolgte aufgrund von Rissausbreitungsbildern (Fig. 4-49).

Platten-, Kanten- und Eckbereiche

Die Ableitungen der modifizierten Lastfunktionen für die Kanten- und Eckbereiche erfolgte ähnlich wie beim Reaktorgebäude unter Anwendung eines globalen linear-elastischen Rechenmodells des kastenförmigen Bauwerks (Fig. 2-14 und 4-51).

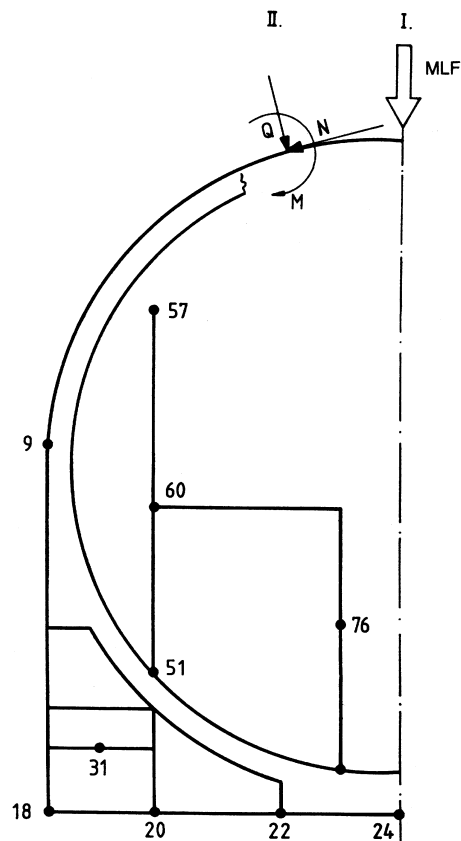


Fig. 4-50: Mathematisches Rechenmodell für ein axisymmetrisches Reaktorgebäude, charakteristische Ausgabepunkte und Absicherungsansatz der MLF

Auch hier wurden die modifizierten Lastfunktionen durch Abgleich der Zeitverläufe der Schnittgrößen (Normalkraft/Querkraft/Biegemoment) in der charakteristischen Schnittstelle (Fig. 4-51) abgeleitet.

Analog wie bei Rotationsschalen erfolgte hier die Festlegung der Schnittstelle ebenfalls auf der Basis der ermittelten Rissausbreitungsbilder.

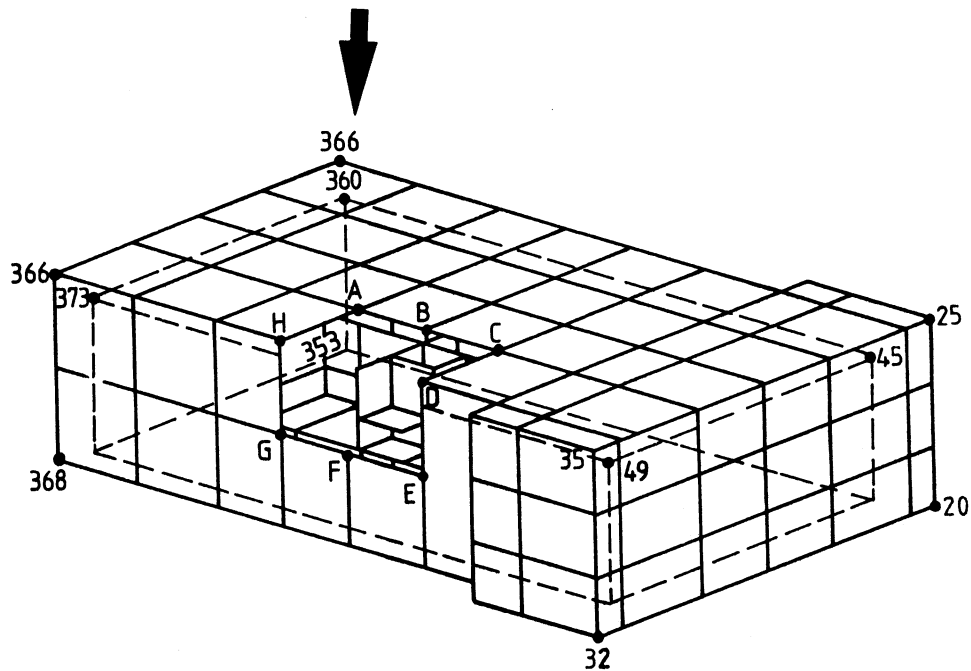


Fig. 4-51: Absicherung der modifizierten Lastfunktionen für ein den Kantenbereich eines kastenförmiges Bauwerk, charakteristische Ausgabebereiche

4.2.3.5 Modifizierte, einhüllende Lastfunktionen

Anhand der Gegenüberstellung der modifizierten Lastzeitfunktionen (Fig. 4-52) aus Berechnungen für „weiche“ Aufprallbereiche (Platten- Kugel- und Zylinderbereiche) sowie für eine ebene große Platte ($R = 30\text{ m}$) gelangt man zu der Erkenntnis, dass die modifizierten Zeitfunktionen im Grunde vergleichbaren Charakter haben.

Um den Einfluss verschiedener Parameter auf den Streubereich abdeckend zu erfassen und für die Ermittlung von dynamischen Strukturantworten nur eine repräsentative (impulsartig äquivalente) modifizierte Lastfunktion für alle Aufprallorte im Bereich der Außenhülle vorschlagen zu können, wurde aus den Lastfunktionen für die o.g. Strukturbereiche eine Einhüllende gebildet (Fig. 4-53). Diese Lastfunktion ist Ausgangspunkt für die weiteren Berechnungen für das axisymmetrische Gebäude. Um den Einfluss der konservativen Annahmen beim Zylinder (ca. 60° -Segment) zu kompensieren, wurde im Peakbereich der Funktionen ein entsprechender Ausgleich vorgenommen. Aufgrund dieser Vorgehensweise wurde der Impuls der einhüllenden Lastfunktion im Vergleich mit der Ursprungsfunktion geringfügig vergrößert, was als konservative Maßnahme gewertet werden soll.

Ähnlich wurde bei der Ableitung einer modifizierten Lastfunktion für die anderen charakteristischen Bereiche eines kastenförmigen Gebäudes /4-38/ bis /4-39/ vorgegangen (Fig. 4-54 und 4-55).

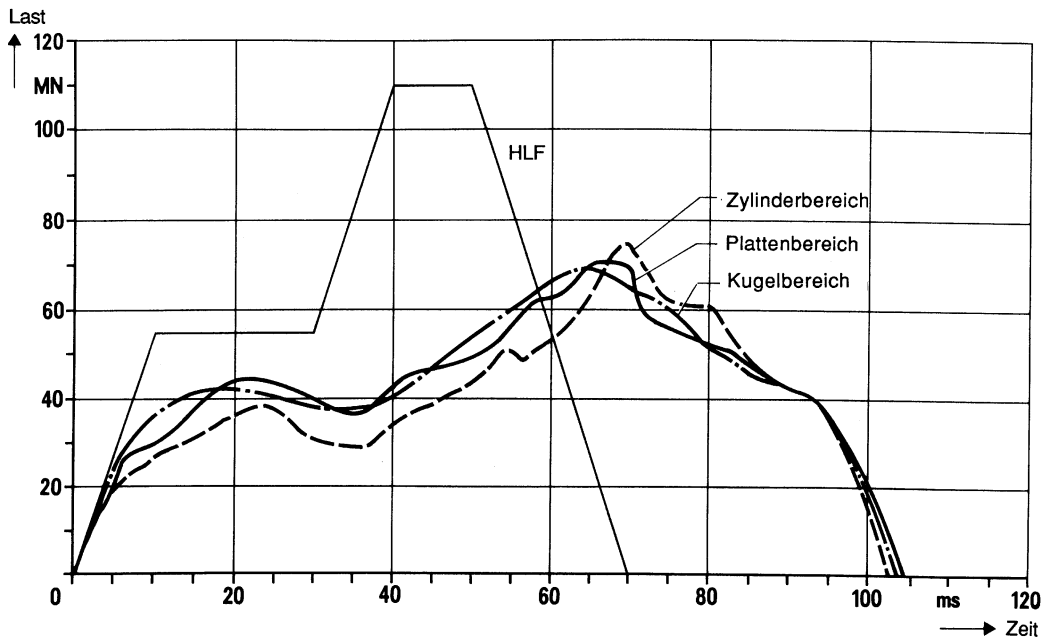


Fig. 4-52: Gegenüberstellung der Hartstoß- (HLF) und der modifizierten (MLF) Lastfunktionen für ein Reaktorgebäude der Standardbauweise /4-15/, /4-45/

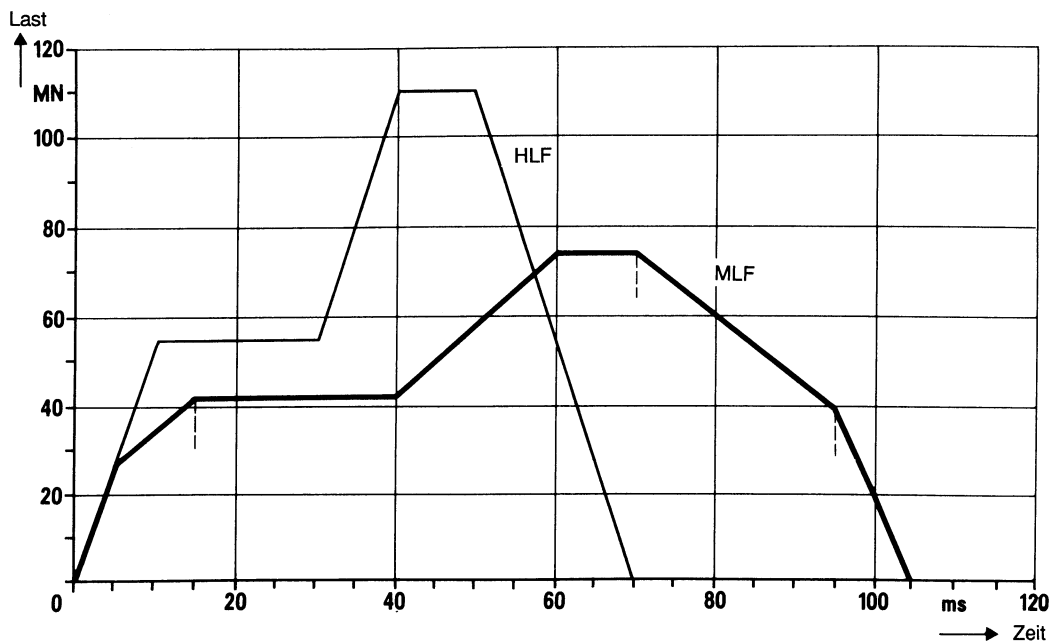


Fig. 4-53: Einhüllende modifizierte Lastfunktion (MFL) für Auftreffpunkte am Reaktorgebäude /4-15/, /4-45/

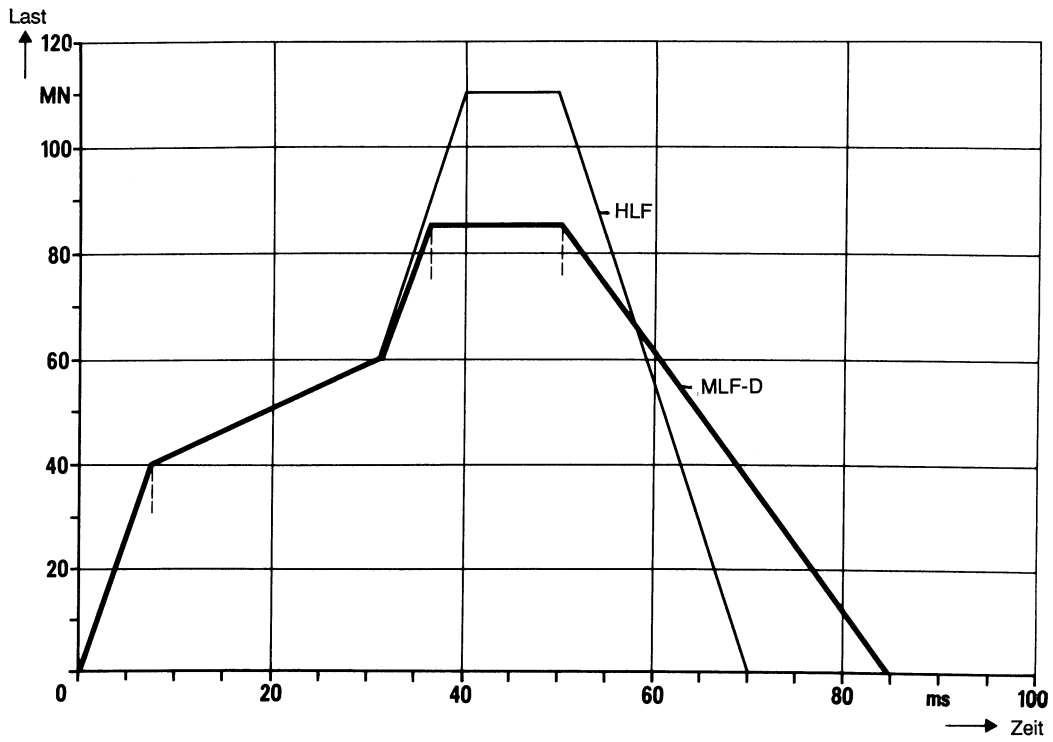


Fig. 4-54: Modifizierte Lastfunktion (MLF-D) für den Aufprall im Deckenbereich des Notspeisegebäudes /4-38/

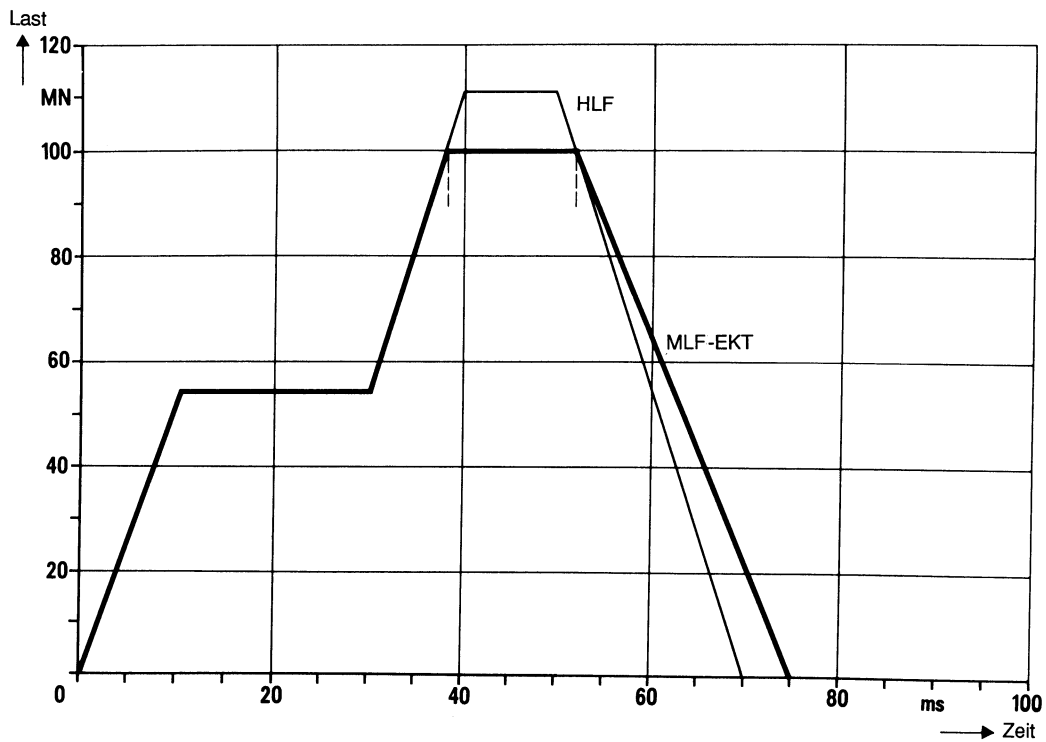


Fig. 4-55: Modifizierte Lastfunktion (MLF-EKT) für den Aufprall im Ecken- und Kantenbereich des Notspeisegebäudes /4-37/, /4-38/

4.2.3.6 Absicherung der modifizierten Lastfunktionen

Zur Absicherung der Richtigkeit der Ableitung der modifizierten Lastfunktionen wurde der dynamische Response in den charakteristischen Bereichen der Gebäudestrukturen einerseits unter Zugrundelegung der in der Grenzzone oder in den charakteristischen Schnittstellen ermittelten Zeitverläufe der Schnittgrößen und andererseits unter Anwendung der auf der Basis dieser Zeitverläufe abgeleiteten modifizierten Lastfunktion unter Zugrundelegung der entsprechenden Rechenmodelle (Fig. 4-50 und 4-51) ermittelt.

Die modifizierten Belastungen werden in den entsprechenden Bereichen (Aufprallorten) eingeleitet.

Dabei wurden die Bauwerke einmal mittels der ermittelten modifizierten Lastfunktionen (MLF bzw. MLF-EKT), zum anderen mittels der durch die nichtlineare Berechnung ermittelten Zeitverläufe der gesamten Vertikalkräfte in den charakteristischen Schnittstellen angeregt.

Die Absicherung der modifizierten Lastfunktion erfolgte durch Vergleich des dynamischen Responses (Zeitverläufe und Antwortspektren) der Beschleunigungen sowie der Schnittgrößen in einigen charakteristischen Gebäudebereichen.

Bereich	Bewehrungsanteil (cm ² /m) (Biegebewehrung)			E-Modul MN/m ²	Fließgrenze MN/m ²
	hor. (X)	vert. (Y)	schub. (Z)		
Decke BST 420/500				2 x 10 ⁵	420
– außen	1,95	1,17			
– innen	1,91	1,41			
– quer			0,75		420
Wände				2 x 10 ⁵	420
– außen	0,90	1,91			
– innen	0,88	1,49			
– quer			0,63		420

Tab. 4-8: Bewehrungsanteil und Stahlkennwerte für ein typisches DWR-Notspeisegebäude /4-3

4.2.4 Strukturantworten bei Berücksichtigung nichtlinearer Effekte

Zur Veranschaulichung der Auswirkungen der nichtlinearen Effekte am Aufprallort eines Flugzeuges auf die dynamischen Strukturantworten /4-73/ wurden für typische Reaktor- und Notspeisegebäude Untersuchungen unter Anwendung der Hartstoß-Lastfunktion (Fig. 2-1) sowie der einhüllenden, modifizierten (Fig. 4-53 bis 4-55) Lastfunktionen (MFL bzw. MLF-D und MLF-EK) durchgeführt. Ausgangspunkt der Untersuchungen mit den HLF- und MLF-Lastfunktionen waren jeweils die gleichen (linear-elastischen) FE-Rechenmodelle (Fig. 2-13 und 2-14). In beiden Fällen wurde die gleiche Anordnung der Auftreffpunkte beibehalten.

4.2.4.1 Axisymmetrische Bauwerke

Die unter Zugrundelegung der modifizierten (MLF-) Lastfunktion und der vorgegebenen (HLF-) Lastfunktion ermittelten Beschleunigungsantwortspektren für charakteristische Gebäudebereiche (Fig. 4.50) wurden in Fig. 4-56 und 4-57 dargestellt.

Der Vergleich der korrespondierenden Etagenantwortspektren /2-26/, /4-27/ führt zu der Erkenntnis, dass die mit Hilfe von modifizierten Lastfunktionen ermittelten Spektren durch eine Reduktion der Beschleunigungswerte (30 % - 50 %) sowie durch eine Verschiebung der Beschleunigungspeaks gekennzeichnet sind. Analysiert man die „modifizierten“ (M) Antwortspektren des Reaktorgebäudes in bezug auf die maximal zu erwartenden Beschleunigungswerte, so kann festgestellt werden, dass im gesamten Bereich der Innenstrukturen, abgesehen von wenigen nicht relevanten Punkten (Oberkante des Innenzylinders), im relevanten Frequenzbereich Beschleunigungswerte von 1,0 g nicht überschritten werden (Tab. 4-9).

4.2.4.2 Kastenförmige Bauwerke

Als Beispiel wurde ein Standard-Notspeisegebäude gewählt. Der dynamische Response in charakteristischen Bereichen des Gebäudes (Fig. 2-14) wurde ebenfalls unter Anwendung der abgeleiteten modifizierten Lastfunktionen MLF-D und MLF-EKT (Fig. 4-54 und 4-55) sowie mit der vorgegebenen HLF- Lastfunktion (Fig. 2-1) ermittelt.

Vergleicht man die korrespondierenden Beschleunigungsspektren (Fig. 4-58), so kann festgestellt werden, dass die unter Anwendung der modifizierten Lastfunktionen (MLF) ermittelten Beschleunigungsspektren (M) im tieffrequenten Bereich um ca. 10 bis 15 % und im höheren Frequenzbereich bis ca. 30 % niedriger liegen als entsprechende mittels der HLF-Lastfunktion abgeleitete Werte (H).

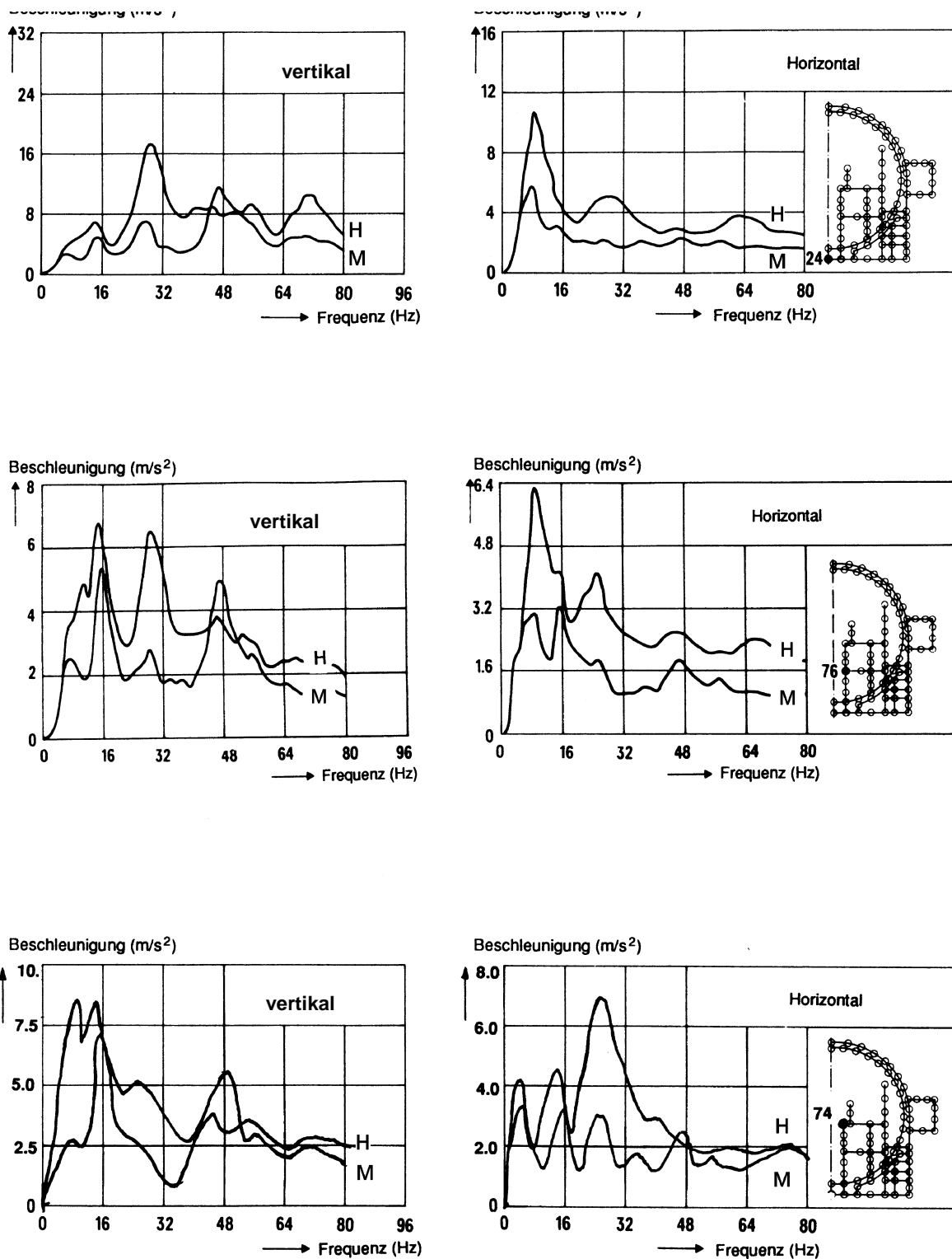


Fig. 4-56: Strukturantworten in charakteristischen Bereichen des Reaktorgebäudes ($D=2\%$) bei Anwendung von Hartstoß- (H) und modifizierten (M) Lastfunktionen /2-26/, /4-27//

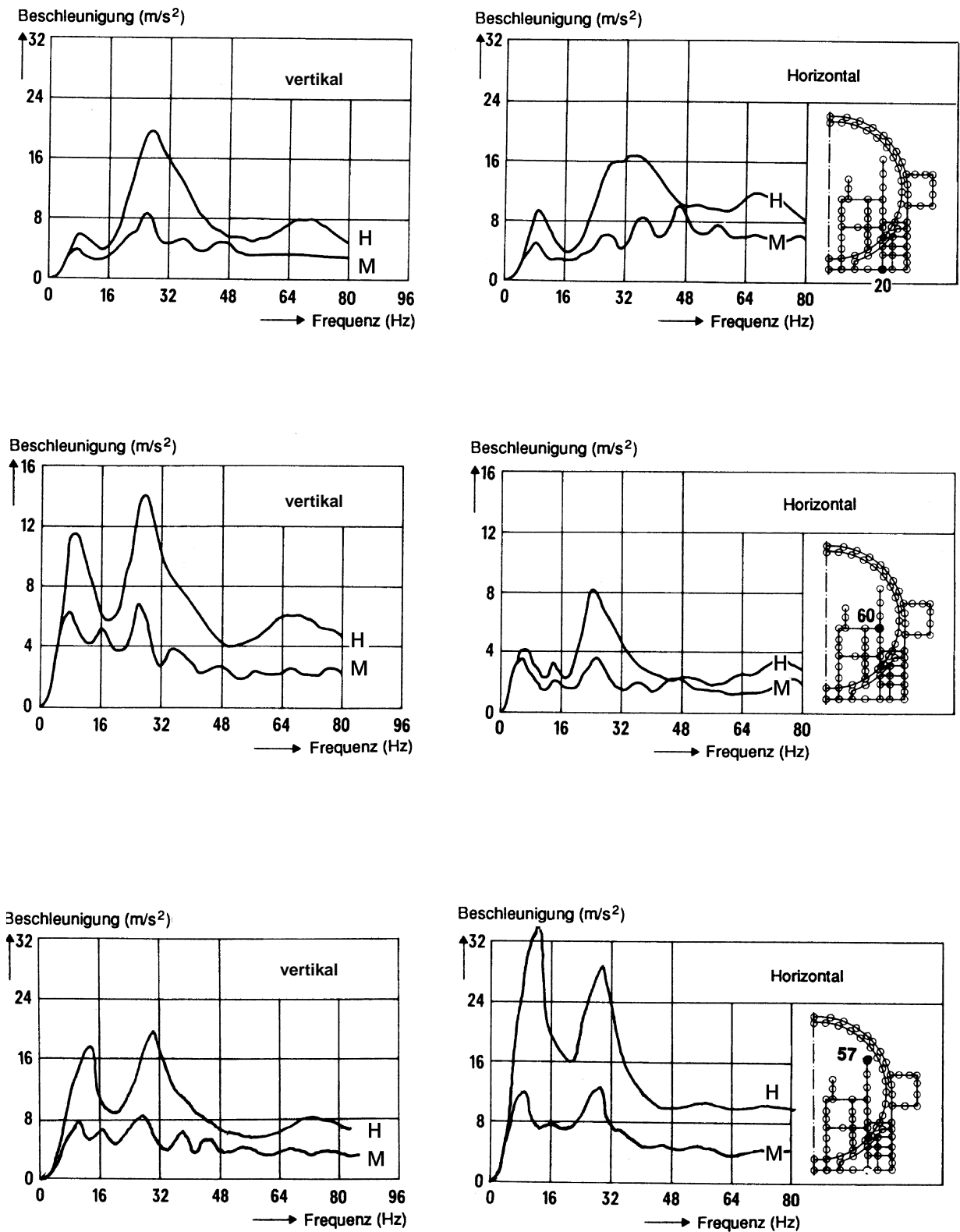


Fig. 4-57: Strukturantworten im Ringraum des Reaktorgebäudes ($D=2\%$) bei Anwendung von Hartstoß- (H) und modifizierten (M) Lastfunktionen /2-26/, /4-27/

Realistische flugzeugabsturzinduzierte Strukturantworten

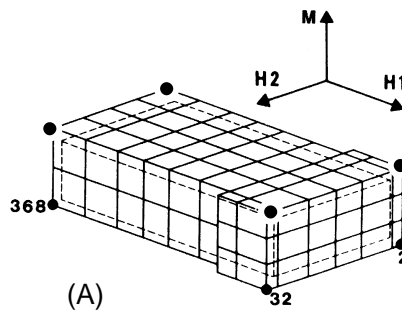
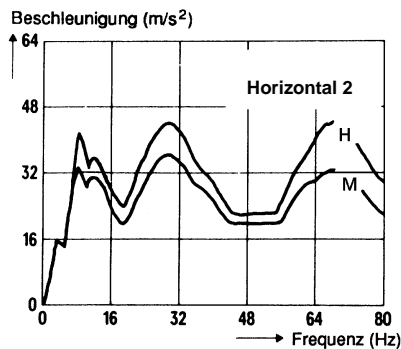
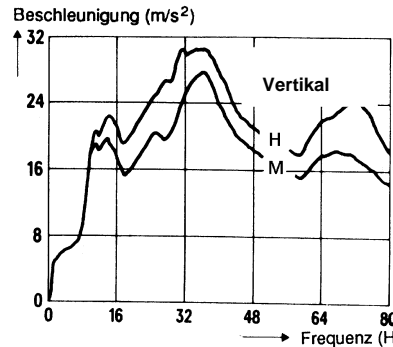
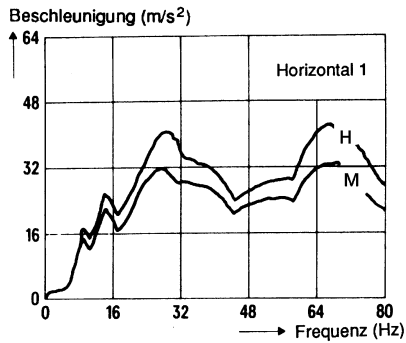
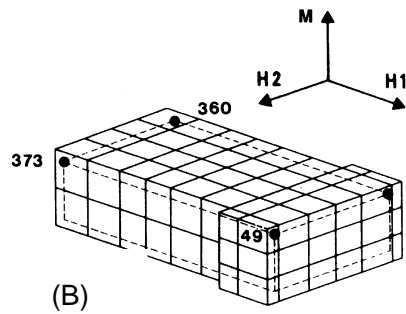
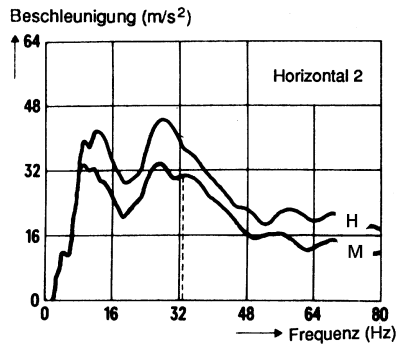
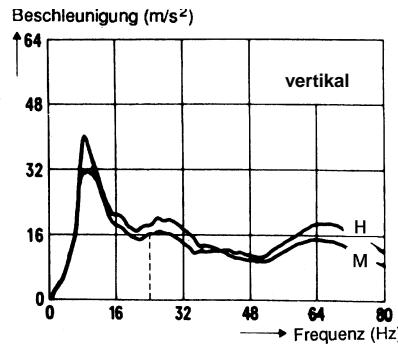
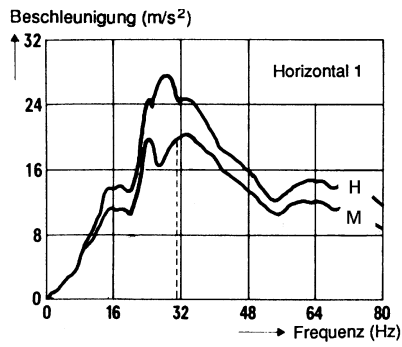


Fig.4-58: Strukturantworten ($D=4\%$) im Bereich der Außenhülle (A) sowie im oberen Bereich der Innenstruktur (B) eines Notspeisegebäudes bei Anwendung von Hartstoß- (H) und modifizierten (M) Lastfunktionen /2-27/, /4-38/, /4-45/

Die für die repräsentativen Gebäudebereiche unter Anwendung der Hartstoß- (HLF) und der modifizierten (MLF-) Lastfunktion ermittelten Maximalwerte der Beschleunigung (Peakwerte) wurden in Tabelle 4-10 zusammengestellt.

Knoten Nr.	Vertikal (g)		Radial (g)	
	HLF	MLF	HLF	MLF
20	1,90	0,90	1,60	1,00
22	0,75	0,35	1,05	0,57
24	1,70	1,10	1,10	0,57
31	3,20	1,30	1,40	0,60
51	0,80	0,54	0,80	0,36
57	2,00	0,80	2,80	1,30
60	1,40	0,70	0,83	0,38
76	0,70	0,55	0,64	0,33

Tab. 4-9: Maximale Beschleunigungswerte in charakteristischen Bereichen des Reaktorgebäudes für 4% Dämpfung /4-39/

Knoten Nr.	Horizontal 1 (g)		Horizontal 2 (g)		Vertikal (g)	
	HLF	MLF	HLF	MLF	HLF	MLF
20 , 32 353 , 368	4,2	3,2	3,1	2,8	4,6	3,6
45 , 49 360 , 373	2,7	2,0	4,2	3,2	4,5	3,4
25 , 35 356 , 366	3,7	2,8	4,2	3,4	3,8	3,4

Tab. 4-10: Maximale Beschleunigungswerte in charakteristischen Bereichen des Notspeisegebäudes für 4% Dämpfung /4-28/, /4-45/

5 Diskussion der Ergebnisse und Beiträge zur Erweiterung des Erkenntnisstandes

5.1 Allgemeines

Von ausschlaggebender Bedeutung für eine zuverlässige und rationelle Auslegung und Absicherungen der Funktionsfähigkeit sicherheitstechnisch relevanter Komponenten und Systeme einer wichtigen Industrieanlage (z.B. einer Reaktoranlage) gegen außergewöhnliche Belastungen (besonders Flugzeugabsturz) sind die Qualität und Zuverlässigkeit der abgeleiteten Erschütterungen (Strukturantworten) an den jeweiligen Aufstellorten.

Die Absicherung der Aussagekraft der Strukturantworten kann dabei nur über die Bewertung aller Einflussparameter (Konservativitäten bzw. Unsicherheiten) auf dem gesamten Übertragungsweg der Erschütterungen vom Anregungs- bzw. Stoßeinleitungsbereich bis zum Aufstellort des betroffenen Anlagenteils bzw. Systems führen. Von maßgebender Bedeutung sind hier die angewandten Rechenmodelle und -verfahren.

Bei Impuls- und Stoßbelastungen kommt dabei noch die Frage der Anwendungsgrenzen von FE-Verfahren zur Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Baustrukturen hinzu. Besonders dem letzten Problemkreis wurde im Rahmen dieser Arbeit größere Aufmerksamkeit geschenkt (Absatz 3.3 und Anhang 1 bis 3) /8-1/.

Ausgangspunkt und Grundlage der Betrachtungen zum Stand der Erkenntnis sind Ergebnisse zahlreicher Studien und Berechnungen, die im Rahmen vieler Genehmigungsverfahren von Reaktoranlagen zum Lastfall Flugzeugabsturz erarbeitet wurden, einschließlich der Ergebnisse gutachterlicher Vergleichsberechnungen sowie Ergebnisse punktuell durchgeführter experimenteller Nachweise.

Systematisch ausgewertet und analysiert wurden besonders die in den letzten 25 Jahren gewonnenen umfangreichen rechnerischen und experimentellen Ergebnisse zum Lastfall Flugzeugabsturz.

So wurden (Kapitel 2) zuerst die Verfahren und Ergebnisse von Berechnungen zum Lastfall Flugzeugabsturz bei Annahme linear-elastischer Rechenmodelle analysiert und deren Aussagekraft anhand von Versuchsergebnissen, die an realen Bauwerken (HDR) gewonnen wurden, (Absatz 3.2) bewertet.

Parallel hierzu folgte (Absatz 3.1) eine detaillierte Analyse des Einflusses maßgebender Parameter auf das Erschütterungsübertragungsverhalten von Bauwerken bei Stoßbelastungen sowie eine Bewertung des Standes der Verifikation der angewandten nichtlinearen Rechenverfahren (Absatz 4.1)

auf der Basis vorhandener Messergebnisse.

Als wesentlich in Bezug auf die gestellte Zielsetzung: „Anwendungsgrenzen linear-elastischer FE-Rechenmodelle zur numerischen Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Bauwerken bei Stoßbelastungen“ können die in Absatz 3.3 dokumentierten Ergebnisse eigener Parameterstudien angesehen werden. Sie liefern Hinweise zum erforderlichen Feinheitsgrad von FE-Diskretisierungen, die bei praktischen Berechnungen von stoßinduzierten Erschütterungen zu beachten sind.

Schließlich werden, basierend auf den verifizierten Materialmodellen zur realistischen Erfassung des lokalen nichtlinearen Verhaltens von Beton im Lasteinleitungsbereich von Stoßbelastungen (Absatz 4.2) die in typischen Bauwerken real zu erwartenden Strukturantworten abgeleitet.

Im Absatz 6 werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf weitere noch anstehende Aufgabenstellungen und die möglichen Lösungswege kurz skizziert.

5.2 Beiträge zur Erweiterung des Standes der Erkenntnis

Im folgenden sollen die gewonnenen Ergebnisse zu den in der Zielsetzung gestellten Teilaufgaben kurz zusammengefasst und bewertet werden. Es wird hier in kondensierter Form auf den in den einzelnen Kapiteln als auch auf die in den Anhängen 1 bis 3 /8-1/ (ausführlicher) dokumentierten Ergebnisse Bezug genommen.

5.2.1 Aussagekraft linear-elastischer FE-Berechnungen und Stand der experimentellen Absicherung

Nach Festschreibung der Flugzeugaufprall-Referenzlastfunktion als verbindliche Lastvorgabe für die Auslegung sicherheitstechnisch relevanter Bauwerke (u.a. Reaktoranlagen) im Jahre 1974 begann man auf dem Gebiet der Reaktortechnik sowohl auf der Seite der Ersteller als auch der Prüfer, Berechnungen anhand von vereinfachten Rechenmodellen durchzuführen. Ausgangspunkt dieser Untersuchungen waren die für den Lastfall Erdbeben erstellten bzw. geringfügig verfeinerten Rechenmodelle. Es wurde bald erkannt, dass anhand dieser Modelle (Stabmodelle) die induzierten Erschütterungen bis zum erforderlichen Frequenzbereich (von ca. 80 Hz) nicht einmal annähernd erfasst werden können. Verfälscht waren besonders die ermittelten Strukturantworten im Frequenzbereich größer 10 – 15 Hz.

Dank der raschen Entwicklung auf dem Gebiet der Datenverarbeitungsanlagen stiegen jedoch bald die rechnerischen Möglichkeiten, so dass man schon ab ca. Ende der siebziger Jahre in der Lage war, Berechnungen mit räumlichen, die Eigenschaften der Strukturen zutreffend erfassenden, Rechenmodellen (3D-Flächenelementmodelle für kastenförmige Bauwerke bzw. Schalenmodelle für kreisförmige Bauwerke) durchzuführen.

Die auf der Basis dieser Rechenmodelle und der Anwendung der Hartstoß-Lastfunktion durchgeführten Berechnungen führten im allgemeinen zu konservativen, den Charakter der Strukturantworten jedoch zutreffend erfassenden Rechenergebnissen.

Der allgemeine Beweis der Zuverlässigkeit und Aussagekraft von Stoßberechnungen unter Anwendung von FE-Rechenmodellen mit linear-elastischen Materialannahmen wurde jedoch später anhand von am HDR-Bauwerk durchgeführten (1984/85) experimentellen Untersuchungen erbracht.

Anhand des unter Absatz 3.2 durchgeführten Vergleichs (ausführliche Ergebnisse siehe Anhang 3) zwischen analytischen und experimentell ermittelten Ergebnissen konnte festgestellt werden, dass für den Fall linear-elastischer Beanspruchungszustände am Aufprallort (elastischer Stoßvorgang) analytische Berechnungen mit detaillierten Rechenmodellen (s. Abschnitt 5.2.3) zu Strukturantworten führen, die für die praktische Anwendung ausreichend zuverlässig sind.

Beim Aufprall eines Flugzeuges ist am Aufprallort jedoch in der Regel eine Auslastung des Materials bis in den nichtlinearen Bereich hinein zu erwarten. Diese Vorgänge können nur anhand sehr detaillierter Rechenmodelle des direkt beaufschlagten Bereiches der Außenschalen unter Anwendung von unter Absatz 4.2 beschriebenen nichtlinearen Rechenverfahren erfasst werden.

5.2.2 Wertung des Einflusses maßgebender Systemparameter auf das Ergebnis von Stoßberechnungen

Die unter Absatz 3.1 durchgeführten Recherchen führen zu der Erkenntnis, dass bei Berechnungen zum Aufprall eines Flugzeuges auf ein Bauwerk die folgenden Einflüsse und Einflussparameter von schwerpunktmäßiger Bedeutung sind:

- **Art des Rechenmodells**

Zuverlässige Ergebnisse können nur anhand dreidimensionaler Rechenmodelle mit ausreichend feiner Diskretisierung und wirklichkeitsnaher Erfassung der Eigenschaften der beaufschlagten Struktur erreicht werden. Stabmodelle sind für Analysen von Stoßbelastungen im allgemeinen ungeeignet.

- **Boden-Bauwerk-Wechselwirkung**

Den Eigenschaften des Baugrundes muss Rechnung getragen werden. Die Annahme fester Einspannung ist selbst bei steifen Böden nicht zulässig.

- **Dämpfungsvermögen des Bauwerks**

Die Materialdämpfung der beaufschlagten Struktur sowie das globale Dämpfungsvermögen des Boden-Bauwerk-Systems müssen zutreffend erfasst werden.

- **Frequenzband der Berechnung**

Bei der Ermittlung der Strukturantworten müssen alle globalen sowie lokalen Eigenformen der beaufschlagten Struktur bis zu einer Eigenfrequenz von ca. 80 Hz berücksichtigt werden.

- **Repräsentative Aufprallbereiche**

Es muss sichergestellt werden, dass es keinen weiteren Aufprallbereich am Bauwerk gibt, der zu höheren Strukturantworten im Gebäudeinneren führen kann als bei Lasteinleitung in die festgelegten repräsentativen Aufprallbereiche.

- **Charakter der Lastfunktion**

Die Form und Basiszeit der Lastfunktion sowie ihre dynamischen Amplifikationseigenschaften (siehe DLF-Kurve) bestimmen maßgebend den Charakter und Frequenzgehalt der Strukturantworten. Die für starre Verhältnisse am Aufprallort spezifizierte Hartstoß-Lastfunktion (HLF) führt im allgemeinen zu unrealistisch hohen Ergebnissen. Zu wirklichkeitsnahen Ergebnissen führen modifizierte Flugzeugabsturz-Lastfunktionen, die unter Berücksichtigung nichtlinearer Vorgänge im Aufprallort abgeleitet werden. Sie sind charakterisiert durch eine längere Basiszeit sowie ein reduziertes Lastniveau und führen in der Konsequenz zu niedrigeren Strukturantworten (Fig. 3-25 und 4-53).

5.2.3 Eignungsgrenzen von FE-Modelldiskretisierungen zur Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen bei Stoßbelastungen

Anhand der umfangreichen Parameterstudien, die an einfachen Teilstrukturen (Modellbalken, Modellplatten und Scheiben) sowie an Modellbauwerken im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden, konnten einige Eigenarten von FE-Modellen (besonders das Tiefpassfilterverhalten) bei der Ausbreitung und Überlagerung von stoßinduzierten Erschütterungen nachempfunden und geklärt werden. Diese Erkenntnisse liefern die Basis für verallgemeinerte Aussagen und Formulierungen von Empfehlungen in Bezug auf den erforderlichen Diskretisierungsgrad von FE-Modellen bei Anwendungen auf Stoßprobleme. Die ausführlichen Ergebnisse der Untersuchungen wurden in den Anhängen 1 und 2 /8-1/ zusammengefasst. Obwohl bei der hier durchgeführten Bewertung

der Ergebnisse überwiegend auf die in Absatz 3.3 dargestellten Figuren Bezug genommen wird, liefern die entsprechenden in den Anhängen 1 und 2 /8-1/ dokumentierten (nicht verkleinerten und daher besser lesbaren) Grafiken im allgemeinen bessere Interpretationshilfen.

Bei einer chronologischen Interpretation der gewonnenen Ergebnisse gelangt man, beginnend mit Balkenelementen, zu folgenden Feststellungen:

Die zur Diskretisierung eines Balkens angewandte Elementart (Volumen-Platten-Balkenelement) hat keinen erkennbaren Einfluss auf den Charakter der Zeitverläufe der Verschiebungen bzw. Beschleunigungen sowie die Spektren der Beschleunigungen.

Die Elementlänge dagegen ist von zentraler Bedeutung. Sie hat einen eindeutig erkennbaren Einfluss auf die Wellenfrequenzdurchlassgrenzen (Tiefpassfiltereigenschaften) und indirekt auch auf die unter Absatz 3.3 beschriebenen Dispersionseigenschaften. Sie bestimmt somit maßgebend sowohl den Charakter als auch die Amplituden der Zeitverläufe. Diese Feststellung gilt ebenfalls für Modellwandscheiben und Modelldeckenplatten (vergl. Fig. 3-63, Fig. 3-65, Fig. 3-76 bis 3-79 sowie 3-83 bis 3-84 und 3-87 bis 3-88).

Diskretisierungen des Balkens mit Elementen von einer Länge bis ca. 0,4 m, d.h. bis ca. dem 4-fachen des Seitenmaßes S des Balkens führen für die gewählten Stoßfunktionen zu gut vergleichbaren Ergebnissen. Zu größeren Abweichungen (Fig. 3-63) führen Elemente mit einer Länge größer $4S$. Der Einfluss des Diskretisierungsgrades auf die Strukturantworten ist besonders gut erkennbar beim Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren (Fig. 3-67 und 3-68).

Bezogen auf die Wellendurchlaufgeschwindigkeiten in Beton ergibt sich somit für Balken eine Element-Längenbegrenzung (Grenzdurchlasselementlänge) von $L_{k(B)} \leq c_L / 10f_n$. Bei Elementen von größerer Länge sind verfälschte Ergebnisse zu erwarten.

Anhand der für verschiedene Entfernungen des Beobachtungspunktes vom Stoßeinleitungsbe- reich abgeleiteten und in einem Bild dargestellten Verschiebungs- bzw. Beschleunigungszeitverläufe (Fig. 3-69 bis Fig. 3-72) kann das Abklingverhalten der Amplituden zwischen beliebigen Punkten im Balken eindeutig bestimmt werden. Es kann festgestellt werden, dass die Verzögerung der Ankunft der Stoßwellen im gleichen Beobachtungspunkt mit wachsender Elementlänge zunimmt.

Andererseits ist feststellbar, dass mit wachsender Elementlänge der Amplitudenabklingvorgang (Fig. 3-71 und Fig. 3-72) verstärkt und die „Durchlässigkeit“ verringert wird.

Einen eindeutigen Einfluss auf den Frequenzgehalt der Strukturantworten hat bekanntlich der Charakter der Stoß-Lastfunktion insbesondere die Zeitdauer der Stoßeinleitung. Mit verschiedenen Stoß-Lastfunktionen durchgeführten Berechnungen führen zu der Erkenntnis, dass der Frequenzgehalt der Weg- und Beschleunigungszeitverläufe umso höher ist, je kurzzeitiger der Charakter der Lastfunktion ist und umgekehrt (Fig. 3-64 bis 3-66).

Anhand der für Modellwandscheiben und Modellplatten ermittelten Ergebnisse gelangt man prinzipiell zu der Bekräftigung obiger Aussagen bezogen auf die Eigenschaften zweidimensionaler finiter Plattenelemente (vergl. Fig. 3-76 bis 3-79 sowie Fig. 3-83, 3-84 und 3-87, 3-88).

Je größer die Abmessungen der zweidimensionalen Plattenelemente, desto stärker werden die übertragenen Wellen verzögert und die Amplituden der Strukturantworten (der Verschiebungen, Geschwindigkeiten bzw. Beschleunigungen) gedämpft.

Vergleicht man die aus den numerischen Simulationen mit eindimensionalen (Balken-) und zweidimensionalen (Platten-) Elementen gewonnenen Ergebnisse, so kann festgestellt werden, dass bei zweidimensionalen Elementen die Tiefpassfiltereigenschaften im allgemeinen stärker zum Vorschein kommen als bei eindimensionalen Elementen.

Ansatzpunkt für diese Vermutung ist einerseits die Feststellung einer sehr guten Übereinstimmung der Ergebnisse in den jeweiligen Beobachtungspunkten bis zu einer bestimmten Diskretisierungsvariante (Fig. 3-76 und Fig. 3-77) und andererseits größere Streubereiche der Beschleunigungsamplituden sowie die Unterschiede in den Beschleunigungsantwortspektren im Frequenzbereich oberhalb der Tiefpassfilterfrequenzen (Fig. 3-80 und 3-81).

Obige auf Wandscheiben bezogenen Feststellungen treffen auch bei den Deckenplatten eindeutig zu. Es kann jedoch ergänzend festgestellt werden, dass die Strukturantworten einer ebenen Platte unter Stoßbelastung senkrecht zur Plattenebene eindeutig stärker durch den angewandten Diskretisierungsgrad beeinflusst werden (Fig. 3-84, 3-88). Die Elementgröße hat hier auch einen stärkeren Einfluss auf das Abklingen der Beschleunigungsamplituden (Fig. 3-85 und 3-86 sowie 3-89 und 3-90) als im Falle der Stoßbelastung einer Wandscheibe.

Im allgemeinen kann festgestellt werden, dass Berechnungen für Wandscheiben und Deckenplatten mit Elementen 1m x 1m und 2m x 2m zu analogen, sich gegenseitig bestätigten Ergebnissen führen. Um Tiefpassfiltereffekte zu vermeiden, sollten im Fall von Längswellen bei Wandscheiben die Elementlängen den Wert $L_{k(SB)} \leq c_L / 22f_n$ nicht übertreffen. Berechnungen mit größeren Diskretisierungen führen aufgrund der dispersiven Eigenschaften finiter Elemente zu unzuverlässigen u.U. breit streuenden Ergebnissen. Dies bezieht sich besonders auf den höheren Frequenzbereich.

Die an reellen Bauwerken durchgeführten Parameterstudien anhand von FE-Modellen mit verschiedenem Diskretisierungsgrad führten zu weiteren Erkenntnissen besonders bezüglich des Einflusses großer Erschütterungs-Übertragungstrecken und mehrerer Umlenkstellen auf den Übertragungswegen.

In den Ergebnissen der Berechnungen für die aus Wandscheiben und Deckenplatten zusammengesetzten Modellbauwerke, die alternativ für zwei aus verschiedenen Richtungen wirkenden Belastungen durchgeführt wurden, spiegeln sich die an den oben diskutierten Wandscheiben und Deckenplatten gewonnenen Erkenntnisse in überlappender Weise wieder.

Der Einfluss der Länge der Durchlaufstrecken sowie die Anzahl von Umlenkstellen können anhand der in den Zeitverläufen der Beschleunigungen (Fig. 3-99 bis 3-102 sowie 3-114 und 3-117) feststellbaren verschiedenen Ankunftszeiten der maximalen Amplituden bewertet werden. Auch hier gelangt man zu der Feststellung, dass Rechenmodelle mit Diskretisierungen (2m x 2m und 4m x 4m) zu stabilen sich stützenden Ergebnissen führen (Fig. 3-103 bis 3-106 und 3-118 bis 3-121).

Zur wirklichkeitsgetreuen Erfassung der Strukturanbauten konventioneller Bauwerke bei Stoßbelastungen mit Weichstoßlastfunktionen ist eine Diskretisierung anhand von Flächenelementen mit maximaler Elementlänge von kleiner 4 m erforderlich. Die Konvergenz (Tiefpassfilter) -Elementlänge ist mit $L_{k(G)} \leq c_{L,S} / 14f_n$ begrenzt. Rechenmodelle von Bauwerken mit gröberer Diskretisierung liefern keine zuverlässigen eindeutig interpretierbaren Ergebnisse.

Analysiert man die bei allen Untersuchungen an Scheiben und Platten feststellbaren Streubereiche der Ergebnisse insgesamt, so gelangt man zu der Erkenntnis, dass es eine Wechselbeziehung zwischen den Dispersions- und Filtereigenschaften geben muss, die zur Veränderung der

Dämpfungsfähigkeiten von FE-Modellen führt. Dies bezieht sich besonders auf Strukturantworten ab einer bestimmten Frequenz der propagierenden Wellen.

In einigen Beobachtungspunkten der Wandscheibe und Deckenplatte kommt anstelle des im allgemeinen zu erwartenden dämpfungssteigernden Einflusses der Elementgröße ein dämpfungsminderndes Verhalten zum Vorschein (s. Beobachtungspunkt 1/6L in Fig. 3-80). Dies ist wahrscheinlich auf die o.g. Wechselwirkung zwischen den Filter- und Dispersionseigenschaften (Frequenzabhängigkeit der Phasenwinkelgeschwindigkeit) zurückzuführen.

Ähnlich wie früher bei Wandscheiben festgestellt, treten sowohl bei kastenförmigen Bauwerken (Fig. 3-104, BP: 1,5w und 4,5w Richtung X3, Fig. 3-105 BP 3,5D Richtung X1, Fig. 3-106 BP: 1,5w und 4,5w Richtung X3) sowie beim axisymmetrischem Bauwerk (Fig. 3-119 BP 1,5S und 4,5S Richtung X1) deutliche Dispersionseffekte auf.

5.2.4 Stand der Verifikation von Rechenverfahren zur Erfassung nichtlinearer Effekte bei Stoßbelastungen

Die an Betonbalken (Abschnitt 4.1.1) und Betonplatten (Abschnitt 4.1.2) durchgeführten umfangreichen experimentellen Untersuchungen führten zum richtigen Zeitpunkt zu einer Steigerung der Qualität und Absicherung der Aussagekraft der für Flugzeugabsturz Berechnungen angewandten Rechenprogramme. Von besonderer Bedeutung war hier der Beitrag zu Verifikation und Absicherung der Bausteine angewandter Rechenprogramme, die sich auf die Formulierung der Materialeigenschaften beziehen. Die in der zweiten Phase der Meppen-Versuche /4-52/ mit den verifizierten Materialmodellen und Rechenprogrammen durchgeführten "blinden" Vorausrechnungen, die mit den Messergebnissen sehr gut vergleichbar waren, sind Beweis dafür.

Um die benötigten Detailinformationen zu erhalten, wurden, wie unter Abschnitt 4.1.2 angemerkt, auf Betreiben der Reaktorindustrie der Versuchsaufbau um ergänzende Messwertaufnehmer im Stanzkegelbereich (besonders Beschleunigungsaufnehmer, Rissdetektoren) erweitert. Die auf diesem Wege gewonnenen Zusatzinformationen waren die Basis für die Verifikation der in der Reaktorindustrie angewandten Materialmodelle BETMOD und REINCON (siehe Punkt 4.1.2.3 und 4.2.3.3).

Die durchgeführten Vergleiche (siehe Abschnitt 4.1.2.5) zwischen den vorausberechneten und gemessenen Ergebnissen waren (abgesehen von Bereichen mit Eintreten von Abplatzungen bzw. bleibenden plastischen Verformungen) in der Regel sehr zufriedenstellend. Zu analogen Erkenntnissen gelangte man ebenfalls beim Vergleich der Ergebnisse aus Vorausberechnungen und Versuchen, die an Betonbalken durchgeführt wurden (Punkt 4.1.1.3).

Besonders nützlich für die Bewertung der Richtigkeit der Aussagekraft der Materialmodelle waren Vergleiche der an der Bewehrung gemessenen und vorausberechneten Dehnungszeitverläufe sowie Vergleiche von Rissdehnungs-Zeitverläufen im Bereich des Stanzkegels.

Die in der Tat erzielten guten Übereinstimmungen zwischen den vorausberechneten und gemessenen Rissvorgängen (Fig. 4-30 bis 4-31) waren ausschlaggebend für die „Freigebe“ der neuen, abgesicherten Materialmodellvariante. Die auf diesem Wege verifizierten Materialmodelle waren die Basis aller nichtlinearen Berechnungen, die zur Lösung verschiedener stoßbezogener Aufgabenstellungen an Betonstrukturen bis heute mit Erfolg durchgeführt wurden.

5.2.5 Ableitung modifizierter Lastfunktionen für Flugzeugaufpralllasten an Bauwerken

Wie unter 4.2.2 herausgestellt, führen Berechnungen unter Anwendung der vorgegebenen Hartstoß-Lastfunktionen HLF zu sehr konservativen Ergebnissen besonders im Falle von Auftreffpunkten in ungestörten (Platten- bzw. Schalen-) Bereichen der Außenstrukturen. Um die realistischen Gegebenheiten getreu zu erfassen und die o.g. Konservativitäten abzubauen, wurden unter Anwendung der verifizierten Rechenprogramme detaillierte, nichtlineare Berechnungen für charakteristische Aufprallbereiche an Außenschalen (Absatz 4.2.4) durchgeführt und auf die Eigenschaften der Struktur am Aufprallort abgestimmte modifizierte Lastzeitfunktionen (MLF) abgeleitet. Die MLF sind gekennzeichnet durch längere Einwirkungszeiten und ein niedrigeres Lastniveau (Abschnitt 4.2.4.5).

Anhand der durchgeführten Untersuchungen konnte der Kenntnisstand in bezug auf die Ableitung einer praxisgerechten, aufprallortbezogenen Lastvorgabe beachtlich erweitert werden.

5.2.6 Strukturantworten bei realistischer Erfassung nichtlinearer Effekte am Aufprallort

Basierend auf geeigneten 3-dimensionalen FE-Rechenmodellen einerseits, in denen die unter Absatz 5.2.2 und 5.2.3 zusammengefassten Empfehlungen bezüglich der Konkretisierung und Erfassung von Einflussparametern und der erforderlichen Diskretisierungsfeinheit beachtet wurden und andererseits basierend auf den für den jeweiligen Aufprallort abgeleiteten modifizierten Lastzeitfunktionen konnten schlussendlich realitätsnahe Strukturantworten ermittelt werden (Absatz 4.2.4).

Die durchgeführten nichtlinearen Untersuchungen zu den Auswirkungen des Lastfalls Flugzeugaufprall auf das axisymmetrische und rechteckförmige Gebäude führen zu der Erkenntnis, dass die in den charakteristischen Schnittstellen des Aufprallbereiches auf die übergreifende Struktur weitergeleiteten Belastungen im Falle der Berücksichtigung der nichtlinearen Vorgänge im Stahl und Beton geringer sind, als bei der Annahme eines übergreifenden linear-elastischen Beanspruchungszustandes der gesamten Außenstruktur. Dies geht sowohl aus den ermittelten Schnittkraft-Zeitverläufen als auch aus dem Vergleich der Hartstoß-Lastfunktionen mit den modifizierten Lastfunktionen hervor. Die in den Eck- und Kantenbereichen der Gebäude festgestellten nichtlinearen Effekte sind zwar nicht so groß wie die in den ungestörten Bereichen (Kugel- und Zylinder- bzw. Deckenbereich), sie führen jedoch ebenfalls zu realistischeren, für die Auslegung von Komponenten günstigeren Ergebnissen.

Auf der Basis der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen gelangt man zu der Erkenntnis, dass bei künftig durchzuführenden dynamischen Berechnungen zur Ermittlung der Strukturantworten von Bauwerken beim Lastfall Flugzeugabsturz sinnvollerweise das lokale Verhalten der beaufschlagten Strukturen an den Aufprallorten berücksichtigt werden sollte.

Die auf diesem Wege abgeleiteten Strukturantworten (Antwortspektren) stellen die Grundlage für eine realistische Auslegung und Funktionsqualifikation aller in Bauwerken untergebrachten technologischen Systeme dar. Die hierdurch gewonnenen Erkenntnisse waren seinerzeit für die Reaktorindustrie von ausschlaggebender Bedeutung. Sie haben auch noch heute Bestand.

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Erzielte Ergebnisse und Empfehlungen für praktische Anwendungen

Die in der Problemstellung angestrebten Ziele konnten gänzlich oder zum größten Teil erreicht werden. Die auf die Teilaufgaben bezogenen Ergebnisse werden hier in kurzer Form charakterisiert und der praktische Bezug dargestellt:

- **Bei Stoßbelastungen zu beachtende Systemparameter**

Die folgenden Eigenschaften und Randbedingungen müssen bei Stoßberechnungen zuverlässig berücksichtigt und erfasst werden (Abschnitt 3.1):

- Materialdämpfung (Beanspruchungszustand) der beaufschlagten Struktur
- Baugrundeigenschaften am Standort (Impedanzen des Baugrundes)
- Frequenzband (Erfassung aller Eigenmodes bis zur relevanten Eigenfrequenz f_n)
- Maßgebende Aufprallbereiche (abdeckende Wirkung ausgewählter Lasteinleitungsstellen)
- Charakter der Lastfunktion (Form, Anstiegszeit, Wirkungsdauer, Lastniveau)
- Miterfassung nichtlinearer Struktureigenschaften am Aufprallort (siehe modifizierte Lastfunktionen für den Lastfall Flugzeugabsturz).

- **Eignungsnachweis linear-elastischer FE-Rechenmodelle zur analytischen Ermittlung von Erschütterungsvorgängen in Bauwerken bei Stoßbelastungen**

Anhand der durchgeführten Berechnungen und Vergleiche mit experimentellen Ergebnissen konnte die Eignung und Aussagekraft von FE-Modellen nachgewiesen werden (Abschnitt 3.2). 3D-Rechenmodelle mit ausreichend feiner Diskretisierung (siehe unten) sind für analytische Berechnungen von Erschütterungsübertragungsvorgängen und Strukturantworten beim Lastfall Flugzeugaufprall durchaus geeignet.

- **Erforderliche FE-Modelldiskretisierungen bei der Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Betonstrukturen bei Stoßbelastungen**

Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen und Parameterstudien (Abschnitt 3.3) sollten die gewählten Elementlängen der FE-Modelle die folgenden verifizierten Größen nicht überschreiten:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| - Balkenelemente | $L_{k(B)} \leq c_L / 10 f_n$ |
| - Wandscheiben | $L_{k(SB)} \leq c_L / 22 f_n$ |
| - Platten, Gebäudedecken | $L_{k(P)} \leq c_{L,S} / 14 f_n$ |
| - Kastenförmige Bauwerke | $L_{k(G)} \leq c_{L,S} / 14 f_n$ |
| - Schalenelemente (Elementhöhe) | $L_{k(G)} \leq c_{L,S} / 8 f_n$ |

Stand der Verifikation von Materialmodellen und Rechenverfahren zur Erfassung nichtlinearer Effekte bei Stoßbelastungen

Die angewandten Rechenprogramme und Materialmodelle wurden anhand von Versuchsergebnissen an Balken und Platten verifiziert und für die praktische Anwendung ausreichend abgesichert. Anhand der durch experimentelle Untersuchungen verifizierten Materialmodelle und Rechenprogramme können zuverlässige Ergebnisse erzielt werden.

- **Modifizierte Lastfunktionen für Flugzeugabsturzorte an Bauwerken**

Basierend auf detaillierten zwei- bzw. dreidimensionalen Rechenmodellen der direkten Aufprallbereiche typischer Bauwerke und den wie oben beschrieben qualifizierten Rechenprogrammen wurde eine Reihe modifizierter, das nichtlineare Verhalten der beaufschlagten Schalen- bzw. Außenwände erfassender Lastfunktionen, abgeleitet (Abschnitt 4.1).

Für weitere Aufprallbereiche und Anwendungsfälle können auf der Basis des erarbeiteten und z.Z. etablierten Verfahrens analoge modifizierte Lastfunktionen abgeleitet werden

- **Strukturantworten typischer Bauwerke bei realistischer Erfassung nichtlinearer Effekte am Stoßeinleitungsort**

Die unter Anwendung qualifizierter Rechenmodelle sowie modifizierter Lastfunktionen ermittelten Strukturantworten sind (Abschnitt 4.2) gekennzeichnet durch Spektren mit reduzierten maximalen Beschleunigungswerten. Der Reduktionsfaktor ist frequenzabhängig und für den jeweiligen Aufprall und Ausgabeort verschieden und kann Werte bis zu 50% erreichen.

6.2 Ausblick

6.2.1 Stoßmindernde Baukonzepte

Erschütterungen von Baustrukturen infolge von Impulsbelastungen (Aufprall von Wrackteilen und Gewichten aus Störfällen bzw. Transportvorgängen), besonders infolge des Aufpralls von Flugzeugen, führen bei speziellen Bauwerken (z.B. einer Reaktoranlage) zu Machbarkeitsproblemen /4-55/ und nennenswertem Hardwareaufwand bei der Auslegung der in den Bauwerken untergebrachten technischen Ausrüstungen und Systeme.

Die hierdurch entstehenden Probleme beziehen sich dabei nicht nur auf die erforderlichen ergänzenden Ertüchtigungen des Bauwerkes in Aufstellorten von Komponenten, die zwecks Abtragung der durch die Erschütterungen induzierten Beschleunigungskräfte und Belastungen erforderlich sind bzw. auf die Standsicherheit und Spannungsabgrenzung der Komponenten selbst, sondern in erster Linie auf die Notwendigkeit der Durchführung umfangreicher, kostenintensiver Funktionsnachweise für diese Systeme. Besonders hiervon betroffen sind alle elektrotechnischen und leittechnischen Komponenten. Bis zu Festschreibung des Lastfalls Flugzeugabsturz wurde die Funktionsfähigkeit dieser Systeme nur für ein relativ niedriges Beschleunigungsniveau (Erdbeben) und einen Frequenzbereich bis ca. 30 Hz (anhand von Rüttelversuchen) nachgewiesen, nicht jedoch für die bei Impulsbelastungen zu erwartenden hohen Beschleunigungswerte im Frequenzbereich bis ca. 80 Hz. Im Nachhinein wurden ergänzende Versuche zur Funktionsabsicherung mehrerer

mechanischer Komponenten durchgeführt. Obwohl aufgrund von nichtlinearen Berechnungen für ungestörte Gebäudeaufprallbereiche (Kugel-, Zylinderbereich, ebene Platten) eine beachtliche Abminderung des Beschleunigungsniveaus möglich war (Absatz 4.2) und eine Entschärfung des Problems erreicht wurde, konnte für steife Aufprallorte, insbesondere bei rechteckigen Gebäuden (Kanten-, Ecken-, Einbindungsbereiche von Deckenplatten) eine derartige Verbesserung nur in geringem Umfang erreicht werden (Fig. 4-59). Eine gewisse Abminderung könnte theoretisch (Deformation, Energieverzehr) jedoch durch eine gezielte konstruktive Gestaltung und Bemessung dieser Bereiche erreicht werden (Fig. 4-60).

Die Größenordnung der durch die Anwendung geeigneter Gestaltungskonzepte erreichbaren Abminderung der Lastfunktion sowie die Reduzierung der Erschütterungen in den Aufstellorten von Komponenten kann (abhängig von der Größe der Impulsbelastung und der Masse des Bauwerkes) auf ca. 50 % geschätzt werden.

Die Machbarkeit solcher konstruktiver Lösungen wurde durch Parameterstudien mit gezielter Gestaltung, Dimensionierung und Variation der Ausführung für Kanten- und Eckbereiche eines Bauwerkes (Fig. 4-60) nachgewiesen. Auch bei bestehenden Bauwerken kann prinzipiell durch Anbringen von vorgefertigten Bauteilen aus Beton (Fig.4-61b) mit speziellen Eigenschaften (Stahlfaserbeton) /4-13/, /4-14/, /4-29/, /4-32/ eine beachtliche Abminderung der eingeleiteten Belastung durch ein entsprechend großes plastisches Deformationsvermögen und dem hieraus resultierenden Energieverzehr erreicht werden /4-69/, /4-75/, /4-76/. Die beiden o.g. Größen werden durch eine Reihe von charakteristischen noch zu optimierenden Parametern bestimmt.

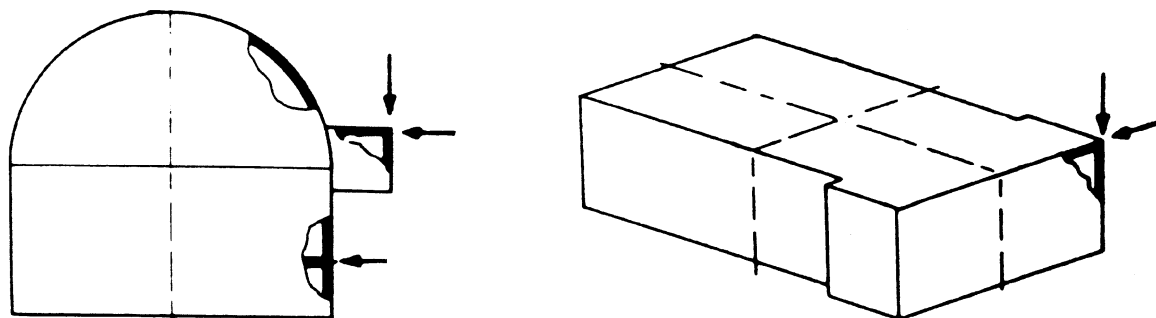


Fig. 7-59: Exponierte Gebäudebereiche bei Impulsbelastungen

Zur Festlegung der Gestaltungskonzepte und der Ausführung der Strukturen im Aufprallbereich sowie bezüglich der Eigenschaften des Füll- und Auskleidungsmaterials sind ausführliche experimentelle Untersuchungen an Testobjekten erforderlich.

Im Rahmen der durchgeführten Studien wurden Vorabuntersuchungen sowohl zum nichtlinearen Verhalten und Bemessen ebener sowie gekrümmter dünnwandiger Schalen als auch von doppel-schaligen (Einbindungsbereiche von Decken) Konstruktionskonzepten (Fig. 4-60) durchgeführt /4-75/.

Die für die o.g. Einbindungsbereiche von Decken anhand von 3D-Rechenmodellen ermittelten Verformungen der beaufschlagten Außenschalen bestätigen die prinzipielle Machbarkeit der vorgeschlagenen stoßmindernden Konstruktionslösungen.

Auch bei üblich angewandten Gesamtwandstärken von ca. 1,80 bis 2,00 m sind Hohlräume mit Abmessungen der maximalen Verformungen von ca. 30 bis 40 cm (Normalbeton) realisierbar. Die

erforderliche Bewehrung kann problemlos untergebracht werden. Eine Stoßübertragung auf die innere Schale (Decke) kann durch die Festlegung einer entsprechenden Hohlraumbreite t_0 (Fig. 4-60) weitgehend reduziert oder verhindert werden.

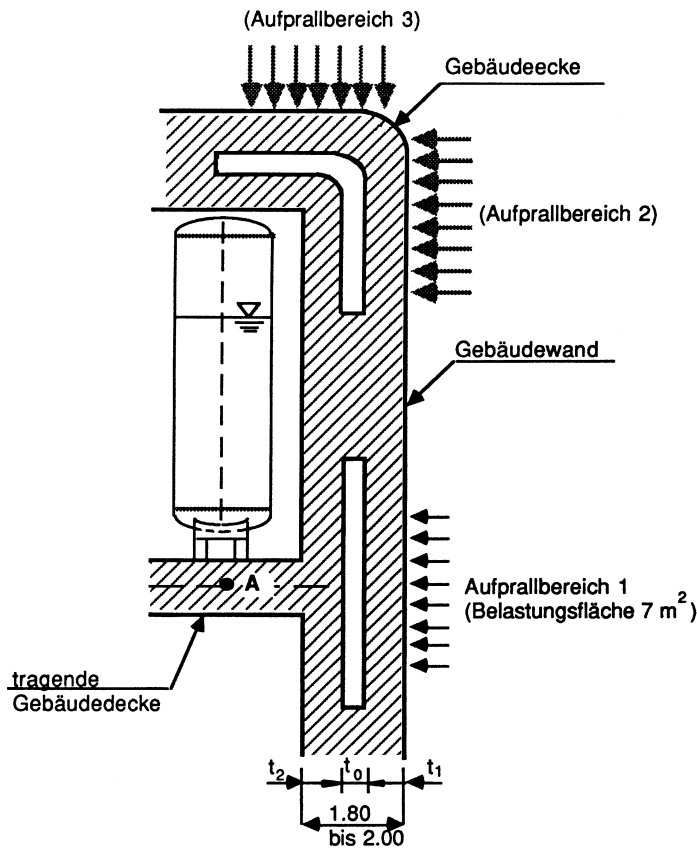


Fig. 4-60: Stoßmindernde Konstruktionskonzepte für Kanten- sowie Einbindungsbereiche von Deckenscheiben eines Bauwerks /4-69/, /4-75/, /4-76/

Die vorab für derartige Konstruktionskonzepte (Fig.4-60) durchgeführten Berechnungen /4-69/ mit einer Wandstärke t_1 der Außenschale von 1,0 m und einer Wandstärke der inneren Schale t_2 von ca. 0,7 m führten zu positiven Aussagen bezüglich der Machbarkeit einer derartigen technischen Lösung sowohl für Normal- als auch Stahlfaserbeton.

Wertet man die in den Aufstellorten von Komponenten im Gebäude zu erwartenden Strukturantworten aus (Punkt. A in Fig. 4-60), so gelangt man zu der Feststellung, dass bei Einführung doppelschaliger Lösungskonzepte im gesamten Frequenzbereich um zumindest Faktor 2 geringere Strukturantworten (Beschleunigungen) als bei herkömmlicher Lösung zu erwarten wären. In weiteren Schritten sollten Untersuchungen zur zweckdienlichen Gestaltung und Bemessung von Gebäudekanten- und Eckbereichen aus Normal- und Stahlfaserbeton angedacht werden. Dies sollte sowohl durch analytische Vorausrechnungen als auch durch experimentelle Überprüfung erfolgen.

Eine experimentelle Erprobung der vorgeschlagenen doppelschaligen Baukonzepte anhand von Testmodellen (Fig. 4-61a) an der HDR-Anlage war bereits geplant gewesen /4-71/.

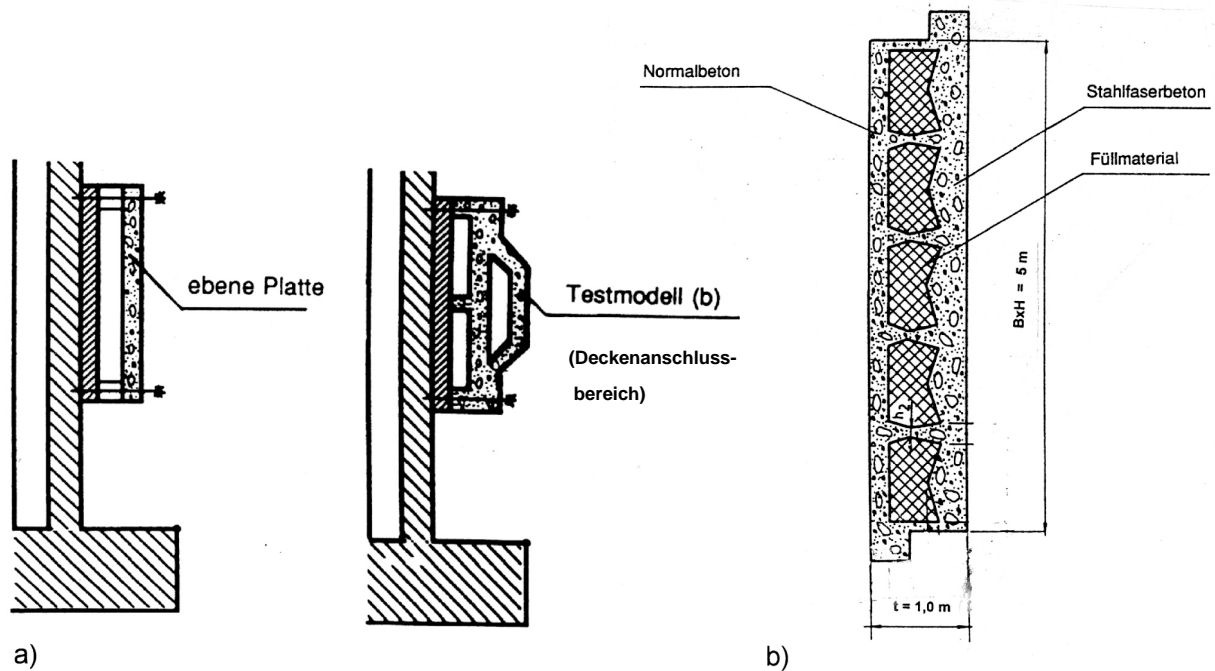


Fig. 4-61: a) Doppelschalige Testmodelle [4-71], b) Prallschutzelement

6.2.2 Ertüchtigung vorhandener schutzbedürftiger Bauwerke

Sowohl die Penetrationsschutzanforderungen als auch die erforderliche Minimierung der Erschütterungen könnten durch Auflage/Vorbau/Montage von entsprechend konzipierten und angefertigten Prallschutzelementen aus geeignetem plastifizierungsfähigem und penetrationsfestem Material an den beaufschlagten Wänden erreicht werden (Fig. 4.61b).

Durch Optimierung der konstruktiven Lösungen und zielgerechte Gestaltung ggf. auch durch Anwendung von Füllmaterial mit speziellen Eigenschaften könnte eine beachtliche Abminderung der eingeleiteten Belastung (aufgrund eines entsprechend großen plastischen Deformationsvermögens und dem hieraus resultierenden Energieverzehr) erreicht werden.

Das Gestaltungskonzept und die Vorgabe der Materialeigenschaften (ggf. Spezialbeton mit entsprechender Bewehrung) für die Ausführung der Strukturen im Aufprallbereich stellen dabei die wichtigsten zu lösenden Probleme dar [4-71].

Die bisher durchgeführten Untersuchungen an entsprechend konzipierten Prallschutzelementen führen zu optimistischen Aussagen, insbesondere zu der Feststellung der konstruktiven Machbarkeit und Eignung derartiger Schutzkonzepte zum Abbau der am Aufprallort eingeleiteten Belastung sowie Reduzierung von in dem beaufschlagten Bauwerk zu erwartenden induzierten Erschütterungen [4-76].

7. Referenzen

- /1-1/ *Popp, C. (61)*
Der Querstoß beim Aufprall von Kraftfahrzeugen auf Stützen und Rahmenstiele in Straßenunterführungen, Forschungsheft aus dem Gebiet des Stahlbaus, Heft 14, Stahlbau Verlag Köln, 1961
- /1-2/ *Popp, C. (65)*
Untersuchungen über den Stoßverlauf beim Aufprall von Kraftfahrzeugen auf Stützen und Rahmenstiele aus Stahlbeton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 246, Berlin 1965
- /1-3/ *Gwoltney, R.C. (68)*
Missile generation and protection in Light-Water-Cooled Power Reactor Plants, ORNL NSIC-22, Oak Ridge National Laboratory, 1968
- /1-4/ *Stevenson, J.D. (72)*
Tornado Design of Class I Structures for Nuclear Power Plants, Proceedings of Symposium on Structural Design of Nuclear Power Plant Facilities, University of Pittsburgh, Department of Civil Engineering, December, 1972
- /1-5/ *Johnson, T.E. (72)*
Analysis of Building Structures for Tornado, Jet Load, Missile Penetration and Impact Effects, Symposium on Structural Design of Nuclear Power Plant Facilities, University of Pittsburgh, December, 1972
- /1-6/ *Suarez, M.A. (73)*
Selection of Design Basis Tornado, Presented at ASCE Specialists Conference on Structural Design of Nuclear Power Plant, Chicago, December 1973, Volume II
- /1-7/ *Popp, C. (73)*
Untersuchungen über den Querstoß beim Aufprall von Kraftfahrzeugen auf Gründungspfähle aus Stahlbeton und Stahl, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 246, Berlin 1974
- /1-8/ Regulatory Guide 1.76 (74)
US Atomic Energy Commission
- /1-9/ *Meier, W. (75)*
Berechnungsmethode für die statische Ersatzlast beim freien Fall des Gegengewichtes oder der Kabine eines Kleinwarenaufzuges, Schweizerische Bauzeitung, Vol. 93, Heft 49, 1975
- /1-10/ *Yoshimura, H.R., Schamaun, J.T., Sliter, G.E. (79)*
Full scale turbine missile casing exit tests, 5. SMiRT Conference, SMiRT 5th Konferenz, Berlin, Aug. 1979, (J8/12)
- /1-11/ *Labra, J.J. (79)*
Protective structure response to vehicle impact, ASCE, Journal of the Structural Division, June 1979
- /1-12/ *Chiapetta, R.L., Cosstello, J.F. (81)*
Automobile impact forces on concrete walls Transactions 6. SMiRT Conference, Paris, Aug. 1981, (J8/8)

- /1-13/ *Saul, R., Svenson, H. (81)*
Zum Schutz von Brückenpfeilern gegen Schiffsanprall, dargestellt am Beispiel der Brücken Zarate-Brazo Largo über den Parana (Argentinien), Die Bautechnik, Heft 10, 1981
- /1-14/ *Saul, R., Svensson, H. (82)*
On the Theory of Ship Collision Against Bridge Piers, IABSE Periodica P51/82
- /1-15/ *Laheld, P. (82)*
Statistics on collision accidents with offshore structures, IABSE Colloquium Copenhagen 1982, Introductory Report, Vol. 41
- /1-16/ *Brandt, K., Krutzik, N.J., Zorn, N.F. (84)*
Dynamic Buckling Calculation of Soft Missile Impact, Conference on Structural Analysis and Design of Nuclear Power Plants, Porto Alegre 1984
- /1-17/ *Macanlay, M.A.*
Introduction to Impact Engineering, Chapman and Hal Ltd, 1987
- /1-18/ *Freund, H.U., Schumann St., Rischbieter F., Schmitz C (89)*
Loading functions generated by solid explosive detonations inside concrete containment structures, SMiRT10th Conference, Los Angeles, August 1989
- /1-19/ *Pfeiffer R.A., Kennedy J.M. (89)*
Free Drop Impact Analysis of Shipping Cast, Nuclear Engineering and Design Vol. (114) 1989
- /1-20/ *Yi, Pingli (91)*
Explosionseinwirkungen auf Stahlbetonplatten, Dissertation der Universität Karlsruhe, Februar 1991
- /1-21/ *Stevenson J.D. (74)*
Engineering and Management Guide to Tornado, Missile, Jet and Pipe Whip Effects on Equipment and Structures, Nuclear Structural Systems Association Inc. Pittsburg, 1974
- /2-1/ *Riera, J.D. (68)*
On the stress analysis of structures subjected to Aircraft Forces, Nuclear Engineering and Design (8) 1968
- /2-2/ *Lorenz, H., (70)*
First Nuclear Plant Located Near an Airport is Designed to Withstand Impact of a Crashing Plane, Power Engineering, November, 1970
- /2-3/ *Franke E. (71)*
Entwicklungsprogramm zur Untersuchung wirksamen Gebäudeschutzes AEG-Bericht Nr. 1920, 1971
- /2-4/ *Schafstall, H.G., Furste, W. (73)*
Studie über wirtschaftliche Auswirkungen des Schutzes von Kernkraftwerken gegen Einwirkungen von außen, BMfT Forschungsvorhaben RS65, Fried Krupp-Bericht, Mai 73
- /2-5/ *Zerna, W., Stangenberg, F. (74)*
Zur Auslegung von Kernkraftwerken auf außergewöhnliche dynamische Lastfälle, Bauingenieur, Nr. 49, 1974

- /2-6/ *Institut für Bautechnik (74)*
Richtlinien für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen von Kernkraftwerken für außergewöhnliche äußere Belastungen; IfBt-Mitteilung 6/1974
- /2-7/ *Jonas, W., Rüdiger, E. (74)*
Dimensionierung von Stahlbetonbauten des äußeren Containments von Kernkraftwerken unter der Wirkung von Flugkörpern, Konzeptstudie (RS 116), Technischer Bericht Hochtief, Sept. 1974
- /2-8/ *Säemann, R., Krutzik, N.J. (75)*
Ermittlung des maßgebenden Aufprallpunktes für das Reaktorgebäude KKK 1 beim Lastfall Flugzeugabsturz, Techn. Bericht KWU/R 2-3609, 1975
- /2-9/ *Winkel, G., Säemann, R. (75)*
Optimierung der Größen von Plattenelementen bei dreidimensionaler Idealisierung von Gebäudestrukturen, Technischer Bericht KWU/R 11-3608, 1975
- /2-10/ *Drittler, K., Gruner, P. (75)*
Zur Auslegung kerntechnischer Anlagen gegen Einwirkungen von außen, Teilaspekt: Berechnung von Kraft-Zeitverläufen beim Aufprall deformierbarer Flugkörper auf eine starre Wand, Wissenschaftliche Berichte IRS-W-14, April 1975
- /2-11/ *Krutzik, N.J., Säemann, R. and Winkel, G. (75)*
Dynamische Berechnungen für das Reaktorgebäude KKK 1, Lastfall Flugzeugabsturz, elastisches Materialverhalten, Techn. Bericht KWU/R 2-3584, 1975
- /2-12/ *Schalk, M., Wölfel, H. (76)*
Response of equipment in nuclear power plants to aircraft crash Nuclear Engineering and Design (38), 1976
- /2-13/ *Krutzik, N.J., Winkel, G. (76)*
Dynamische Berechnungen von Hauptstrukturen der Anlage KRB II, Lastfall Flugzeugabsturz, Techn. Bericht KWU/R 14-36-76
- /2-14/ *Kotulla, B., Hanson, V. (77)*
Analysis of the impact of an aircraft crash on underground concrete ducts with protective slab at reactor buildings, SMiRT 4th Conference, San Francisco, Aug. 1977, (J8/8)
- /2-15/ *Krutzik, N.J., Winkel, G. (77)*
Dynamische Berechnungen des Reaktorgebäudes IRAN bei Belastung infolge Flugzeugabsturz, Techn. Bericht KWU/R 14-148-77
- /2-16/ *Krutzik, N.J. (77)*
Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Weiterentwicklung von Druck- und Siedewasserreaktoren „SWR-Erdbebenbelastung“
Teil 1 bis 4, Abschlussbericht BMfT RB 78 I/A 42, 1977
- /2-17/ *Larson G., Lundsager P. (77)*
On the response of a reactor building and its equipment to aircraft crash, SMiRT 4th Conference, August 1977, San Francisco
- /2-18/ *Wolf, J.P., Bucher, K.M., Skrikerud, P.E. (78)*
Response of equipment to aircraft impact, Nuclear Engineering and Design, (47), 1978

- /2-19/ *Donea, J. (Editor) (78)*
Advanced Structural Dynamics, Chapter 11, „Analysis of aircraft impact problems“, Applied Science Publishers LTD, Essex, England 1978
- /2-20/ *Kamil, H., Krutzik, N.J., Kost, G., Sharpe, R. (78)*
An Overview of Major Aspects of the Aircraft Impact Problem, Nuclear Engineering and Design (46) 1978
- /2-21/ *Schrader, K.H., Kaiser A., Krutzik, N.J. (78)*
Comparison of the Dynamic Response of the Structures of a Typical DWR-Reactor Building to the Load Cases Earthquake, Aircraft and Explosion; Conference on Structural Analysis and Design of Nuclear Power Plants, Porto Alegre, Brazil, April 1978
- /2-22/ RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren, LL DWR (79)
- /2-23/ *Kamil, H., Kost, G., Sharpe, R., Krutzik, W. (79)*
Analyses of Critical Structures and Contained Equipment for Aircraft Impact Loading, SMiRT 5th Conference, Berlin 1979, (J9/1)
- /2-24/ *Riera, J.D. (79)*
A Critical Reappraisal of Nuclear Power Plant Safety against Accidental Aircraft Impact, SMiRT 5th Conference, Berlin 1979, (J9/2)
- /2-25/ *Schrader, K.H., Kaiser, A., Krutzik, N.J. (79)*
On the Dynamic Analysis of Axisymmetric Structures Considering Non-Axisymmetric Concentrated Masses, SMiRT 5th Conference Berlin, August 1979
- /2-26/ *Brandt, K., Krutzik, N.J. (79)*
Dynamische Berechnungen für das Reaktorgebäude Grohnde bei Belastungen infolge Flugzeugabsturz, Technischer Bericht KWU/R 143/161/79
- /2-27/ *Dubois W. (80)*
Strukturdynamische Berechnungen für das Notspeisegebäude der Anlage Grohnde bei Belastungen infolge Flugzeugabsturz
Technischer Bericht KWU/R 143/16/1980
- /2-28/ *Dubois W. (81)*
Untersuchungen zur Auswahl maßgebender Aufprallbereiche beim Notspeisegebäude der Standardbaureihe
Technischer Bericht KWU/R621/81/059
- /2-29/ *Zorn N.F. Schueller, Riera J.D. (81)*
A probability approach for evaluation of goal time history of an aircraft import
SMiRT 6th Conference Paris, Aug. 1981 (JG/10)
- /2-30/ *Riera, J.D., Zorn, N.F.(81)*
Risk due to accidental aircraft crash against nuclear power plants – on the definition of the due to engine impact, Caderno Tecnico CT 28/81 (1981), Curso de Pos Graduacao em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, Brasil
- /2-31/ *Riera, J.D. (82)*
Basic concepts and load characteristics in impact problems, RILEM, CEB, IABSE, IASS-Interassociation Symposium Concrete Structures under Impact and Impulsive Loading, Berlin June 1982

- /2-32/ *Zorn, N.F.; Riera, J.D.; Schueller, G.I. (82)*
On the definition of the excitation due to engine impact. RILEM, CEB, IABSE, IASS-Interassociation Symposium Concrete Structures under Impact and Impulsive Loading, BAM, Berlin June 1982
- /2-33/ *Lysmer, J., Arnold, P., Jakub, M., Krutzik, N.J. (83)*
Dynamic Behaviour of Tunnels under Impact, SMiRT 7th Conference, Chicago 1983 (J7/9), Nuclear Engineering and Design (85) 1983
- /2-34/ *Engelke, V., Krutzik, N.J., Leimbach, K.R. (83)*
Performance of Eigenvalues in Modal Analysis of Nuclear Plant Building Structures, Nuclear Engineering and Design (85) 1985
- /2-35/ *Bauer, Scharpf, Schwarz (84)*
Studie zum Lastfall Flugzeugabsturz auf Kernkraftwerke, Industrieanlagen Betriebsgesellschaft mbH, IABG-Bericht B-TF 1753, Dez. 1984
- /2-36/ *Korbach, J. (84)*
Erfahrungen bei der dynamischen Untersuchung von Baustrukturen, Finite Element-Anwendungen in der Baupraxis, Tagung TU München 1984
- /2-37/ *Leimbach, K.R., Krutzik, N.J. (84)*
On the Choice of Linear Dynamic Methods of Substructure Design Problems, Conference on Structural Analysis and Design of Nuclear Power Plants, Porto Alegre, 1984
- /2-38/ *Fischer, U., Krutzik, N.J. (85)*
Dynamic Calculations of Nuclear Power Plant Structures due to Natural and Manmade Hazards, International Symposium on Intensive Loading, Beijing 1985
- /2-39/ *Leimbach, K.R., Krutzik, N.J. (85)*
Nuclear Power Subsystem Dynamic Structural Analysis by Partially Diagonalised Modal Coupling, SMiRT 8th Conference B10/5, Brussels 1985
- /2-40/ *Leimbach, K.R., Krutzik, N.J. (85)*
Internal Components Subjected to Building Response from Impact and Blast, International Symposium on Intensive Dynamic Loading, Beijing 1985
- /2-41/ *Krutzik, N.J. (85)*
Dynamische Auslegung von Reaktorstrukturen bei äußeren Einwirkungen und inneren Störfällen, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift 4/1986, Tagung Mechanik und Industrie, Innsbruck/Igls 1985
- /2-42/ *Zorn, N.F., Kupfer, H. (86)*
Zur praktischen Berechnung von Stoßlasten im Hinblick auf die Auslegung von Tragwerken, Bauingenieur (61), 1986
- /2-43/ *USNRC Regulatory Guide 1.61 (89)*
Damping Values for Seismic Design of Nuclear Power Plants
- /2-44/ *von Riesenmann (89)*
Full Space Aircraft Impact Test for Evaluation of Impact Forces, part 1 SMiRT 10th Conference
Los Angeles 1989, J (285-292)

- /2-45/ *Leimbach, K.R., Krutzik, N.J. (91)*
Dynamic Response Analysis of Combined Axisymmetric and 3D Building Structures,
SMiRT 11th Conference Tokyo 1991, (2K/1281)
- /2-46/ *Luz, E., Gurr-Beyer, C., Freiman, M., Krutzik, N.J. (91)*
Verification of Structural Models for Dynamic Calculation by Experimental Modal Analysis;
SMiRT 11th Conference, Tokyo 1991, (K09/1)
- /2-47/ *KTA 2203 Regelentwurf (Stand 93)*
Schutz von Kernkraftwerken gegen Flugzeugabsturz, Auslegung der baulichen Anlagen
- /3-1/ *Abramson, H.N. (57)*
The propagation of flexural elastic waves in solid circular cylinders, Journal of the
Acoustical Society of America, Vol. 29, 1957
- /3-2/ *Abramson, H.N., Plass, H.J. (58)*
Stress Wave Propagation in Rods and Beams, Advances in Applied Mechanics, Vol. 5,
1958
- /3-3/ *Newmark, N.M. (59)*
A method of computation for structural dynamics
ASCE, Journal Engineering Mechanics Division, 1959
- /3-4/ *Norris, C.H., Hanson, R.J., Biggs, J.M. (59)*
Structural Design for Dynamic Loads
Mc Graw Hill Book, Comp., New York, 1959
- /3-5/ *Biggs, J.M. (64)*
Introduction to Structural Dynamics
Mc Graw Hill Book Company, 1964
- /3-6/ *Kolsky, H. (64)*
Stress Waves in In-elastic Solids, Springer Verlag Berlin, 1964
- /3-7/ *Constantino, C.J. (67)*
Finite Element Approach to Stress Wave Problems
Journal of the Engineering Mechanics Division,
American Society of Civil Engineers, April 1967
- /3-8/ *Lakin, G., Sachs, H.K. (67)*
Energy Dissipation of Non-linear Critically Damped Systems During Impact,
ASME, Journal of Applied Mechanics, September 1967
- /3-9/ *Bertholt, L.D. (67)*
Numerical Solution for Two Dimensional Elastic Wave Propagation in Finite Basis Journal
of Applied Mechanics, Sept. 1967
- /3-10/ *Clough, R.W., Penzien, J. (68)*
Dynamics of Structures, MC Graw Hill Book Company
- /3-11/ *Biggs, J.M., Rosset, J.M. (70)*
Seismic Design of Nuclear Power Plants, R.J. Hansen, Editor, M.I.T. Press, 1970,
- /3-12/ *Babich, V.M. (Editor), (70)*
Mathematical Problems in Wave Propagation, Theory Volume 9, 15,15

- V.A. Stezlov Mathematical Institute St. Petersburg, Special Research Report Translated by Consultant Bureau, New York-London 1970/1971/1972
- /3-13/ *Scanlan, R.H. (70)*
Linear Damping Models and Causality in Vibrations, Journal of the Sound and Vibration, Vo. 13, No. 4, 1970
- /3-14/ *Chelapati, C.F., Kennedy, R.P., Wall, I.B. (72)*
Probabilistic Assessment of Aircraft Hazard for Nuclear Power Plant, Nuclear Engineering and Design, (19), 1972
- /3-15/ *Sagartz, M.J. (73)*
Use of Model Solutions in Elastic Wave Propagation Problems, AIAA Journal, Vol. 11, No. 3, March 1973
- /3-16/ *Morrone, A. (74)*
Damping Values of Nuclear Power Plant Components, Nuclear Engineering and Design (26), 1974
- /3-17/ *Graf, K.F. (75)*
Wave Motion in Elastic Solids, Oxford University Press, 1975
- /3-18/ *Schmiechen, M. (75)*
Zur Kollisionsdynamik von Schiffen, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft
- /3-19/ *Ito, M., Katayama, T., Nakarone, T. (75)*
Some Experimental Facts on Damping of Bridges, Symposium Acted on by Resistance and Ultimate Deformabilities of Structures by Well Defined Repeated Loads, International Association of Bridge and Structural Engineering
- /3-20/ *Bahar, L.Y., Rice, J.S. (75)*
Reaction Time Relationship and Structural Design of Reinforced Concrete Slabs and Shells for Aircraft Impact, 3. SMiRT Conference, London, September, 1975
- /3-21/ *Bathe, K.J., Wilson, E.L. (76)*
Numerical Methods in Finite Element Analysis
Prentice-Hall, Inc. 1976
- /3-22/ *Krutzik, N.J., Winkel, G., Schrader, K. H. (75)*
Vibration of Composite Circular Shell Structures due to Transient Loads,
3. SMiRT Conference, London 1975 (J4/5)
- /3-23/ *Sharpe, R. L., Kamil, H., Scanlan, R. H. (75)*
Analysis of an Aircraft Impact on a Reactor Building, SMiRT 3rd Conference, London 1975 (J5/4)
- /3-24/ *Kost, G., Tsui, E.Y.W., Krutzik, N.J. (75)*
Reactor Pressure Vessel Structures, SMiRT 3rd Conference, London 1975 (K6/2)
- /3-25/ *Winkel, G., Kaiser, A. (75)*
Beanspruchung des Sicherheitsbehälters KKB anhand von analytischen und experimentellen Untersuchungen bei transienten Belastungen, Finite Element Congress, Baden-Baden 1975
- /3-26/ *Sachs, K., Scanlan, R. H. (75)*
Floor Response Spectra for Multi-Degree-of-Freedom Systems by Fourier Transformation, SMiRT 3rd Conference, London 1975 (K5/5)

- /3-27/ *Degen, P., Furrer, H., Jemielewski, J. (75)*
Structural Analysis and Designs of a Nuclear Power Plant Building for Aircraft Crash Effects, SMiRT 3rd Post-Seminar, Berlin, September 1975
- /3-28/ *Sharpe, R.L., Kamil, H., Scanlan, R.H. (75)*
Analysis of a Reactor Building for Aircraft Impact, SMiRT 3rd Conference, London, September, 1975
- /3-29/ *Achenbach, J.D. (76)*
Wave propagation in elastic solids, North Holland Publishing Company Amsterdam, Applied Mathematics and Mechanics, Vol. 16, 1976
- /3-30/ *Woisin, G. (76)*
Die Kollisionsversuche der GKSS, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Vol. 70, 1976
- /3-31/ *Armen, H., Garnet, H. (76)*
Finite Element Analysis of Elastic-Plastic Wave Propagation Effects, Computers and Structures, Vol. 6, (1976)
- /3-32/ *Harris, C.M., Crede, C. E. (76)*
Shock and Vibration Hand Book, Second Edition, McGraw Hill Book Company, 1976
- /3-33/ *Pochhammer, L. (76)*
Über Fortpflanzungsgeschwindigkeiten kleiner Schwingungen in einem unbegrenzten, isotropen Kreiszyylinder, Journal für Angewandte Mathematik, Vol. 81, 1976
- /3-34/ *Shantaram, D., Owen, D.R.J., Zienkiewicz, O.C. (76)*
Dynamic transient behaviour of two- and three-dimensional structures including plasticity, large deformation effects and fluid interaction
Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 4, 1976
- /3-35/ *Anderson, M.A.H.G., Davis, I.U., Bartley, R. (77)*
Reinforced Concrete Behavior due to Missile Impact
SMiRT 4th Conference, San Francisco, 1977, (J7/7)
- /3-36/ *Kolsky, H. (78)*
Wave Propagation in Solids, Vorlesungsmanuskript ETH Zürich, Institut für Mechanik, Wintersemester 1978/79
- /3-37/ *Krutzik, N.J., Gantayat, A., Kamil, H., Kost, G. (79)*
Investigation on the Influence of Interaction of two Adjacent Structures on their Dynamic Response, SMiRT 5th Conference, Berlin 1979, (K6/8)
- /3-38/ *Krivy, J., Kunze, W.M. (79)*
Comparison of Response Spectra for Aircraft Impact Calculated by a Beam and 3D-Shell Model, SMiRT 5th Conference, Berlin 1979, (J9/6)
- /3-39/ *Shingley, S.A., Leistner, H.G., Jones R.F. (81)*
Elastic Wave-Propagation – A comparison between Finite Element Predictions and Exact Solutions, Dynamics of Earth Material, University of Stanford, (1981)
- /3-40/ *Bouma, A.L., Reinhardt, H.W., Kamp, C.L. (82)*
Propagation of longitudinal waves near a crack
RILEM, CEB, IABSE, IASS-Interassociation Symposium on „Concrete structures under impact and impulsive loading“, BAM Berlin, June 1982

- /3-41/ *Ammann, W., Mühlematter, M., Bachmann, H. (82)*
Reinforced and prestressed concrete beams under shock-loading conditions,
RILEM-/CEB-/IABSE-/IASS-Interassociation Symposium on „Concrete structures under
impact and impulsive loading“ BAM Berlin, June 1982
- /3-42/ *Brandt, K., Kaiser, A., Krutzik, N.J. (82)*
Anwendungsgebiete von MESY in der Reaktorindustrie
In „Strukturmechanik und Numerische Verfahren“
Köln, Verlagsgesellschaft R. Müller, 1982
- /3-43/ *Zorn, N.F. (83)*
Stress wave propagation in reinforced concrete piles during driving,
Report 5-83-21, Stevin Laboratory, Delft University of Technology, 1983
- /3-44/ *Steinhilber, H.(83)*
Erdbebenuntersuchungen (1983) am Heißdampfreaktor Kahl,
Ermittlung der Dampfung für Reaktorgebäude und maschinentechnische Anlagen
Techn. Fachbericht PHDR 32-82, Febr. 1983
- /3-45/ *Wörner, J.D. (84)*
Ausloten der Sicherheitsreserven in der Übertragungskette Bauwerk-Komponente bei
Erdbeben, Abschlußbericht zum BMfT-Vorhaben 150520, König und Heunisch, 1984
- /3-46/ *Mischke, J., Hilnert, H.J., Henkel, F.O. (1984)*
Dynamische Analyse und Antwortspektren des Hauptgebäudes einer Wiederaufarbei-
tungsanlage, Bautechnik Heft 7 1984, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- /3-47/ *Assmann, B. 984)*
Technische Mechanik Band 3, Kinematik und Kinetik
R. Oldenburg Verlag, München 1984
- /3-48/ *Riera, J.D. (84)*
Local Effects in Impact Problems on Concrete Structures, Conference on
Structural Analysis and Design of Nuclear Power Plants, Porto Alegre 1984
- /3-49/ *Sobczyk, K. (84)*
Stochastic Wave Propagation, Fundamental Studies in Engineering 6,
Esevier Amsterdam 1984
- /3-50/ *Schrader, K.H., Brandt, K., Kaiser, A., Krutzik, N.J. (84)*
Dynamic Analysis of Axisymmetric Structures Taken into Account Local
Non-Axisymmetric Distributed Masses, Conference on Structural Analysis and Design
of Nuclear Power Plants, Porto Alegre 1984
- /3-51/ *Flade, D. (84)*
HDR-Versuchsgruppe Stoßanregung
HDR-Arbeitsbericht Nr. 4.254/84
- /3-52/ *Flade, D., Malcher, L., Schrammel, D., Steinhilber (85)*
HDR- Sicherheitsprogramm
Stoßversuche an der Betonschale
Technischer Bericht, HDR-Bericht Nr. 55-85, Oktober 1985
- /3-53/ *Wenzel H. H.*
HDR -Sicherheitsprogramm

- Stoßversuche an der Betonschale
Versuchsprotokoll 4.278.85, Juli 1985
- /3-54/ *Nasif, A.D., Jones, D.I.G., Hersen, J.P. (85)*
Vibration Damping
John Willy, New York 1985
- /3-55/ *Bielor, E., Freiman, M., Krutzik, N.J. (87)*
Accuracy of dynamic calculation, using shell models under local impulse loading,
SMiRT 9th Conference Lausanne, August 1987 (J9),
Nuclear Engineering and Design (117), 1989
- /3-56/ *Schlutter, F.H (87)*
Dicke Stahlbetonplatten unter stoßartiger Belastung
Dissertation der Universität Karlsruhe, Juli 1987
- /3-57/ *Laturelle, F.G. (89)*
Finite Element Analysis of Wave Propagation in an Elastic Half-Space under
Step Loading, Computers & Structures, Vol. 32, 1989
- /3-58/ *Puri, P.(89)*
Fundamentals of Vibrations and Waves, Tata Mc Graw Hill Publishing Company
New Delhi 1989.
- /3-59/ *Leimbach, K. R., Krutzik, N. J. (89)*
Dynamic Analysis of Clustered Building Structures using Substructures Methods,
SMiRT 10th Conference, Los Angeles 1989 (K0549)
- /3-60/ *Freund, H. U., Krutzik, N. J., Müller, K. (89)*
Local Response of Concrete Structures to Explosive Loading, SMiRT 10th Conference,
Los Angeles 1989 (J085)
- /3-61/ *Belyaev, A.K. (90)*
On the application of the locality principle in structural dynamics
Acta Mechanica 83, 1990
- /3-62/ *Belyaev, A.K. (91)*
Vibration state of complex mechanical structures under broad-band excitation.
International Journal of Solids and Structures (27) (1991)
- /3-63/ *Riera, J., Rocha, Krutzik, N.J.(91)*
Extension of a Model that Aptly Describes Fracture of Plain Concrete to the Impact
Analysis of Reinforced Structures, 11. SMiRT Conference, Tokyo 1991, (J03/4)
- /3-64/ *Whithman, G.B.(91)*
Linear and Nonlinear Waves, John Wiley & Sons New York 1991
- /3-65/ *Bleistein, N. (91)*
Mathematical Methods for Wave Phenomena, Academic Press Inc.1991 ^
- /3-66/ *Gaul, L., Klein, P., Kremple, S. (91)*
Damping description involving free tuned operators
Mechanical Systems and Signal Processing, 1991
- /3-67/ *Belyaev, A.K., Krutzik, N. J. (94)*
Localization of High Frequency Vibrations of Secondary Systems of Power Plants,
Acta Mechanica 102 1-10, 1994

- /3-68/ *Palmov, V.A (98)*
Vibrations of elasto-plastic bodies
Springer Verlag 1998
- /4-1/ *Watstein, D. (53)*
Effect of Straining Rate on the Compressive Strength and Elastic Properties of Concrete
Journal of the American Concrete Institute, Vol 24, No 8., April 1953, pp. 729-744
- /4-2/ *Stangenberg, F. (73)*
Berechnung von Stahlbetonbauteilen bei Kernkraftwerken für extrem dynamische Beanspruchungen, SMiRT 2nd-Conference, Berlin, September 1973
- /4-3/ *Zerna, W., Stangenberg, F. (74)*
Zur Auslegung von Kernkraftwerken auf außergewöhnliche dynamische Lastfälle,
Der Bauingenieur, Nr. 49/1974
- /4-4/ *Popp, C. (77)*
Untersuchungen über das Verhalten von Beton bei schlagartiger Beanspruchung
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 281, Ernst & Sohn, Berlin 1977
- /4-5/ *Schmidt, H.D., Winkel, G. (77)*
Lokales Verhalten von Gebäudestrukturen beim Lastfall Flugzeugabsturz unter Berücksichtigung des nichtlinearen Materialverhaltens von Stahlbeton,
Technischer Bericht KWU/R14/77/095
- /4-6/ *Kaiser, A., Krutzik, N.J., Schrader, K.H., Winkel, G. (77)*
Local and Global Response of Reactor Buildings at the Load Case Aircraft Impact,
SMiRT 4th Conference, San Francisco 1977, (J8/3)
- /4-7/ *Jonas, W., Rüdiger, E. (77)*
Experimental and analytical research on the behaviour of reinforced concrete slabs subjected to impact loads, 4. SMiRT Conference, San Francisco, Aug. 1977, (J7/6)
- /4-8/ *Jones, N. (78)*
Recent progress in the dynamic analysis of plastic behaviour of structures, Shock and Vibration Digest, Part I: Vol. 10, Sept. 1978
- /4-9/ *Jonas, W., Rüdiger, E., Riech, H. (78)*
Kinetische Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten
Technischer Bericht, Hochtief AG, Dez. 1978
- /4-10/ *Jonas, W., Meschkat, R., Riech, H., Rüdiger, E. (79)*
Appropriate calculation of the impact of missiles on reinforced concrete structures and comparison of test results, SMiRT 5th Conference, Berlin 1979, (J8/6)
- /4-11/ *Brandt, K., Krutzik, N., Weissgerber, V. (79)*
„Nonlinear Behaviour of Reinforced Concrete Shells Under Aircraft Impact“
SMiRT 5th Conference, Berlin 1979, (J8/9)
- /4-12/ *Krutzik, N.J. (79)*
Nichtlineares Verhalten der Strukturen der Außenhülle der Anlage KKU beim Aufprall eines Flugkörpers, Technischer Bericht R 14/79/64

- /4-13/ *Hilbert, A.P. (79)*
Impact resistance of fibre concrete, Report Construction Materials Research Group, Dept. of Civil Engineering, University of Surrey, July 1979
- /4-14/ *Stangenberg, F. Buttman, P. (79)*
Impact testing of steel fibre reinforced concrete slabs with liners, SMIRT 5th Conference Berlin, August 1979, (J715)
- /4-15/ *Brandt, K., Krutzik, N.J. (80)*
Nichtlineares Verhalten der Strukturen der Außenhülle des Reaktorgebäudes Grohnde beim Aufprall eines Flugkörpers, Ermittlung einer verifizierten Lastzeitfunktion, Technischer Bericht KWU/R 143/256/80
- /4-16/ *Eibl, J. (80)*
Berichte zum Forschungskolloquium über stoßartige Belastung von Stahlbetonbauteilen, Universität Dortmund, Lehrstuhl für Beton- und Stahlbetonbau, September 1980
- /4-17/ *Jonas, Rüdiger, Riech, Heine, (80)*
Versuchseinrichtung, Erprobungsstelle Meppen, Technischer Bericht, Hochtief AG, Juni 1980
- /4-18/ *Brandes, K., Limberger, E. Herter, J. (81)*
Experimental Investigation of Reinforced Concrete Behaviour due to Impact Loading, SMiRT 6th Conference Paris, 1981
- /4-19/ *Limberger, E. (81)*
Experimentelle Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Balken und Platten aus Stahlbeton unter Stoßbelastung, 12. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, BAM Berlin, März 1981
- /4-20/ *Eibl, J., Block, K. (81)*
Zur Beanspruchung von Balken und Stützen bei hartem Stoß, Bauingenieur, Vol. 56, 1981
- /4-21/ *Jonas, Rüdiger, Riech (81)*
Stoßlast deformierbarer Projektilen (Versuche I/1-4), Technischer Bericht, Hochtief AG, März 1981
- /4-22/ *Zorn, N.F., (81)*
Flugzeugabsturz-Übersicht und Diskussion der bisher entwickelten Modelle zur Ermittlung der Last-Zeit-Funktion
Bericht Nr. RS-201 E-G, Institut für Bauingenieurwesen III, TH München 1981
- /4-23/ *Nachtsheim, W., Stangenberg, F. (81)*
Impact of deformable missiles on reinforced concrete plates, Comparisonal Calculations of Meppen Tests, SMiRT 6th Conference, Paris 1981, (J7/3)
- /4-24/ *Plank, G., Eifler, H. (81)*
Versuche zum Trag- und Verformungsverhalten von Kugelschalen aus Stahlbeton unter Einzellast, 12. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, BAM Berlin, März 1981
- /4-25/ *Berner, K.(81)*
Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf das mechanische Verhalten von Betonstählen
BAM, 12. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, März 1981

- /4-26/ Schnellenbach, G., Stangenberg, F., Jeschke, G. (81)
„Reduction of aircraft impact induced vibrations due to the non-linear behaviour of reinforced concrete, SMiRT 6th Conference, Paris, Aug. 1981 (J9/8)
- /4-27/ Brandt K., Krutzik, N.J. (81)
Dynamische Berechnungen für das Reaktorgebäude Grohnde bei Belastungen mit verifizierten Flugabsturz-Lastfunktionen
Arbeitsbericht KWU/R 621/81/081
- /4-28/ Dubois, W., (81)
Dynamische Berechnungen für das Notspeisegebäude Brokdorf bei Belastungen mit verifizierten Flugabsturz-Lastfunktionen
Arbeitsbericht KWU/R 621/82/091
- /4-29/ Suaris, W., Shah, S.P. (81)
Strain rate effects on concrete and fibre reinforced concrete, ASCE Annual Convention, St. Louis, Missouri, October 1981
- /4-30/ Krutzik, N.J., Lockau, J., Habedank (81)
Festlegung der Vorgehensweise für die strukturdynamischen Komponenten- und Rohrleitungsberechnungen bei Flugzeugabsturzbelastungen,
Arbeitsbericht KWU/R143/R321/110/81
- /4-31/ RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren, 3. Ausgabe, Oktober 1981
- /4-32/ Eibl, J., Block, K. (82)
Zweischalige Wandkonstruktionen aus Stahlbeton unter Stoßbeanspruchung
Flugzeugabsturz, Beton und Stahlbeton 2/1982
- /4-33/ Brandt, K., Krutzik, N.J., Chamdail, F., Vinckier, D. (82)
Untersuchungen zur Ermittlung des relevanten dynamischen Response von Gebäudestrukturen und Vereinfachung der Vorgehensweise bei der Auslegung von Kernkraftwerken gegen den Lastfall Flugzeugabsturz, Jahrestagung Kerntechnik, Mannheim 1982
- /4-34/ Krutzik, N.J. (82)
Vereinfachung der Vorgehensweise bei der Auslegung von Kernkraftwerken gegen Flugzeugabsturzbelastungen auf der Basis relevanter Beschleunigungswerte,
Arbeitsbericht KWU/R621/82/162a
- /4-35/ Brandt, K., Krutzik, N.J., Schad, O., Kaiser, A. (82)
Dynamic Response of Plastified Structures due to Missile Impact
RILEM-CEB-IABSE-IASS-Interassociation Symposium, Concrete Structures under Impact and Impulsive Loading, BAM Berlin, 1982
- /4-36/ Eibl, J. (I) (82)
Behaviour of critical regions under hard missile impact, RILEM-, CEB-, IABSE-, IASS-Interassociation Symposium, „Concrete Structures under Impact and Impulsive Loading“
BAM Berlin, 1982
- /4-37/ Krutzik N.J., Vinckier D. (82)
Nichtlineares Verhalten von Strukturen der Armaturenkammer eines DWR bei Flugzeugabsturzbelastungen, Arbeitsbericht KWU/R 621/82/086
- /4-38/ Krutzik, N.J., Vinckier, D. (82)
Nichtlineares Verhalten der Außenstrukturen des Notspeisegebäudes Brokdorf

- beim Aufprall eines Flugkörpers
Arbeitsbericht KWU/R 621/82/100
- /4-39/ *Krutzik, N.J. (82)*
Realistischer dynamischer Response von Gebäudestrukturen bei Flugzeugabsturzbelastungen unter Berücksichtigung nichtlinearer Effekte in den Aufprallbereichen, Arbeitsbericht KWU/R 621/82/094a
- /4-40/ *Schütz, W. at al. (82)*
HEMP/KWU, 2D-Finite-Differenzen- Programm für elasto-plastische und hydrodynamische Berechnungen, Arbeitsbericht KWU/R621/82/053
- /4-41/ *Krutzik, N.J., Rutzen, E., Vinckier, D. (82)*
Verifikation von Rechenmethoden und Programmen für nichtlineare Untersuchung von Stahlbetonstrukturen anhand von MEPPEN-Versuchen:
a) Arbeitsbericht KWU/R 621/82/144 (Versuch II/14)
b) Arbeitsbericht KWU/R 621/82/145 (Versuch II/17)
c) Arbeitsbericht KWU/R 621/82/146b (Versuch II/14 Nachberechnung)
d) Arbeitsbericht KWU/R 621/82/173 (Versuch II/04)
- /4-42/ *Blaß, U., Kempf, B., Haas, E., (84)*
Untersuchungen des Bruchverhaltens eines im Beton eingebetteten Reißgebers
Arbeitsbericht KWU/R62/84/02
- /4-43/ *Jonas, W., Rüdiger, E., Gries, M., Riech, H. (83)*
Kinetische Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten (Versuche II/1-10),
Technischer Bericht Hochtief, Okt. 1983
- /4-44/ *Eibl, J. (83)*
Stoßbeanspruchung dicker Stahlbetonplatten, ein Modell für den Flugzeugabsturz,
VDI-Kolloquium, Darmstadt 1983
- /4-45/ *Chedmail, J., Krutzik, N., Dubois, W. (83)*
Equivalent Loading Due to Airplane Taking into Account the Nonlinearities of Impact Reinforced Concrete Buildings, SMiRT 7th Conference, Chicago 1983 (J9/3),
Nuclear Engineering and Design (85) 1985
- /4-46/ *Buckhardt, F., Magiera, G., Matthees, W., Weber, M. (83)*
A non-linear 3D Containment Analysis for Airplane Impact, SMiRT 7th Conference,
Chicago 1983
- /4-47/ *Krutzik, N.J., Rutzen, E., Vinckier, D. (83)*
Verifikation von Rechenmodellen und Programmen für zweidimensionale nichtlineare Untersuchungen von Stahlbetonstrukturen anhand von MEPPEN-Versuchen
a) Arbeitsbericht KWU/R 621/83/032 (Versuch II/16)
b) Arbeitsbericht KWU/R 621/83/038 (Versuch II/18)
c) Arbeitsbericht KWU/R 621/83/40 (Versuch II/19)
d) Arbeitsbericht KWU/R 621/83/43 (Versuch II/20)
e) Arbeitsbericht KWU/R 621/83/44 (Versuch II/21)
- /4-48/ *Rutzen, E., Vinckier, D. (83)*
Verifikation von Rechenmodellen und Programmen für zweidimensionale nichtlineare Untersuchungen von Stahlbetonstrukturen anhand von MEPPEN-Versuchen

- Arbeitsbericht KWU/R/83/108
- /4-49/ *Krutzik, N.J., Vinckier, D. (83)*
Verifikation von Rechenmodellen und Programmen für dreidimensionale nichtlineare Untersuchungen von Stahlbetonstrukturen anhand von MEPPEN-Versuchen (II/18), Arbeitsbericht KWU/R 621/83/064
- /4-50/ *Krutzik, N.J., Vinckier, D. (83)*
Vergleichsrechnungen für Versuche an Stahlbetonbalken (BAM) zwecks Qualitätssicherung von Rechenprogrammen, AB KWU/R621/83/065
- /4-51/ *Krutzik, N.J., Vinckier, D. (83)*
Untersuchungen zum Einfluss der dehnungsgeschwindigkeitsabhängigen Fließgrenze auf die Ergebnisse nichtlinearer Untersuchungen von Stahlbetonstrukturen (II/18), Arbeitsbericht KWU/R 621/83/117
- /4-52/ *Riech, H., Rüdiger, E. (84)*
Meppen-Versuche II/11 bis II/22, Technischer Bericht Hochtief, Januar 1984
- /4-53/ *Stangenberg, Schwarzkopp (84)*
Stahlbeton unter extremen Stoßwirkungen (Vergleich zwischen Rechnung und Messung), FEM-Anwendung in der Baupraxis, TU München, März 1984
- /4-54/ *Bauer, J., Scharpf, F., Schwarz, R. (83)*
Analysis of Reinforced Concrete Structures Subjected to Aircraft Impact, SMIRT 7th Conference, Chicago 1983 (J9/4)
- /4-55/ *Henkel u. Wölfel, H. (84)*
Building concepts against airplane crash
Nuclear Engineering and Design 79/1984
- /4-56/ *Krutzik, N.J., Vinckier, D. (84)*
Zur Verifikation von induzierten Erschütterungen und Strukturantworten von Baustrukturen in Verankerungsbereichen von Komponenten und Systemen unter Berücksichtigung von Nichtlinearitäten,
Arbeitsbericht KWU/R621/84/96
- /4-57/ *Tropp, R. et al. (84)*
NONDYN, Rechenprogramm zur nichtlinearen Berechnung von Stahlbeton und elastoplastischen Werkstoffen, Arbeitsbericht KWU/R 621/84/0039
- /4-58/ *Riera, J.D. (84)*
Local Effects in Impact Problems on Concrete Structures, Conference on Structural Analysis and Design of Nuclear Power Plants, Porto Alegre, 1984
- /4-59/ *Nachtsheim, W., Stangenberg, F., Exel, C., Gurski, B. (84)*
Analysen und Auswertungen zu den Meppener Plattenversuchen, Aufprall deformierbarer Projektile auf Stahlbetonplatten, Abschlussbericht zum BMfT Forschungsvorhaben 1500410
- /4-60/ *Rüdiger, E., Rentz, E., Riech, H. (84)*
Stoßlast deformierbarer Projektile (MEPPEN-Versuche I/5-9),
Technischer Bericht Hochtief, Juli 1984

- /4-61/ *Zorn, H.F. Reinhard, H.W. (84)*
Rißbildung in Rammpfählen aus Stahl oder Spannbeton
Bauingenieur 1984
- /4-62/ *Freiman, M., Krutzik, N.J., Zorn, N. (84)*
Investigation of Reinforced Concrete, Slabs Subjected to Impact Loading,
Conference on Structural Analysis and Design of Nuclear Power Plants,
Porto Alegre 1984
- /4-63/ *Flade, D., Malcher, D., Steinhilber, H. (85)*
Strukturdynamische Untersuchungen am Heißdampfreaktor in Kahl,
Stoßversuche an der Betonaußenschale, Quick Look Report Versuchsgruppe STO,
Technischer Fachbericht PHDR 55-85
- /4-64/ *Krutzik, N.J. (85)*
Simplified Design of Components and Systems Against Aircraft Crash Induced
Loads Using Verified Response Spectra, SMiRT 7th Conference, Chicago 1983 (J9/3a),
Nuclear Engineering and Design Vol. 85/1985
- /4-65/ *Norman Jones (86)*
Some Remarks on the Strain Rate Sensitive Behaviour of Shells,
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge Massachusetts, USA
Report No. 72-6
- /4-66/ *Rüdiger, E. (86)*
Kinetische Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten (Schlußbericht),
Versuch II/1-10 und Versuch II/11-22, Techn. Bericht Hochtief, April 1986
- /4-67/ *Stangenberg F. (86)*
Response Spectra of Buildings for Extreme Local Impacts Including Material
Nonlinearities of Reinforced Concrete, International Symposium on Intensive Dynamic
Loading and Its Effects, Beijing (China) 1986
- /4-68/ *Freiman, M., Krutzik, N.J., Tropp, R. (87)*
Non-linear calculations for concrete structures related to prediction of crack propagation
and material removal, SMiRT 9th Conference Lausanne,
August 1987, Nuclear Engineering and Design (117), 1989
- /4-69/ *Stangenberg F., Krutzik N. (87)*
Vorausberechnungen zur stoßmindernden Auslegung starrer äußerer
Gebäudebereiche von KWU-Bauwerken beim Lastfall Flugzeugabsturz
Technischer Bericht KWU ZOD72/87/0043
- /4-70/ *Curbach, M. (87)*
Festigkeitssteigerung von Beton bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten
Universität Karlsruhe, Dissertation August 1987
- /4-71/ *Malcher, L. (87)*
HDR Sicherheitsprogramm
Arbeitsvorschläge Phase III
Gebäudeverhalten bei Erdbeben und Stoßlasten
PHDR-Arbeitsbericht Nr. 03/38/87, Juni 1987

- /4-72/ Brandes, K. (88)
Assessment of the Response of Reinforced Concrete Structural Members to Aircraft
Crash Impact Loading, Nuclear Engineering and Design (110) 1988
- /4-73/ Krutzik, N.J. (88)
Reduction of the Dynamic Response by Aircraft Crash on Building Structures,
Nuclear Engineering and Design (110), 1988
- /4-74/ Krutzik, N.J., Tropp, R. (89)
Verification of the Local Structural Response of Building Structure in the Anchorage Ar-
eas of Heavy Components, SMiRT 10th Conference, Los Angeles, 1989 (K, 224)
- /4-75/ Fila A., Krutzik N.J.(87)
Vorausrechnungen zur stoßinduzierten Auslegung starrer äußerer Gebäudebereiche
beim Lastfall Flugzeugabsturz mit gekrümmten Platten
Technischer Bericht KWU ZOD72/87/0053
- /4-76/ Krutzik N.J., Fila A., Kostov M., Katona T.
Improvement of Local Resistance of Safety Related Structures and Reduction of
Dynamic Response due to Missile Impact Loading
SMiRT 16th- Conference, Washington August 2001, Paper 1149

8 Unveröffentlichte Referenzen /8-1/

(Anhänge zu dieser Arbeit)

Die Erkenntnisse der eigens durchgeführten umfangreichen Parameterstudien zur Ergründung des Tiefpassfilter (Grenzdurchlass) -Verhaltens und zur Herausstellung der diskretisierungsbedingten Anwendungsgrenzen von FE-Modellen sowie die Ergebnisse der experimentellen Nachweise zur prinzipiellen Eignung von FE-Verfahren zur Berechnung und Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Bauwerken bei Stoßbelastungen wurden in Form von 3 Anhängen zu dieser Arbeit zusammengefasst.

In der Dissertationsschrift werden lediglich repräsentative Ergebnisse und Vergleiche zitiert. Der volle Umfang der Ergebnisse ist den o.g. Anhängen zu entnehmen.

Anhang 1

Teil 1: Numerische Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Modellbalken

Teil 2: Numerische Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Wandscheiben und Deckenplatten

Anhang 2

Teil 1: Numerische Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in einem kastenförmigen Modellbauwerk

Teil 2: Numerische Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in einem axisymmetrischen Modellbauwerk

Anhang 3

Teil 1: Numerische Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen im Reaktorgebäude des Heißdampfreaktors (HDR) Kahl bei Stoßbelastungen

Teil 2: Eignungsnachweis von FE-Verfahren zur Simulation von Erschütterungen in Bauwerken bei Stoßbelastungen anhand von Messungen im Reaktorgebäude des Heißdampfreaktors (HDR) bei Stoßbelastungen

Die Anhänge werden getrennt von der Arbeit abgelegt, sind jedoch bei Bedarf zusammen mit dem Hauptband oder als separate Dokumente abrufbar.

8.1 Inhaltsverzeichnis von Anhang 1

Teil 1

Numerische FE-Simulation von Erschütterungsausbreitungsvorgängen in Modellbalken	A1-004
1 Modellabbildungen, Eigenwerte und Lastfunktionen	A1-007
1.1 Volumenelemente-Modell	A1-009
1.2 Plattenelemente-Modell	A1-019
1.3 Balkenelemente-Modell	A1-027
2 Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des Modellbalkens bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoßlastfunktionen	A1-039
2.1 Volumenelemente-Modell	A1-040
2.2 Plattenelemente-Modell	A1-046
2.3 Balkenelemente-Modell	A1-052
3 Vergleich zeitpunktgleicher Verschiebungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des Modellbalkens bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen	A1-073
3.1 Volumenelemente-Modell	A1-074
3.2 Plattenelemente-Modell	A1-079
3.3 Balkenelemente-Modell	A1-084
4 Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des Modellbalkens bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen	A1-102
4.1 Volumenelemente-Modell	A1-103
4.2 Plattenelemente-Modell	A1-109
4.3 Balkenelemente-Modell	A1-115
5 Vergleich zeitpunktgleicher Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des Modellbalkens bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen	A1-140
5.1 Volumenelemente-Modell	A1-141
5.2 Plattenelemente-Modell	A1-146
5.3 Balkenelemente-Modell	A1-151
6 Vergleich der Beschleunigungsantwortspektren in den charakteristischen Beobachtungspunkten (Strukturantworten in Axialrichtung) bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen	A1-175
6.1 Volumenelemente-Modell	A1-176
6.2 Plattenelemente-Modell	A1-182
6.3 Balkenelemente-Modell	A1-188

Teil 2

Numerische Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in Modellwandscheiben und Deckenplatten		A1-209
1	Modellwandscheiben	A1-211
1.1	Modellabbildungen, Eigenwerte und Stoß-Lastfunktionen	A1-212
1.2	Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten der Modellwandscheibe bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen und Stoßbelastungen	A1- 234
1.2.1	Stoßbelastungen und Antworten in Längsrichtung	A1-235
1.2.2	Stoßbelastungen und Antworten in Querrichtung	A1-250
1.3	Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten der Modellwandscheibe bei verschiedenen Diskretisierungen und Stoßbelastungen	A1-272
1.3.1	Stoßbelastungen und Antworten in Längsrichtung	A1-273
1.3.2	Stoßbelastungen und Antworten in Querrichtung	A1-288
1.4	Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten der Modellwandscheibe bei verschiedenen Diskretisierungen und Stoßbelastungen	A1-301
1.4.1	Stoßbelastungen und Antworten in Längsrichtung	A1-302
1.4.2	Stoßbelastungen und Antworten in Querrichtung	A1-317
2	Modell-Deckplatten	A1-333
2.1	Modellabbildungen, Eigenwerte und Lastfunktionen	A1-334
2.2	Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten der Modellplatte bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen und Stoßbelastungen senkrecht zur Plattenebene	A1-354
2.2.1	Frei aufgelagerte Platte	A1-355
2.2.2	Platte mit Kontureinspannung	A1-373
2.3	Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in charakteristischen Beobachtungspunkten der Modeldeckenplatte bei verschiedenen Diskretisierungen und Stoßbelastungen senkrecht zur Plattenebene	A1-397
2.3.1	Frei aufgelagerte Platte	A1-398
2.3.2	Platte mit Kontureinspannung	A1-421
2.4	Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten der Modeldeckenplatte bei verschiedenen Diskretisierungen und Stoßbelastungen senkrecht zur Plattenebene	A1-445
2.4.1	Frei aufgelagerte Platte	A1-446
2.4.2	Platte mit Kontureinspannung	A1-459

8.2 Inhaltsverzeichnis von Anhang 2

Teil 1

Numerische FE-Simulation von Erschütterungsausbreitungsvorgängen an einem kastenförmigen Modellbauwerk	A2-003
1 Modellabbildungen, Eigenwerte, Lastfunktion, Beobachtungspunkte	A2-006
2 Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Modellbauwerks bei verschiedener Diskretisierung	A2-028
2.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-066
3 Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Modellbauwerks bei verschiedenen Diskretisierungen	A2-104
3.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-105
3.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-142
4 Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Bauwerks bei verschiedenen Diskretisierungen	A2-180
4.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-181
4.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-218
5 Vergleich der Verschiebungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Modellbauwerks zum gleichen Zeitpunkt nach dem Stoß	A2-257
5.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-257
5.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-265
6 Vergleich von Beschleunigungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Modellbauwerks zu gleichen Zeitpunkten nach dem Stoß	A2-273
6.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-274
6.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-281

Teil 2

Numerische FE-Simulation von Wellenausbreitungsvorgängen an einem axisymmetrischen Modellbauwerk	A2-290
1 Modellabbildungen, Eigenwerte, Stoßbelastung, Beobachtungsbereiche	A2-292
2 Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des axisymmetrischen Modellbauwerks bei Anwendung verschiedenen Diskretisierungen	A2-315

2.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-316
2.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-343
3	Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des axisymmetrischen Modellbauwerks bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen	A2-371
3.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-372
3.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-401
4	Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in den charakteristischen Beobachtungspunkten des axisymmetrischen Modellbauwerks bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen	A2-431
4.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-432
4.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-459

8.3 Inhaltsverzeichnis von Anhang 3

Teil 1

Numerische Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen im Reaktor-Gebäude des Heißdampfreaktors (HDR) Kahl bei Stoßbelastungen	A3-004
---	--------

1	Modellabbildungen und dynamische Charakteristiken	A3-006
2	Belastungsfunktionen und Beobachtungspunkte	A3-019
3	Charakteristische Ergebnisse, Verschiebungszeitverläufe	A3-024
3.1	Beschleunigungszeitverläufe	A3-031
3.3	Beschleunigungsspektren	A3-037
3.4	Maximalwerte der Beschleunigungen	A3-043

Teil 2

Eignungsnachweis von FE-Verfahren zur Simulation von Erschütterungen in Bauwerken bei Stoßbelastungen anhand von Messungen im Reaktorgebäude des Heißdampfreaktors (HDR) Kahl	A3-049
---	--------

1	Versuchsaufbau und -Parameter	A3-051
1.1	Versuchseinrichtung, Versuchsparameter, Messstellen	A3-052
2	Charakteristische Ergebnisse	A3-061
2.1	Kraft-Zeitverläufe	
2.2	Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe	A3-062
2.3	Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungsspektren	A3-099
2.4	Vergleich der Starrkörperbeschleunigungen im Meridianschnitt für die Außen- und Innenstrukturen	A3-102

9. Nomenklatur

- B_i - Beschleunigungsmesspunkte an der Rückwand der Platte
- c - Wellengeschwindigkeit
- c_L - Kompressionswellengeschwindigkeit
- c_S - Scherwellengeschwindigkeit
- D - Dämpfungsfaktor
- nD Beobachtungspunkte im Deckenbereich (Entfernungseinheit)
- D_m - Dämpfungswert gemittelt
- DLF - Dynamischer Lastfaktor
- E_b - Elastizitätsmodul Beton
- E_s - Elastizitätsmodul Stahl
- F - Stoßkraft
- F_B - Beullast
- f - Frequenz
- f_n - Frequenz der n-ten Oberschwingung
- G - Schubmodul
- H** Lastfall horizontal
- HLF - Hartstoß-Lastfunktion
- k Konvergenzfaktor (Tiefpassfilter-Korrekturfaktor)
- K_1 - Verfestigungsmodul
- K_2 - Entfestigungsmodul
- L - Gesamtlänge (Balken, Scheibe, Platten)
- L_F - Tiefpassfilterelementlänge
- L_W - Elementlänge gemäß Wellenerfassungskriterium
- L_δ - Zulässige (verifizierte) Elementlänge
- L** - Beobachtungspunkt bei Modellbauwerken (Entfernungseinheit)
- LF - Lastfall
- M - Moment
- m - Masse
- M_i - Messpunkte an Biege- und Schubbewehrung
- MLF - Modifizierte Lastfunktion
- $MLF-E$ Modifizierte Lastfunktion für Eckenbereich
- $MLF-D$ Modifizierte Lastfunktion für Deckenbereich
- $MLF-KT$ Modifizierte Lastfunktion für Kantenbereich
- $MLF-P$ Modifizierte Lastfunktion für Plattenbereich

MLF-Z	Modifizierte Lastfunktion für Zylinderbereich
N	- Normalkraft
p	- Druck allgemein
nP	- Beobachtungspunkte im Plattenbereich (Entfernungseinheit)
p_v	- Maximaler Überdruck bei Explosionsvorgängen
Q	- Querkraft
RFL	- Referenz Lastfunktion
nS	- Beobachtungspunkte im Schalenbereich (Entfernungseinheit)
S	- Seitenmaß des Balkenquerschnitts
$S_{Fd...}$	- Fließgrenze bei dynamischer Belastung (Stahl)
S_{Fs}	- Fließgrenze bei statischer Belastung (Stahl)
S_R	- Zugfestigkeit (Stahl)
T	- Schwingungsperiode allgemein
T_i	- Schwingungsperiode der i-ten Eigenform
T_n	- Periode der n-ten Oberschwingung
T_s	- Schwingungsperiode (EMS)
t	- Zeit
t_d	- Basiszeit bei Dreieckfunktionen bzw. Stoßfunktionen
t_r	- Anstiegszeit bei Rechteckfunktionen
t_w	- Wirkungsdauer
t_{max}	- Zeitpunkt der maximalen Systemantwort
V	Lastfall vertikal
v	- Geschwindigkeit
v_e	- Aufprallgeschwindigkeit
w	- Wandstärke
W_i	- Messpunkte von Wegaufnehmern
nW	- Beobachtungspunkte im Wandbereich (Entfernungseinheit)
nZ	- Beobachtungspunkte im Zylinderbereich (Entfernungseinheit)
β_c	- Druckfestigkeit (Beton)
β_d	- Zug-Bruchspannung bei dynamischer Belastung (Beton)
β_s	- Streckgrenze bei statischer Belastung (Beton)
β_z	- Zugfestigkeit (Beton)
ε	- Dehnung
$\dot{\varepsilon}$	- Dehngeschwindigkeit
γ	- Spezifisches Gewicht

Nomenklatur

- λ - Wellenlänge
- μ - Massenstrom
- ν - Querdehnzahl
- τ - Schubspannung allgemein

Bezeichnung der Bauwerke und Lastfälle

DWR - Druckwasserreaktor

HDR - Heißdampfreaktor

SWR - Siedewasserreaktor

DG - Dieselgeneratorgebäude

MH - Maschinenhaus

RG - Reaktorgebäude

EDW - Explosionsdruckwelle

FLA - Flugzeugabsturz

SEB - Sicherheitserdbeben

Lebenslauf

Person:		Norbert Johann Krutzik
	1937	geboren am 20. Mai 1937 in Malapane (Hüttendorf) Kreis Oppeln, Oberschlesien Staatsangehörigkeit: Deutsch verheiratet, drei Kinder
Schule:	1944-45	Grundschule in Malapane (Hüttendorf)
	1945-52	Grundschule in Ozimek (früher Malapane)
	1952-56	Technikum für Maschinenbau Ozimek (Malapane)
	1956	<i>Fachabitur</i>
Studium:	1956-61	Technische Hochschule Wroclaw (Breslau) Fakultät für Mechanik und Maschinenbau Vertiefung: Schwermaschinenbau
	1961	<i>Magister - Ingenieur Mechanik</i>
	1965-67	Abendstudium, Angewandte Mathematik Universität Wroclaw (Breslau), <i>kein Abschluss</i>
Beruf:	1961-63	Autofabrik JELCZ bei Breslau, <i>Konstrukteur</i>
	1963-65	Haupt-Bergbauinstitut GIG Kattowitz und Breslau <i>Wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent</i>
	1965-68	Schwermaschinenbau-Institut COPBGO, Breslau <i>Projekt - und Oberprojektleiter</i>
	1968-69	Ingenieurbüro KARKOVSKY, Frankfurt <i>Berechnungsingenieur / Konstrukteur</i>
	1970- heute	Siemens AG, Bereich Energieerzeugung KWU (seit 1.01.2001 FRAMATOME-ANP GmbH) <i>Berechnungsingenieur, Wissenschaftlicher Referent und Hauptreferent, Abteilungsleiter, Projektmanager (Aufgabengebiet: Strukturdynamische Berechnungen)</i>

Es folgen Anhänge

**Zur Anwendung von FE-Modellen bei der Simulation
von Erschütterungen in Kernkraftbauwerken
bei Stoßbelastungen**

Anhang 1

Dipl.-Ing. Norbert J. Krutzik

Frankfurt am Main, September 1998

**Zur Anwendung von FE-Modellen bei der Simulation
von Erschütterungen in Kernkraftbauwerken
bei Stoßbelastungen**

Anhang 1

Teil 1

**Numerische FE-Simulation von
Erschütterungsübertragungsvorgängen
an Modellbalken**

Teil 2

**Numerische Simulation von
Erschütterungsübertragungsvorgängen an
Modell-Wandscheiben und Deckenplatten**

Inhalt

Teil 1

Numerische FE- Simulation von Erschütterungsausbreitungsvorgängen
an Modellbalken

Teil 2

Numerische FE- Simulation von Erschütterungsausbreitungsvorgängen
an Modell-Wandscheiben und Deckenplatten

Teil 1

**Numerische FE-Simulation
von Erschütterungsausbreitungsvorgängen
an Modellbalken**

Inhaltsverzeichnis

1	Modellabbildungen, Eigenwerte und Lastfunktionen	A1-007
1.1	Volumenelemente-Modell	A1-009
1.2	Plattenelemente-Modell	A1-019
1.3	Balkenelemente-Modell	A1-027
2	Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des Modellbalkens bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoßlastfunktionen	A1-039
2.1	Volumenelemente-Modell	A1-040
2.2	Plattenelemente-Modell	A1-046
2.3	Balkenelemente-Modell	A1-052
3	Vergleich zeitpunktgleicher Verschiebungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des Modellbalkens bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen	A1-073
3.1	Volumenelemente-Modell	A1-074
3.2	Plattenelemente-Modell	A1-079
3.3	Balkenelemente-Modell	A1-084
4	Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des Modellbalkens bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen	A1-102
4.1	Volumenelemente-Modell	A1-103
4.2	Plattenelemente-Modell	A1-109
4.3	Balkenelemente-Modell	A1-115
5	Vergleich zeitpunktgleicher Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des Modellbalkens bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen	A1-140
5.1	Volumenelemente-Modell	A1-141
5.2	Plattenelemente-Modell	A1-146
5.3	Balkenelemente-Modell	A1-151

6	Vergleich der Beschleunigungsantwortspektren in den charakteristischen Beobachtungspunkten (Strukturantworten in Axialrichtung) bei Anwendung verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen	A1-175
6.1	Volumenelemente-Modell	A1-176
6.2	Plattenelemente-Modell	A1-182
6.3	Balkenelemente-Modell	A1-188

1

**Modellabbildungen, Eigenwerte
und Lastfunktionen**

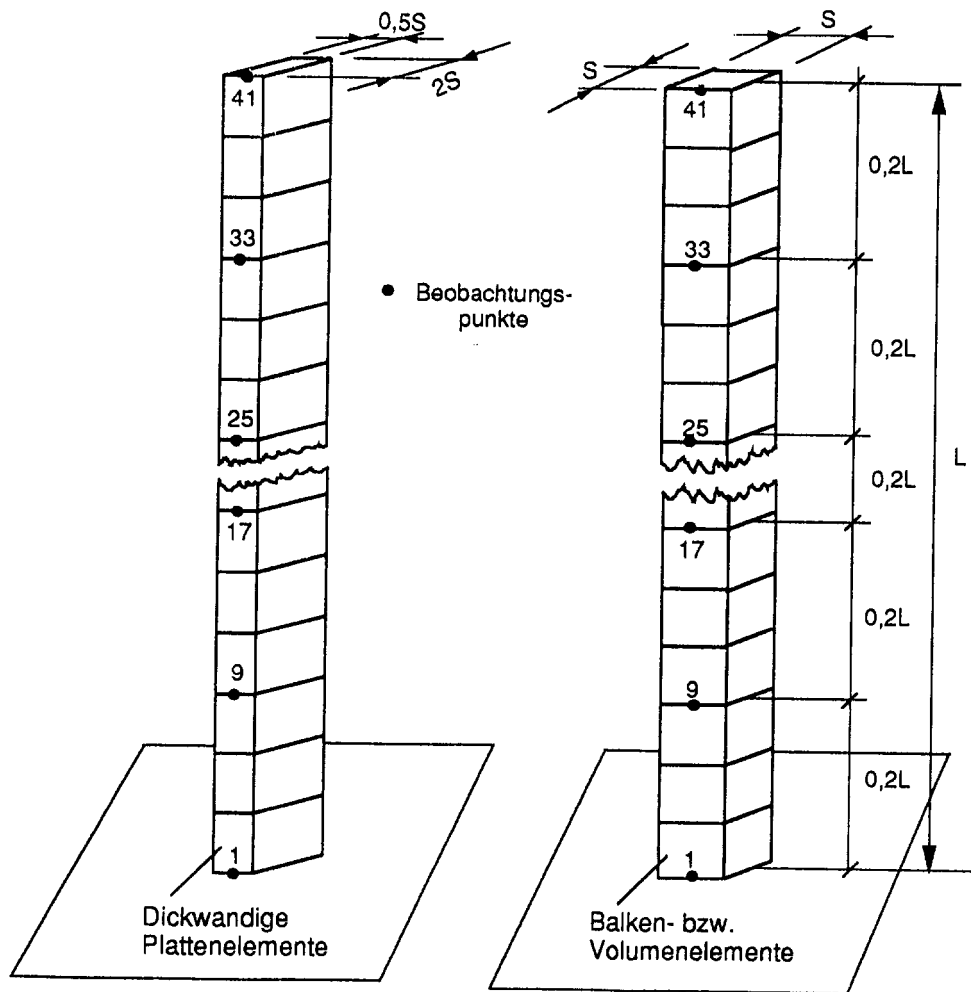


Fig. 1-1 Modellbalken mit quadratischen bzw. rechteckigen Querschnitt ($S^2 = 0,1 \text{ m}^2$)

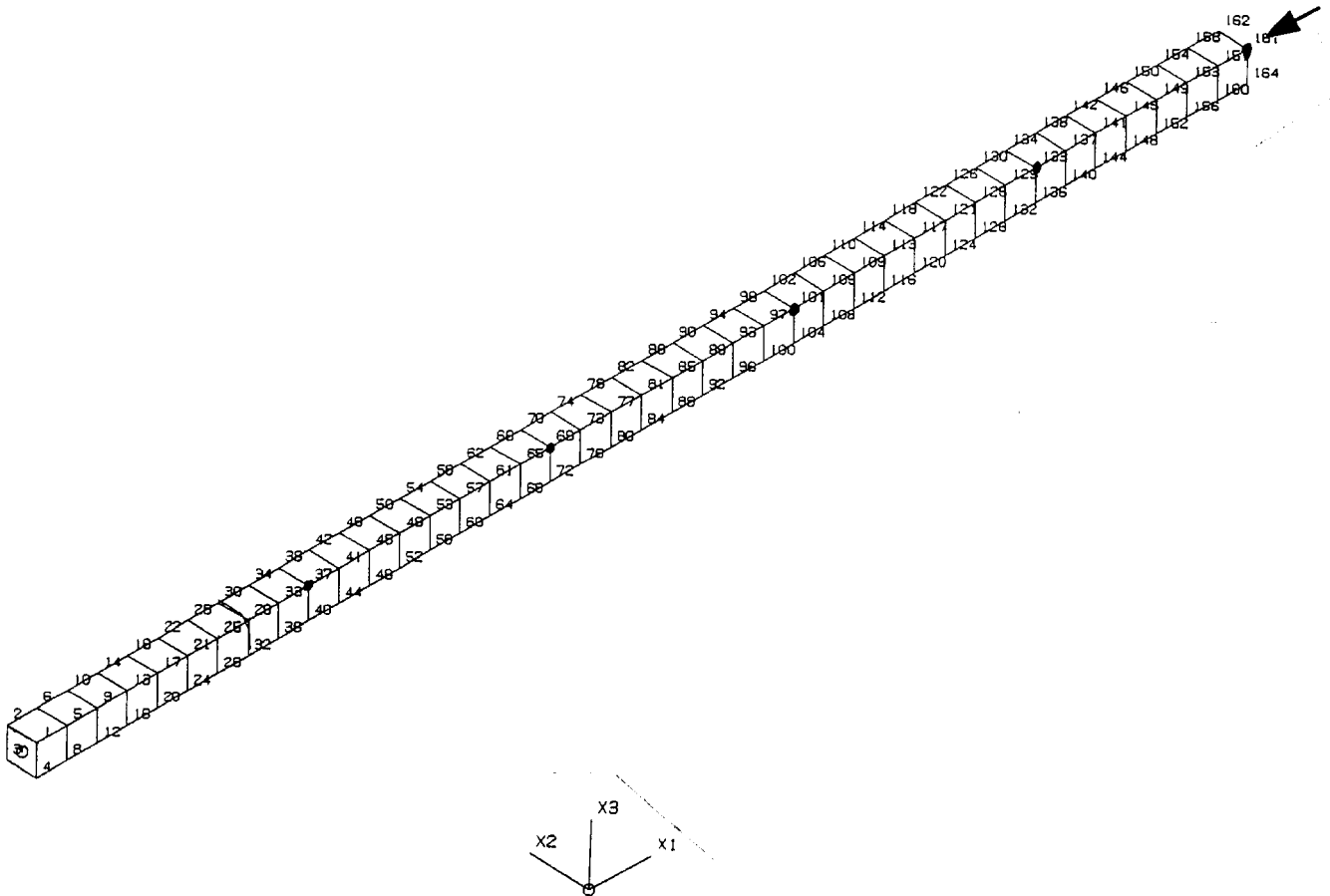


Fig. 1.1-1 Volumenelemente-Modell des Bodellbalkens
Diskretisierungsvariante 40 x S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.46	162-3	0.00000000	0.00485228	0.60745563	5.00	5.00
2	3.46	161-2	0.00000000	0.60745563	0.00485228	5.00	5.00
3	21.62	162-3	0.00000000	0.00001700	0.18816626	5.00	5.00
4	21.62	161-2	0.00000000	0.18816626	0.00001700	5.00	5.00
5	60.21	163-3	0.00000000	0.00647901	0.05808392	5.00	5.00
6	60.21	162-2	0.00000000	0.05808392	0.00647901	5.00	5.00
7	79.91	164-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
8	117.06	164-3	0.00000000	0.00564394	0.02729693	5.00	5.00
9	117.06	161-2	0.00000000	0.02729693	0.00564394	5.00	5.00
10	191.63	164-3	0.00000000	0.00687533	0.01300210	5.00	5.00
11	191.63	163-2	0.00000000	0.01300210	0.00687533	5.00	5.00
12	214.58	162-1	0.80977087	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
13	239.61	164-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
14	282.96	164-3	0.00000000	0.00032726	0.01294177	5.00	5.00
15	282.96	161-2	0.00000000	0.01294177	0.00032726	5.00	5.00
16	390.00	163-3	0.00000000	0.00121400	0.00825665	5.00	5.00
17	390.00	164-2	0.00000000	0.00825665	0.00121400	5.00	5.00
18	398.94	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
19	511.62	162-3	0.00000000	0.00015609	0.00693358	5.00	5.00
20	511.62	163-2	0.00000000	0.00693358	0.00015609	5.00	5.00
21	557.66	161-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
22	643.36	163-1	0.08978460	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
23	646.64	162-3	0.00000000	0.00002494	0.00547533	5.00	5.00
24	646.64	163-2	0.00000000	0.00547533	0.00002494	5.00	5.00
25	715.51	164-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
26	793.86	163-3	0.00000000	0.00056408	0.00382326	5.00	5.00
27	793.86	162-2	0.00000000	0.00382326	0.00056408	5.00	5.00
28	872.27	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
29	952.10	164-3	0.00000000	0.00056214	0.00301607	5.00	5.00
30	952.10	161-2	0.00000000	0.00301607	0.00056214	5.00	5.00
31	1027.68	162-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
32	1071.01	162-1	0.03218563	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
33	1120.20	162-3	0.00000000	0.00031399	0.00265781	5.00	5.00
34	1120.20	163-2	0.00000000	0.00265781	0.00031399	5.00	5.00
35	1181.50	34-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00

Tab. 1.1-1 Eigenwerte des Modellbalkens
Volumenelemente-Modell 40 x S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
36	1297.07	163-3	0.00000000	0.00004448	0.00246129	5.00	5.00
37	1297.07	164-2	0.00000000	0.00246129	0.00004448	5.00	5.00
38	1333.50	164-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
39	1481.62	10-2	0.00000000	0.00175832	0.00038165	5.00	5.00
40	1481.62	11-3	0.00000000	0.00038165	0.00175832	5.00	5.00
41	1483.44	164-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
42	1496.76	164-1	0.01631644	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
43	1631.10	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
44	1672.85	163-1	0.00000000	0.00125800	0.00058962	5.00	5.00
45	1672.85	162-1	0.00000000	0.00058962	0.00125800	5.00	5.00
46	1776.25	162-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
47	1869.80	162-1	0.00000000	0.00032750	0.00128275	5.00	5.00
48	1869.80	161-1	0.00000000	0.00128275	0.00032750	5.00	5.00
49	1918.65	163-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
50	1919.86	161-1	0.00978580	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
51	2058.09	163-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
52	2071.56	162-1	0.00000000	0.00013769	0.00127718	5.00	5.00
53	2071.56	163-1	0.00000000	0.00127718	0.00013769	5.00	5.00
54	2194.37	163-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
55	2277.24	164-1	0.00000000	0.00023455	0.00101752	5.00	5.00
56	2277.24	163-1	0.00000000	0.00101752	0.00023456	5.00	5.00
57	2327.26	162-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
58	2339.54	162-1	0.00647986	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
59	2456.56	164-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
60	2486.04	161-1	0.00000000	0.00003478	0.00108016	5.00	5.00
61	2582.07	100-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
62	2697.15	163-1	0.00000000	0.00078879	0.00020949	5.00	5.00
63	2703.60	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
64	2755.03	161-1	0.00457829	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
65	2820.96	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
66	2909.81	164-1	0.00000000	0.00061798	0.00028016	5.00	5.00
67	2933.97	163-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
SUMMEN:			0.96890149	0.97635149	0.97647974		
GESAMT-GEWICHTE:			0.98750003	0.98750003	0.98750003		

Tab. 1.1-1 Eigenwerte des Modellbalkens
Volumenelemente-Modell 40 x S (Fortsetzung)

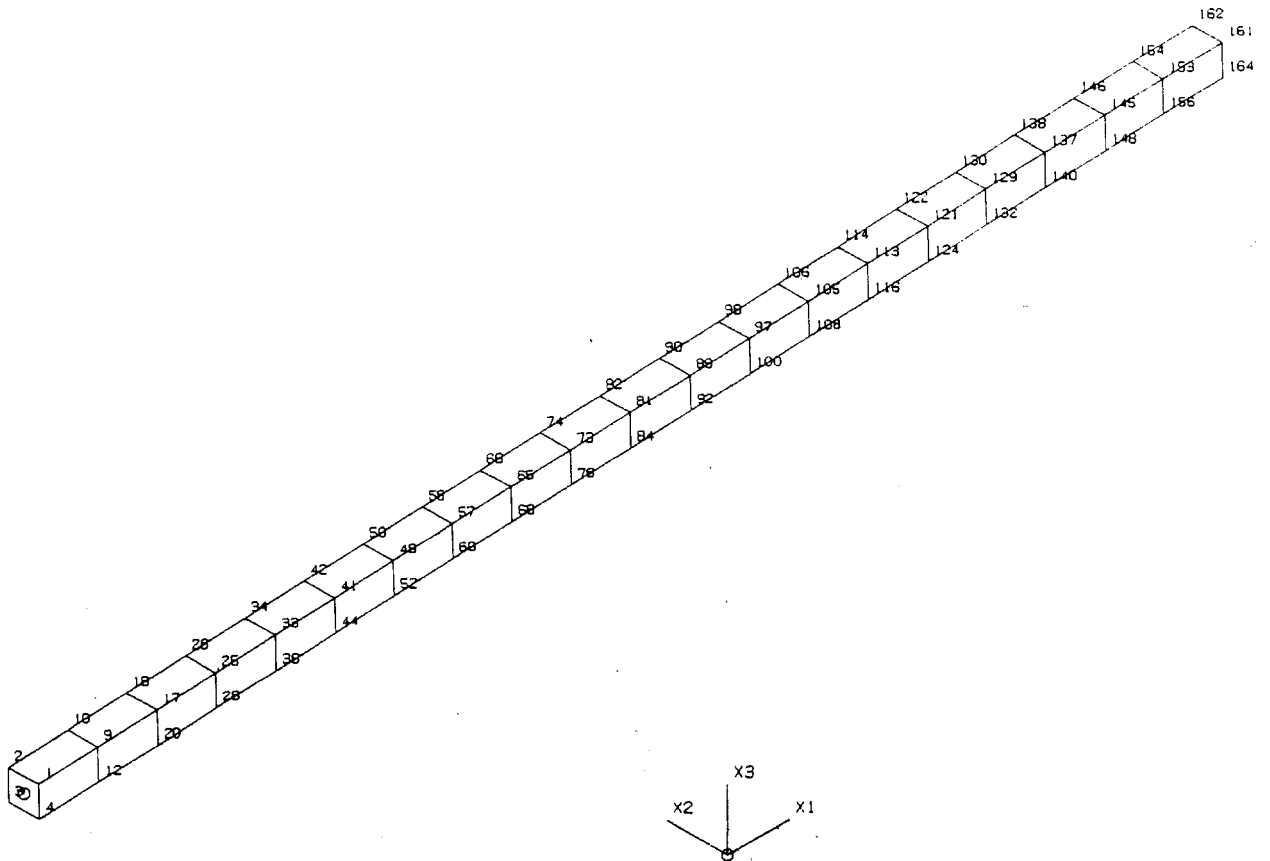


Fig. 1.1-2 Volumenelemente-Modell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 20 x 2S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.46	163-2	0.00000000	0.60707594	0.00446144	5.00	5.00
2	3.46	164-3	0.00000000	0.00446144	0.60707594	5.00	5.00
3	21.63	161-2	0.00000000	0.18182529	0.00602286	5.00	5.00
4	21.63	162-3	0.00000000	0.00602286	0.18182529	5.00	5.00
5	60.32	162-2	0.00000000	0.03698672	0.02729150	5.00	5.00
6	60.32	161-3	0.00000000	0.02729150	0.03698672	5.00	5.00
7	79.90	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
8	117.65	164-2	0.00000000	0.03005396	0.00260665	5.00	5.00
9	117.65	161-3	0.00000000	0.00260665	0.03005396	5.00	5.00
10	193.49	162-3	0.00000000	0.00736271	0.01223550	5.00	5.00
11	193.49	161-2	0.00000000	0.01223550	0.00736271	5.00	5.00
12	214.70	163-1	0.80861996	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
13	239.20	164-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
14	287.41	164-3	0.00000000	0.00002033	0.01296860	5.00	5.00
15	287.41	163-2	0.00000000	0.01296860	0.00002033	5.00	5.00
16	397.02	164-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
17	399.01	162-2	0.00000000	0.00853162	0.00065750	5.00	5.00
18	399.01	161-3	0.00000000	0.00065750	0.00853162	5.00	5.00
19	527.82	162-3	0.00000000	0.00262458	0.00418187	5.00	5.00
20	527.82	161-2	0.00000000	0.00418187	0.00262458	5.00	5.00
21	552.40	161-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
22	642.82	163-1	0.08915492	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
23	673.40	162-3	0.00000000	0.00199659	0.00321827	5.00	5.00
24	673.40	163-2	0.00000000	0.00321827	0.00199659	5.00	5.00
25	704.37	163-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
26	835.26	68-3	0.00000000	0.00004012	0.00405879	5.00	5.00
27	835.26	65-2	0.00000000	0.00405879	0.00004012	5.00	5.00
28	852.00	164-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
29	994.38	164-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
30	1012.89	123-2	0.00000000	0.00262427	0.00066125	5.00	5.00
31	1012.89	124-3	0.00000000	0.00066125	0.00262427	5.00	5.00
32	1067.14	163-1	0.03160007	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
33	1130.62	98-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
34	1205.69	98-2	0.00000000	0.00262094	0.00005243	5.00	5.00
35	1205.69	97-3	0.00000000	0.00005243	0.00262094	5.00	5.00

Tab. 1.1-2 Eigenwerte des Modellbalkens
Volumenelemente-Modell 20 x 2S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
36	1259.90	163-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
37	1381.41	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
38	1412.94	164-1	0.00000000	0.00194405	0.00025581	5.00	5.00
39	1412.94	161-1	0.00000000	0.00025581	0.00194405	5.00	5.00
40	1485.16	162-1	0.01574616	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
41	1494.40	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
42	1598.17	164-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
43	1633.78	162-1	0.00000000	0.00025910	0.00156566	5.00	5.00
44	1633.78	163-1	0.00000000	0.00156566	0.00025910	5.00	5.00
45	1692.10	99-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
46	1775.59	161-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
47	1848.13	161-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
48	1867.14	10-3	0.00000000	0.00000434	0.00151660	5.00	5.00
49	1867.14	11-2	0.00000000	0.00151660	0.00000434	5.00	5.00
50	1894.44	163-1	0.00922541	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
51	1909.28	162-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
52	1958.66	163-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
53	1995.97	100-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
54	2020.96	163-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
55	2033.50	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
56	2111.71	162-1	0.00000000	0.00028221	0.00098700	5.00	5.00
57	2111.71	163-1	0.00000000	0.00098700	0.00028221	5.00	5.00
58	2292.59	164-1	0.00592849	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
59	2365.88	161-1	0.00000000	0.00047692	0.00057753	5.00	5.00
60	2365.88	162-1	0.00000000	0.00057753	0.00047692	5.00	5.00
61	2627.47	162-1	0.00000000	0.00063106	0.00023027	5.00	5.00
62	2627.47	163-1	0.00000000	0.00023027	0.00063106	5.00	5.00
63	2677.35	164-1	0.00403647	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
64	2892.53	164-1	0.00000000	0.00016763	0.00049324	5.00	5.00
65	2892.53	161-1	0.00000000	0.00049325	0.00016763	5.00	5.00
SUMMEN:			0.96431148	0.96957115	0.96957114		
GESAMT-GEWICHTE:			0.97500003	0.97500003	0.97500003		

Tab. 1.1-2 Eigenwerte des Modellbalkens
Volumenelemente-Modell 20 x 2S (Fortsetzung)

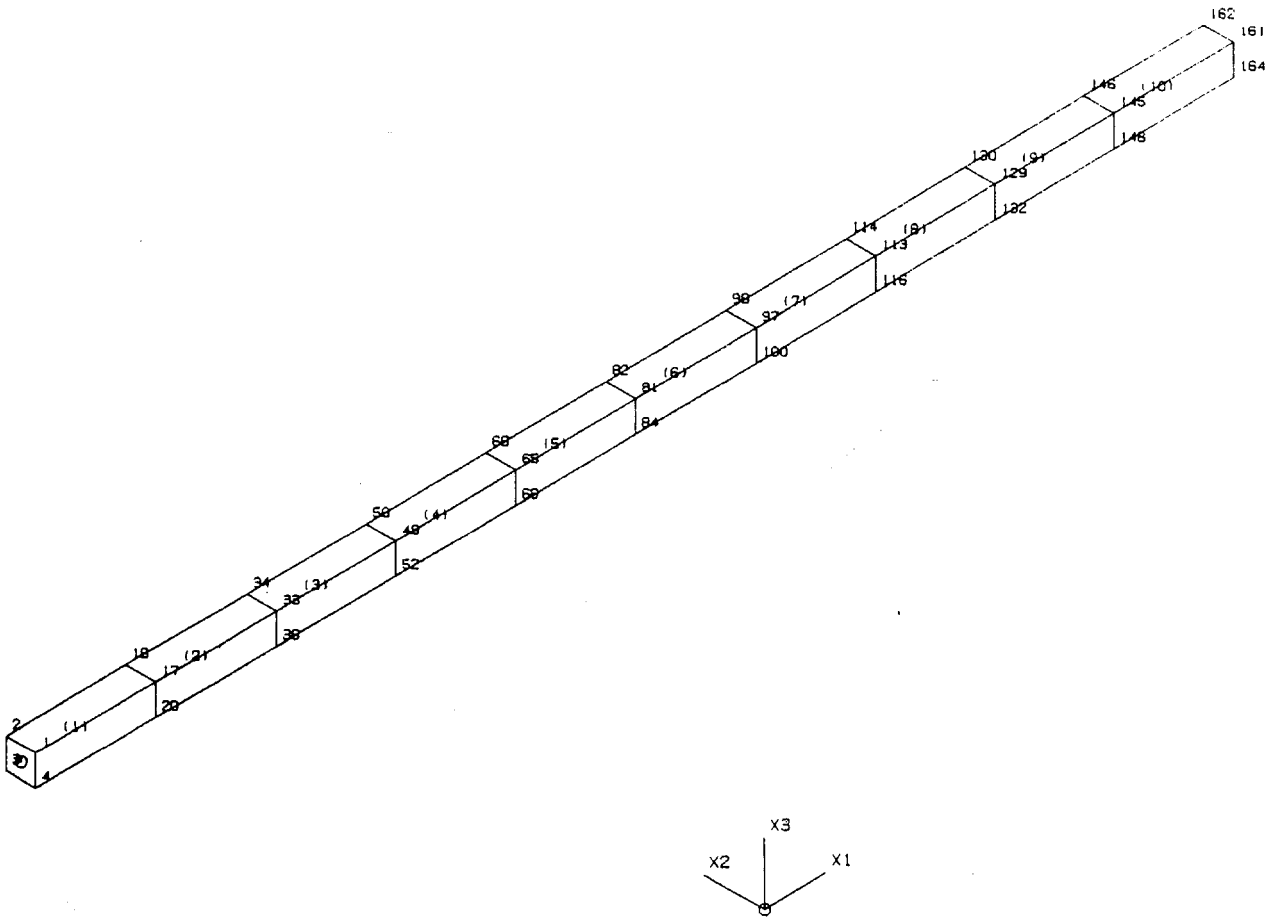


Fig. 1.1-3 Volumenelemente-Modell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 10 x 4S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.46	163-2	0.00000000	0.34939907	0.25945328	5.00	5.00
2	3.46	164-3	0.00000000	0.25945328	0.34939907	5.00	5.00
3	21.62	163-3	0.00000000	0.00193618	0.18469604	5.00	5.00
4	21.62	164-2	0.00000000	0.18469604	0.00193618	5.00	5.00
5	60.74	161-3	0.00000000	0.00460813	0.05863942	5.00	5.00
6	60.74	164-2	0.00000000	0.05863942	0.00460813	5.00	5.00
7	79.83	162-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
8	120.41	162-3	0.00000000	0.01250911	0.01921642	5.00	5.00
9	120.41	161-2	0.00000000	0.01921642	0.01250911	5.00	5.00
10	203.58	162-3	0.00000000	0.00146496	0.01732391	5.00	5.00
11	203.58	163-2	0.00000000	0.01732391	0.00146496	5.00	5.00
12	214.86	164-1	0.80518649	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
13	237.54	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
14	315.78	113-3	0.00000000	0.00483698	0.00746181	5.00	5.00
15	315.78	114-2	0.00000000	0.00746181	0.00483698	5.00	5.00
16	389.39	161-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
17	467.21	98-3	0.00000000	0.00411600	0.00445124	5.00	5.00
18	467.21	97-2	0.00000000	0.00445124	0.00411600	5.00	5.00
19	531.66	161-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
20	639.74	161-1	0.08678136	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
21	660.84	163-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
22	675.35	132-3	0.00000000	0.00006720	0.00608681	5.00	5.00
23	675.35	129-2	0.00000000	0.00608681	0.00006720	5.00	5.00
24	773.74	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
25	867.59	162-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
26	940.08	99-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
27	967.60	17-2	0.00000000	0.00434835	0.00002436	5.00	5.00
28	967.60	20-3	0.00000000	0.00002436	0.00434835	5.00	5.00
29	989.42	162-3	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
30	1014.40	164-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
31	1050.30	162-1	0.02935003	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
32	1378.41	162-1	0.00000000	0.00184217	0.00084845	5.00	5.00
33	1378.41	163-1	0.00000000	0.00084845	0.00184217	5.00	5.00
34	1437.50	163-1	0.01358032	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
35	1793.10	161-1	0.00715108	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
36	1930.82	145-1	0.00000000	0.00157578	0.00148170	5.00	5.00
37	1930.82	148-1	0.00000000	0.00148170	0.00157578	5.00	5.00
38	2109.67	163-1	0.00395920	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
39	2380.25	164-1	0.00218143	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
40	2597.26	162-1	0.00111707	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
41	2617.76	52-1	0.00000000	0.00019837	0.00132674	5.00	5.00
42	2617.76	51-1	0.00000000	0.00132674	0.00019837	5.00	5.00
43	2753.06	164-1	0.00047235	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
44	2846.18	100-1	0.00012133	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
SUMMEN:			0.94990065	0.94791249	0.94791249		
GESAMT-GEWICHTE:			0.95000003	0.95000003	0.95000003		

Tab. 1.1-3 Eigenwerte des Modellbalkens
Volumenelemente-Modell 10 x 4S

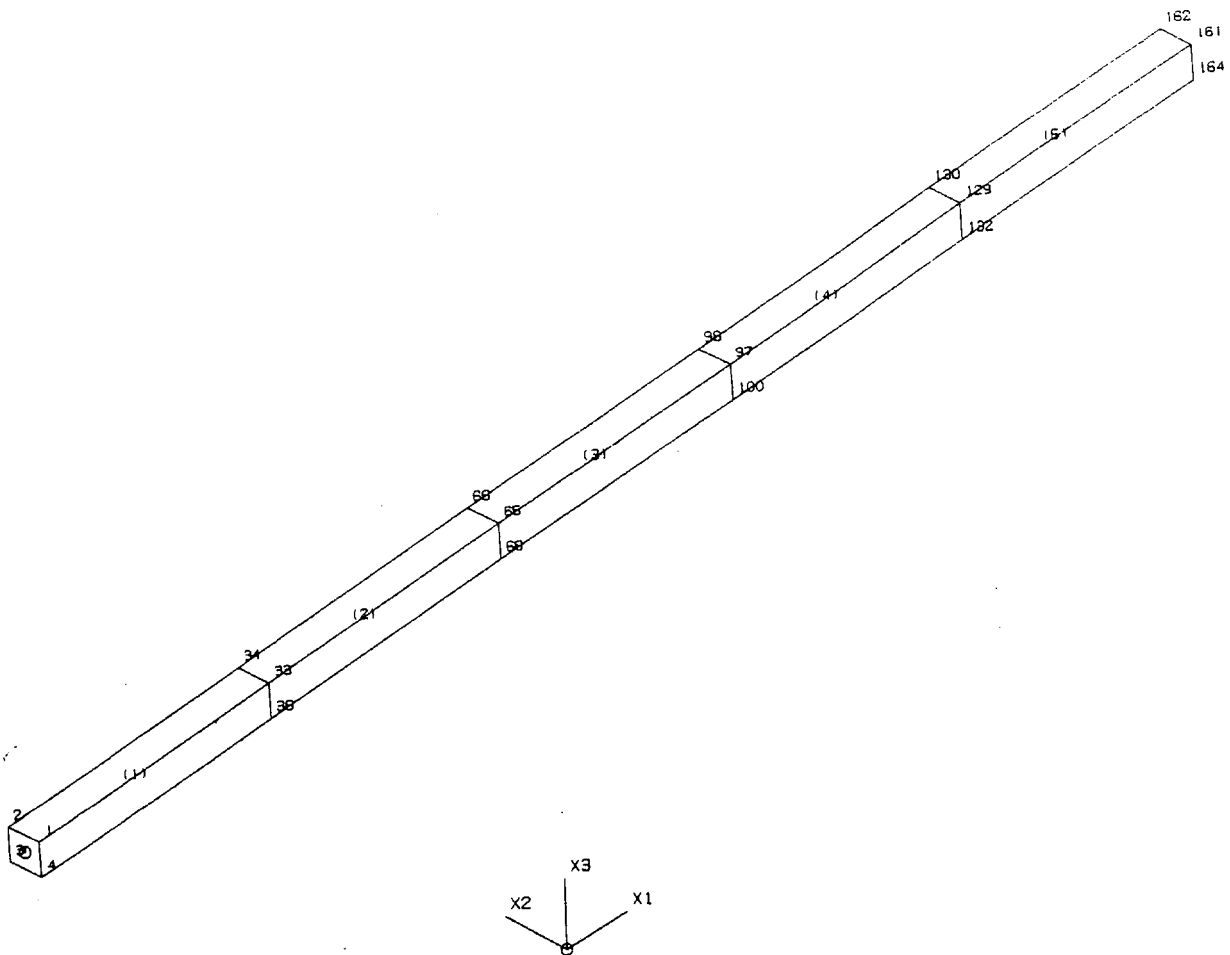


Fig. 1.1-4 Volumenelemente-Modell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 5 x 8S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.44	162-3	0.00000000	0.02705342	0.57207207	5.00	5.00
2	3.44	163-2	0.00000000	0.57207207	0.02705342	5.00	5.00
3	21.58	164-3	0.00000000	0.00009817	0.18248033	5.00	5.00
4	21.58	163-2	0.00000000	0.18248033	0.00009817	5.00	5.00
5	63.91	162-3	0.00000000	0.00052238	0.06091043	5.00	5.00
6	63.91	163-2	0.00000000	0.06091043	0.00052238	5.00	5.00
7	79.59	162-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
8	150.39	35-2	0.00000000	0.01736583	0.01447842	5.00	5.00
9	150.39	34-3	0.00000000	0.01447842	0.01736583	5.00	5.00
10	214.88	162-1	0.79380699	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
11	230.98	161-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
12	359.75	161-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
13	409.11	36-3	0.00000000	0.00078411	0.01747726	5.00	5.00
14	409.11	33-2	0.00000000	0.01747726	0.00078411	5.00	5.00
15	453.31	161-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
16	502.50	164-2	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
17	625.72	161-1	0.07778445	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
18	981.55	161-1	0.02110199	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
19	1248.58	164-1	0.00615239	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
20	1396.31	131-1	0.00110607	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
21	1510.30	161-1	0.00000000	0.00061482	0.00473566	5.00	5.00
22	1510.30	162-1	0.00000000	0.00473566	0.00061482	5.00	5.00
SUMMEN:			0.89995188	0.89859289	0.89859289		
GESAMT-GEWICHTE:			0.90000003	0.90000003	0.90000003		

Tab. 1.1-4 Eigenwerte des Modellbalkens
Volumenelemente-Modell 5 x 8S

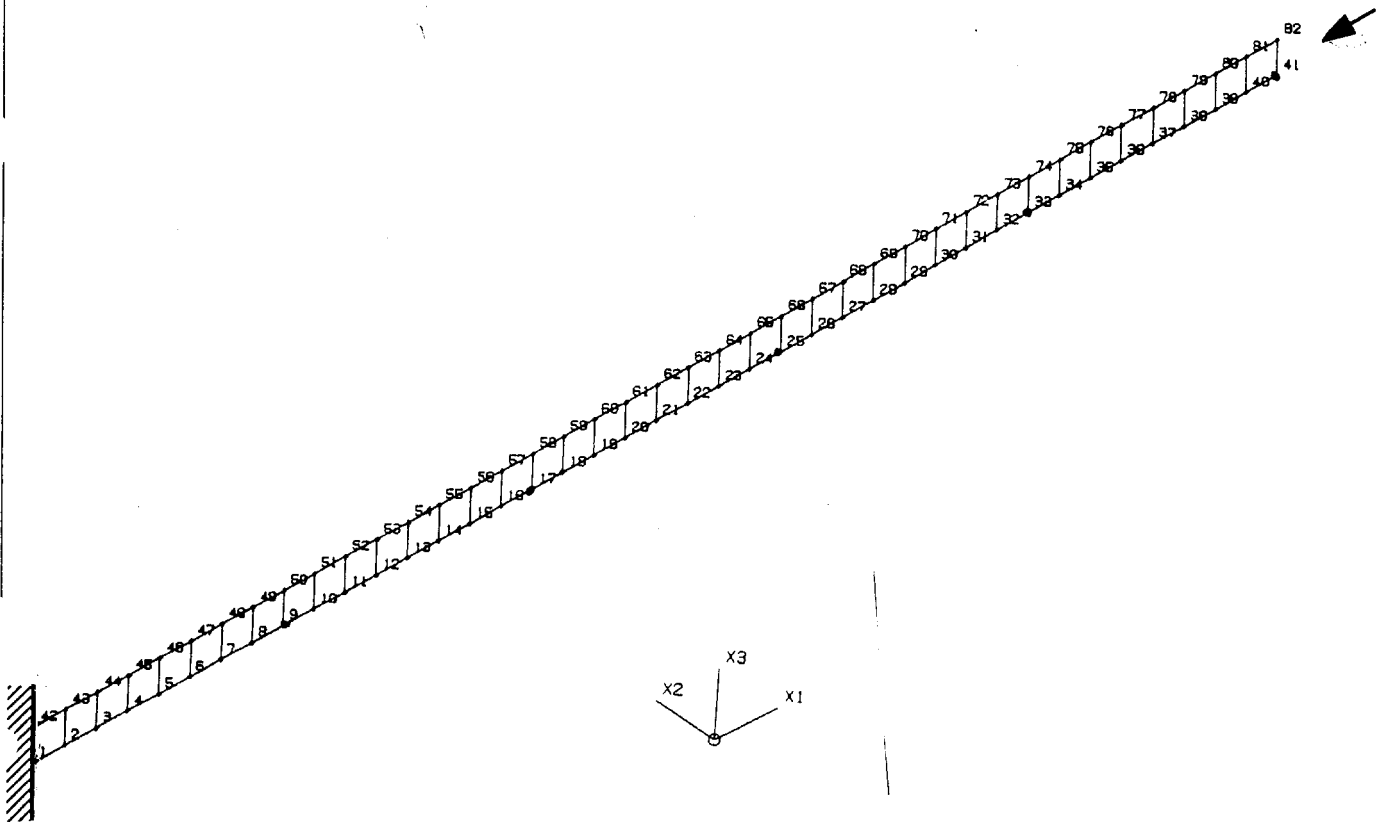


Fig. 1.2-1 Plattenelemente-Modell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 40 x S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.46	41-3	0.00000000	0.00000000	0.61253859	5.00	5.00
2	21.61	41-3	0.00000000	0.00000000	0.18823550	5.00	5.00
3	60.16	82-3	0.00000000	0.00000000	0.06456522	5.00	5.00
4	116.96	41-3	0.00000000	0.00000000	0.03293066	5.00	5.00
5	191.44	82-3	0.00000000	0.00000000	0.01986226	5.00	5.00
6	214.49	41-1	0.81012280	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
7	218.83	41-2	0.00000000	0.81036117	0.00000000	5.00	5.00
8	226.69	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
9	282.65	41-3	0.00000000	0.00000000	0.01325163	5.00	5.00
10	389.52	41-3	0.00000000	0.00000000	0.00945224	5.00	5.00
11	510.91	41-3	0.00000000	0.00000000	0.00707089	5.00	5.00
12	643.10	82-1	0.08982457	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
13	645.63	82-3	0.00000000	0.00000000	0.00548148	5.00	5.00
14	655.66	41-2	0.00000000	0.08985502	0.00000000	5.00	5.00
15	679.70	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
16	792.48	41-3	0.00000000	0.00000000	0.00436877	5.00	5.00
17	950.29	41-3	0.00000000	0.00000000	0.00355999	5.00	5.00
18	1070.65	82-1	0.03220071	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
19	1090.05	66-2	0.00000000	0.03221465	0.00000000	5.00	5.00
20	1117.89	41-3	0.00000000	0.00000000	0.00295403	5.00	5.00
21	1131.54	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
22	1294.18	41-3	0.00000000	0.00000000	0.00248851	5.00	5.00
23	1478.10	82-3	0.00000000	0.00000000	0.00212326	5.00	5.00
24	1496.40	82-1	0.01632473	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
25	1520.41	82-2	0.00000000	0.01633430	0.00000000	5.00	5.00
26	1581.46	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
27	1668.64	44-3	0.00000000	0.00000000	0.00183146	5.00	5.00
28	1864.86	44-3	0.00000000	0.00000000	0.00159466	5.00	5.00
29	1919.65	82-1	0.00979138	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
30	1945.25	82-2	0.00000000	0.00979935	0.00000000	5.00	5.00
31	2028.68	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
32	2065.85	44-3	0.00000000	0.00000000	0.00139986	5.00	5.00
33	2270.77	3-3	0.00000000	0.00000000	0.00123765	5.00	5.00
34	2339.67	82-1	0.00648416	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
35	2363.19	41-4	0.00000000	0.00649156	0.00000000	5.00	5.00
36	2472.44	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
37	2478.80	48-3	0.00000000	0.00000000	0.00110111	5.00	5.00
38	2689.19	58-3	0.00000000	0.00000000	0.00098505	5.00	5.00
39	2755.72	82-1	0.00458196	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
40	2772.94	41-4	0.00000000	0.00458931	0.00000000	5.00	5.00
41	2901.20	41-1	0.00000000	0.00000000	0.00088555	5.00	5.00
42	2911.99	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
SUMMEN:			0.96933030	0.96964535	0.97791836		
GESAMT-GEWICHTE:			0.98750003	0.98750003	0.98750003		
(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)							

Tab. 1.2-1 Eigenwerte des Modellbalkens
Plattenelemente-Modell 40 x S

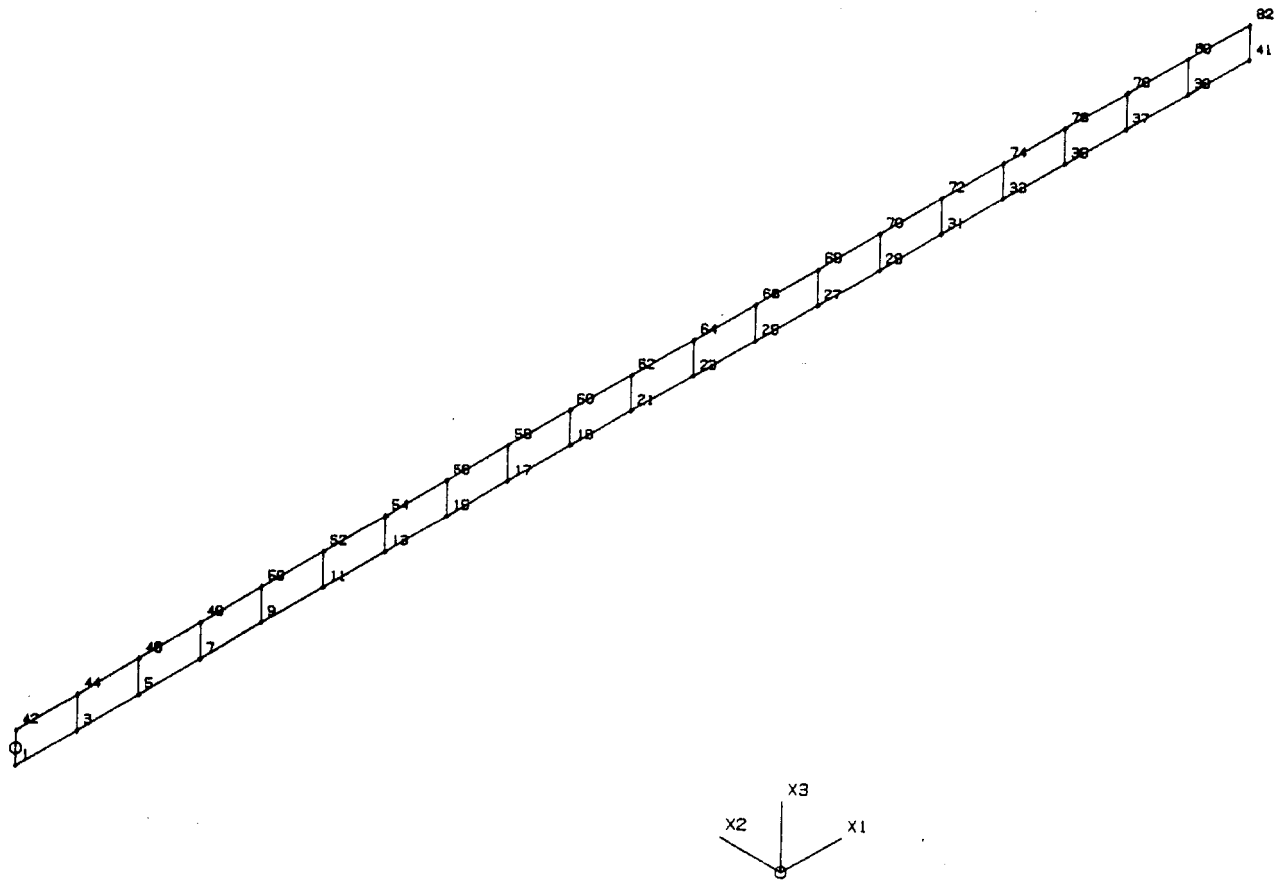


Fig. 1.2-2 Plattenelemente-Modell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 20 x 2S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.46	82-3	0.00000000	0.00000000	0.61193677	5.00	5.00
2	21.60	82-3	0.00000000	0.00000000	0.18791408	5.00	5.00
3	60.22	82-3	0.00000000	0.00000000	0.06425541	5.00	5.00
4	109.40	82-2	0.00000000	0.80973629	0.00000000	5.00	5.00
5	117.44	82-3	0.00000000	0.00000000	0.03261809	5.00	5.00
6	193.06	82-3	0.00000000	0.00000000	0.01954936	5.00	5.00
7	205.12	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
8	214.51	82-1	0.80928824	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
9	286.64	82-3	0.00000000	0.00000000	0.01293844	5.00	5.00
10	327.38	41-2	0.00000000	0.08923111	0.00000000	5.00	5.00
11	397.70	82-3	0.00000000	0.00000000	0.00913898	5.00	5.00
12	525.74	82-3	0.00000000	0.00000000	0.00675758	5.00	5.00
13	542.94	82-2	0.00000000	0.03159267	0.00000000	5.00	5.00
14	613.99	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
15	642.22	82-1	0.08919910	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
16	670.25	41-3	0.00000000	0.00000000	0.00516777	5.00	5.00
17	754.46	82-2	0.00000000	0.01571528	0.00000000	5.00	5.00
18	830.71	58-3	0.00000000	0.00000000	0.00405386	5.00	5.00
19	960.39	41-2	0.00000000	0.00918432	0.00000000	5.00	5.00
20	1006.55	31-3	0.00000000	0.00000000	0.00324264	5.00	5.00
21	1018.73	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
22	1066.01	82-1	0.03159406	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
23	1159.19	82-2	0.00000000	0.00588160	0.00000000	5.00	5.00
24	1197.15	25-3	0.00000000	0.00000000	0.00263266	5.00	5.00
25	1349.39	41-2	0.00000000	0.00398560	0.00000000	5.00	5.00
26	1401.80	64-3	0.00000000	0.00000000	0.00216130	5.00	5.00
27	1416.61	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
28	1483.30	41-1	0.01572599	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
29	1529.59	41-2	0.00000000	0.00279979	0.00000000	5.00	5.00
30	1619.64	44-3	0.00000000	0.00000000	0.00178814	5.00	5.00
31	1698.50	82-4	0.00000000	0.00201134	0.00000000	5.00	5.00
32	1804.92	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
33	1849.63	3-3	0.00000000	0.00000000	0.00148591	5.00	5.00
34	1854.94	41-4	0.00000000	0.00146285	0.00000000	5.00	5.00
35	1891.54	82-1	0.00919904	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
36	1997.90	41-4	0.00000000	0.00106812	0.00000000	5.00	5.00
37	2090.54	44-3	0.00000000	0.00000000	0.00123506	5.00	5.00
38	2126.54	82-4	0.00000000	0.00077684	0.00000000	5.00	5.00
39	2181.00	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
40	2240.26	41-4	0.00000000	0.00055808	0.00000000	5.00	5.00
41	2288.27	82-1	0.00589855	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
42	2338.73	82-4	0.00000000	0.00039204	0.00000000	5.00	5.00
43	2340.77	44-3	0.00000000	0.00000000	0.00101979	5.00	5.00
44	2421.86	82-4	0.00000000	0.00026566	0.00000000	5.00	5.00
45	2489.86	82-4	0.00000000	0.00017013	0.00000000	5.00	5.00
46	2542.27	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
47	2543.17	82-4	0.00000000	0.00009943	0.00000000	5.00	5.00
48	2582.35	82-4	0.00000000	0.00004946	0.00000000	5.00	5.00
49	2598.02	41-1	0.00000000	0.00000000	0.00082305	5.00	5.00
50	2608.04	82-4	0.00000000	0.00001751	0.00000000	5.00	5.00
51	2620.73	82-4	0.00000000	0.00000193	0.00000000	5.00	5.00
52	2671.08	82-1	0.00400401	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
53	2857.51	82-1	0.00000000	0.00000000	0.00061072	5.00	5.00
54	2886.21	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
SUMMEN:			0.96490898	0.97500003	0.96932961		
GESAMT-GEWICHTE:			0.97500003	0.97500003	0.97500003		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1.2-2 Eigenwerte des Modellbalkens
Plattenelemente-Modell 20 x 2S

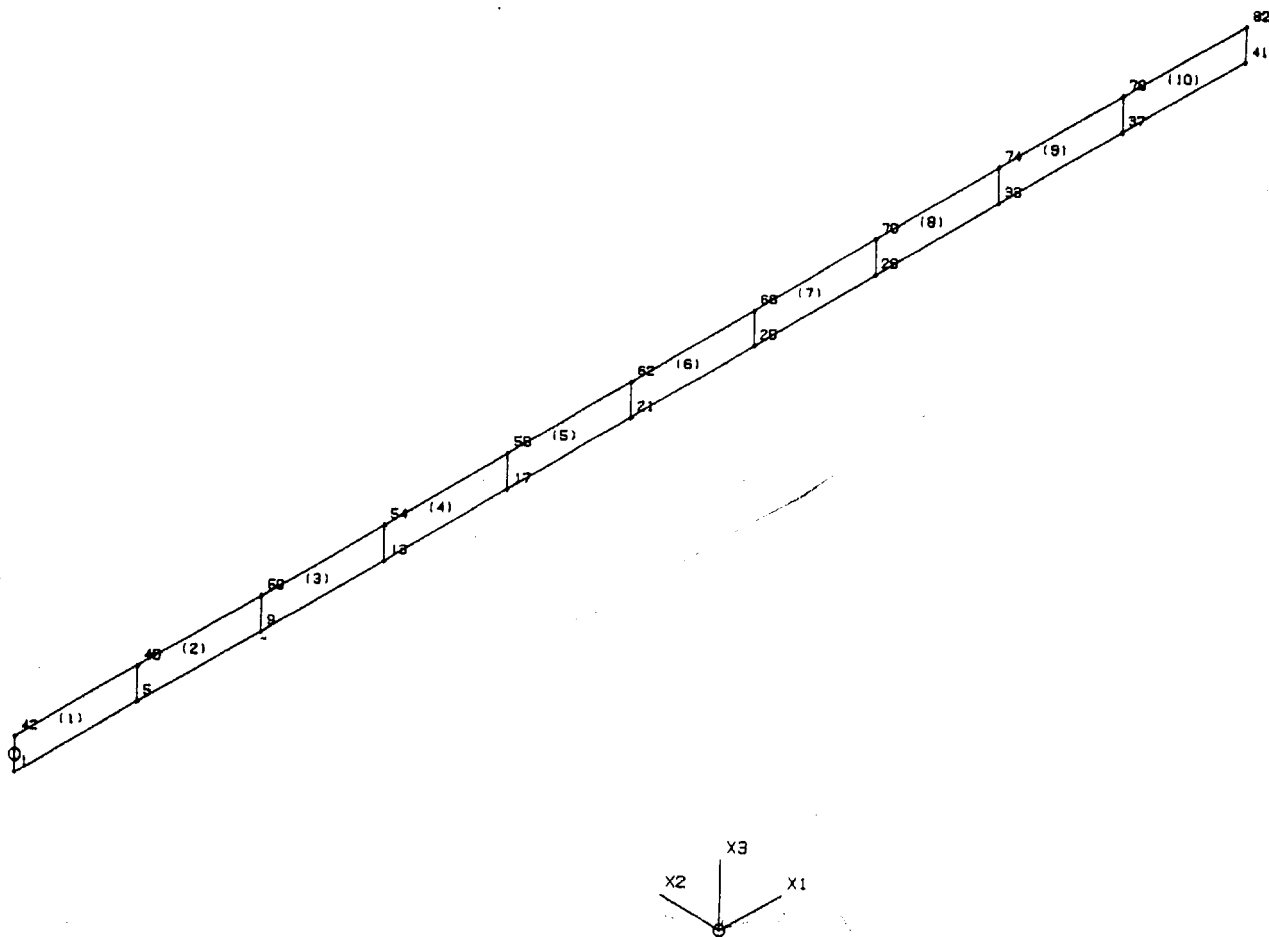


Fig. 1.2-3 Plattenelemente-Modell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 10 x 4S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.45	41-3	0.00000000	0.00000000	0.60954269	5.00	5.00
2	21.56	41-3	0.00000000	0.00000000	0.18665852	5.00	5.00
3	54.66	82-2	0.00000000	0.80723822	0.00000000	5.00	5.00
4	60.54	82-3	0.00000000	0.00000000	0.06311995	5.00	5.00
5	119.89	41-3	0.00000000	0.00000000	0.03157928	5.00	5.00
6	162.53	41-2	0.00000000	0.08674861	0.00000000	5.00	5.00
7	202.39	41-3	0.00000000	0.00000000	0.01864782	5.00	5.00
8	214.47	82-1	0.80641884	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
9	230.14	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
10	266.11	25-2	0.00000000	0.02914213	0.00000000	5.00	5.00
11	313.37	29-3	0.00000000	0.00000000	0.01217207	5.00	5.00
12	362.63	82-2	0.00000000	0.01331471	0.00000000	5.00	5.00
13	449.49	41-2	0.00000000	0.00685444	0.00000000	5.00	5.00
14	462.77	25-3	0.00000000	0.00000000	0.00846029	5.00	5.00
15	524.31	82-2	0.00000000	0.00364727	0.00000000	5.00	5.00
16	585.10	41-2	0.00000000	0.00187763	0.00000000	5.00	5.00
17	630.49	25-2	0.00000000	0.00085786	0.00000000	5.00	5.00
18	638.32	82-1	0.08676301	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
19	660.06	41-2	0.00000000	0.00028819	0.00000000	5.00	5.00
20	667.92	74-3	0.00000000	0.00000000	0.00606840	5.00	5.00
21	674.42	41-2	0.00000000	0.00003097	0.00000000	5.00	5.00
22	683.74	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
23	956.47	46-3	0.00000000	0.00000000	0.00429700	5.00	5.00
24	1046.98	41-1	0.02922654	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
25	1117.40	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
26	1363.33	41-1	0.00000000	0.00000000	0.00255230	5.00	5.00
27	1430.83	41-1	0.01342213	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
28	1518.04	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
29	1780.89	41-1	0.00697416	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
30	1873.05	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
31	1918.78	46-3	0.00000000	0.00000000	0.00325089	5.00	5.00
32	2089.09	41-1	0.00377289	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
33	2170.68	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
34	2348.21	82-1	0.00199947	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
35	2401.19	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
36	2551.58	41-1	0.00095974	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
37	2559.55	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
38	2608.11	13-1	0.00000000	0.00000000	0.00155460	5.00	5.00
39	2649.76	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
40	2686.79	82-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
41	2692.71	41-1	0.00035388	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
42	2767.62	29-1	0.00006193	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
SUMMEN:			0.94995259	0.95000003	0.94790381		
GESAMT-GEWICHTE:			0.95000003	0.95000003	0.95000003		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab.1.2-3 Eigenwerte des Modellbalkens
Plattenelemente-Modell 10 x 4S

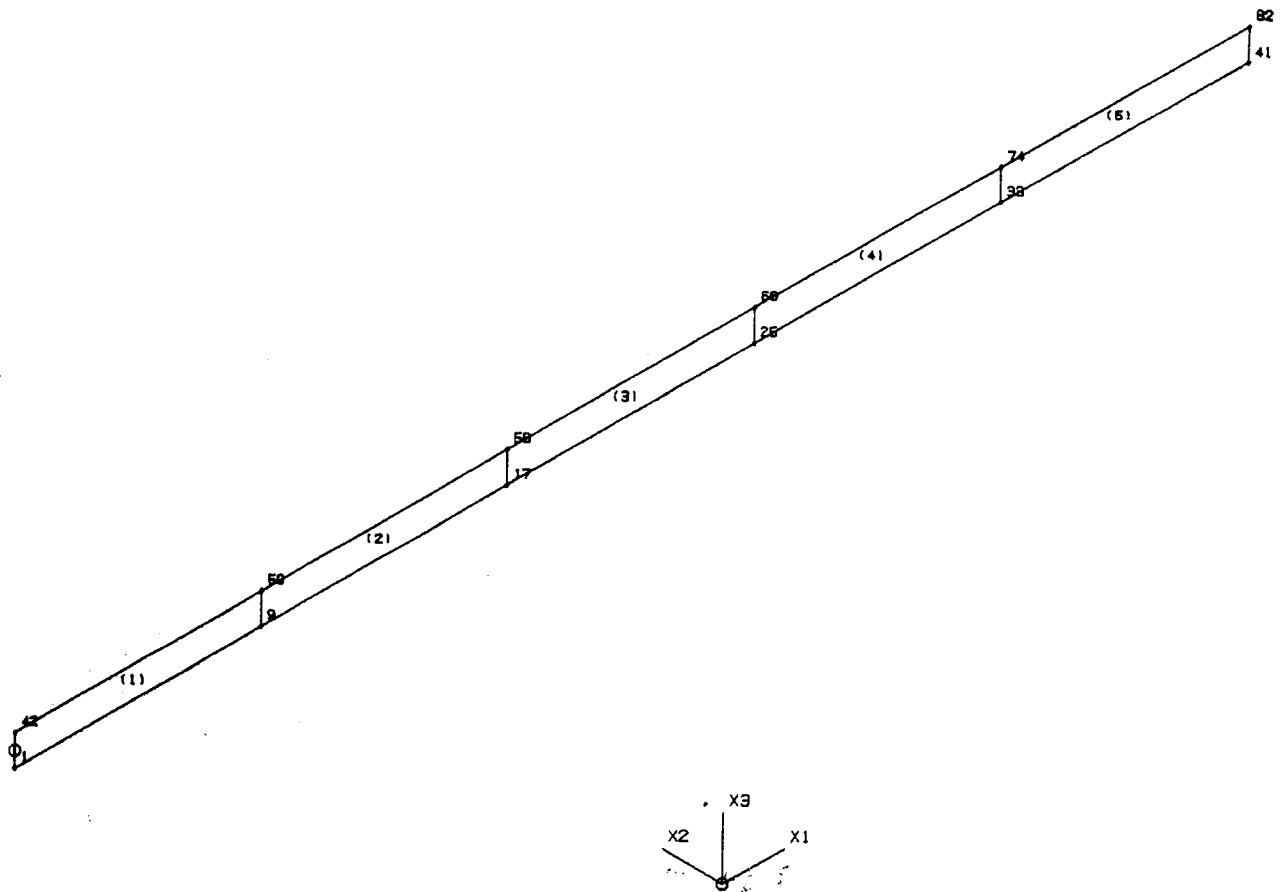


Fig. 1.2-4 Plattenelemente-Modell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 5 x 8S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.43	41-3	0.00000000	0.00000000	0.60018731	5.00	5.00
2	21.46	41-3	0.00000000	0.00000000	0.18235967	5.00	5.00
3	27.24	82-2	0.00000000	0.79726918	0.00000000	5.00	5.00
4	63.44	82-3	0.00000000	0.00000000	0.06102942	5.00	5.00
5	78.92	41-2	0.00000000	0.07703681	0.00000000	5.00	5.00
6	122.45	25-2	0.00000000	0.01999999	0.00000000	5.00	5.00
7	148.85	50-3	0.00000000	0.00000000	0.03153881	5.00	5.00
8	153.22	82-2	0.00000000	0.00519233	0.00000000	5.00	5.00
9	168.50	41-2	0.00000000	0.00050171	0.00000000	5.00	5.00
10	214.09	41-1	0.79589608	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
11	328.48	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
12	404.82	9-3	0.00000000	0.00000000	0.01804117	5.00	5.00
13	622.13	41-1	0.07734686	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
14	943.01	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
15	971.71	41-1	0.02044952	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
16	1229.14	41-1	0.00557722	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
17	1366.25	82-1	0.00070753	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
18	1430.59	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
19	1505.74	82-1	0.00000000	0.00000000	0.00543473	5.00	5.00
20	1714.53	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
21	1785.07	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
SUMMEN:			0.89997721	0.90000003	0.89859111		
GESAMT-GEWICHTE:			0.90000003	0.90000003	0.90000003		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1.2-4: Eigenwerte des Modellbalkens
Plattenelemente-Modell 5 x 8S

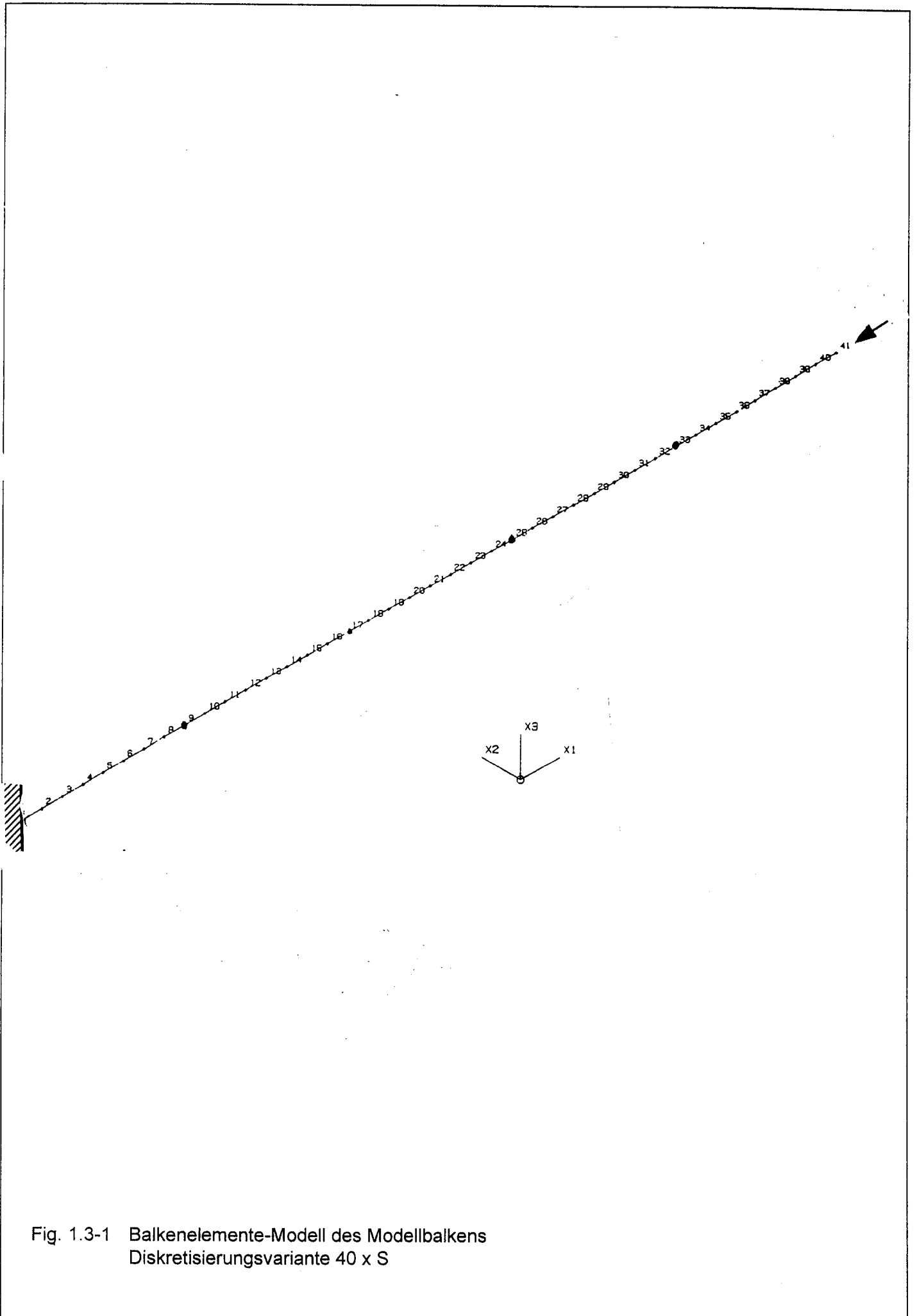


Fig. 1.3-1 Balkenelemente-Modell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 40 x S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPFUNG (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.39	41-2	0.00000000	0.32857649	0.28449612	5.00	5.00
2	3.39	41-3	0.00000000	0.28449612	0.32857649	5.00	5.00
3	21.20	41-5	0.00000000	0.09052649	0.09812013	5.00	5.00
4	21.20	41-6	0.00000000	0.09812013	0.09052649	5.00	5.00
5	59.14	41-6	0.00000000	0.05151035	0.01349152	5.00	5.00
6	59.14	41-5	0.00000000	0.01349152	0.05151035	5.00	5.00
7	115.28	41-5	0.00000000	0.00023017	0.03312243	5.00	5.00
8	115.28	41-6	0.00000000	0.03312243	0.00023017	5.00	5.00
9	189.32	41-5	0.00000000	0.00795415	0.01231442	5.00	5.00
10	189.32	41-6	0.00000000	0.01231442	0.00795415	5.00	5.00
11	214.43	41-1	0.81036113	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
12	280.59	41-6	0.00000000	0.01015869	0.00348036	5.00	5.00
13	280.59	41-5	0.00000000	0.00348036	0.01015869	5.00	5.00
14	388.31	41-6	0.00000000	0.00621221	0.00360580	5.00	5.00
15	388.31	41-5	0.00000000	0.00360580	0.00621221	5.00	5.00
16	511.58	41-5	0.00000000	0.00004307	0.00736954	5.00	5.00
17	511.58	41-6	0.00000000	0.00736954	0.00004307	5.00	5.00
18	642.95	41-1	0.08985501	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
19	649.40	41-6	0.00000000	0.00521496	0.00058213	5.00	5.00
20	649.40	41-5	0.00000000	0.00058213	0.00521496	5.00	5.00
21	800.69	41-6	0.00000000	0.00443884	0.00021775	5.00	5.00
22	800.69	41-5	0.00000000	0.00021775	0.00443884	5.00	5.00
23	964.28	41-6	0.00000000	0.00284287	0.00097579	5.00	5.00
24	964.28	41-5	0.00000000	0.00097579	0.00284287	5.00	5.00
25	1070.48	41-1	0.03221465	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
26	1138.93	41-6	0.00000000	0.00267952	0.00050303	5.00	5.00
27	1138.93	41-5	0.00000000	0.00050303	0.00267952	5.00	5.00
28	1323.37	41-5	0.00000000	0.00037142	0.00231479	5.00	5.00
29	1323.37	41-6	0.00000000	0.00231479	0.00037142	5.00	5.00
30	1496.36	41-1	0.01633430	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
31	1516.28	41-5	0.00000000	0.00056293	0.00172684	5.00	5.00
32	1516.28	41-6	0.00000000	0.00172684	0.00056293	5.00	5.00
33	1716.31	41-5	0.00000000	0.00035518	0.00161155	5.00	5.00
34	1716.31	41-6	0.00000000	0.00161155	0.00035518	5.00	5.00
35	1919.93	41-1	0.00979935	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
36	1922.10	41-6	0.00000000	0.00167243	0.00002652	5.00	5.00
37	1922.10	41-5	0.00000000	0.00002652	0.00167243	5.00	5.00
38	2132.29	41-5	0.00000000	0.00000525	0.00146842	5.00	5.00
39	2132.29	41-6	0.00000000	0.00146842	0.00000525	5.00	5.00
40	2340.54	41-1	0.00649157	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
41	2345.52	41-5	0.00000000	0.00048308	0.00079867	5.00	5.00
42	2345.52	41-6	0.00000000	0.00079867	0.00048308	5.00	5.00
43	2560.45	41-5	0.00000000	0.00042719	0.00068931	5.00	5.00
44	2560.45	41-6	0.00000000	0.00068931	0.00042719	5.00	5.00
45	2757.54	41-1	0.00458931	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
46	2775.75	41-6	0.00000000	0.00094955	0.00002339	5.00	5.00
47	2775.75	41-5	0.00000000	0.00002339	0.00094955	5.00	5.00
48	2990.15	41-5	0.00000000	0.00024762	0.00059971	5.00	5.00
49	2990.15	41-6	0.00000000	0.00059971	0.00024762	5.00	5.00
SUMMEN:			0.96964530	0.98300068	0.98300068		
GESAMT-GEWICHTE:			0.98749998	0.98749998	0.98749998		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1.3-1 Eigenwerte des Modellbalkens
Balkenelemente-Modell 40 x S

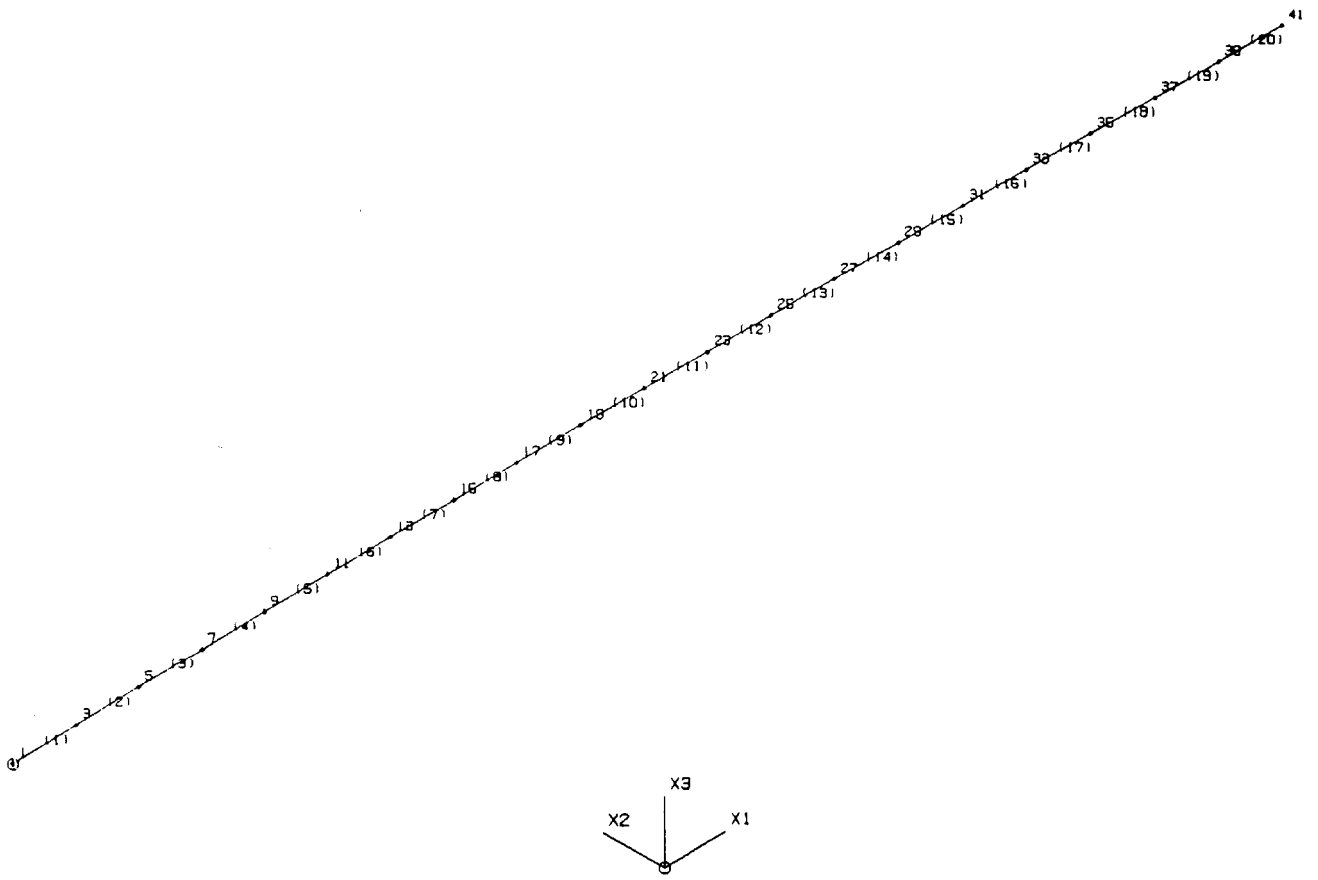


Fig. 1.3-2 Balkenelemente-Modell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 20 x 2S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.39	41-2	0.00000000	0.35037013	0.26225967	5.00	5.00
2	3.39	41-3	0.00000000	0.26225967	0.35037013	5.00	5.00
3	21.14	41-5	0.00000000	0.04603120	0.14265794	5.00	5.00
4	21.14	41-6	0.00000000	0.14265794	0.04603120	5.00	5.00
5	58.85	41-5	0.00000000	0.00224799	0.06273839	5.00	5.00
6	58.85	41-6	0.00000000	0.06273839	0.00224799	5.00	5.00
7	114.49	41-6	0.00000000	0.02465917	0.00866656	5.00	5.00
8	114.49	41-5	0.00000000	0.00866656	0.02465917	5.00	5.00
9	187.62	41-6	0.00000000	0.01883418	0.00139009	5.00	5.00
10	187.62	41-5	0.00000000	0.00139009	0.01883418	5.00	5.00
11	214.38	41-1	0.80973625	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
12	277.38	41-6	0.00000000	0.01295748	0.00061601	5.00	5.00
13	277.38	41-5	0.00000000	0.00061601	0.01295748	5.00	5.00
14	382.75	41-5	0.00000000	0.00485728	0.00486990	5.00	5.00
15	382.75	41-6	0.00000000	0.00486990	0.00485728	5.00	5.00
16	502.45	41-5	0.00000000	0.00000329	0.00728885	5.00	5.00
17	502.45	41-6	0.00000000	0.00728885	0.00000329	5.00	5.00
18	634.91	41-6	0.00000000	0.00429775	0.00134410	5.00	5.00
19	634.91	41-5	0.00000000	0.00134410	0.00429775	5.00	5.00
20	641.83	41-1	0.08923110	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
21	778.20	41-5	0.00000000	0.00014170	0.00431859	5.00	5.00
22	778.20	41-6	0.00000000	0.00431859	0.00014170	5.00	5.00
23	930.00	41-5	0.00000000	0.00000157	0.00357196	5.00	5.00
24	930.00	41-6	0.00000000	0.00357196	0.00000157	5.00	5.00
25	1065.32	25-1	0.03159268	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
26	1087.47	41-5	0.00000000	0.00015767	0.00272139	5.00	5.00
27	1087.47	41-6	0.00000000	0.00272139	0.00015767	5.00	5.00
28	1247.22	41-6	0.00000000	0.00228673	0.00002625	5.00	5.00
29	1247.22	41-5	0.00000000	0.00002625	0.00228673	5.00	5.00
30	1405.25	41-5	0.00000000	0.00069419	0.00114001	5.00	5.00
31	1405.25	41-6	0.00000000	0.00114001	0.00069419	5.00	5.00
32	1482.24	41-1	0.01571527	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
33	1557.04	41-6	0.00000000	0.00100449	0.00041182	5.00	5.00
34	1557.04	41-5	0.00000000	0.00041182	0.00100449	5.00	5.00
35	1697.61	41-5	0.00000000	0.00001160	0.00103248	5.00	5.00
36	1697.61	41-6	0.00000000	0.00103248	0.00001160	5.00	5.00
37	1821.80	41-6	0.00000000	0.00035685	0.00035554	5.00	5.00
38	1821.80	41-5	0.00000000	0.00035554	0.00035685	5.00	5.00
39	1890.03	41-1	0.00918432	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
40	1924.61	41-6	0.00000000	0.00029340	0.00013274	5.00	5.00
41	1924.61	41-5	0.00000000	0.00013274	0.00029340	5.00	5.00
42	2001.58	41-5	0.00000000	0.00000058	0.00019883	5.00	5.00
43	2001.58	41-6	0.00000000	0.00019883	0.00000058	5.00	5.00
44	2049.24	41-6	0.00000000	0.00004958	0.00000202	5.00	5.00
45	2049.24	41-5	0.00000000	0.00000202	0.00004958	5.00	5.00
46	2286.16	41-1	0.00588161	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
47	2668.20	41-1	0.00398559	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
SUMMEN:			0.96532681	0.97499998	0.97499998		
GESAMT-GEWICHTE:			0.97499998	0.97499998	0.97499998		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1.3-2: Eigenwerte des Modellbalkens
Plattenelemente-Modell 20 x 2S

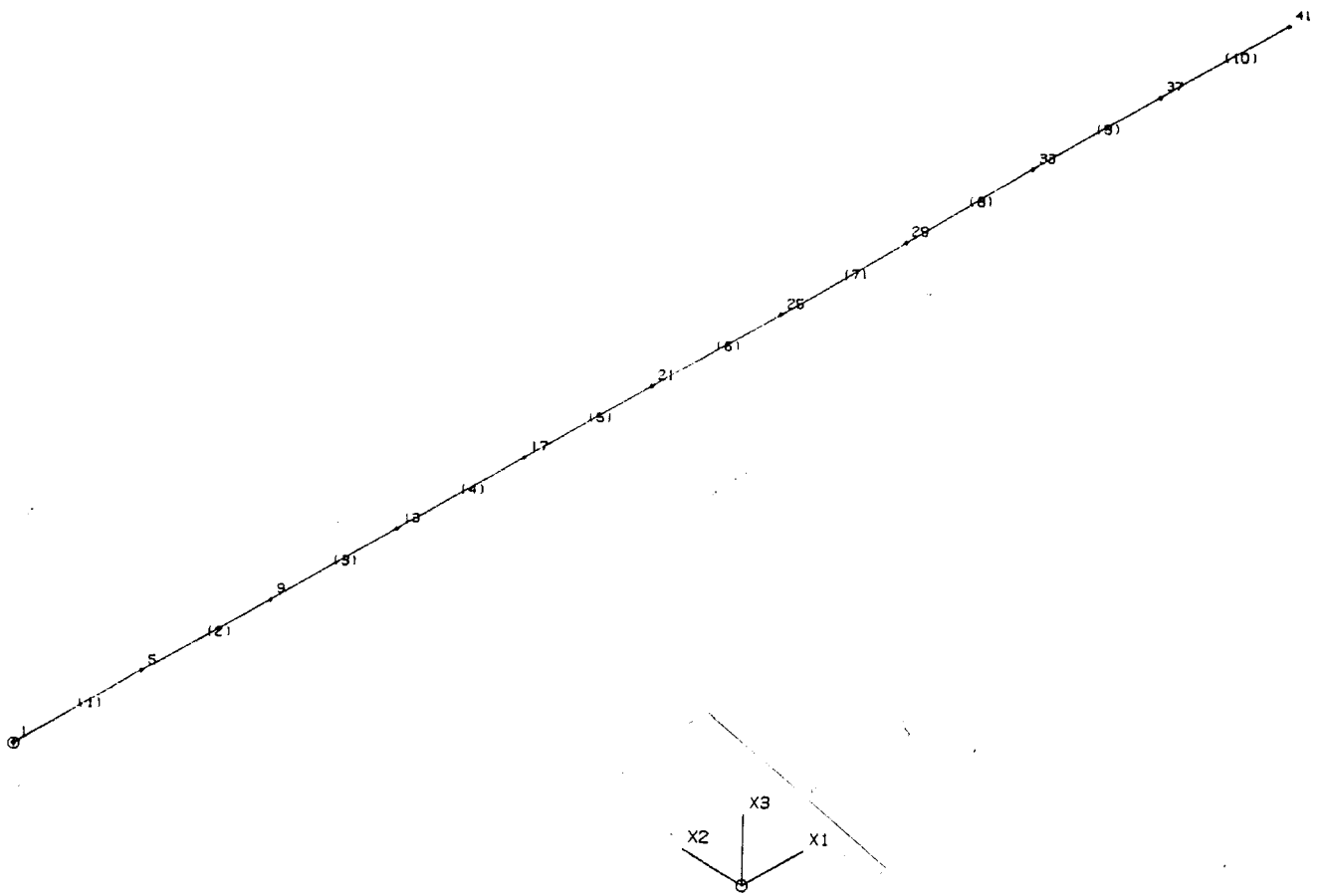


Fig. 1.3-3 Rechenmodell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 10 x 4S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.38	41-2	0.00000000	0.54594587	0.06492352	5.00	5.00
2	3.38	41-3	0.00000000	0.06492352	0.54594587	5.00	5.00
3	20.89	41-6	0.00000000	0.17227490	0.01657328	5.00	5.00
4	20.89	41-5	0.00000000	0.01657328	0.17227490	5.00	5.00
5	57.73	41-6	0.00000000	0.06436325	0.00053955	5.00	5.00
6	57.73	41-5	0.00000000	0.00053955	0.06436325	5.00	5.00
7	111.40	41-5	0.00000000	0.00426204	0.02891332	5.00	5.00
8	111.40	41-6	0.00000000	0.02891332	0.00426204	5.00	5.00
9	180.86	41-6	0.00000000	0.01607406	0.00389068	5.00	5.00
10	180.86	41-5	0.00000000	0.00389068	0.01607406	5.00	5.00
11	214.22	41-1	0.80723818	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
12	264.06	41-5	0.00000000	0.00025480	0.01287436	5.00	5.00
13	264.06	41-6	0.00000000	0.01287436	0.00025480	5.00	5.00
14	357.13	41-6	0.00000000	0.00670132	0.00224174	5.00	5.00
15	357.13	41-5	0.00000000	0.00224174	0.00670132	5.00	5.00
16	452.60	41-5	0.00000000	0.00027742	0.00561734	5.00	5.00
17	452.60	41-6	0.00000000	0.00561734	0.00027742	5.00	5.00
18	537.90	41-6	0.00000000	0.00200303	0.00126309	5.00	5.00
19	537.90	41-5	0.00000000	0.00126309	0.00200303	5.00	5.00
20	597.29	41-6	0.00000000	0.00079575	0.00021065	5.00	5.00
21	597.29	41-5	0.00000000	0.00021065	0.00079575	5.00	5.00
22	637.38	41-1	0.08674861	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
23	1044.85	25-1	0.02914213	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
24	1426.59	41-1	0.01331470	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
25	1773.21	41-1	0.00685444	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
26	2076.16	41-1	0.00364727	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
27	2327.99	41-1	0.00187763	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
28	2522.50	25-1	0.00085786	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
29	2654.89	41-1	0.00028819	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
30	2721.91	41-1	0.00003097	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
SUMMEN:			0.94999998	0.94999998	0.94999998		
GESAMT-GEWICHTE:			0.94999998	0.94999998	0.94999998		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1.3-3 Eigenwerte des Modellbalkens
Balkenelemente-Modell 10 x 4S

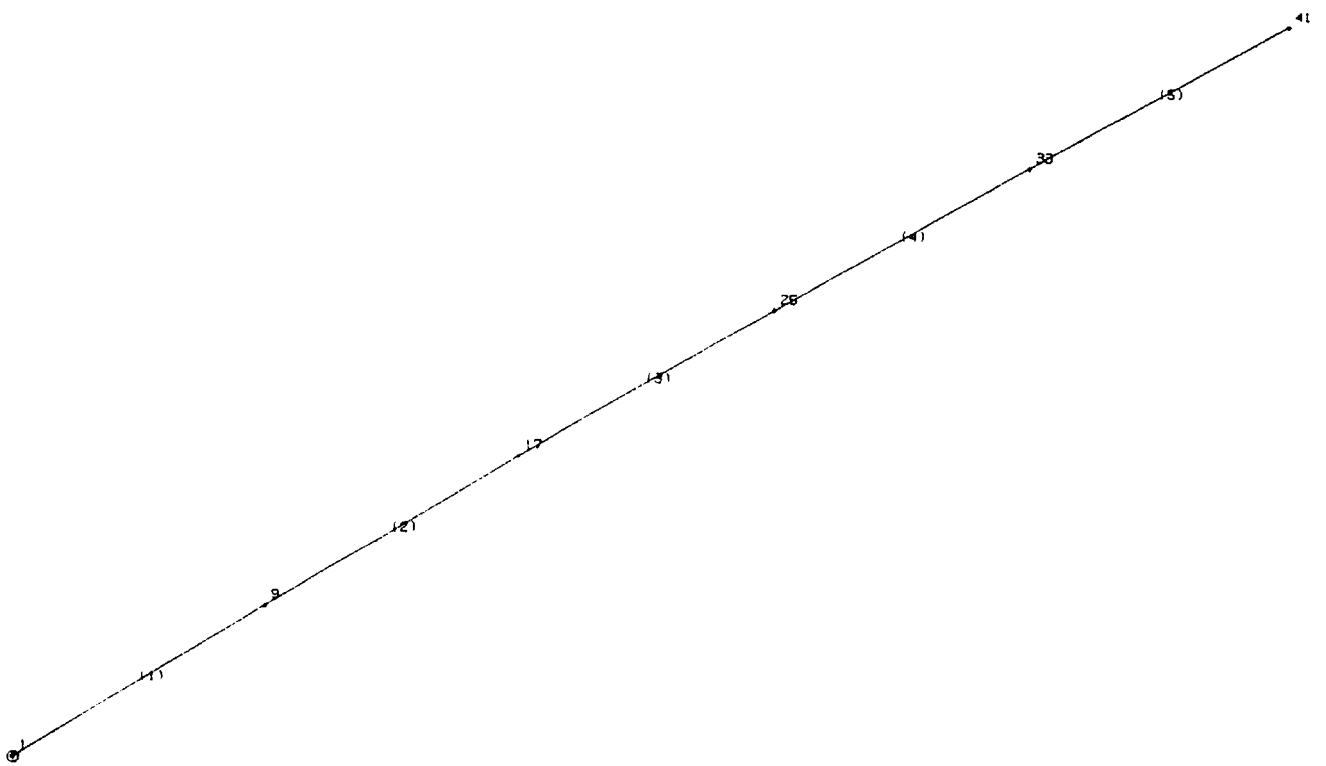


Fig. 1.3-4 Rechenmodell des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 5 x 8S

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	3.33	41-2	0.00000000	0.60399586	0.00000000	5.00	5.00
2	3.33	41-3	0.00000000	0.00000000	0.60399691	5.00	5.00
3	19.97	41-6	0.00000000	0.18943878	0.00000000	5.00	5.00
4	19.97	41-5	0.00000000	0.00000000	0.18943928	5.00	5.00
5	53.71	41-6	0.00000000	0.06449125	0.00000000	5.00	5.00
6	53.71	41-5	0.00000000	0.00000000	0.06449168	5.00	5.00
7	99.64	41-6	0.00000000	0.03087254	0.00000000	5.00	5.00
8	99.64	41-5	0.00000000	0.00000000	0.03087236	5.00	5.00
9	145.00	41-6	0.00000000	0.01119525	0.00000000	5.00	5.00
10	145.00	41-5	0.00000000	0.00000000	0.01119451	5.00	5.00
11	213.56	41-1	0.79726915	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
12	619.77	41-1	0.07703680	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
13	965.32	41-1	0.02000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
14	1049.25	41-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
15	1216.37	41-1	0.00519232	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
16	1348.36	41-1	0.00050171	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
17	3062.75	17-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
18	4828.12	9-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
19	6075.34	41-6	0.00000000	0.00000005	0.00000000	5.00	5.00
20	6202.34	33-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
21	6655.10	41-5	0.00000000	0.00000000	0.00000004	5.00	5.00
22	7074.09	25-4	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5.00	5.00
23	7831.55	17-6	0.00000000	0.00000235	0.00000000	5.00	5.00
24	8578.95	17-5	0.00000000	0.00000000	0.00000195	5.00	5.00
25	9291.35	9-6	0.00000000	0.00000239	0.00000000	5.00	5.00
26	10178.06	9-5	0.00000000	0.00000000	0.00000199	5.00	5.00
27	10675.81	33-6	0.00000000	0.00000120	0.00000000	5.00	5.00
28	11624.96	25-6	0.00000000	0.00000031	0.00000000	5.00	5.00
29	11694.70	33-5	0.00000000	0.00000000	0.00000100	5.00	5.00
30	12734.49	25-5	0.00000000	0.00000000	0.00000026	5.00	5.00
SUMMEN:			0.89999998	0.89999998	0.89999998		
GESAMT-GEWICHTE:			0.89999998	0.89999998	0.89999998		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1.3-4 Eigenwerte des Modellbalkens
Balkenelemente-Modell 5 x 8S

1. Eigenfrequenzen (Hz)

	Volumen EL	Platten EL	Balken EL
S	214,58	214,49	214,43
2S	214,70	214,51	214,38
4S	214,86	214,47	214,22
8S	214,88	214,09	213,56

2. Eigenfrequenzen (Hz)

	Volumen EL	Platten EL	Balken EL
S	643	643	642,95
2S	642	642	641,83
4S	639	638	637,38
8S	625	622	619,77

3. Eigenfrequenzen (Hz)

	Volumen EL	Platten EL	Balken EL
S	1071	1070	1070
2S	1067	1066	1065
4S	1050	1046	1044
8S	981	971	1216

4. und 5. Eigenfrequenzen (Hz)

	Volumen EL	Platten EL	Balken EL
S	1631/1869	1496/1919	1496/1919
2S	1598/1867	1483/1891	1482/1890
3S	1378/1930	1430/1780	1044/1459
8S	1248/1396	1229/1366	995/1216

Tab. 1-1 Eigenfrequenzen des Modellbalkens in Längsrichtung (Belastungsrichtung) bei verschiedenen Diskretisierungen

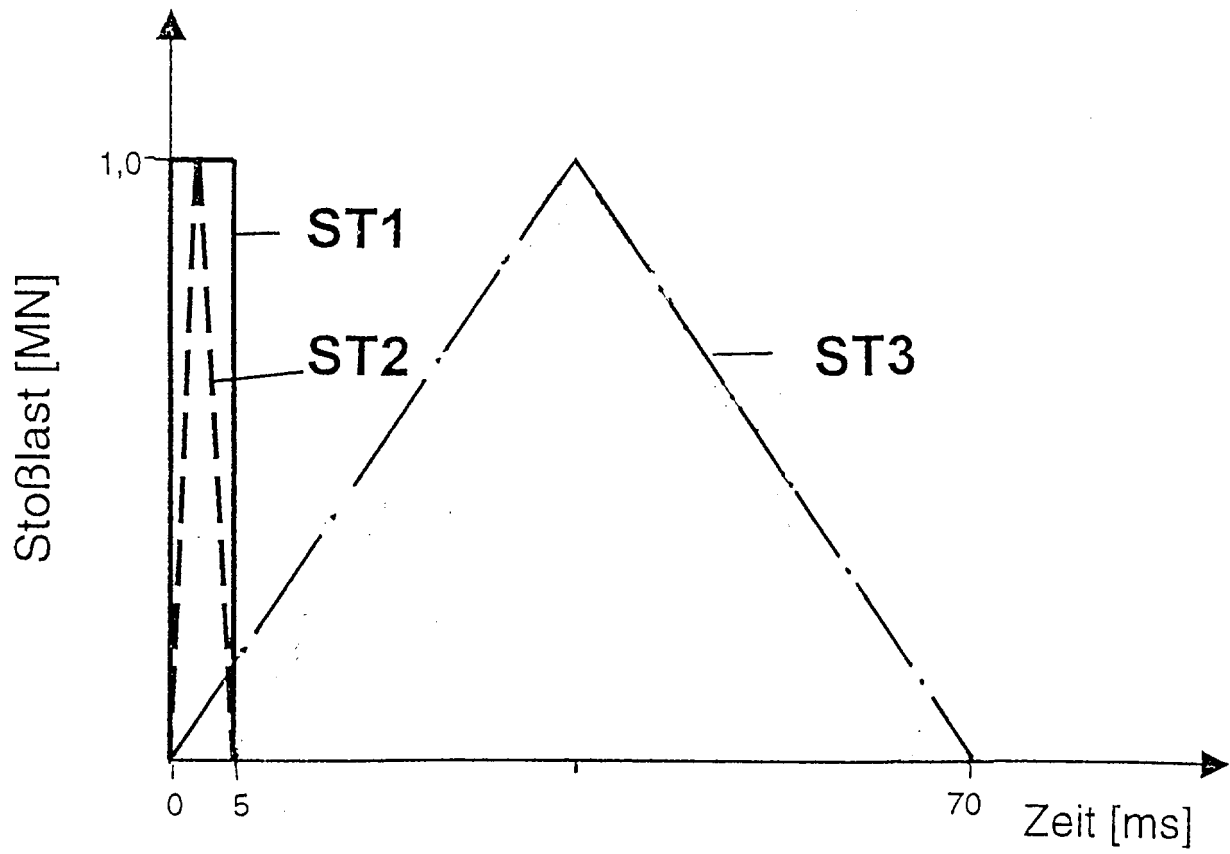


Fig. 1-4 Stoß-Lastfunktionen für Modelbalken

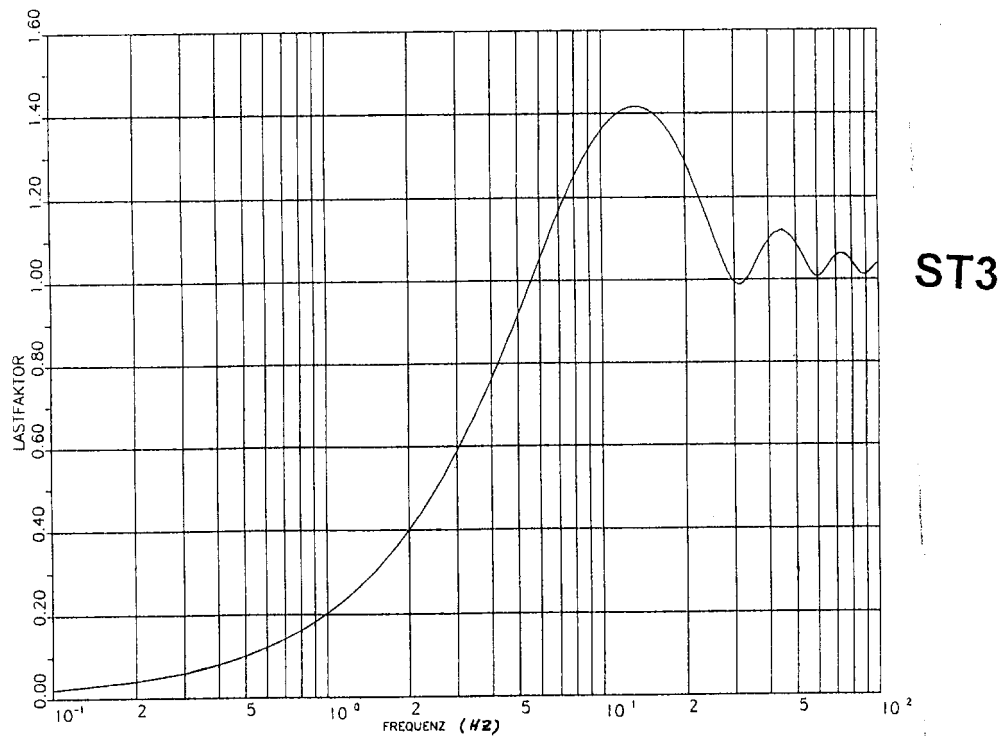
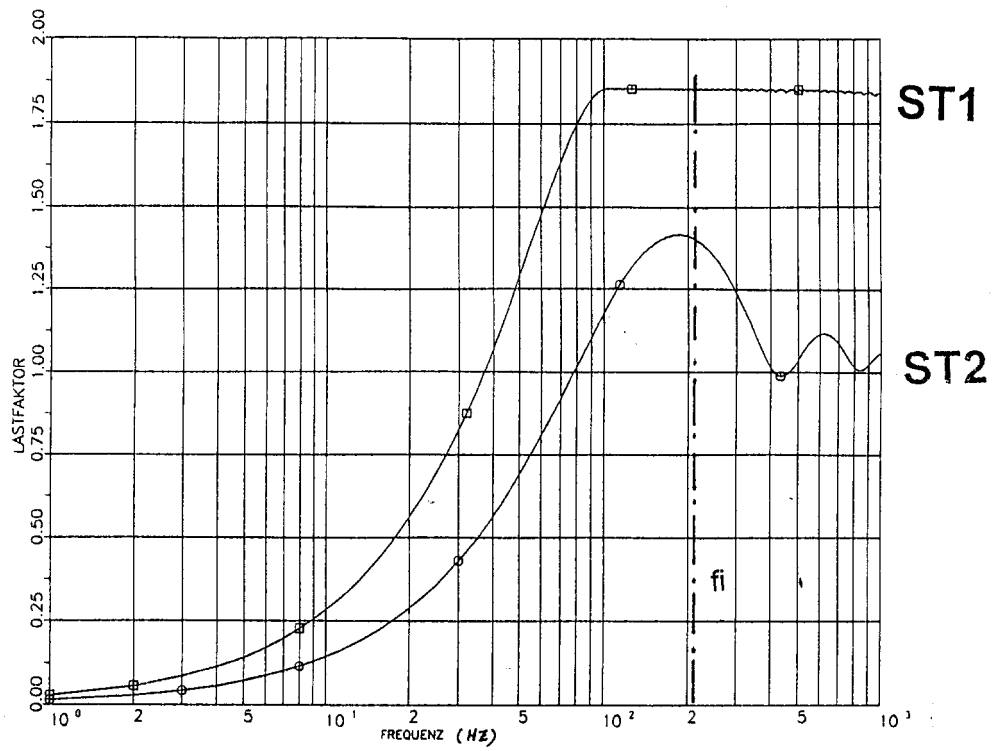


Fig. 1-5 Dynamische Lastfaktoren der Stoß-Lastfunktionen ST1, ST2 und ST3 (für 5% Dämpfung)

Zwischenblatt

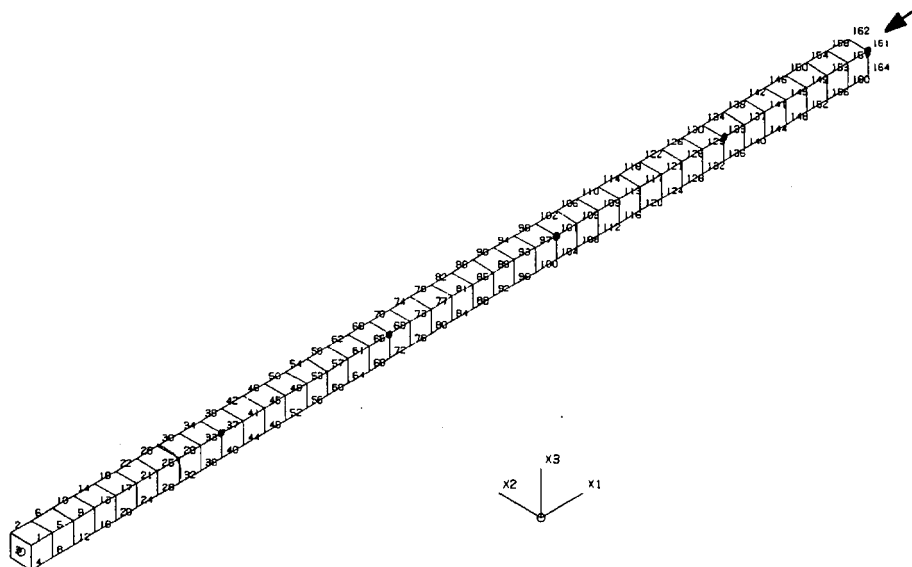
2

**Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in den
charakteristischen Beobachtungspunkten der Modellbalken
bei Anwendung verschiedener Elementarten,
Diskretisierungsgrade und Stoßlastfunktionen
(Strukturantworten in Axialrichtung)**

2.1 Volumenelemente-Modell

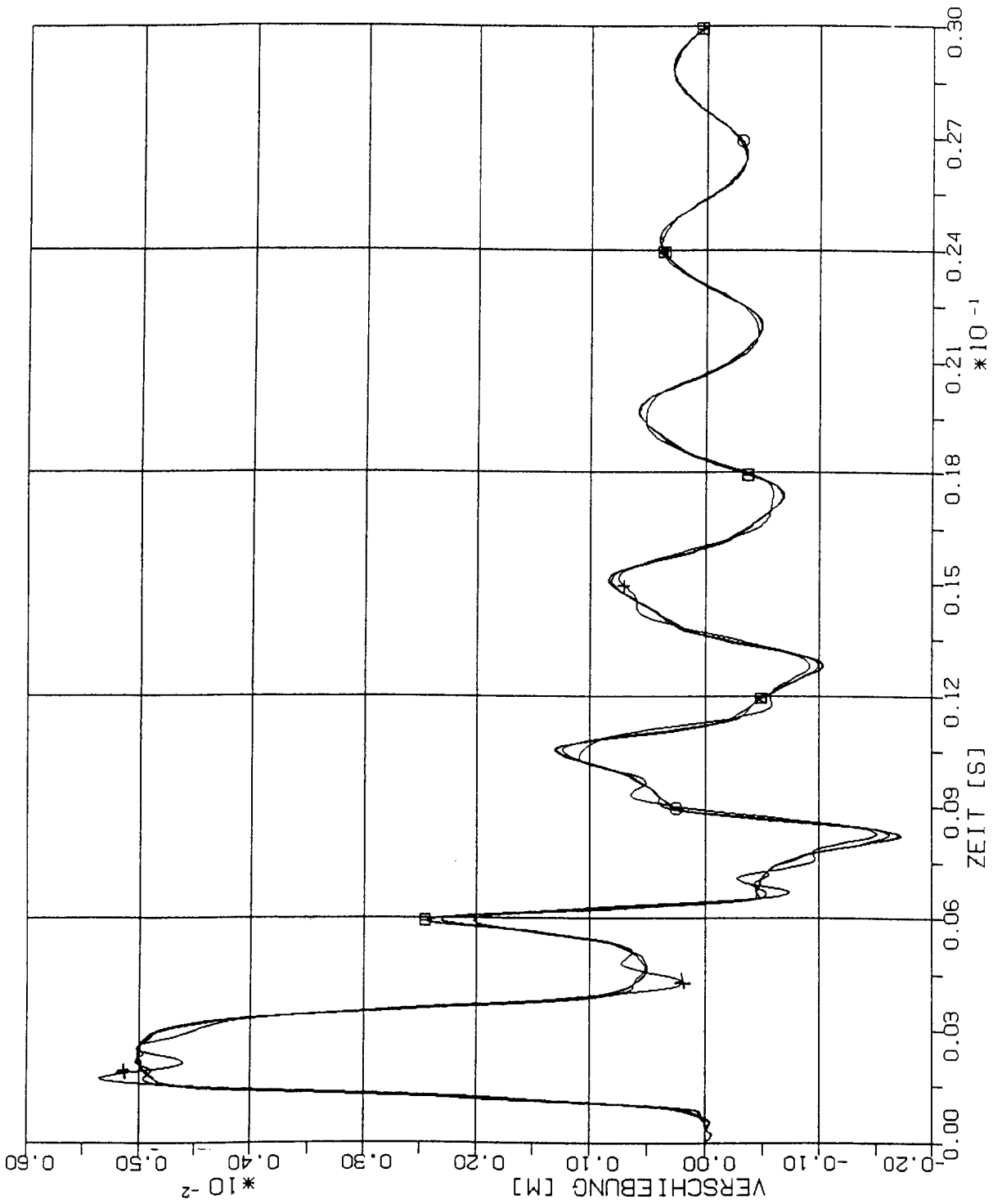
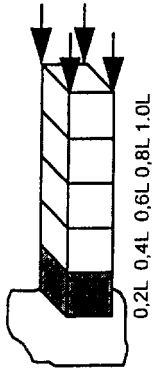
2.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)

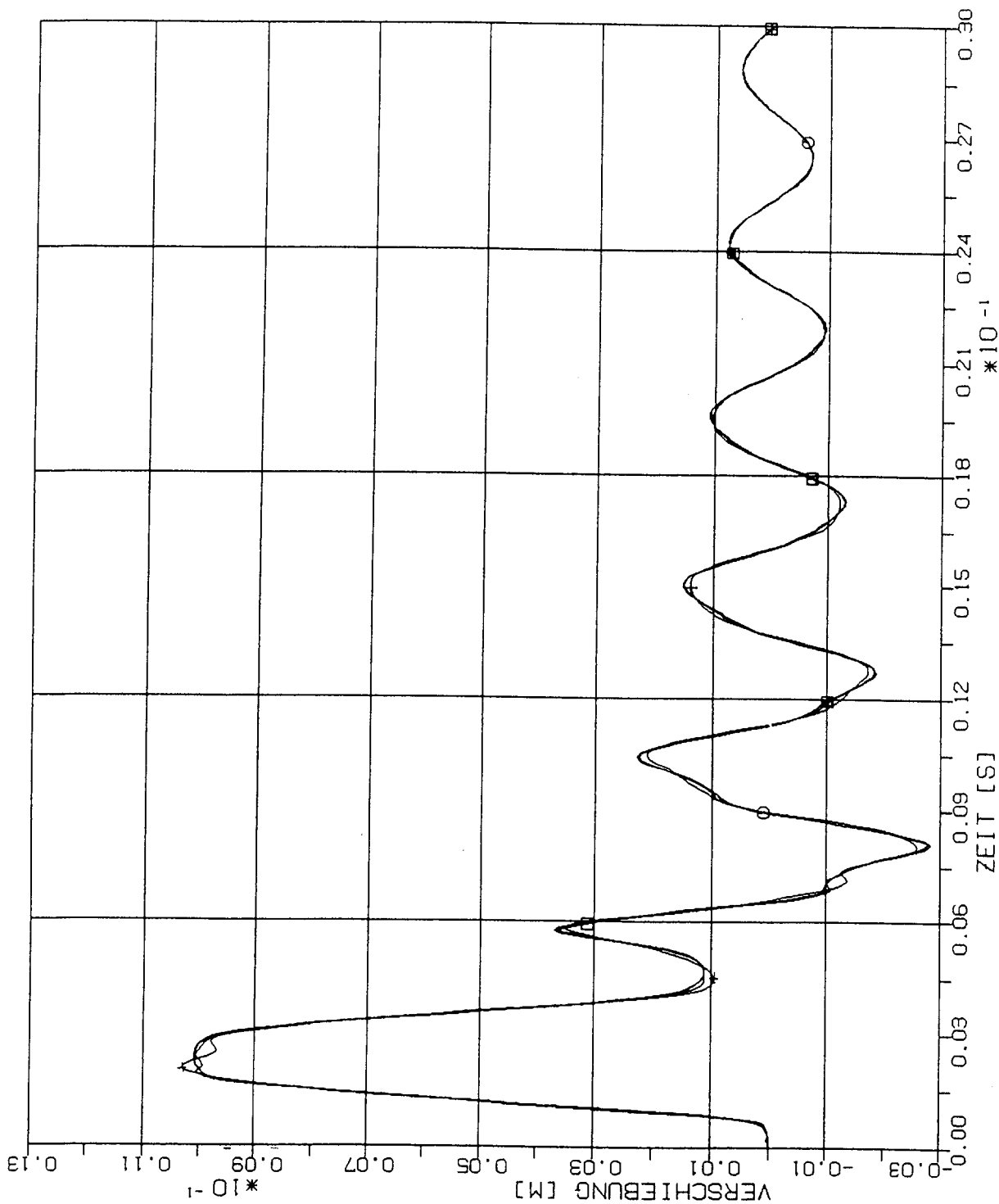


VOLUMENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S

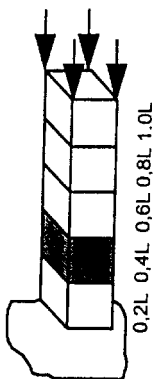


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0,2 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG: ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



VOLUMENELEMENTE

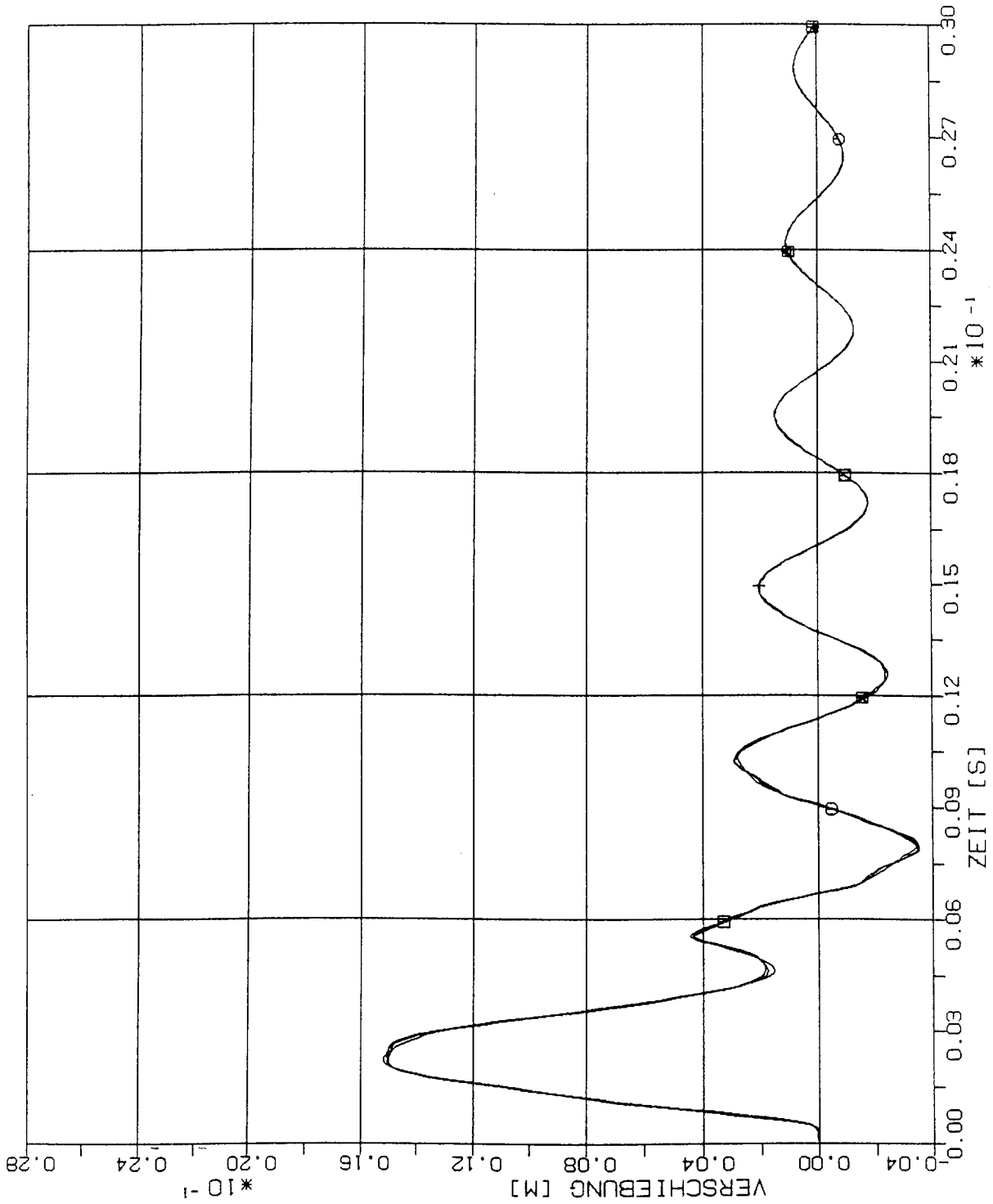
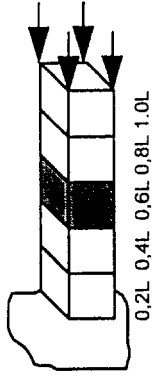
- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



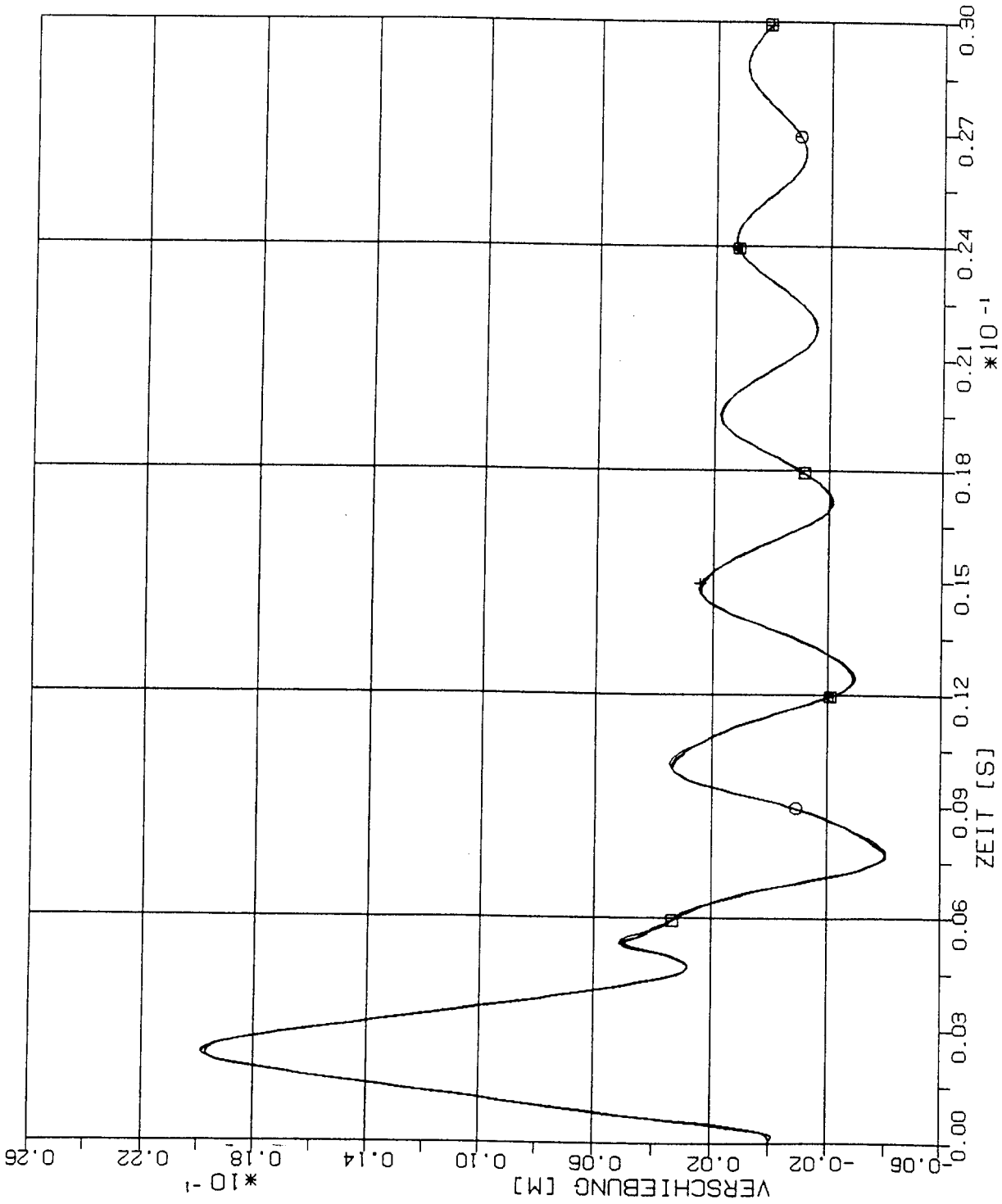
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFUE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

VOLUMENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S



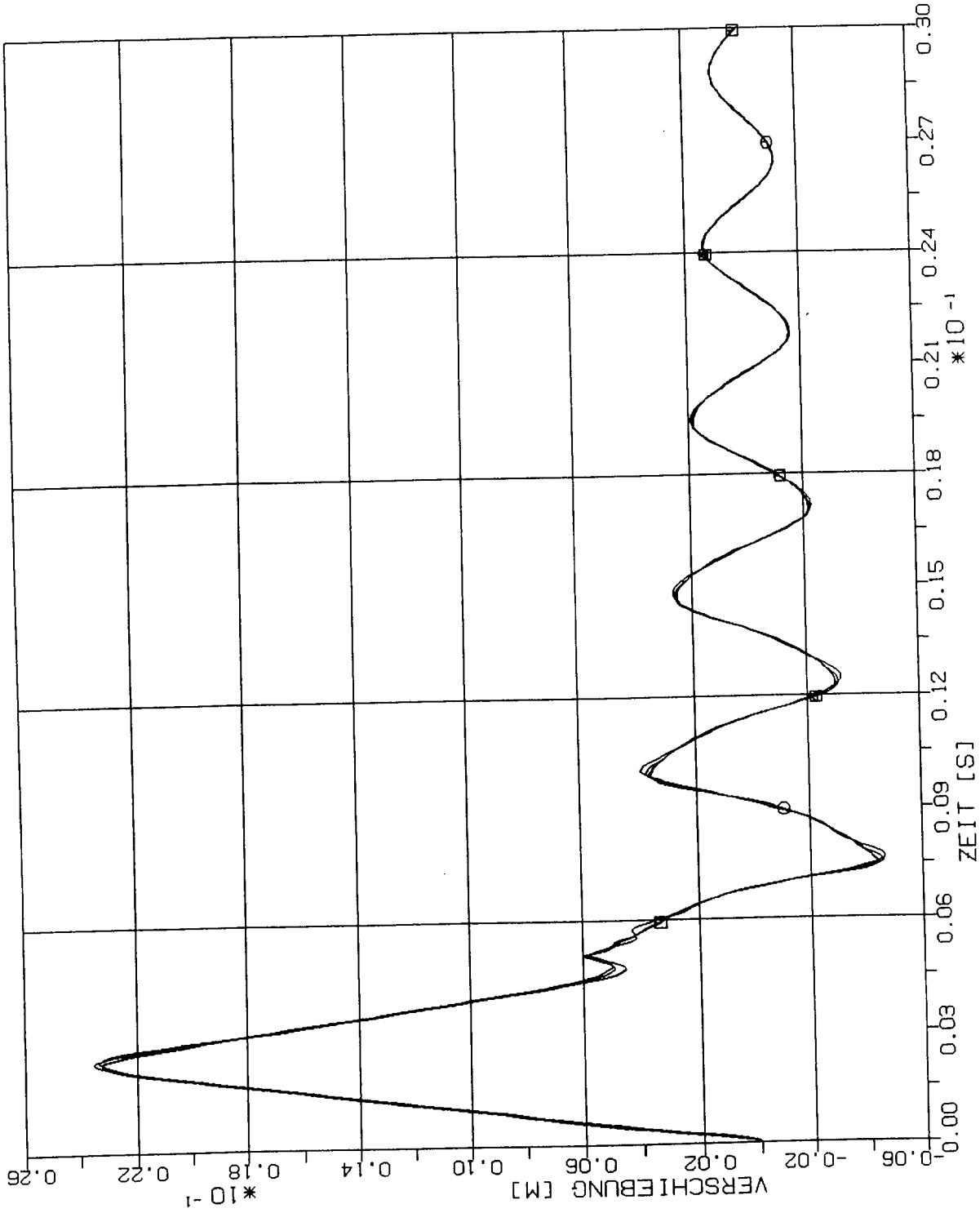
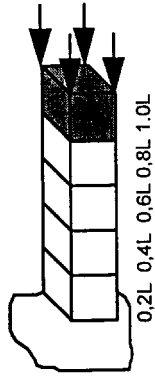
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

VOLUMENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S

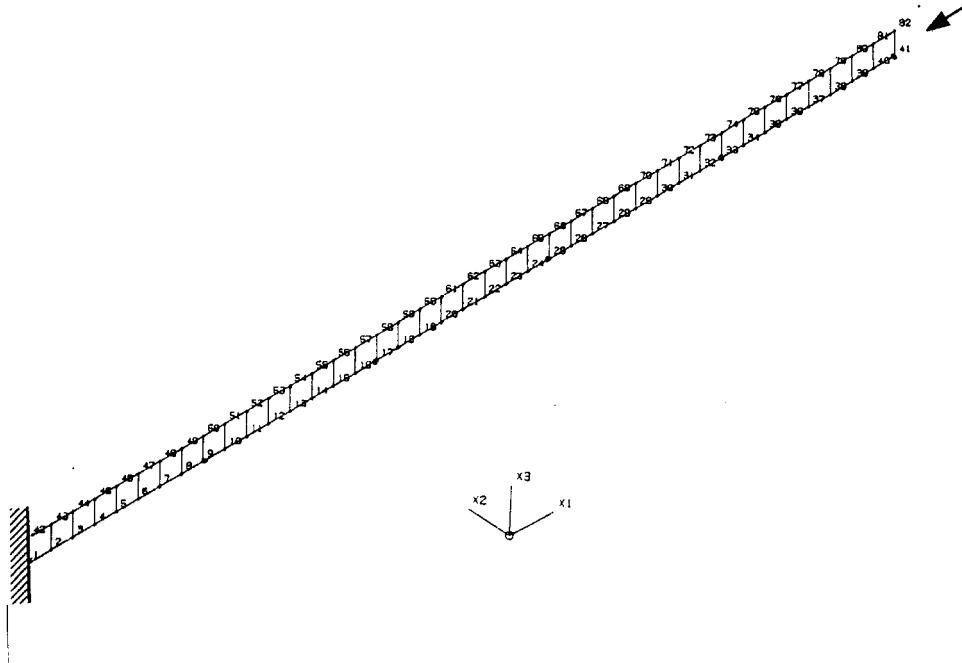


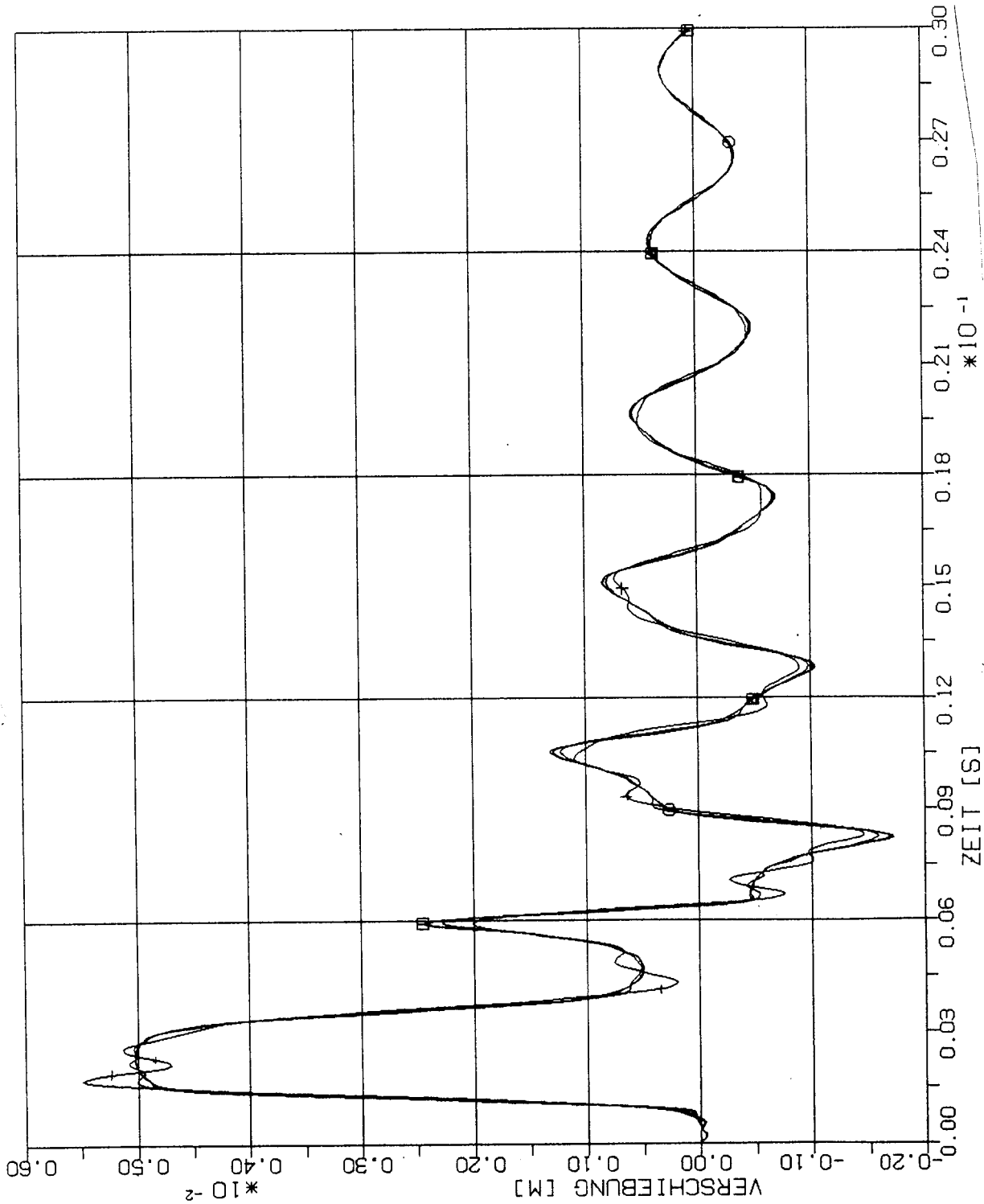
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBAEKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

2.2 Plattenelemente-Modell

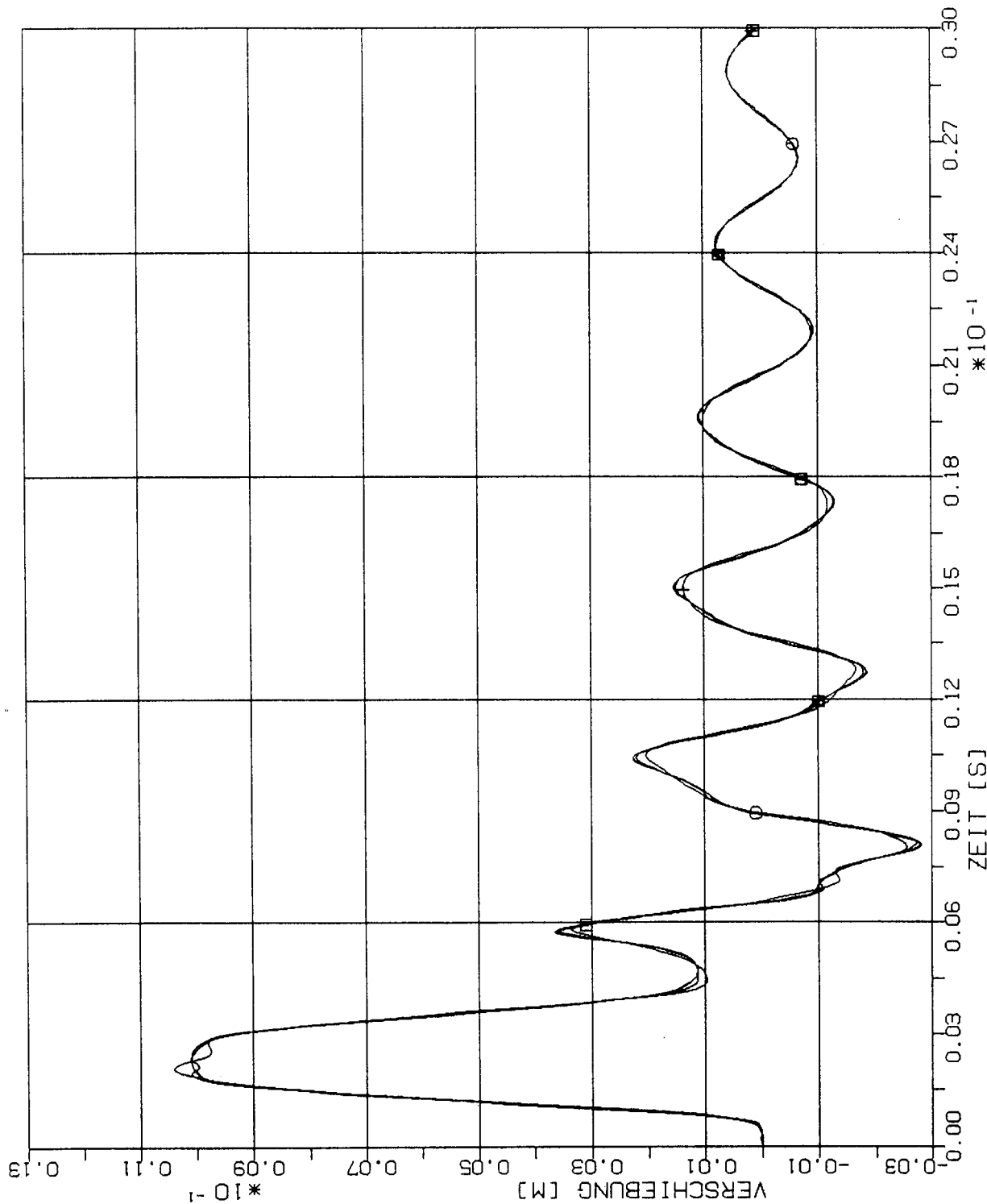
2.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)



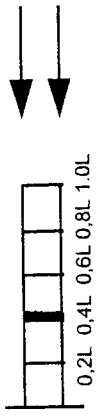


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEUGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG: ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

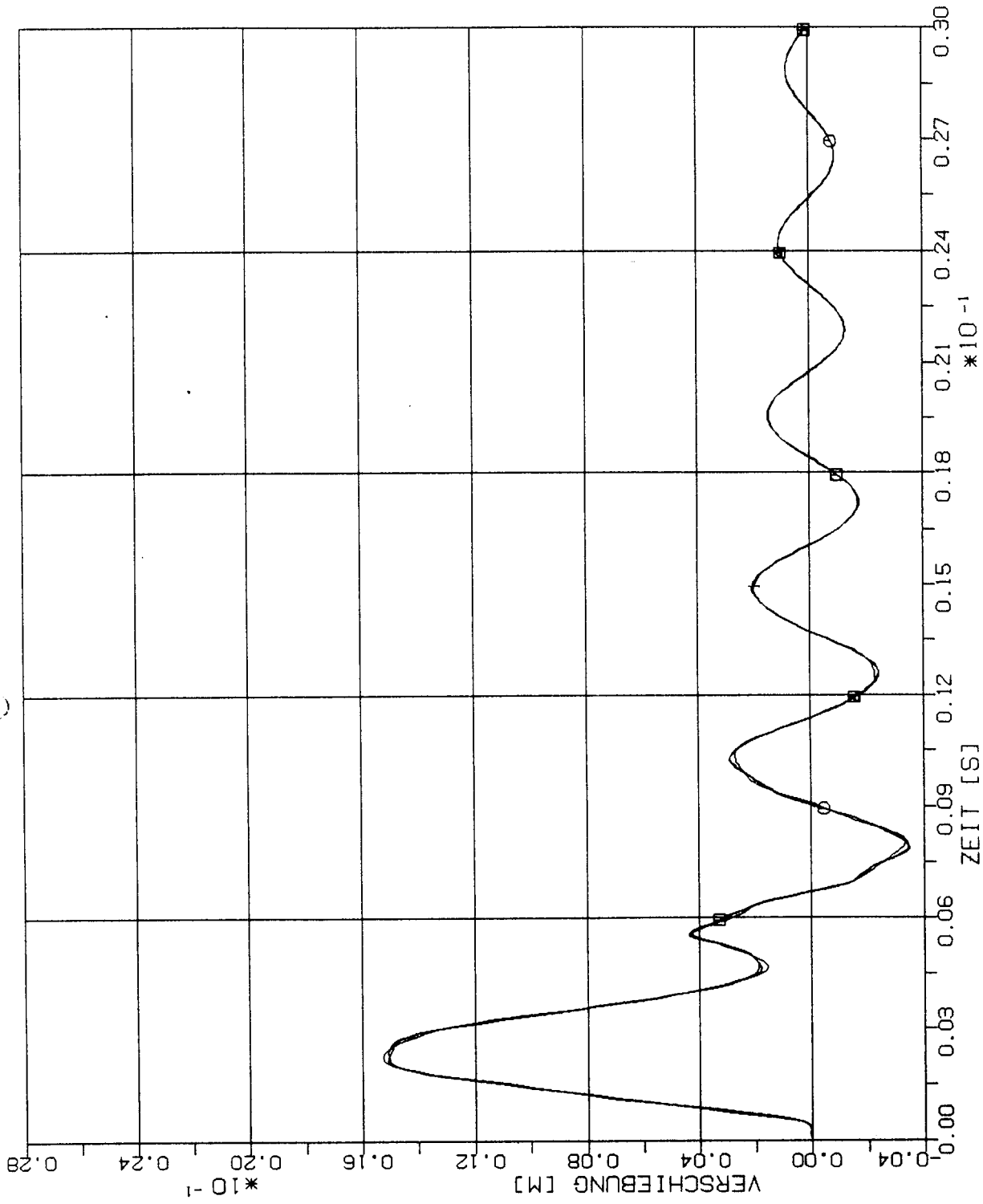


PLATTENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFUE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



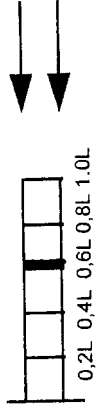
PLATTENELEMENTE

□ 40 x S

○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

† 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

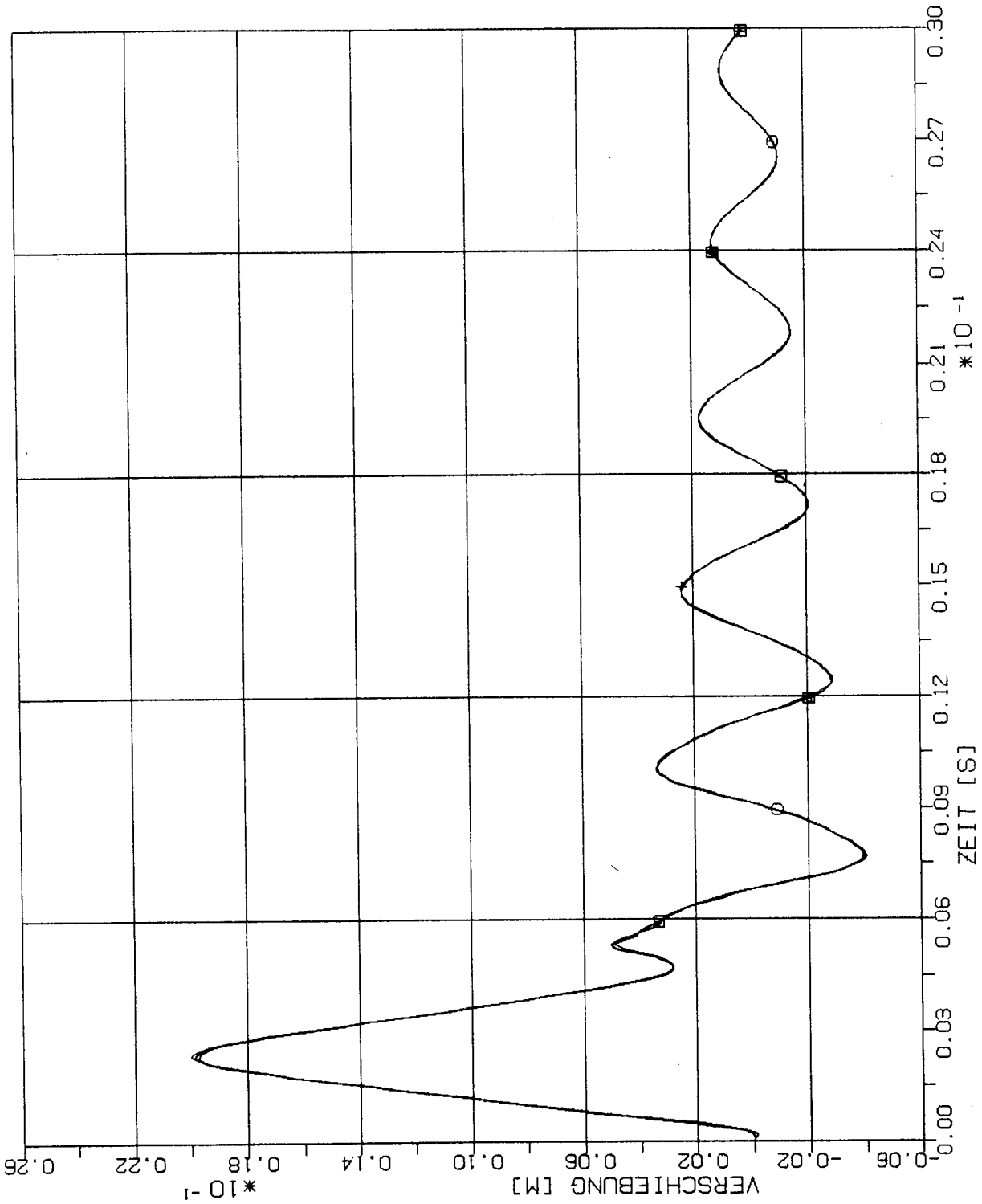
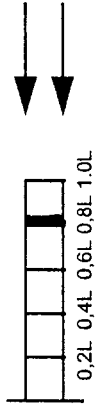
PLATTENELEMENTE

□ 40 x S

○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

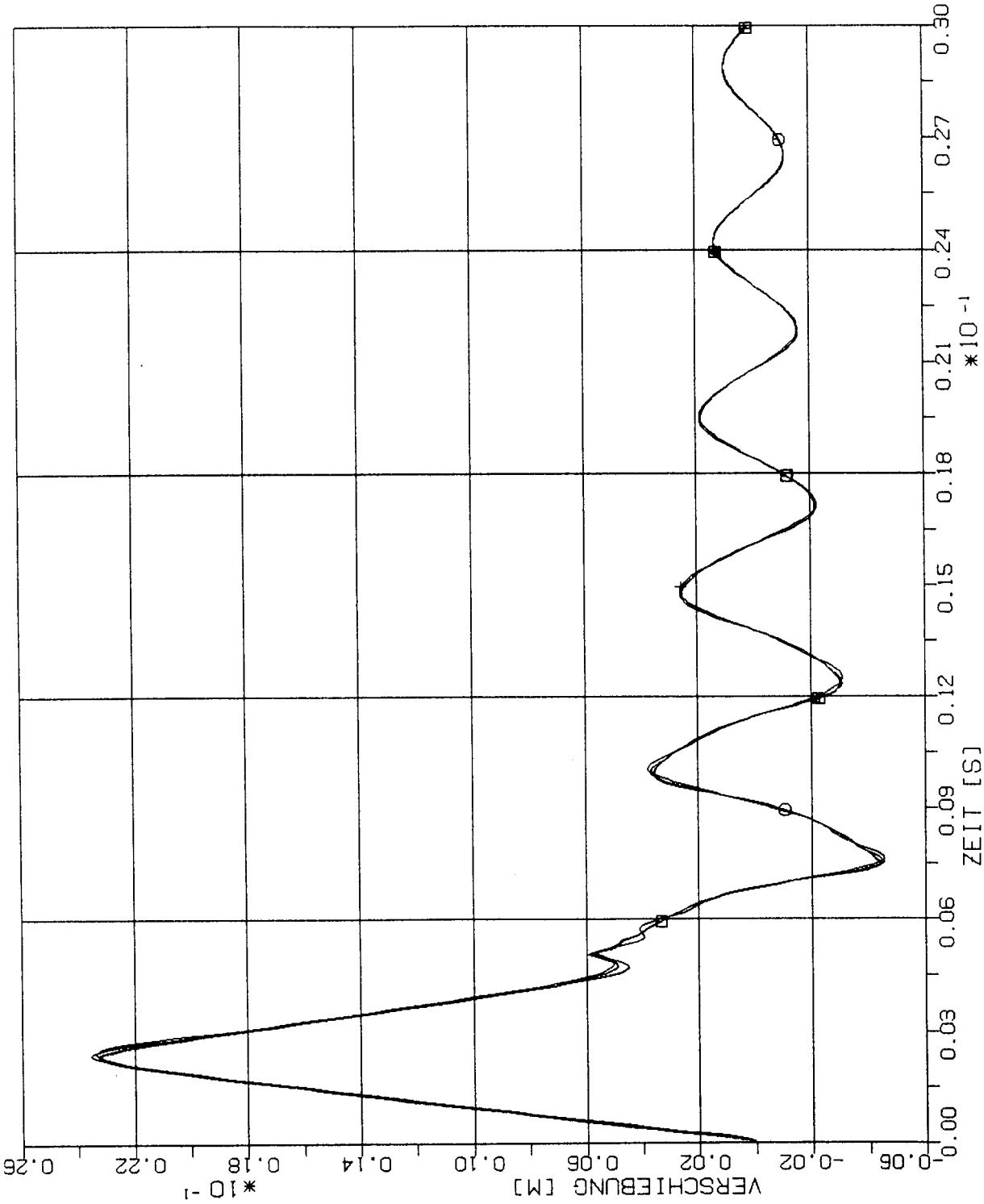
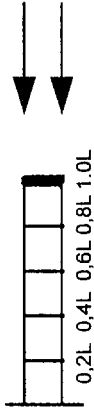
† 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)

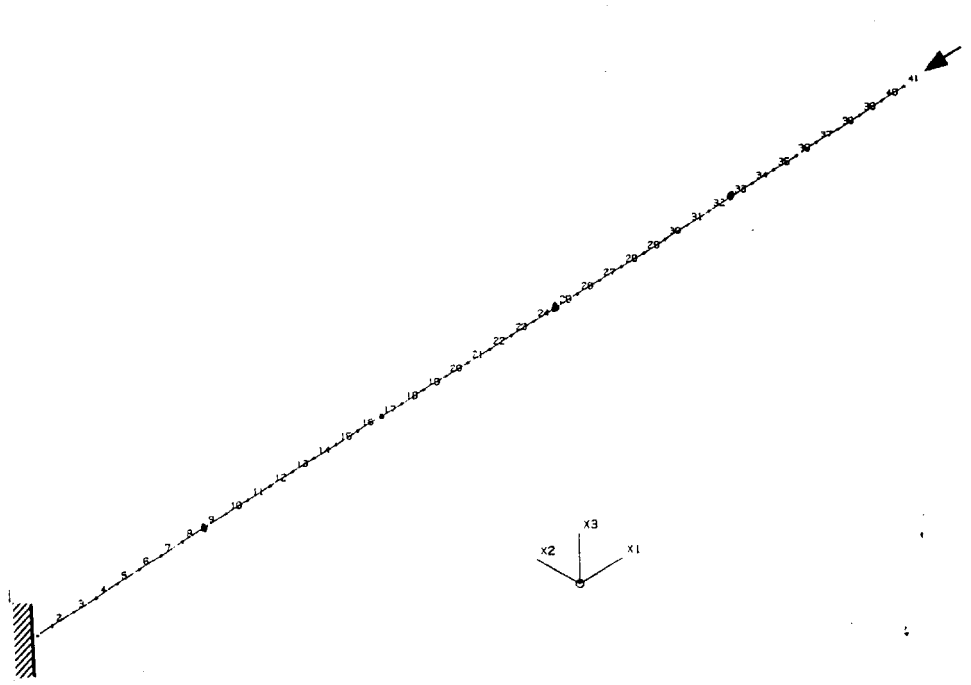
PLATTENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



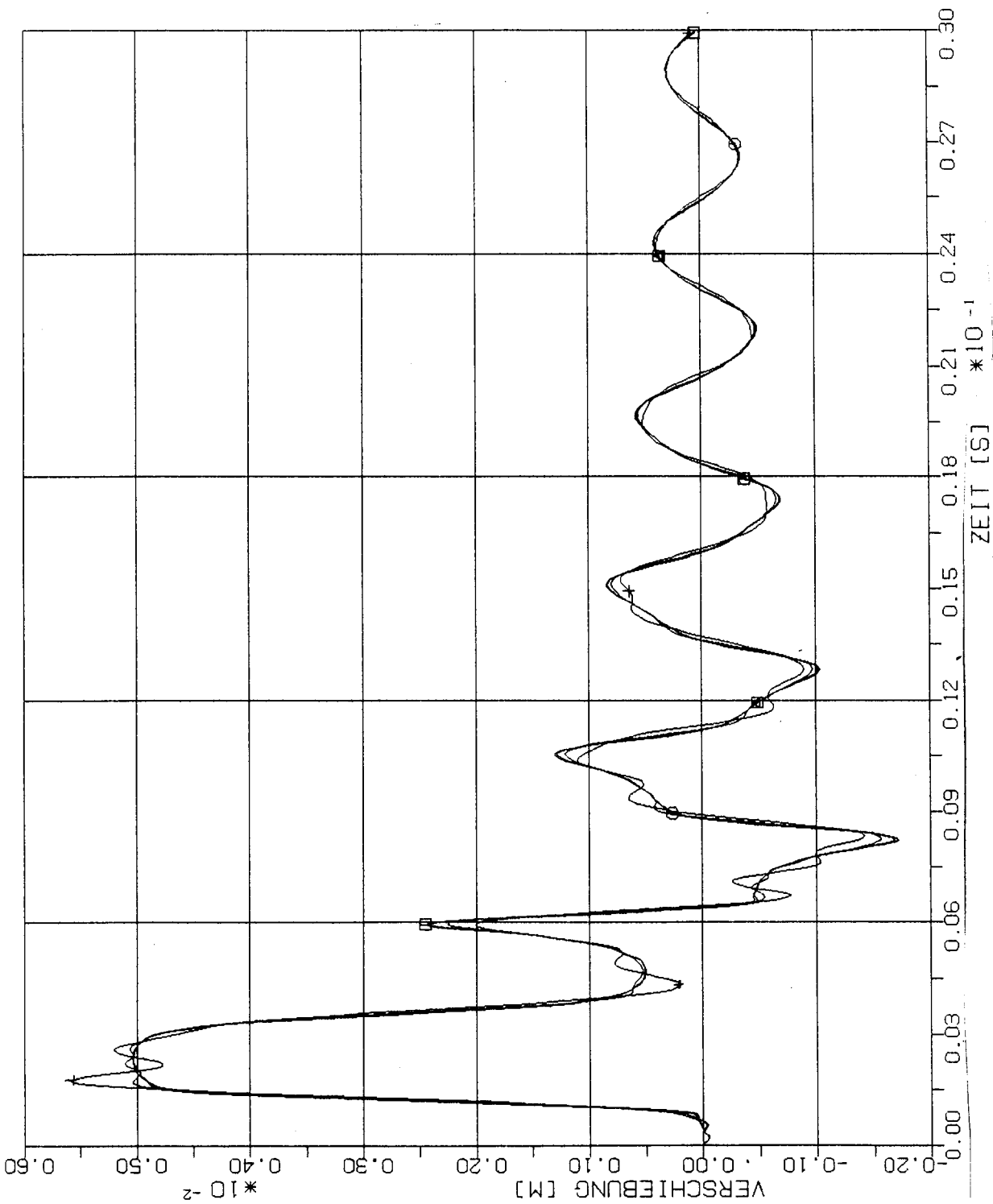
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1,0 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

2.3 Balkenelemente-Modell

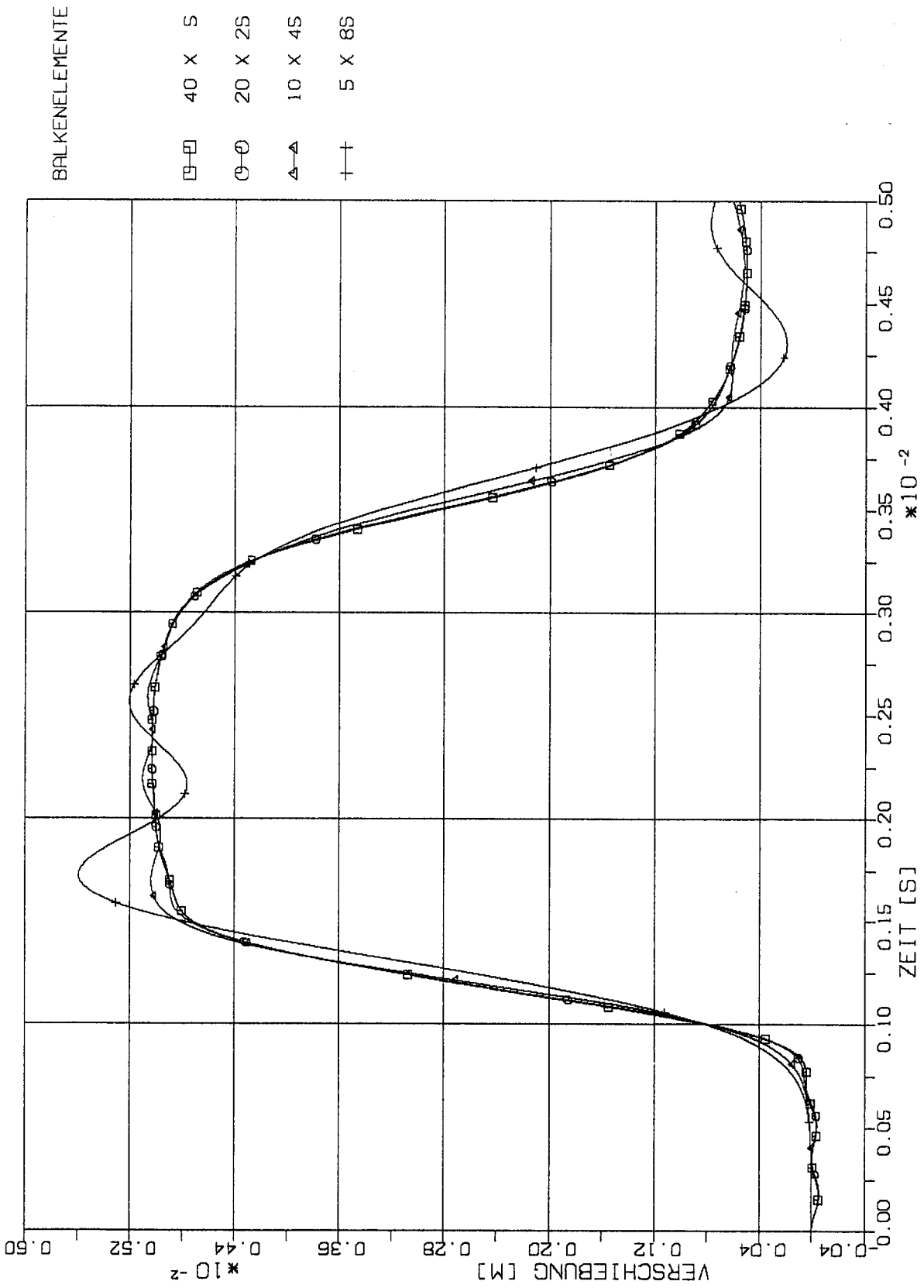


2.3.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)



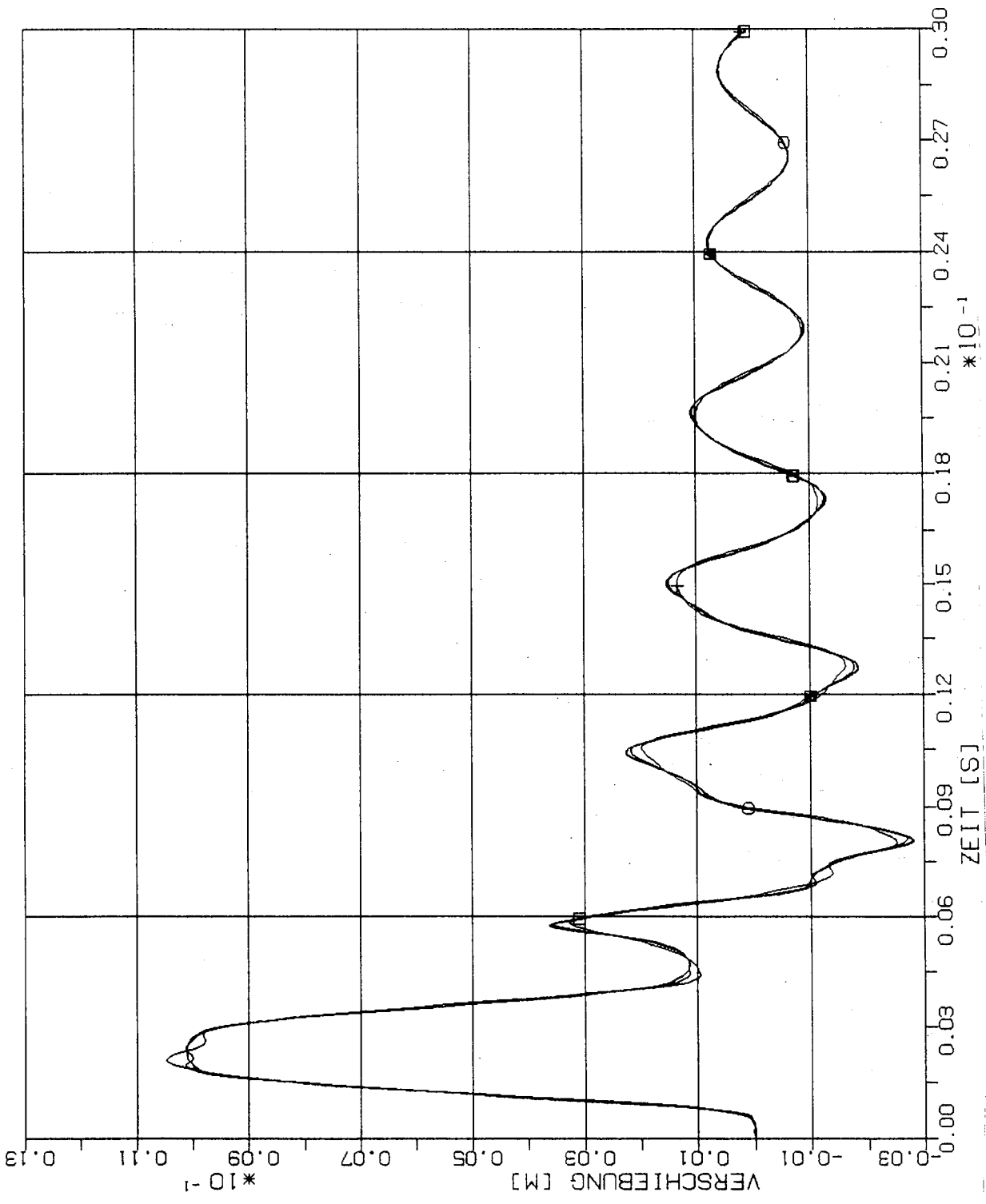
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

- 40 X 5
- 20 X 25
- △ 10 X 45
- † 5 X 85

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

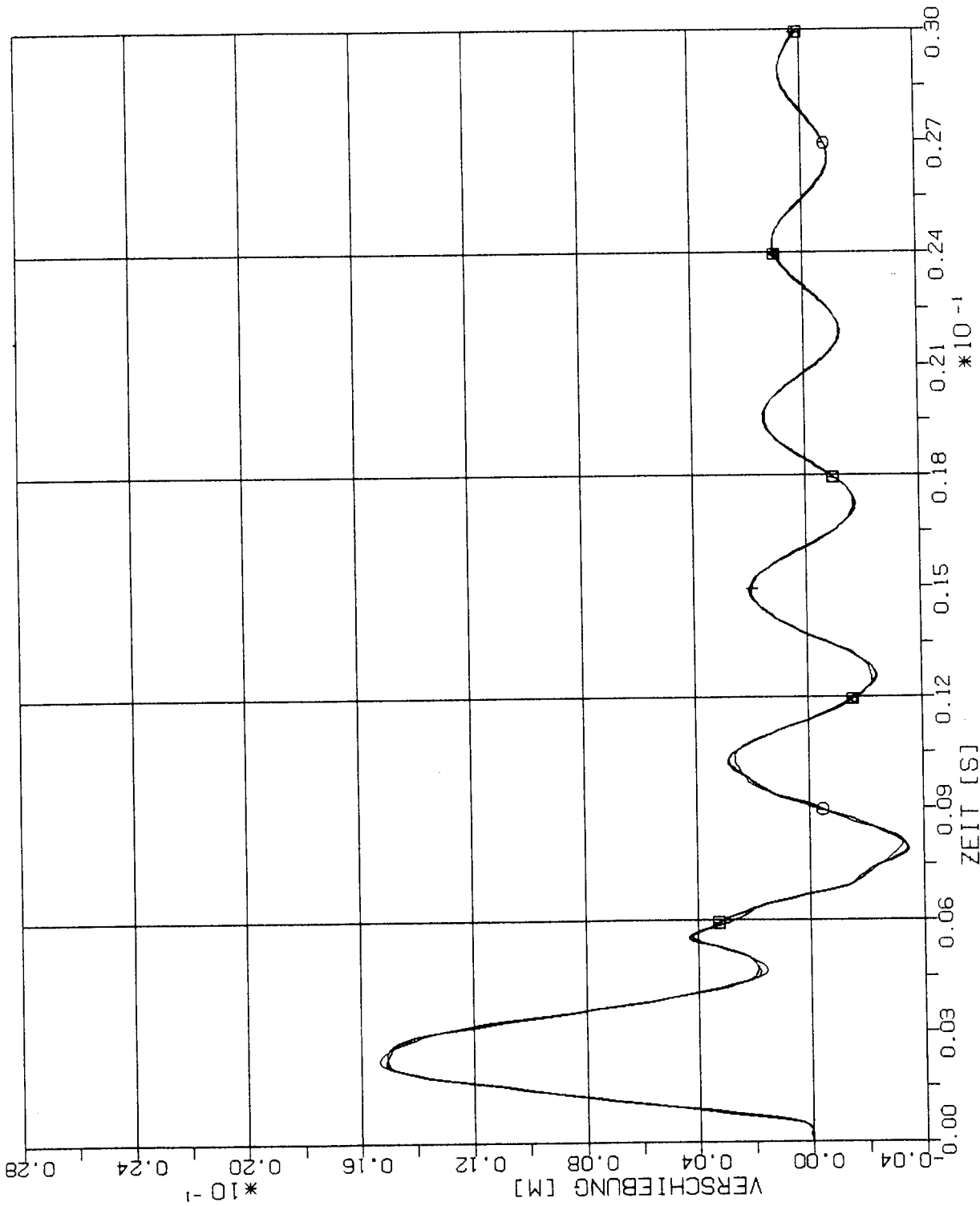


BALKENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

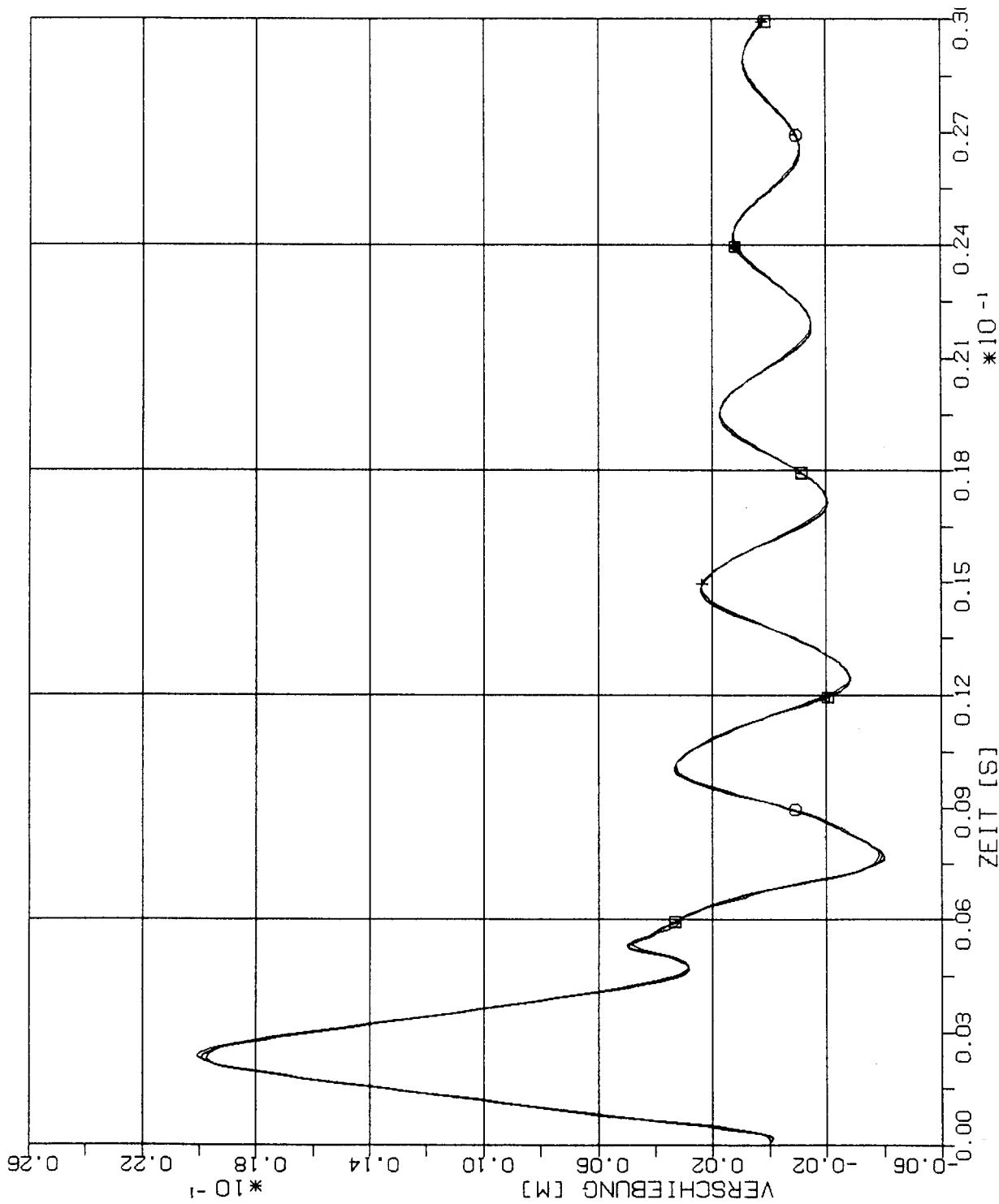
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

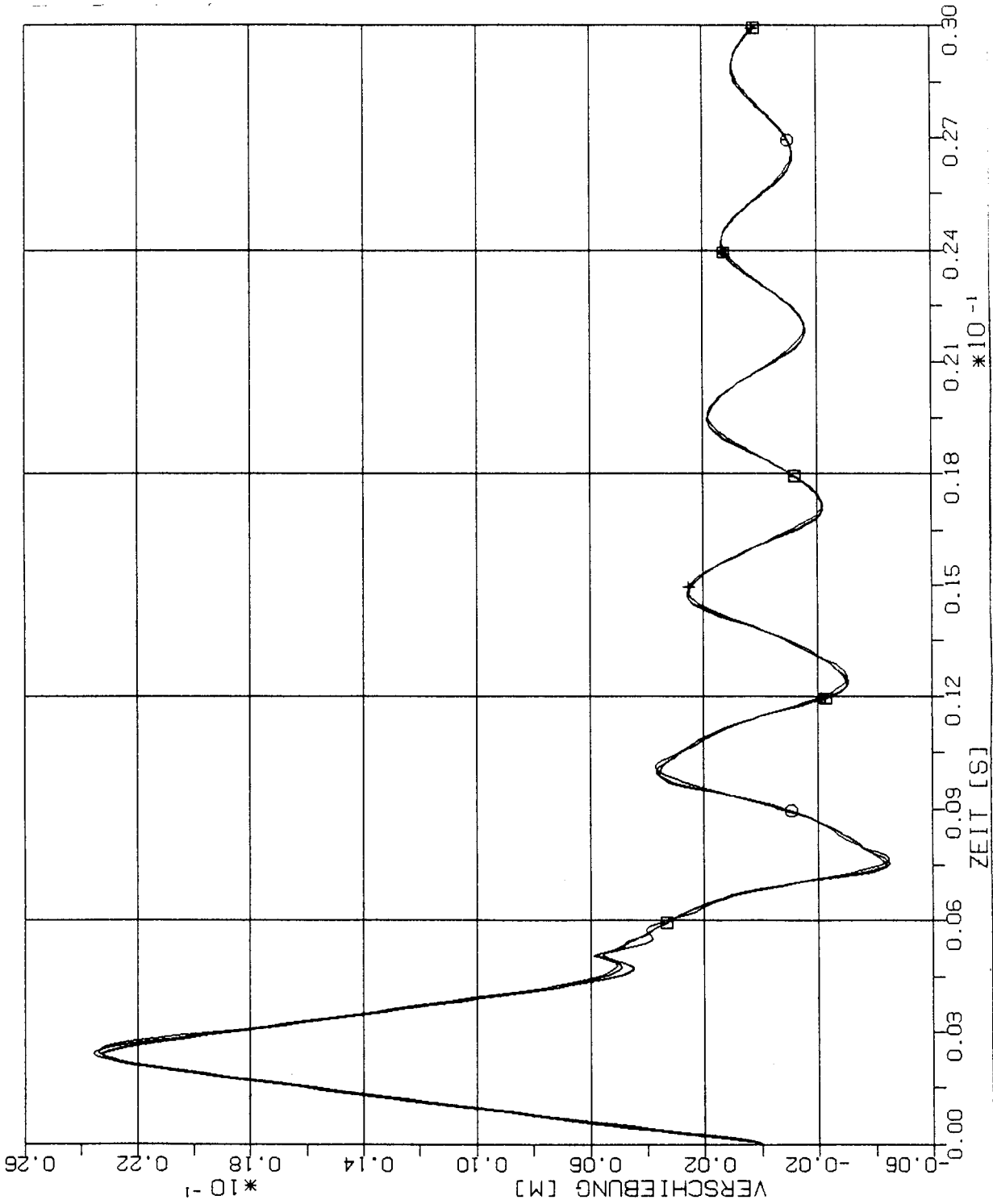
† 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEUF IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 BALKENELEMENTE: STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



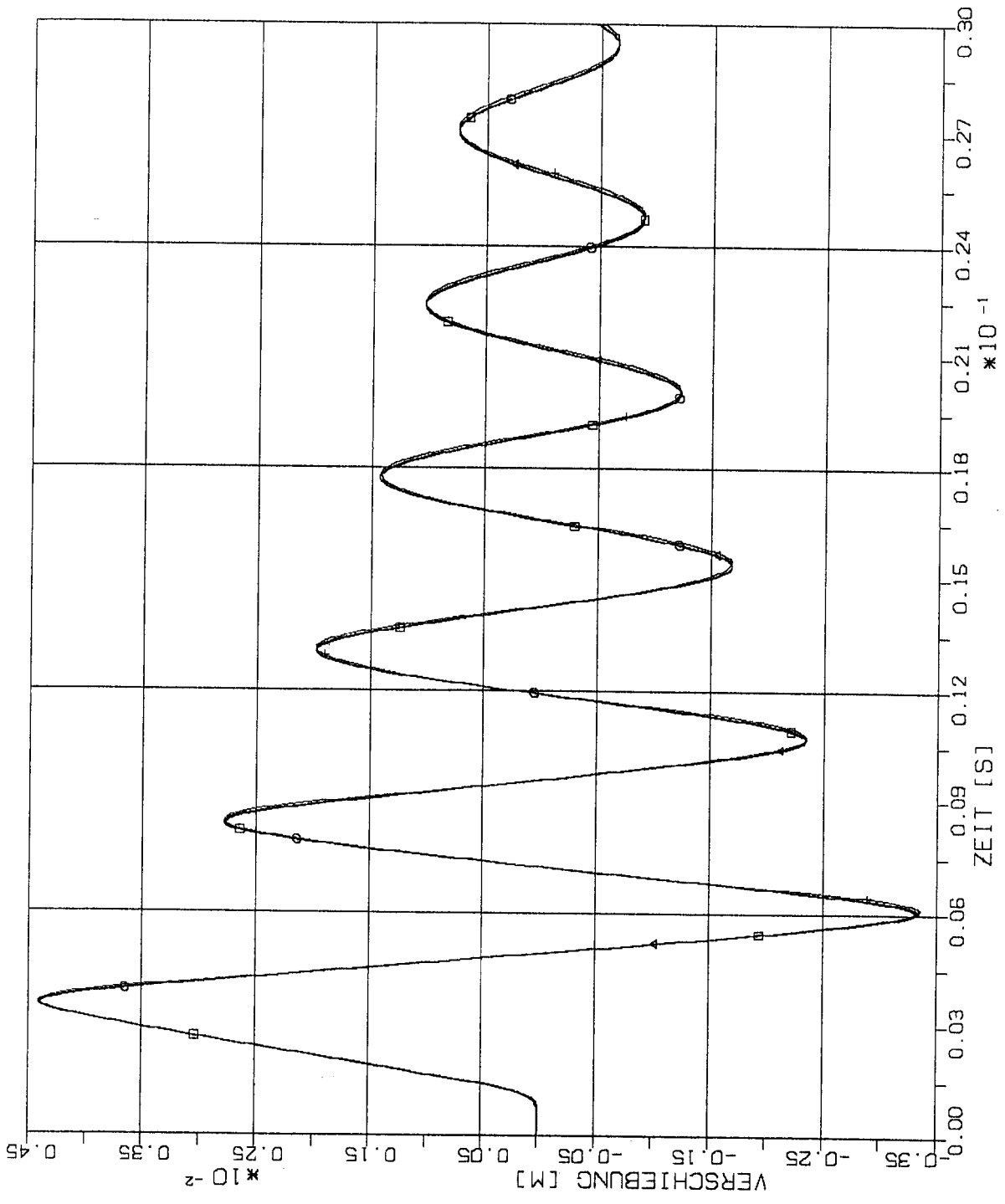
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFUE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

2.3.2 Stoß-Lastfunktion STZ

(Siehe Fig.1-4)

BALKENELEMENTE

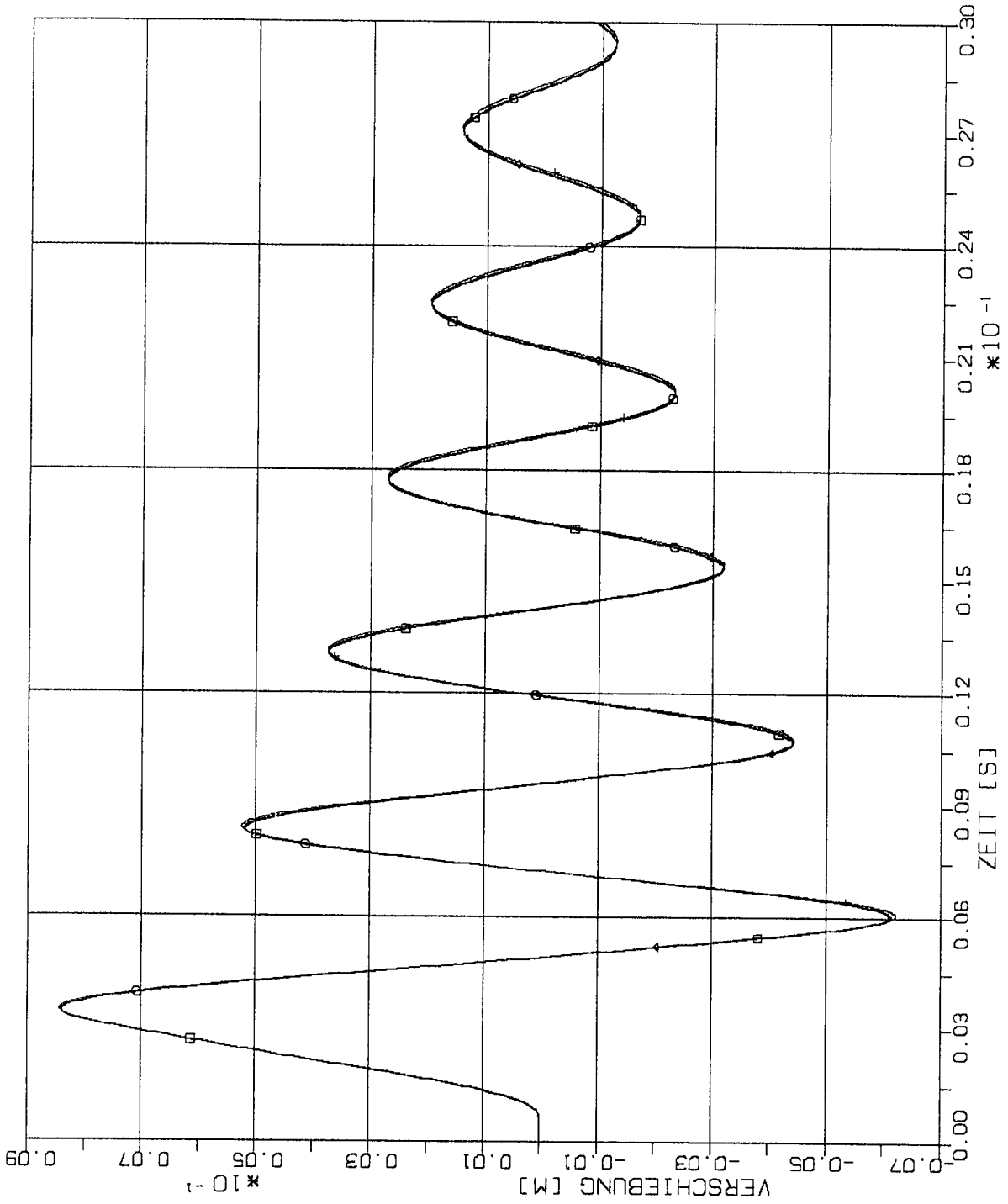
- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



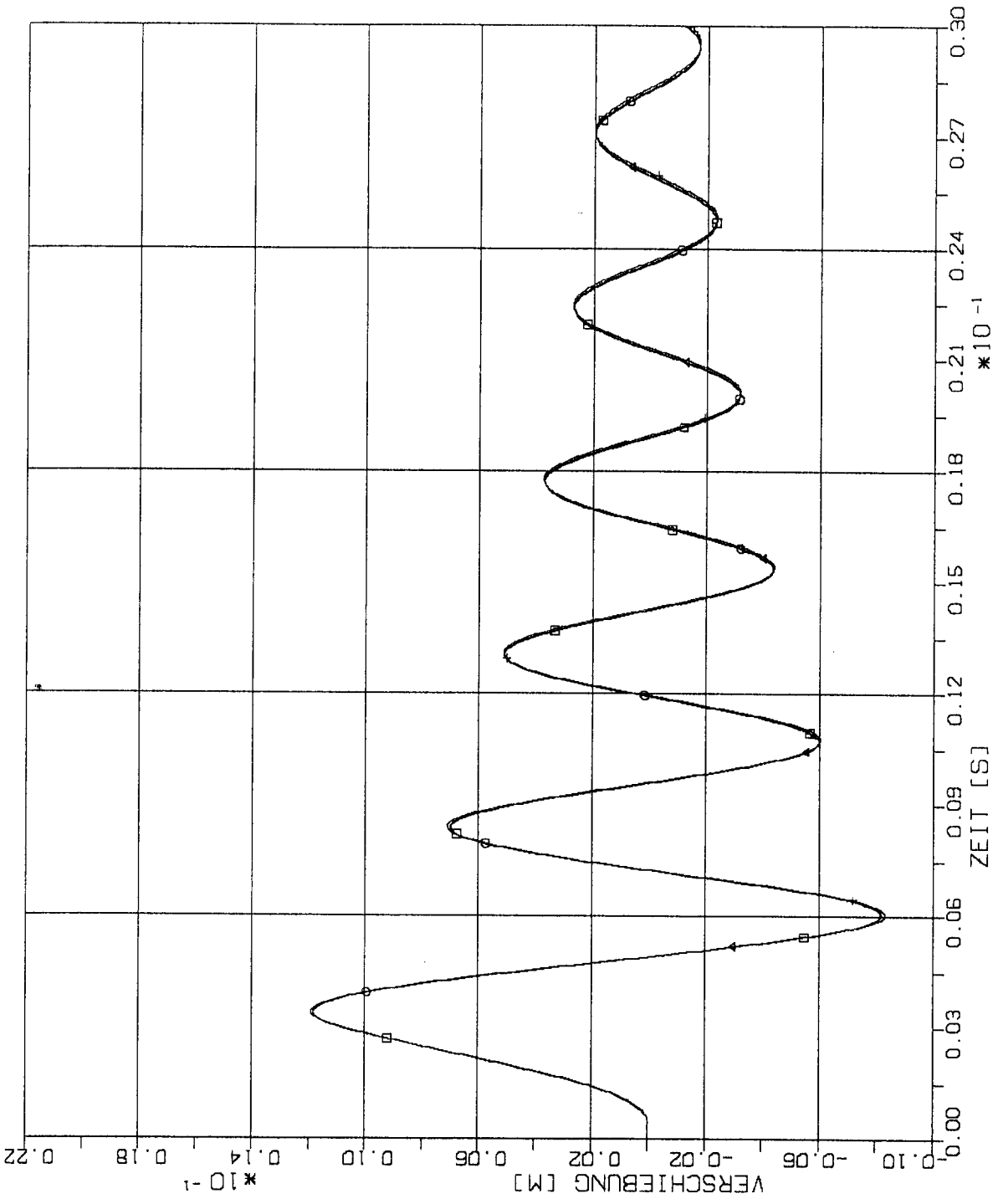
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)

BALKENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S

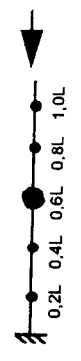


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0,4 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)

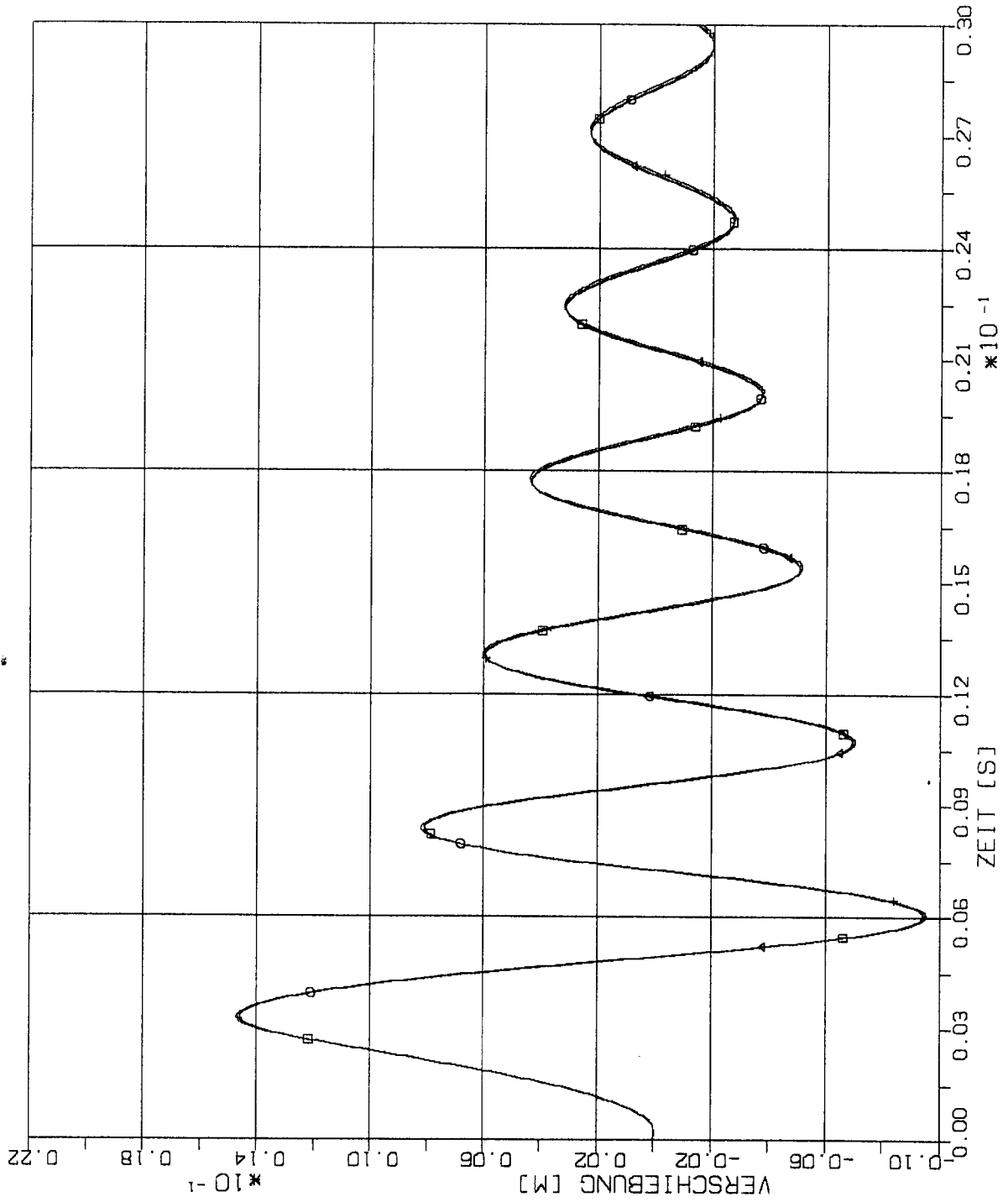


BALKENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBACHTUNGSPUNKT 0,6 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

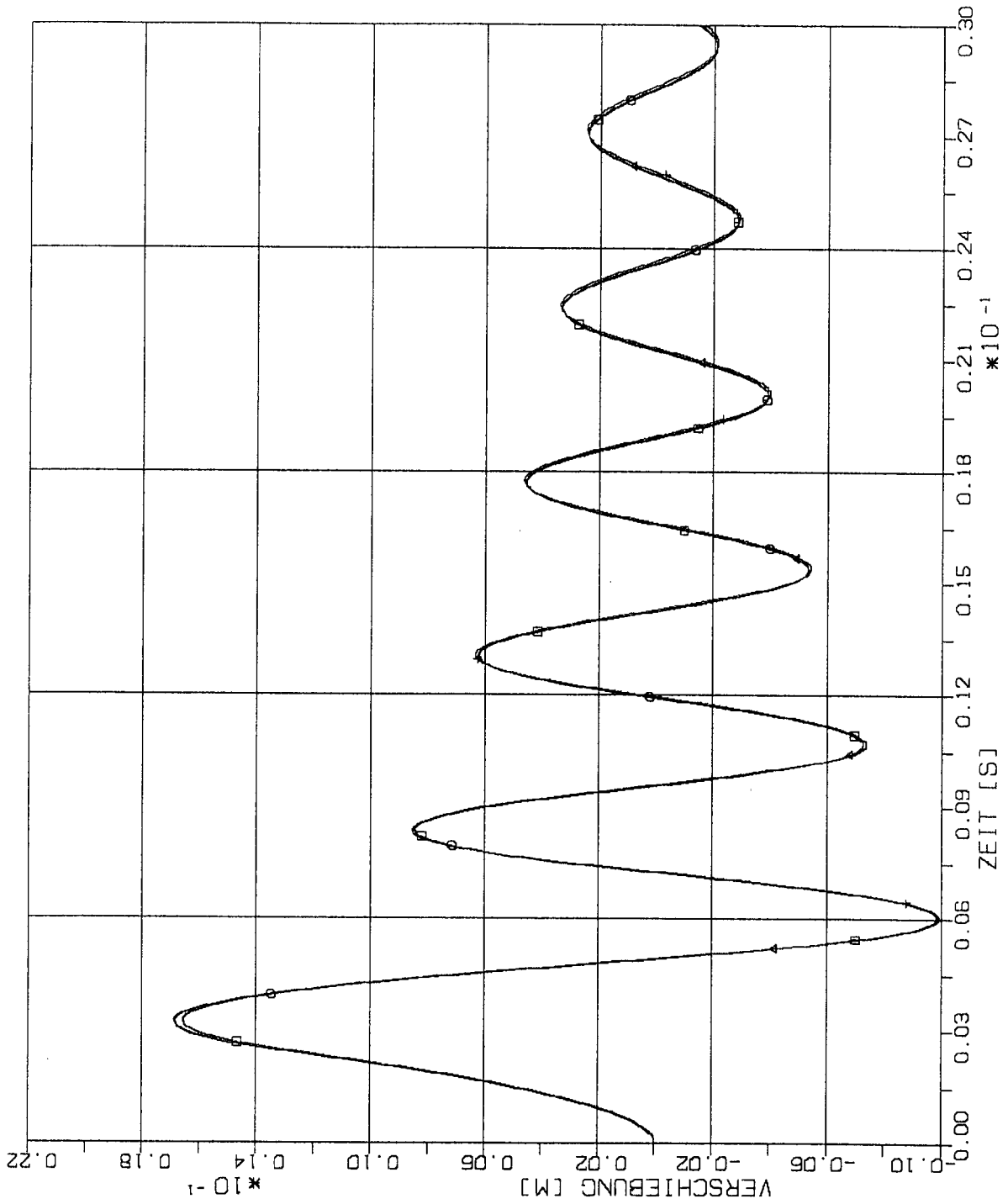
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

+ 5 x 8S



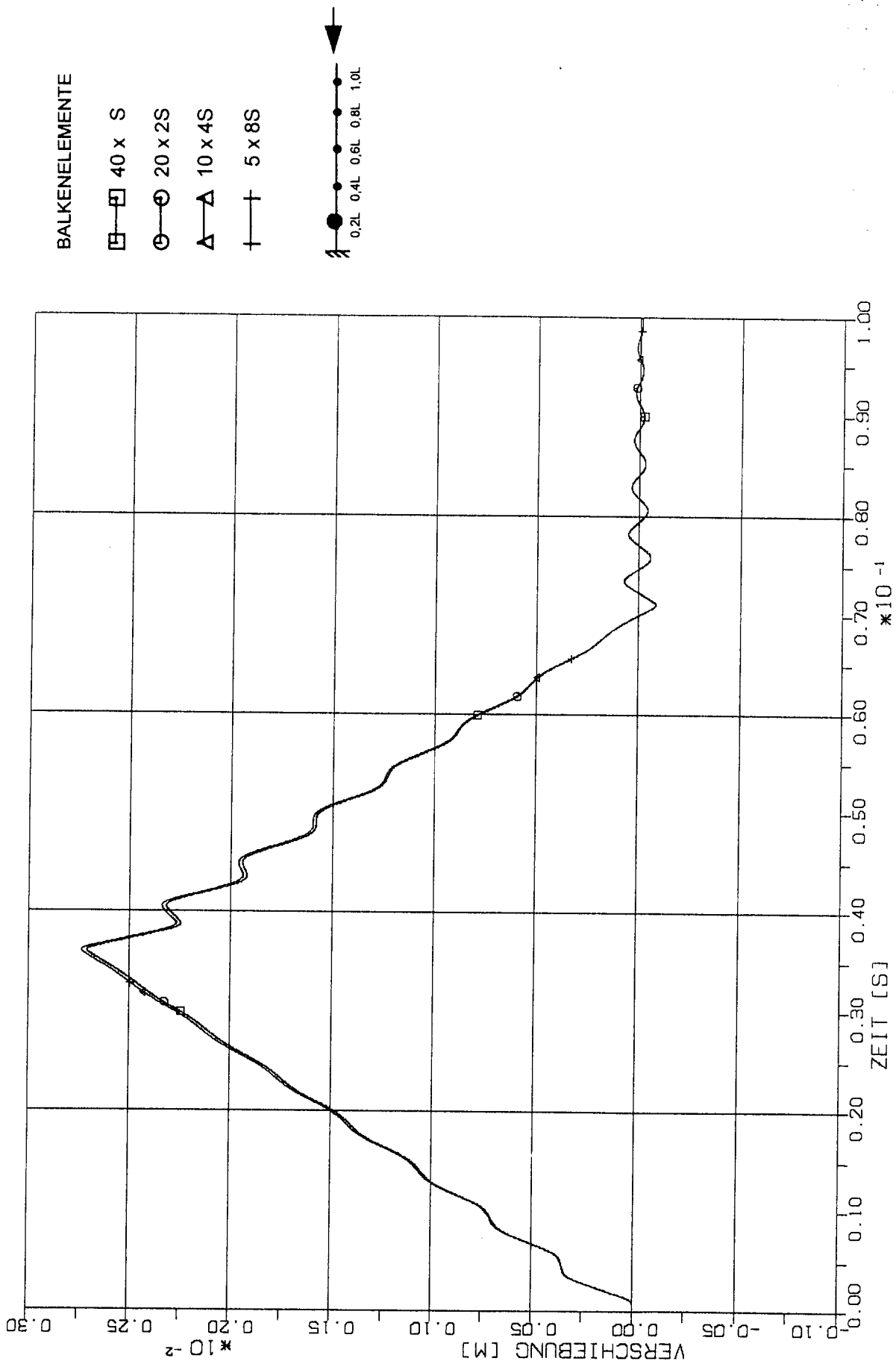
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



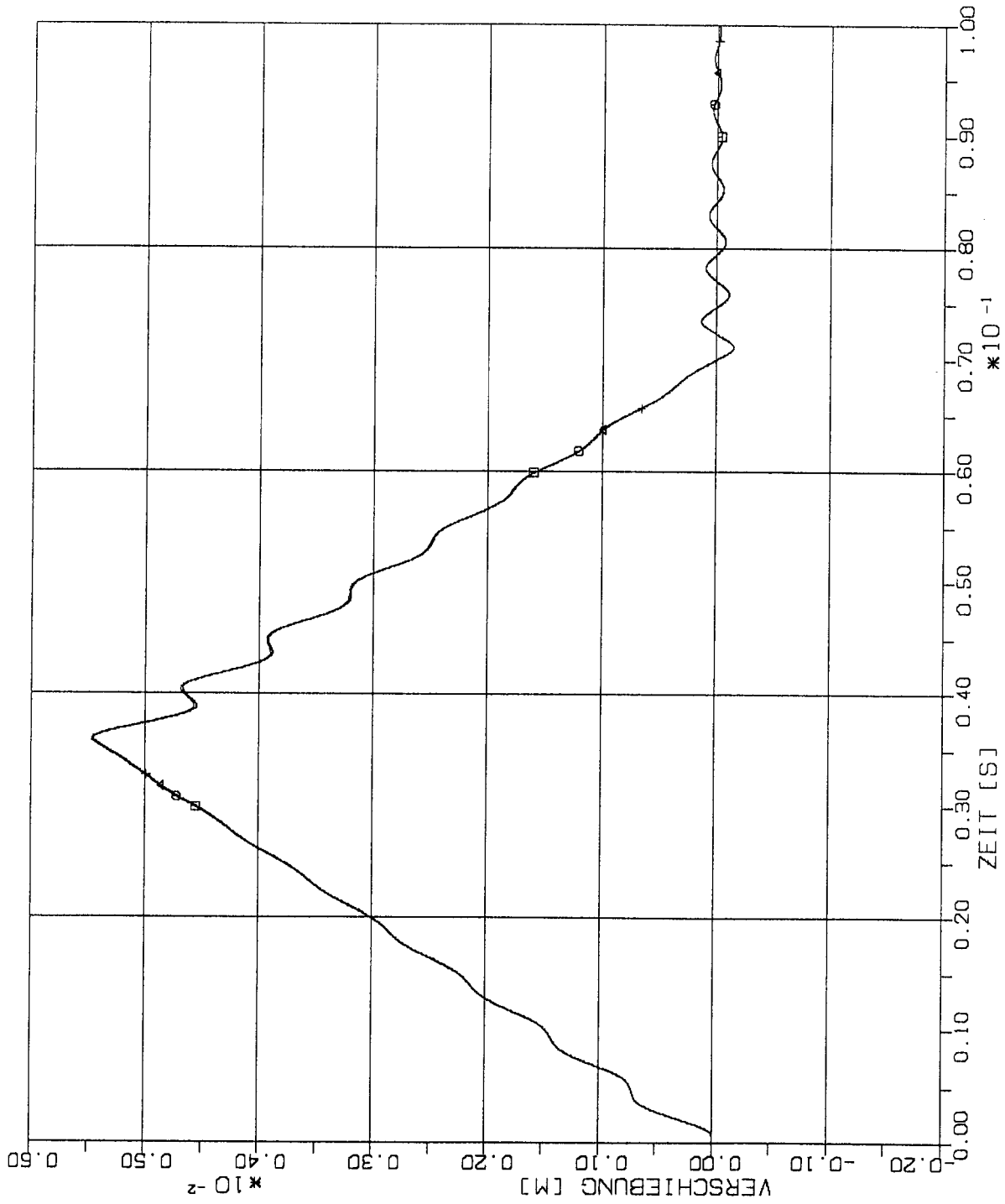
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1,0 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

2.3.3 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig.1-4)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

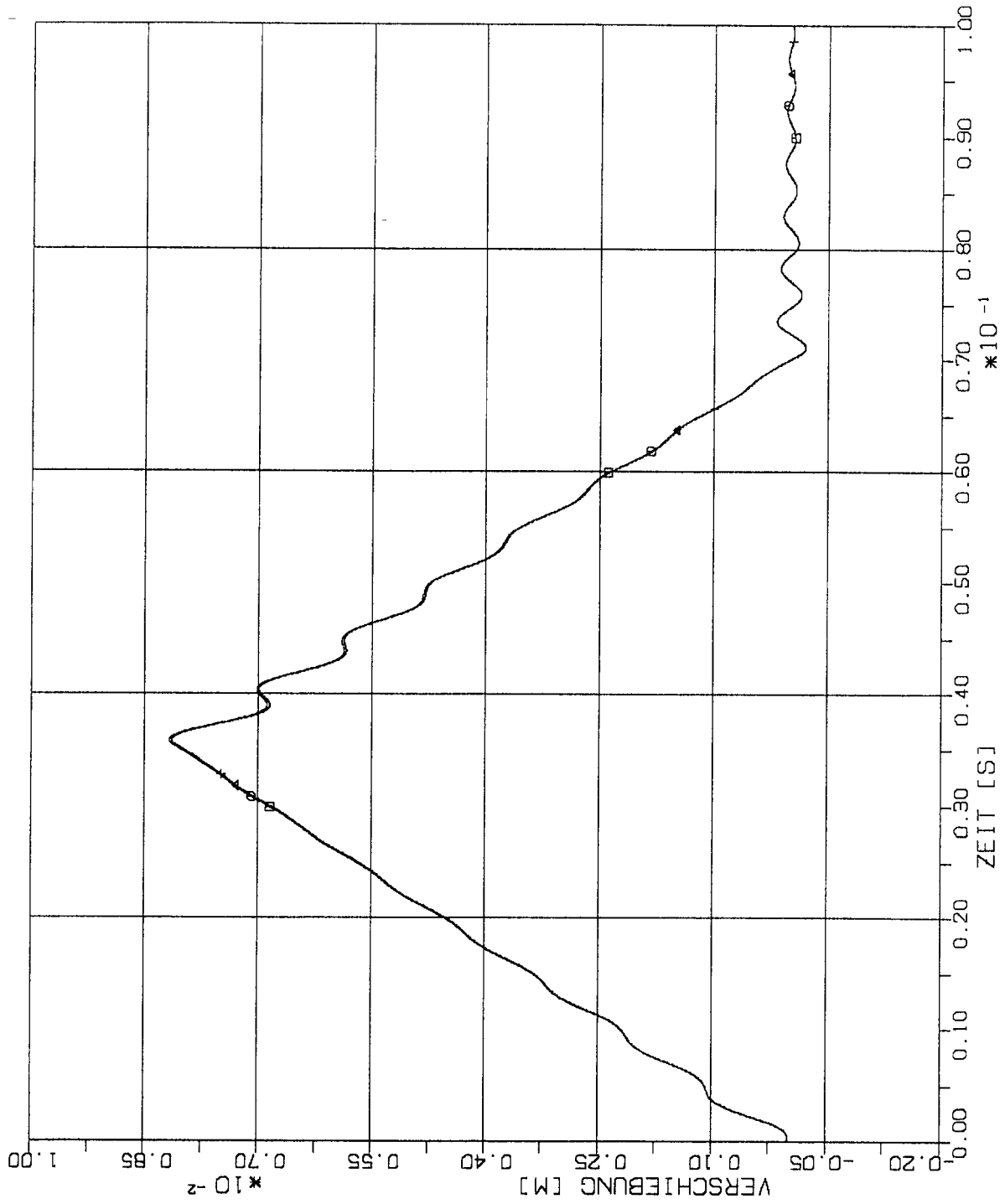
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

+ 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

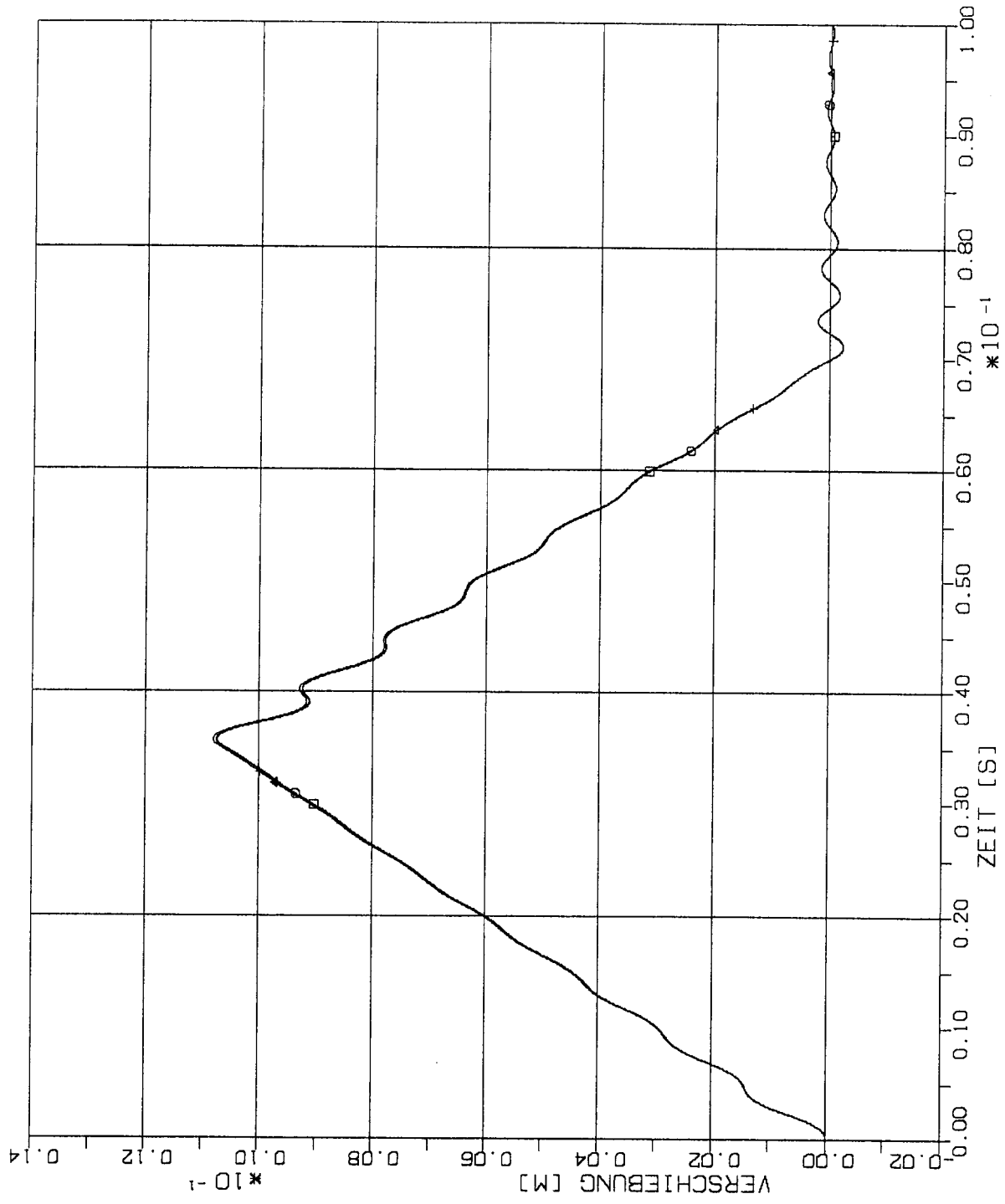
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

† 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

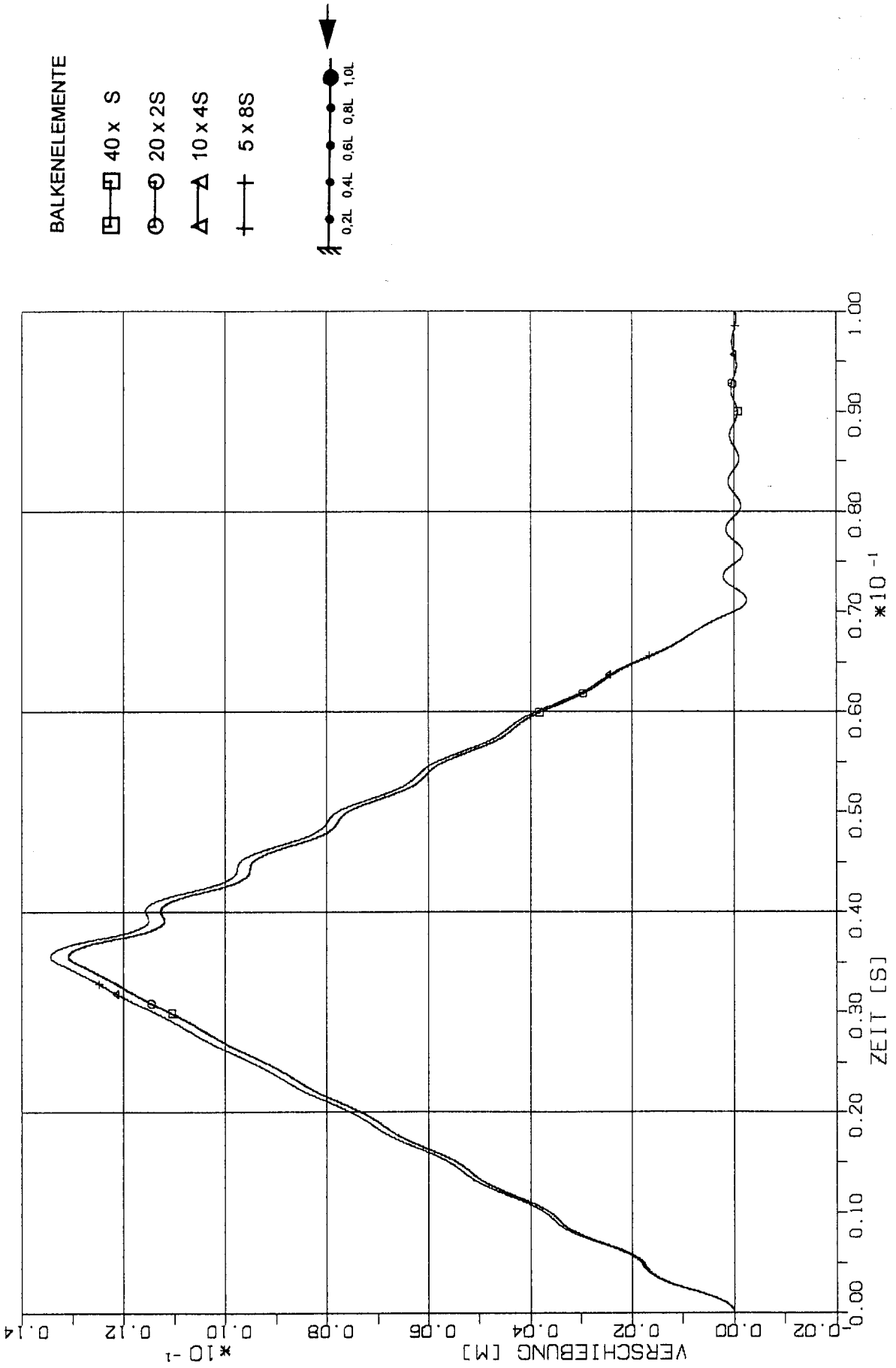


BALKENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

Zwischenblatt

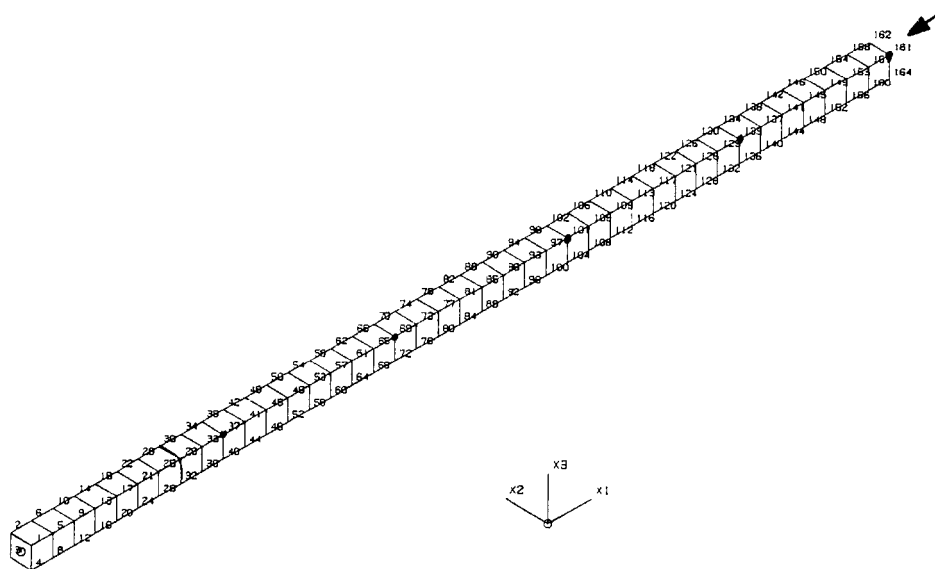
3

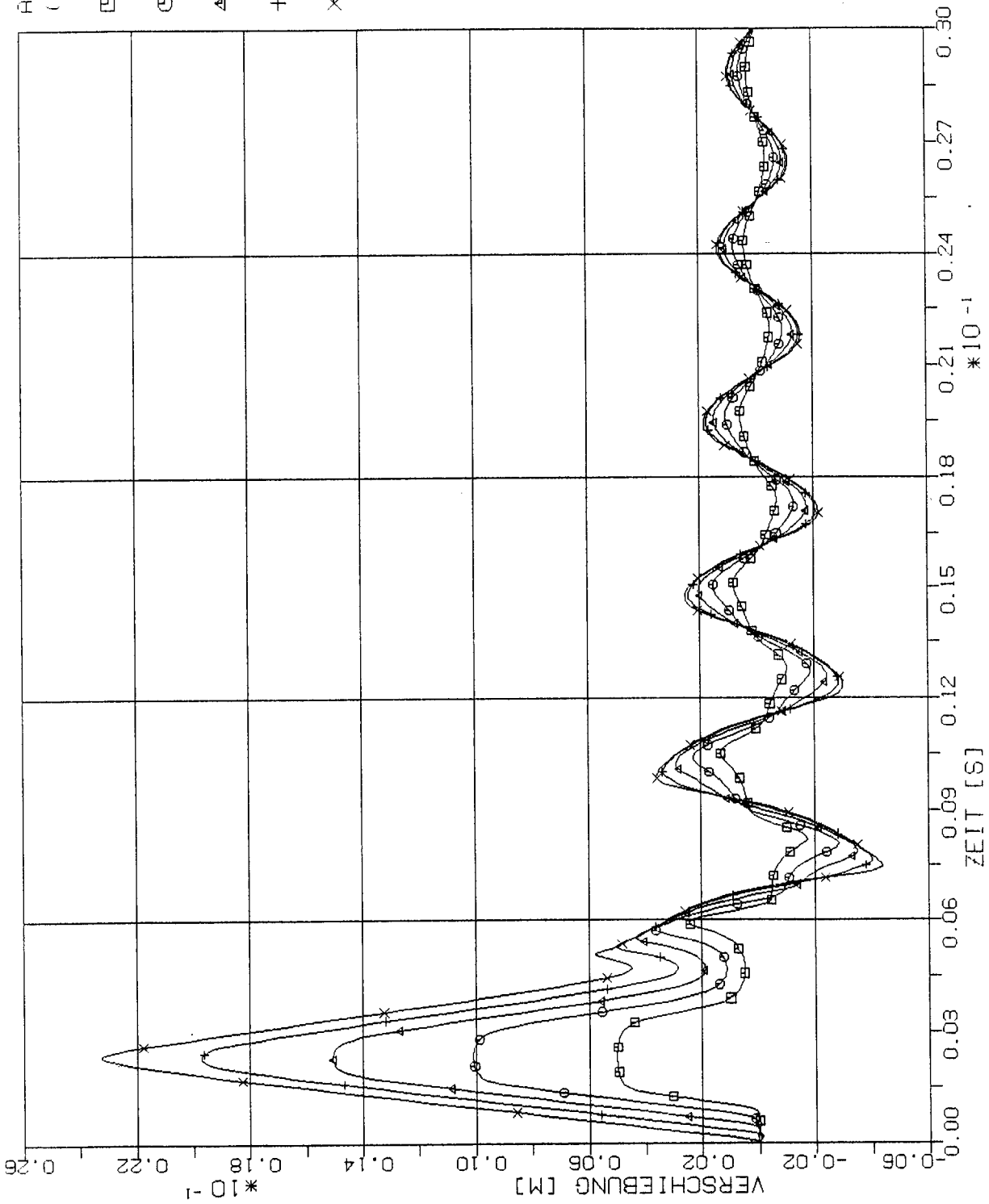
**Vergleich zeitpunktgleicher Verschiebungen
in charakteristischen Beobachtungspunkten
des Modellbalkens bei Anwendung
verschiedener Elementarten, Diskretisierungsgrade
und -Stoß-Lastfunktionen
(Strukturantworten in Axialrichtung)**

3.1 Volumenelemente-Modell

3.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)





STOSS-ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN MODELLEBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 VOLUMENELEMENTE (40 x S), BELASTUNG IN LÄNGSRICHTUNG ST1

ABSTAND ZUM EINSPIANNBEREICH
 (BEOBSACHTUNGSPUNKT)

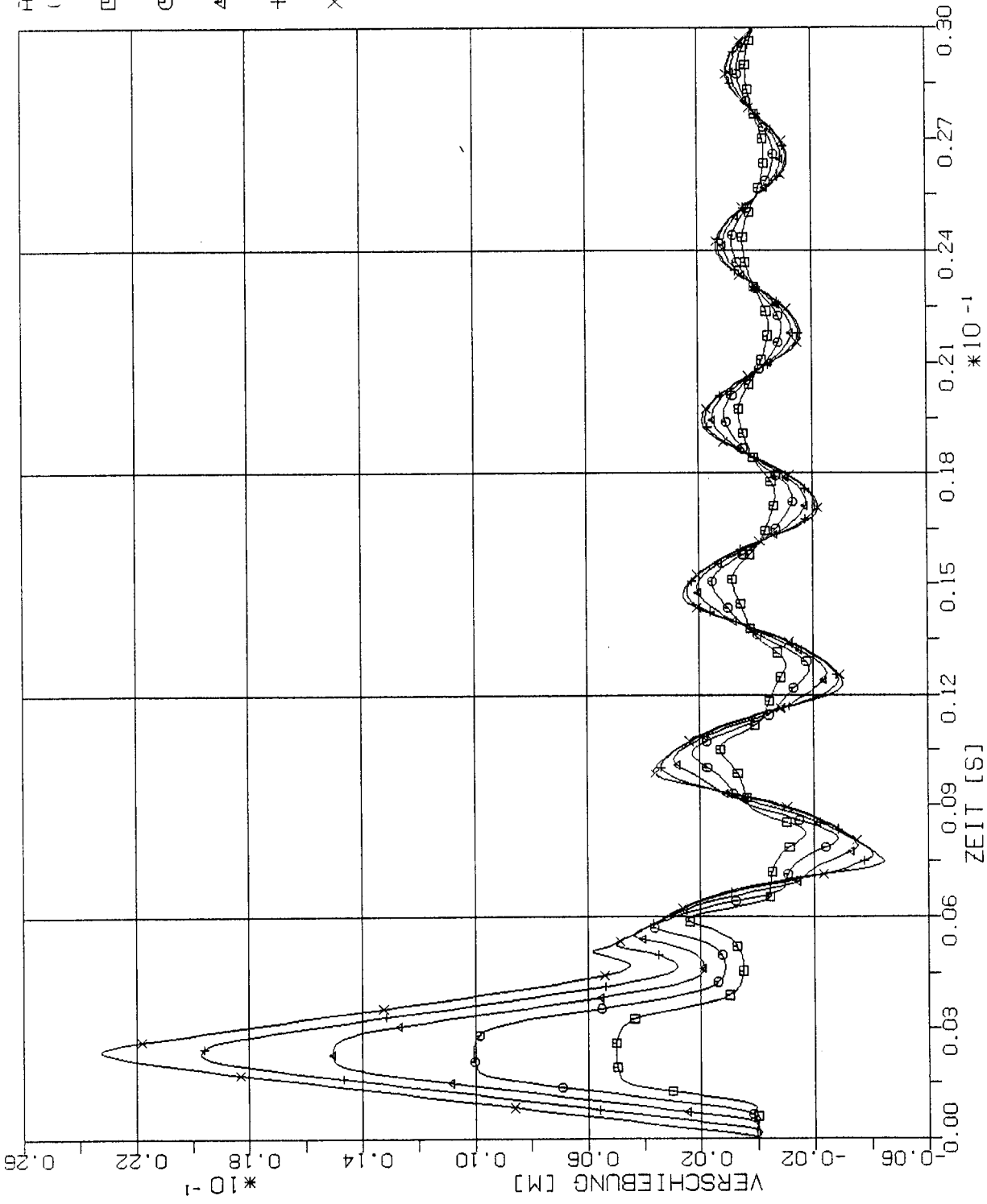
□ 0.2 L (PUNKT 33)

○ 0.4 L (PUNKT 65)

△ 0.6 L (PUNKT 97)

+ 0.8 L (PUNKT 129)

× 1.0 L (PUNKT 161)



ABSTAND ZUM EINSPIHNBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 33)
- 0.4 L (PUNKT 65)
- △ 0.6 L (PUNKT 97)
- † 0.8 L (PUNKT 129)
- × 1.0 L (PUNKT 161)

STOSS-ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
VOLUMENELEMENTE (20 x 2S), BELASTUNG IN LÄNGSRICHTUNG ST1

ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT)

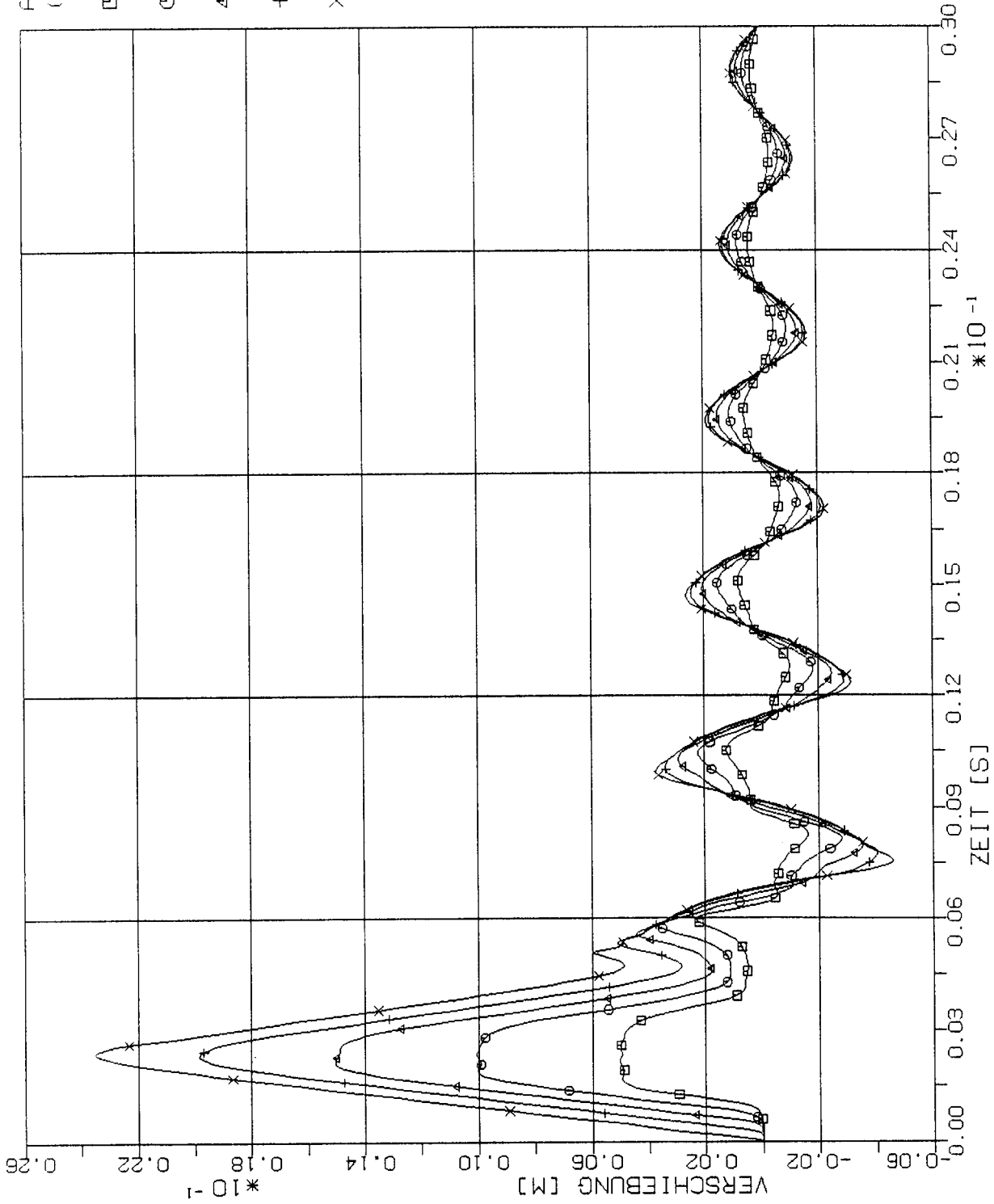
□ 0.2 L (PUNKT 33)

○ 0.4 L (PUNKT 65)

△ 0.6 L (PUNKT 97)

† 0.8 L (PUNKT 129)

× 1.0 L (PUNKT 161)



STOSS-ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBACHTUNGSPUNKTEN
VOLUMENELEMENTE (10 x 4S), BELASTUNG IN LÄNGSRICHTUNG ST1

ABSTAND ZUM EINSPIRINBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

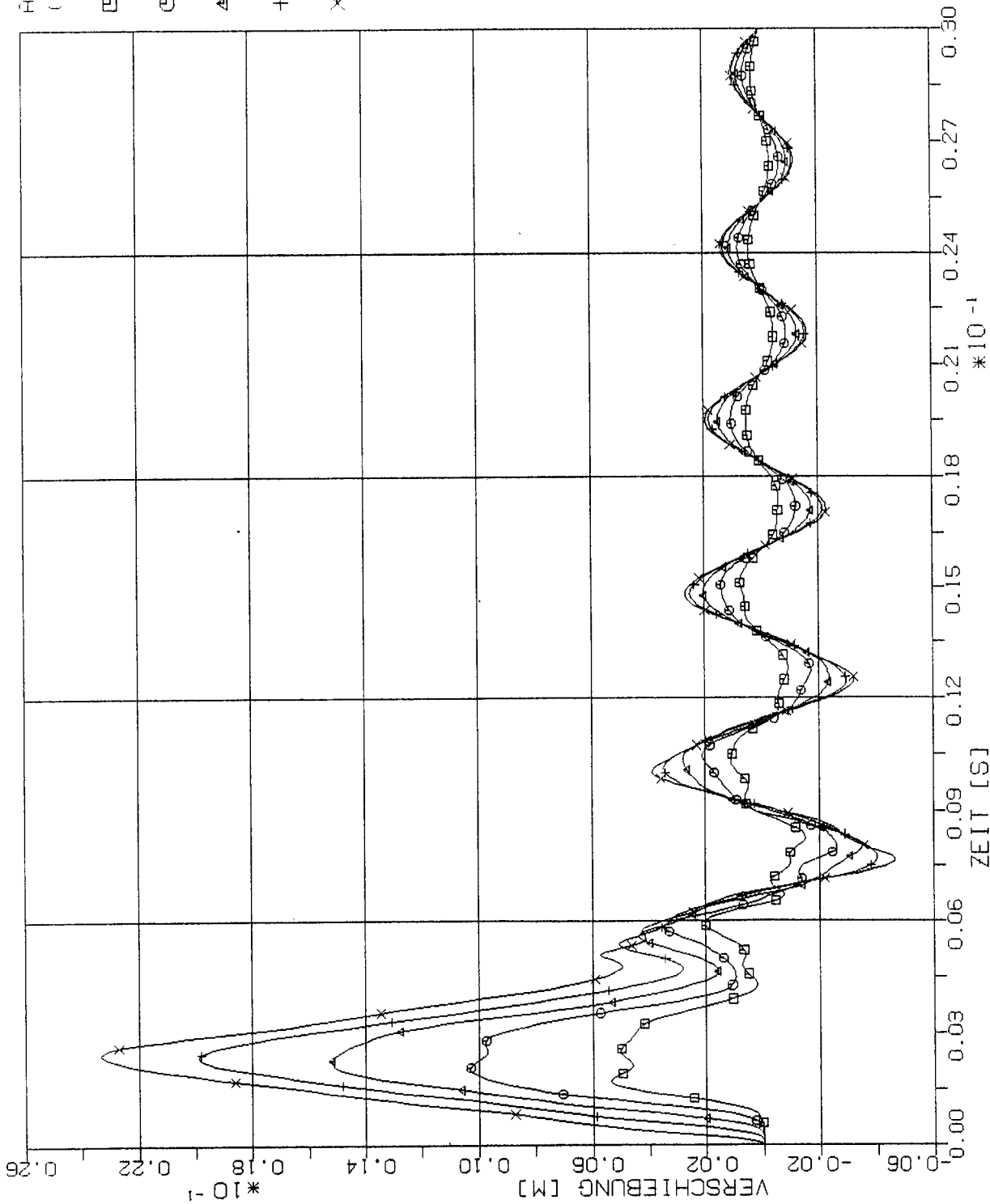
□ 0.2 L (PUNKT 33)

○ 0.4 L (PUNKT 65)

△ 0.6 L (PUNKT 97)

† 0.8 L (PUNKT 129)

× 1.0 L (PUNKT 161)

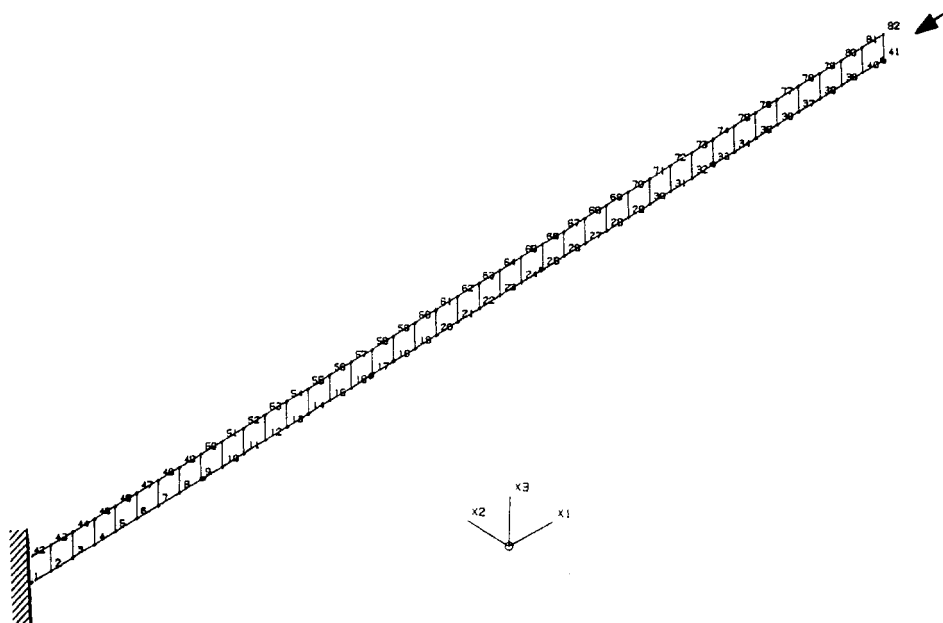


STOSS-ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
VOLUMENELEMENTE (5 x 8S), BELASTUNG IN LÄNGSRICHTUNG ST1

3.2 Plattenelemente-Modell

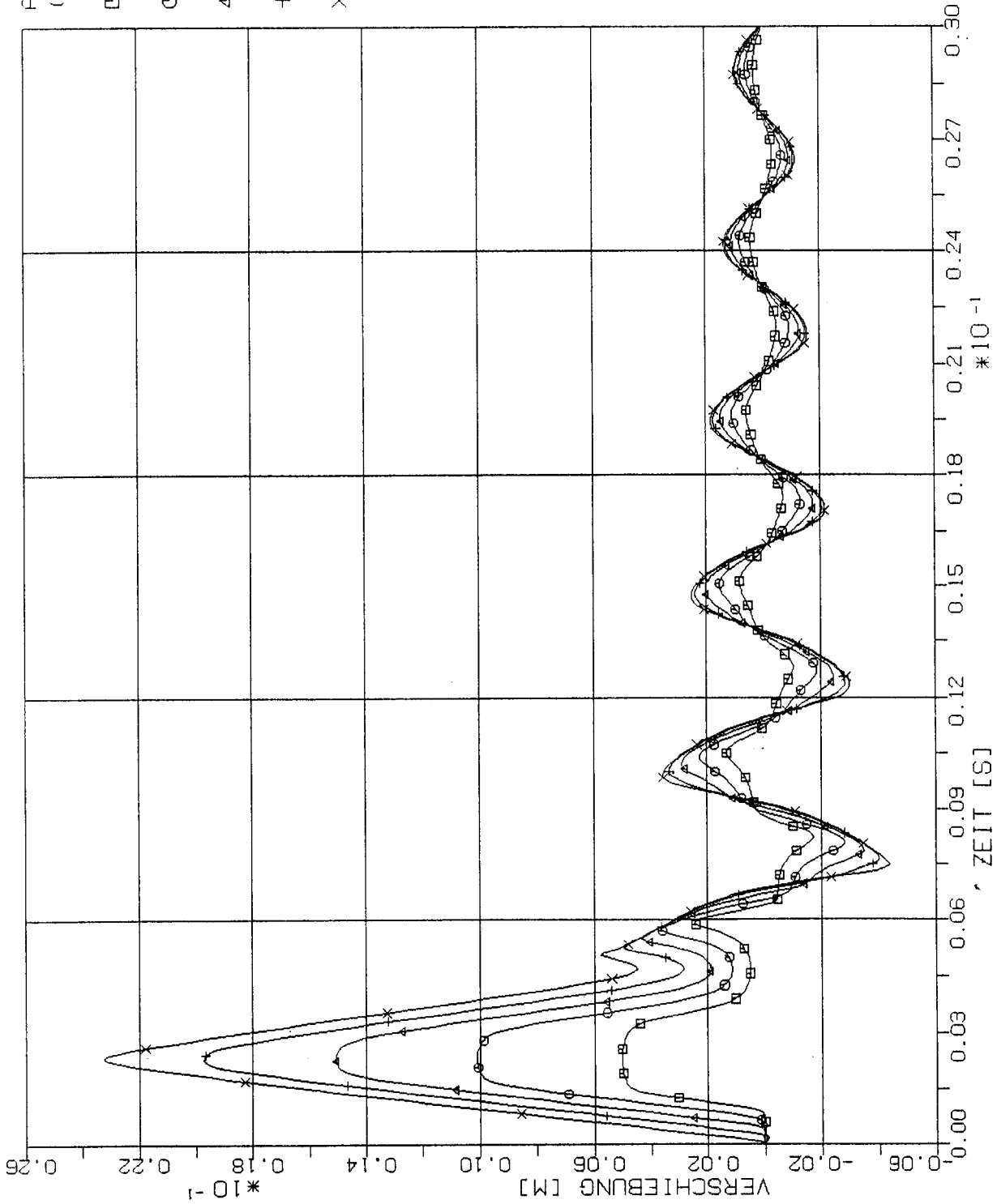
3.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)

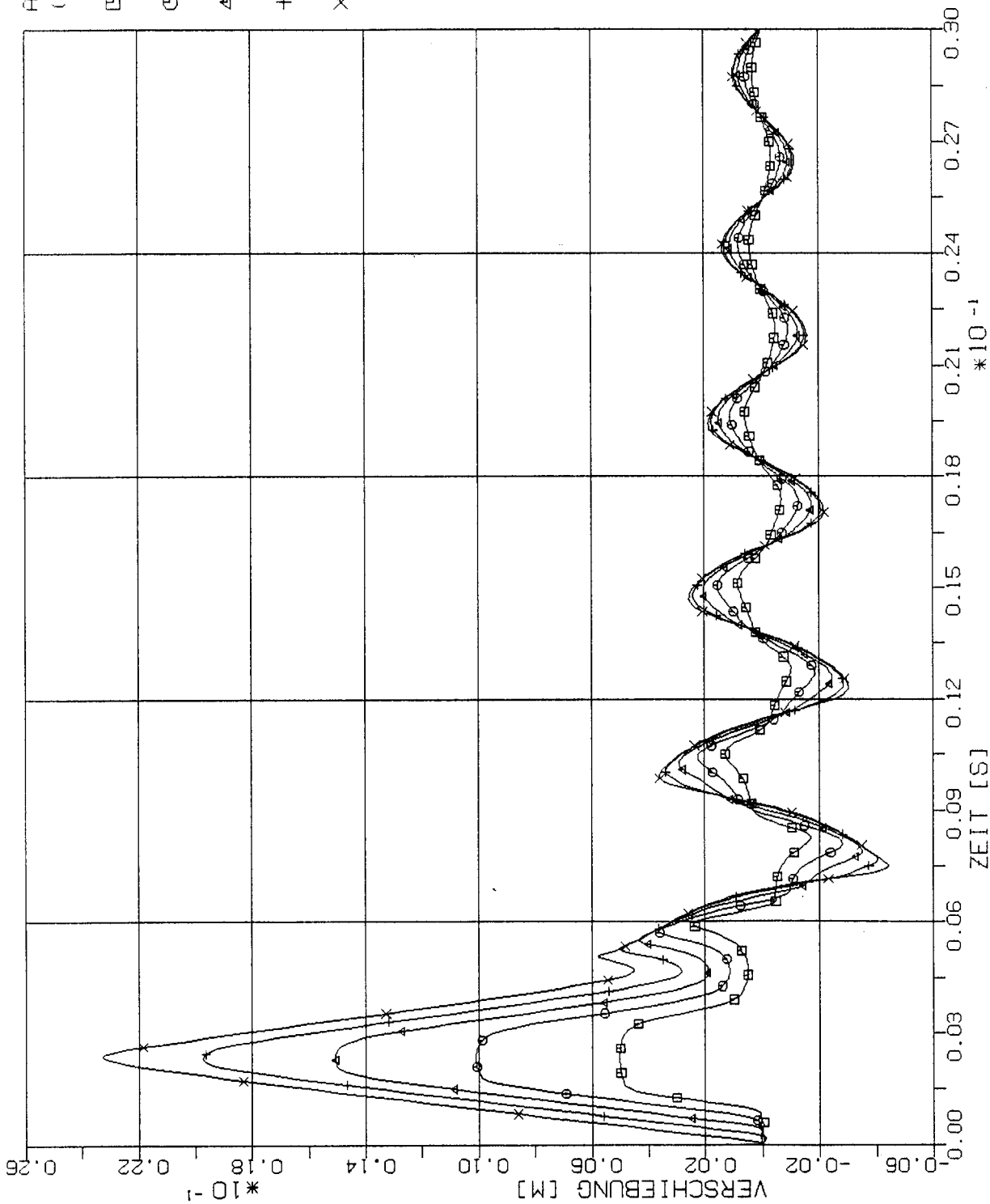


ABSTAND ZUM EINSFÄHNBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

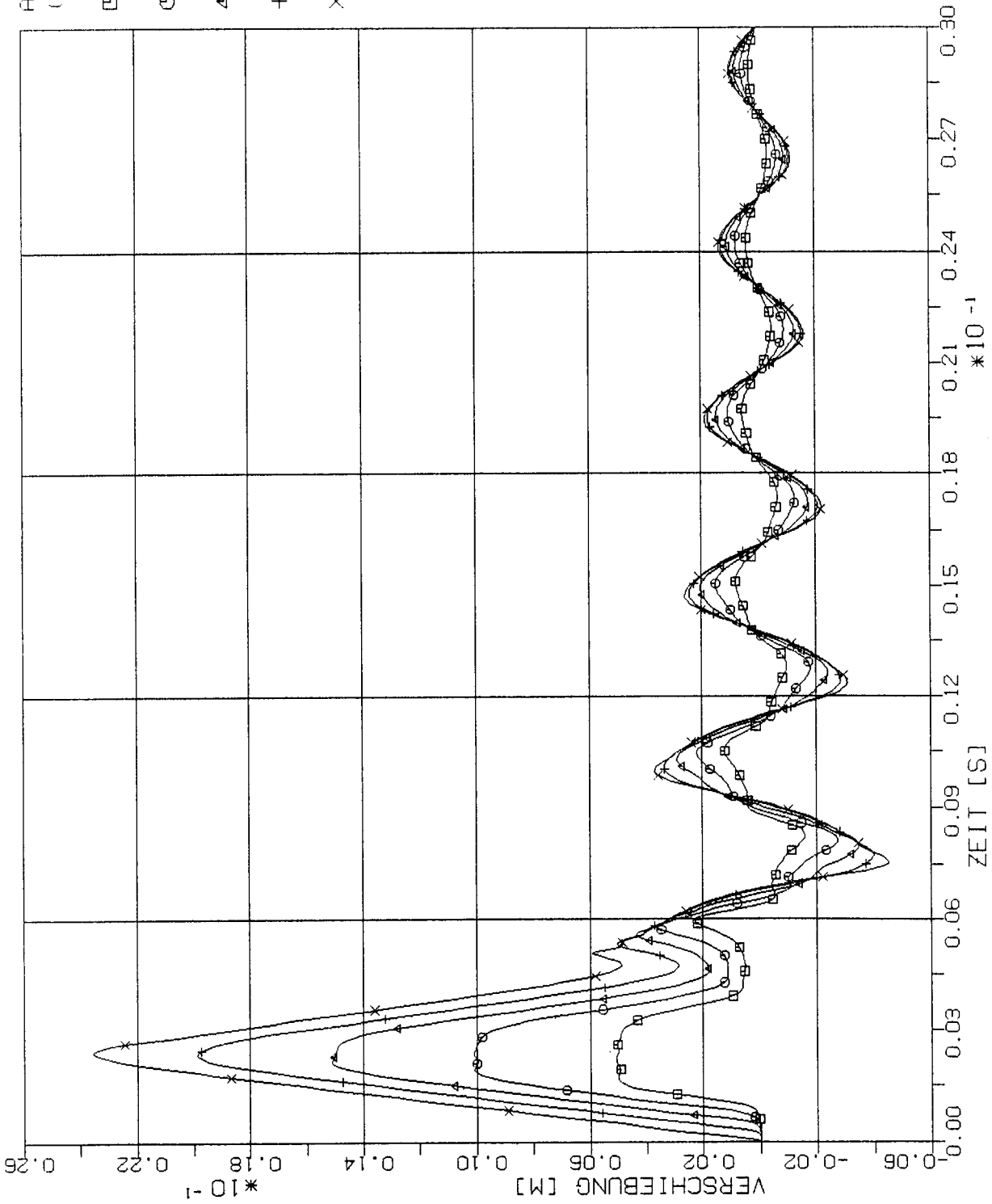
- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- † 0.8 L (PUNKT 33)
- × 1.0 L (PUNKT 41)



STOSS-ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
PLATTENELEMENTE (40 x S), BELASTUNG IN LÄNGSRICHTUNG ST1



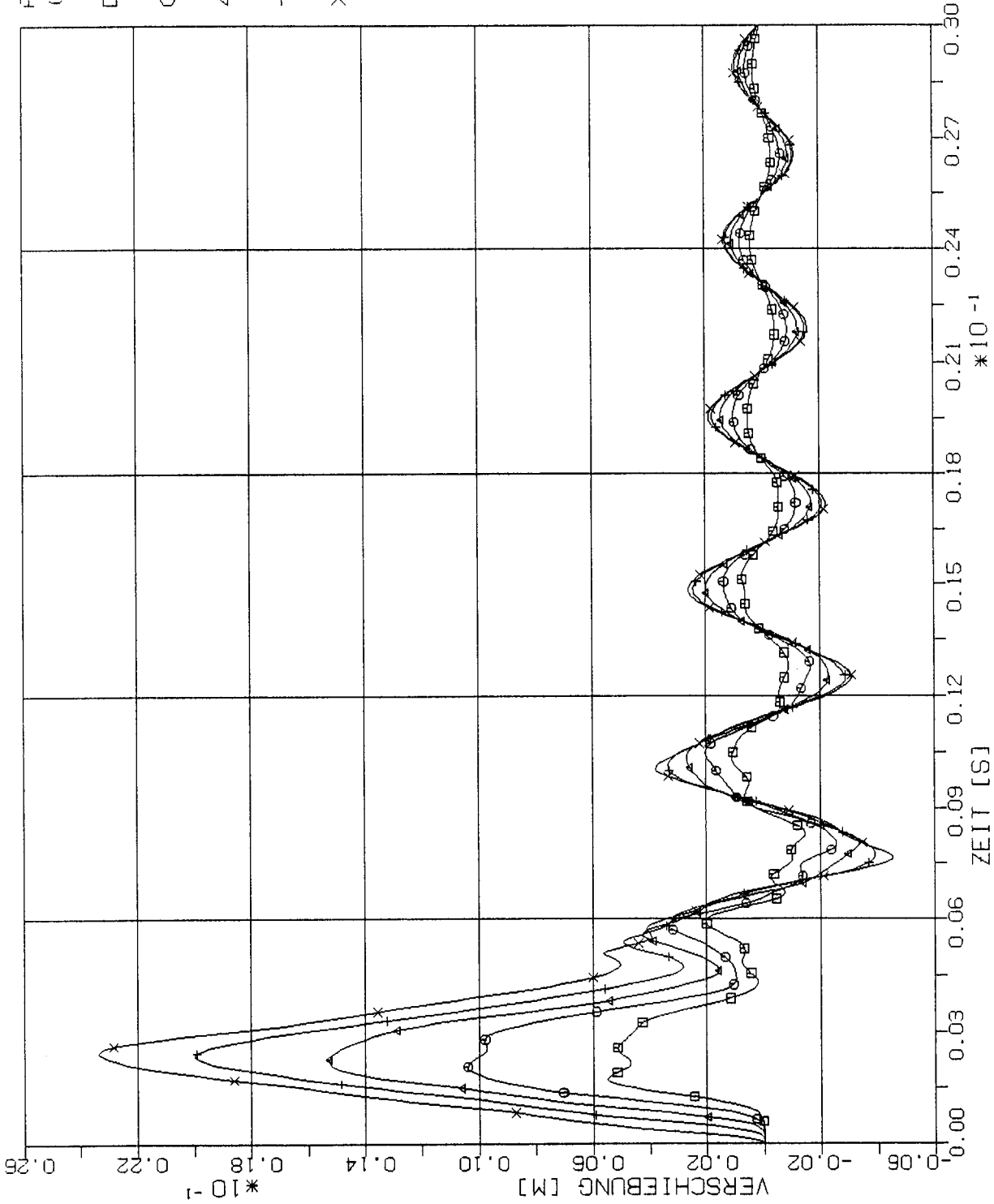
STOSS-ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBACHTUNGSPUNKTEN
 PLATTENELEMENTE (20 x 2S), BELASTUNG IN LÄNGSRICHTUNG ST1



STOSS-ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 PLATTENELEMENTE (10 x 4S), BELASTUNG IN LÄNGSRICHTUNG ST₁

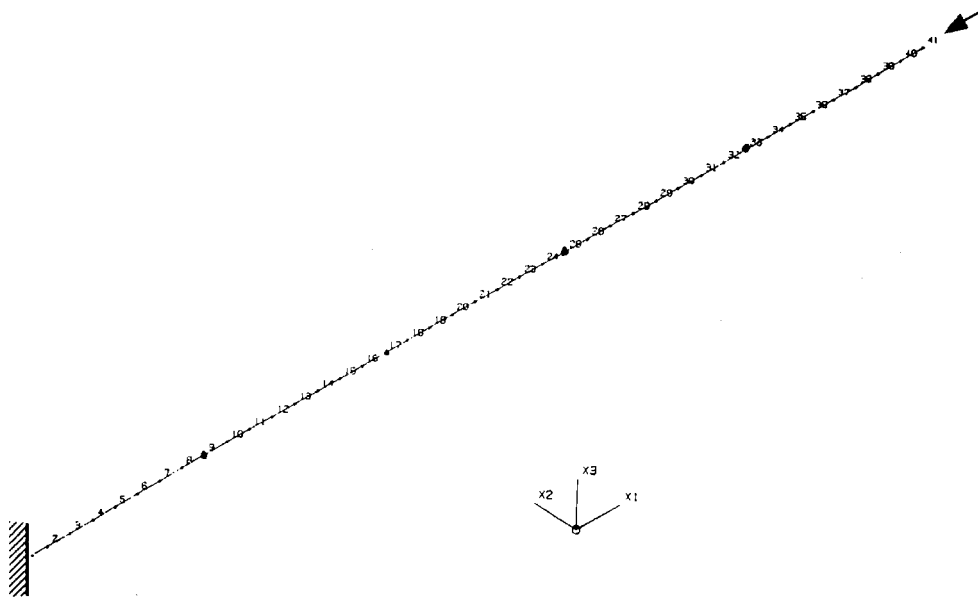
ABSTAND ZUM EINSPIHNBEBEICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- † 0.8 L (PUNKT 33)
- × 1.0 L (PUNKT 41)



STOSS-ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
PLATTENELEMENTE (5' x 8S), BELASTUNG IN LÄNGSRICHTUNG ST1

3.3 Balkenelemente-Modell

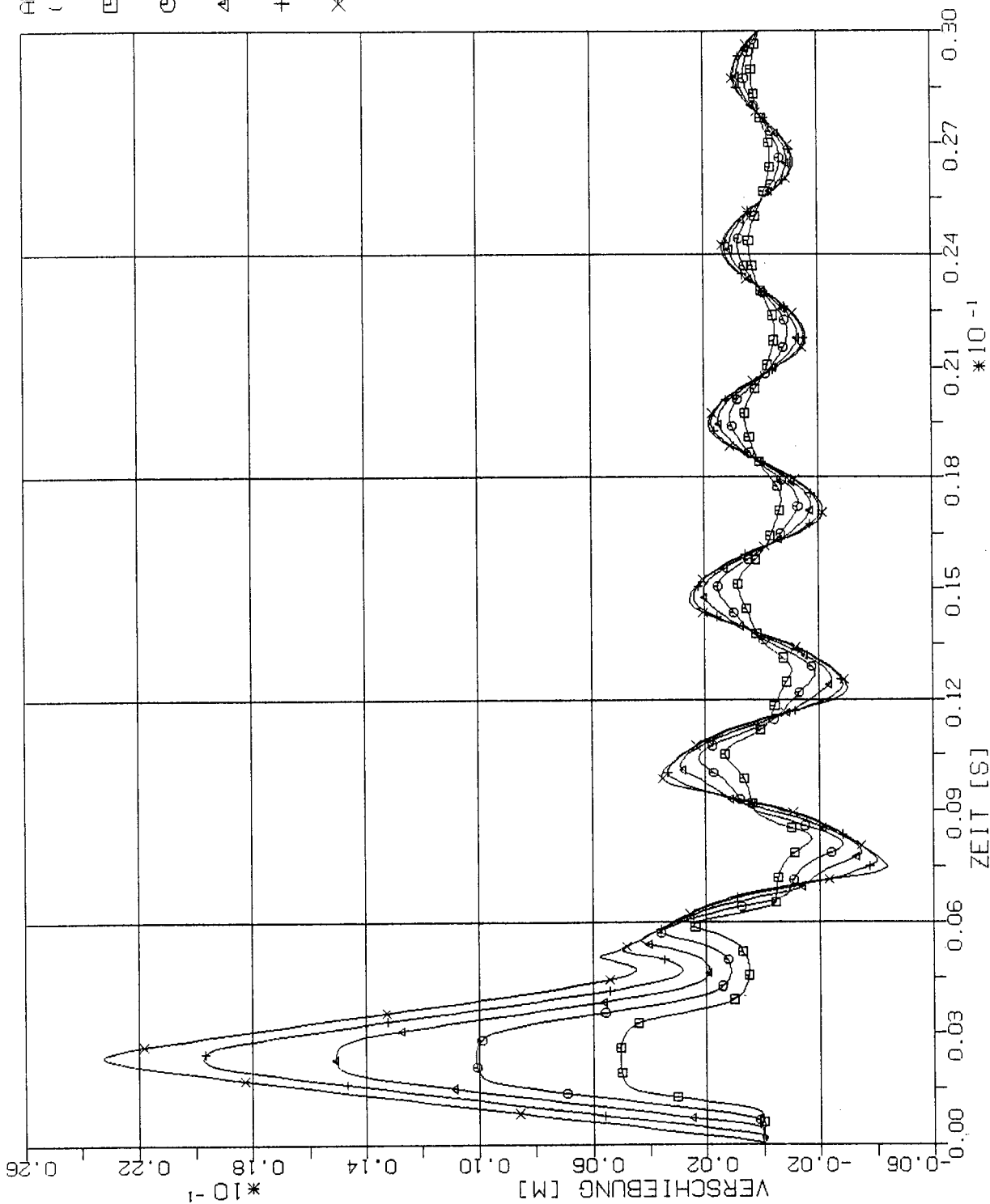


3.3.1 Stoß-Lastfunktion ST1

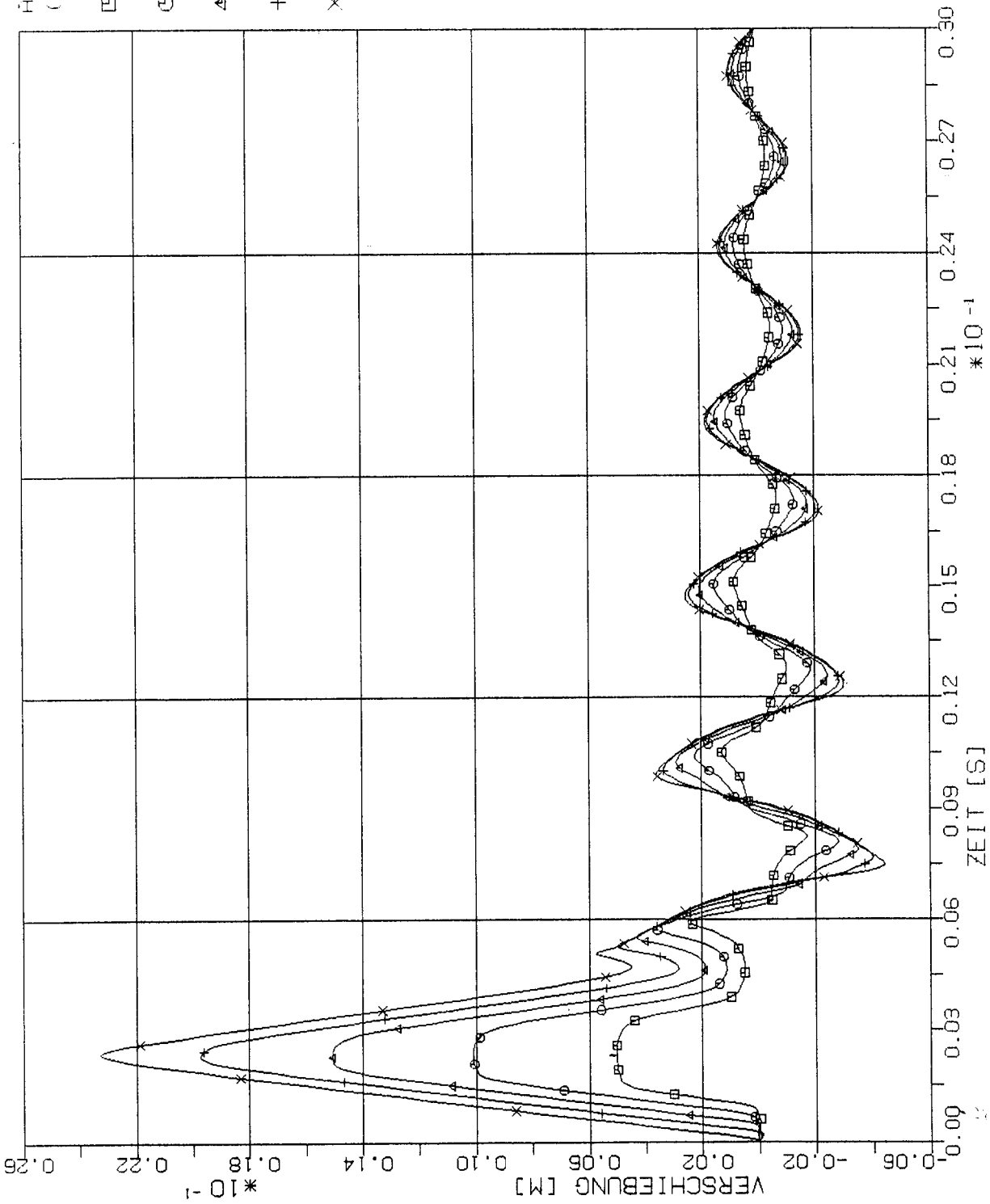
(Siehe Fig.1-4)

ABSTAND ZUM EINSPIANBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- † 0.8 L (PUNKT 33)
- × 1.0 L (PUNKT 41)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 40 X 5, STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 20 X 25 STOSSEL. ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)

ABSTAND ZUM EINSPIANNBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

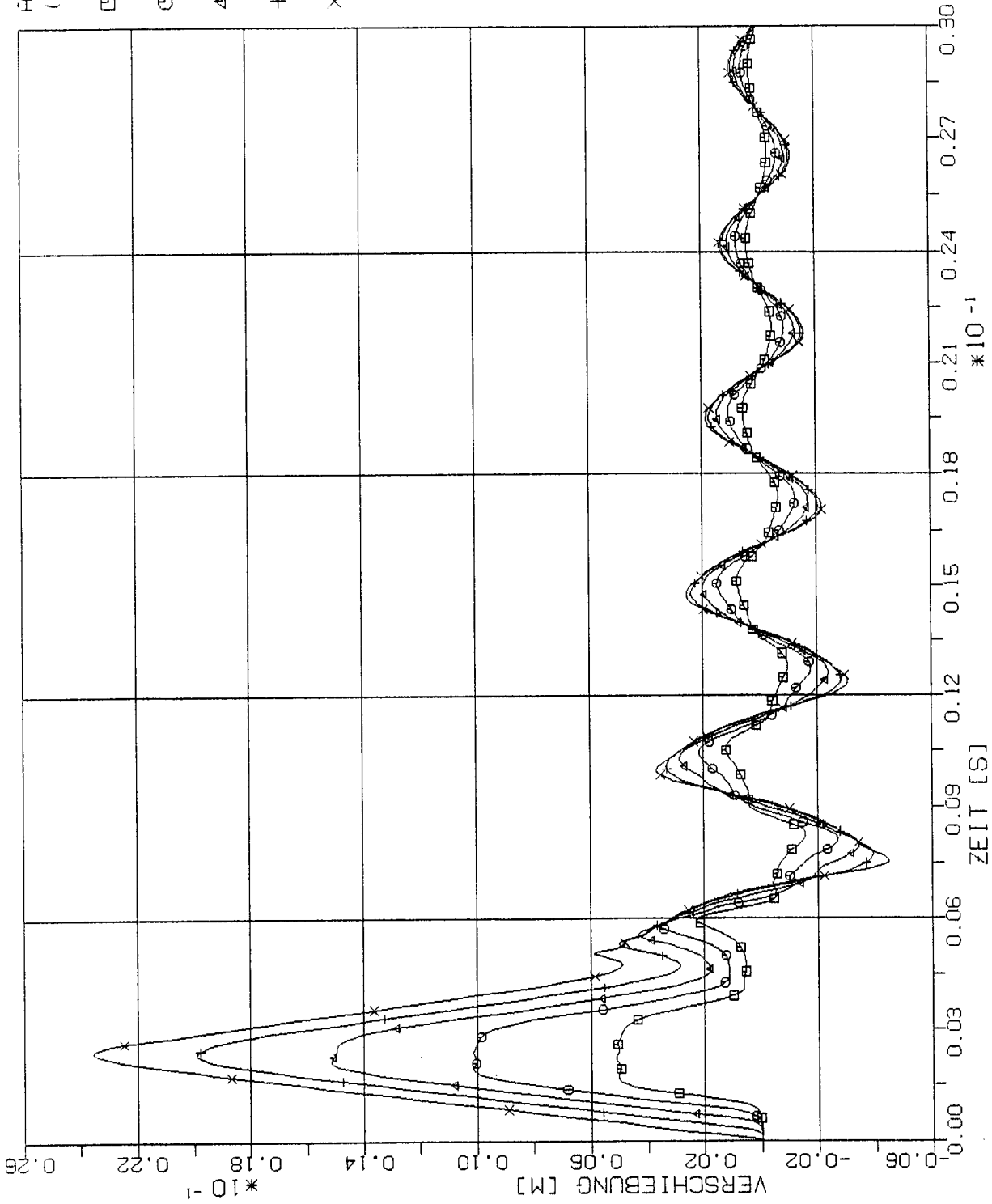
□ 0.2 L (PUNKT 9)

○ 0.4 L (PUNKT 17)

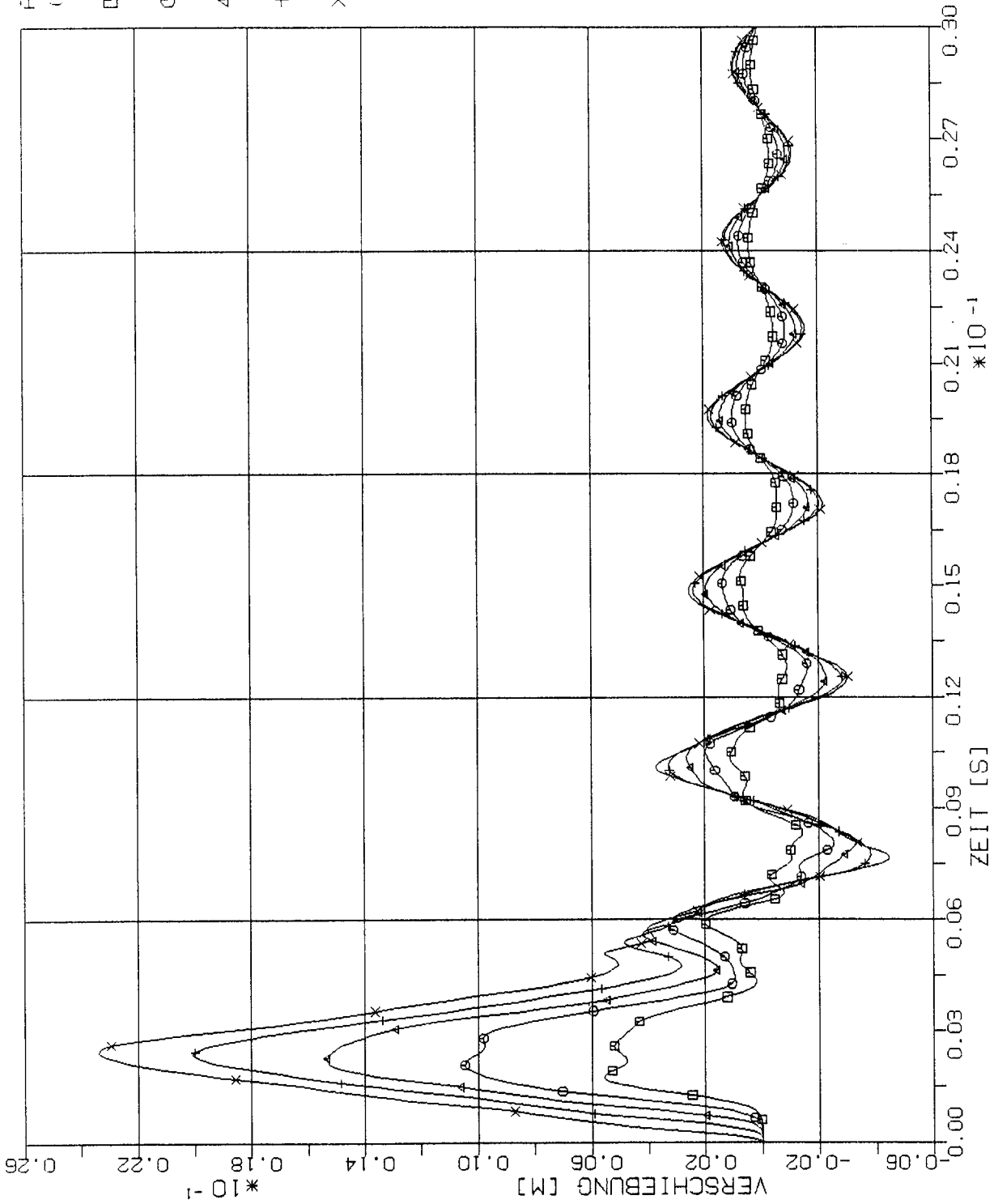
△ 0.6 L (PUNKT 25)

† 0.8 L (PUNKT 33)

× 1.0 L (PUNKT 41)



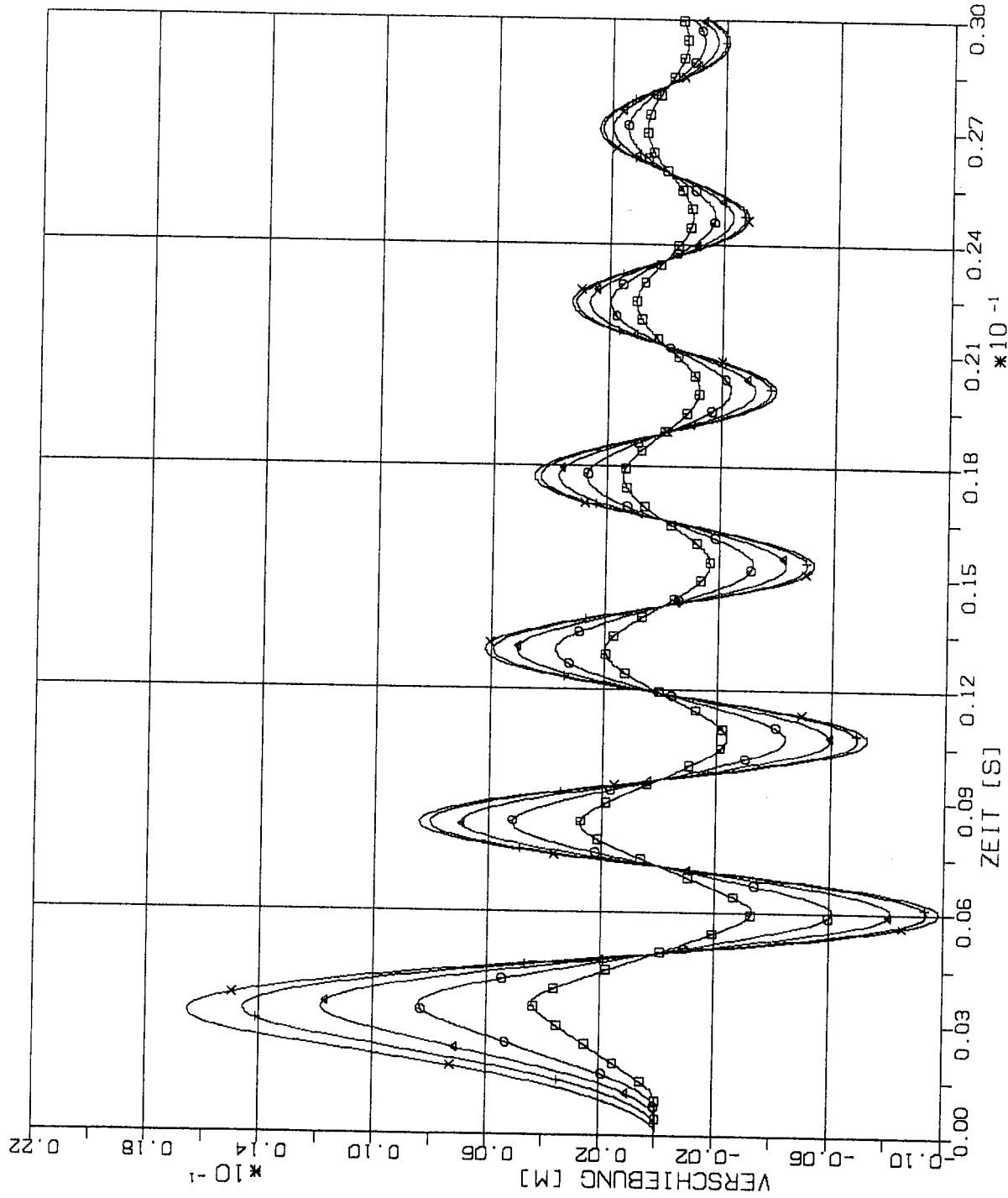
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKELEMENTE 10 X 4S STOSSEL. ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)



STÖß-ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 5 X 8S STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

3.3.2 Stoß-Lastfunktion ST2

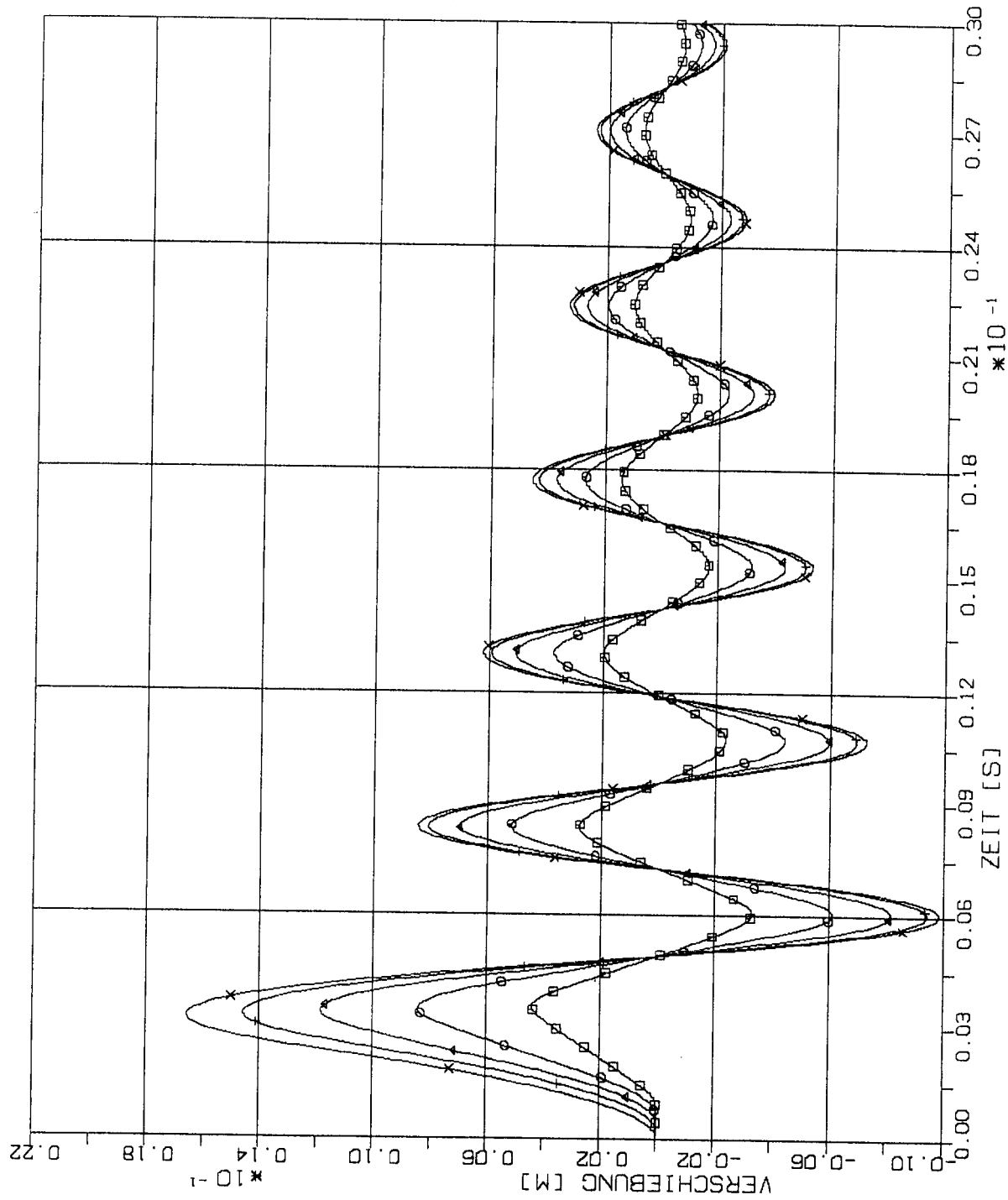
(Siehe Fig.1-4)



ABSTAND ZUM EINSpannBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- † 0.8 L (PUNKT 33)
- × 1.0 L (PUNKT 41)

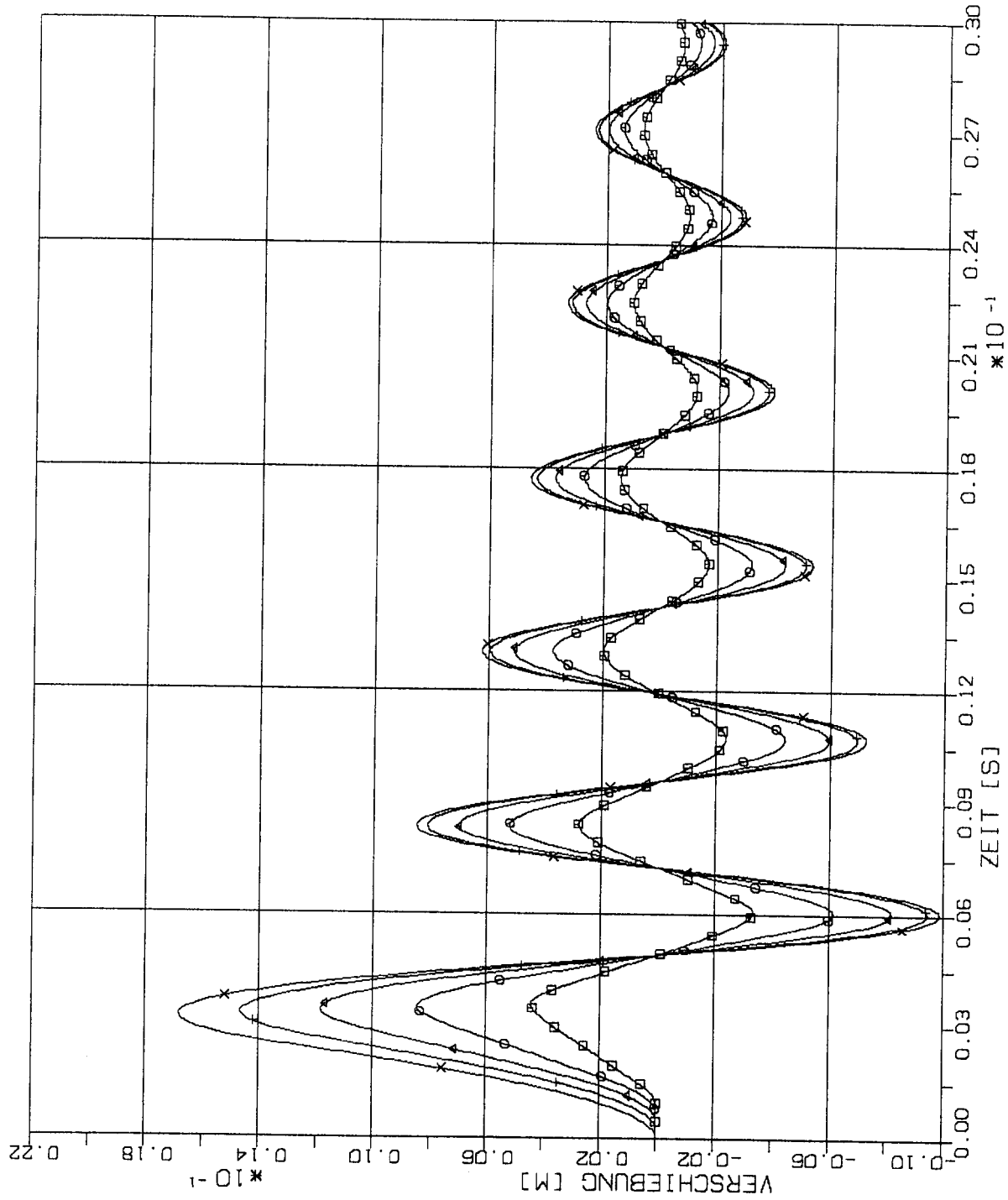
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 40 X S . STOSSBEL ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



ABSTAND ZUM EINSpannBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △-△ 0.6 L (PUNKT 25)
- †-† 0.8 L (PUNKT 33)
- X-X 1.0 L (PUNKT 41)

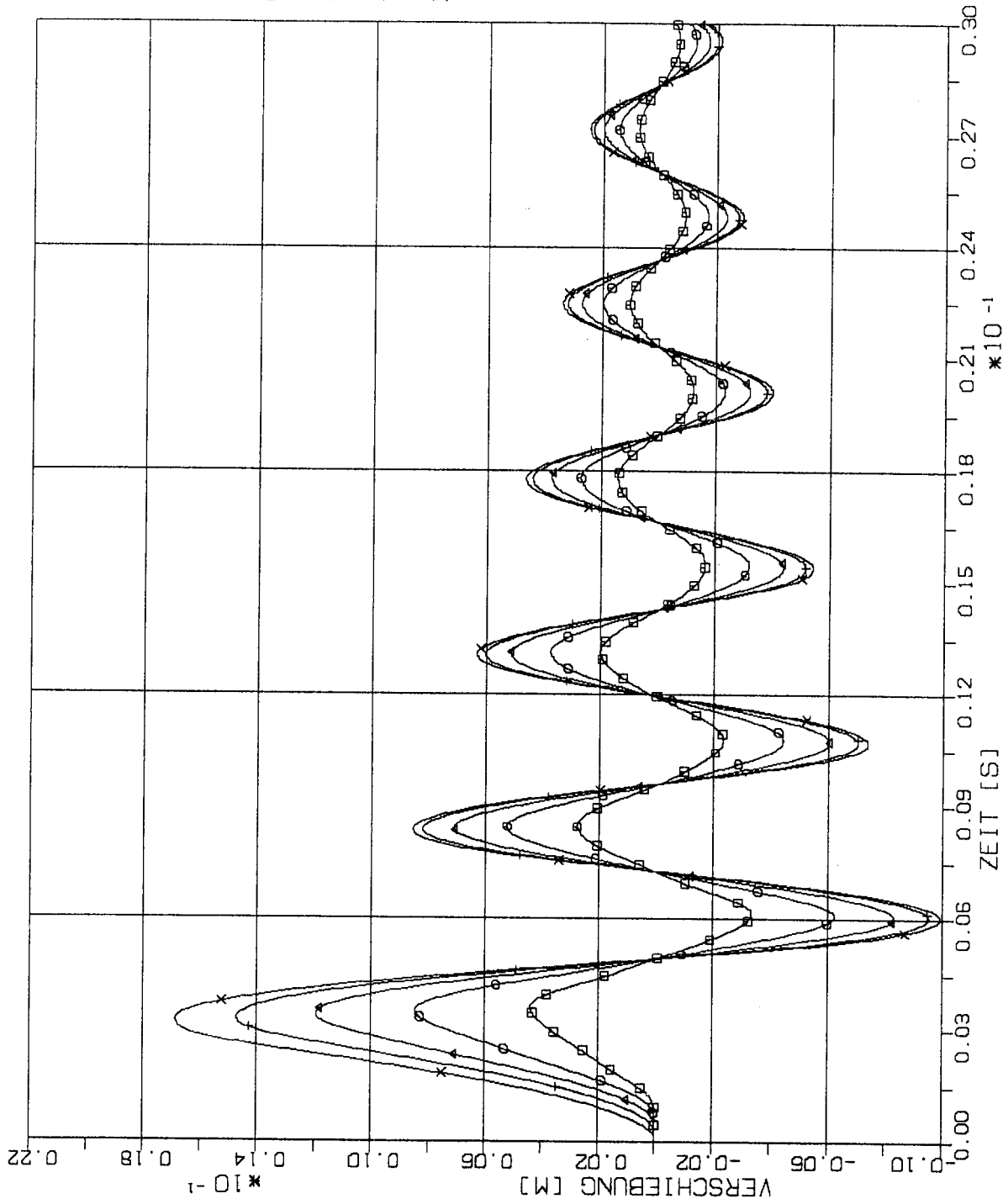
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 20 X 2S. STOSSBEL . ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)



ABSTAND ZUM EINSpannBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- † 0.8 L (PUNKT 33)
- × 1.0 L (PUNKT 41)

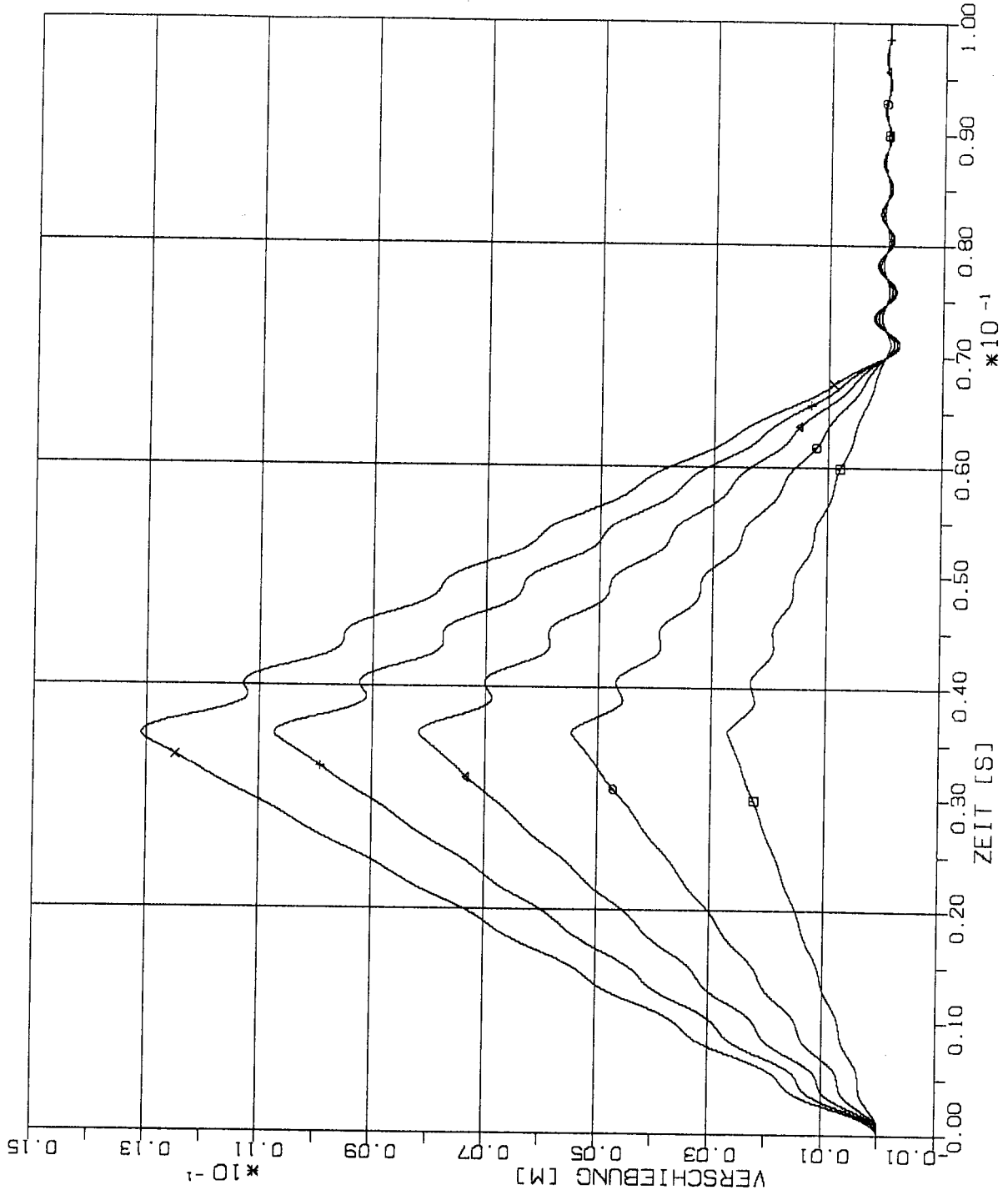
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBACHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 10 X 4S. STOSSEL.. STZ IN LAENGSRICHTUNG (X1)



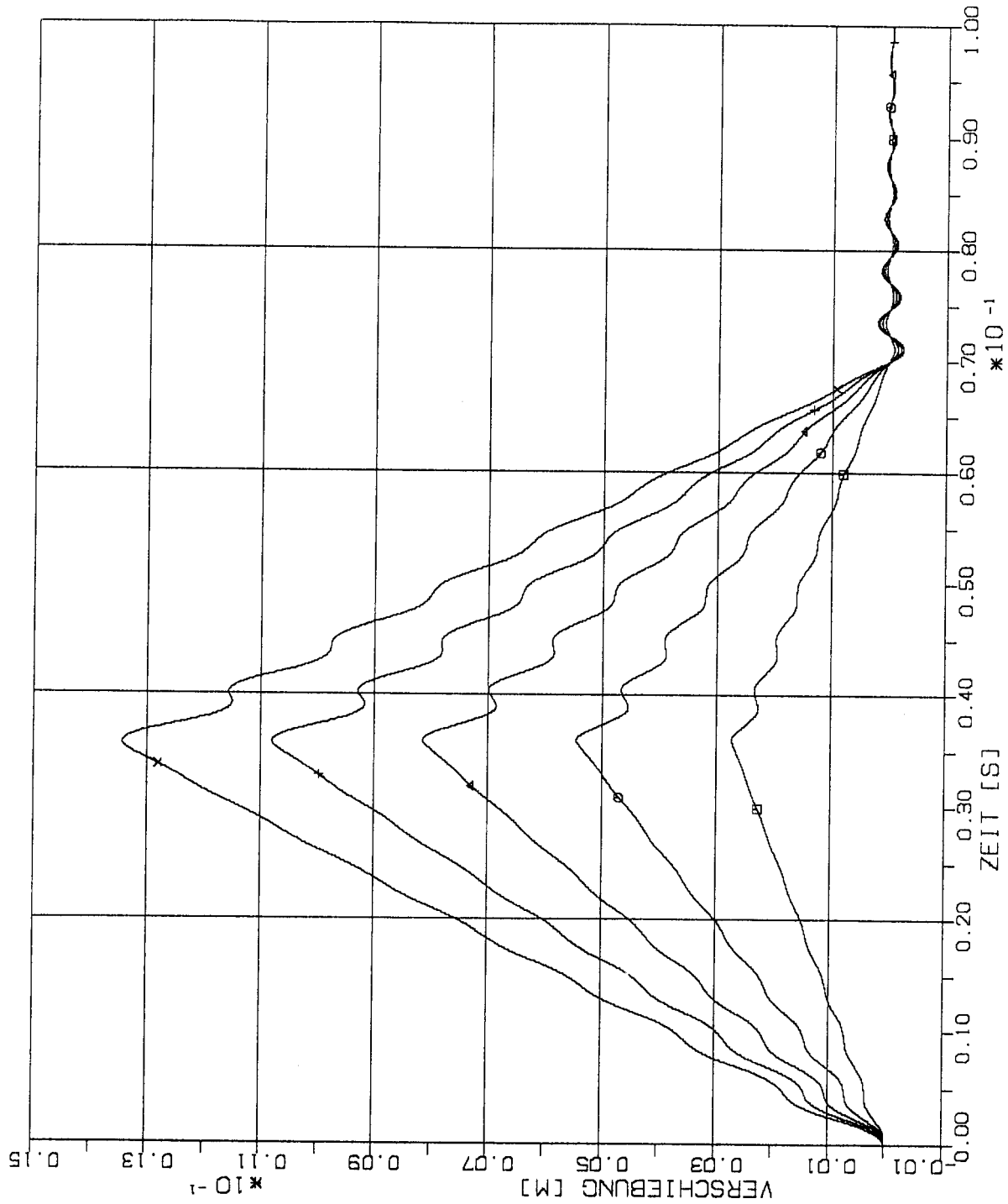
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 5 X 8S. STOSSBEL.. STZ IN LAENGRICHTUNG (X1)

3.3.3 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig.1-4)



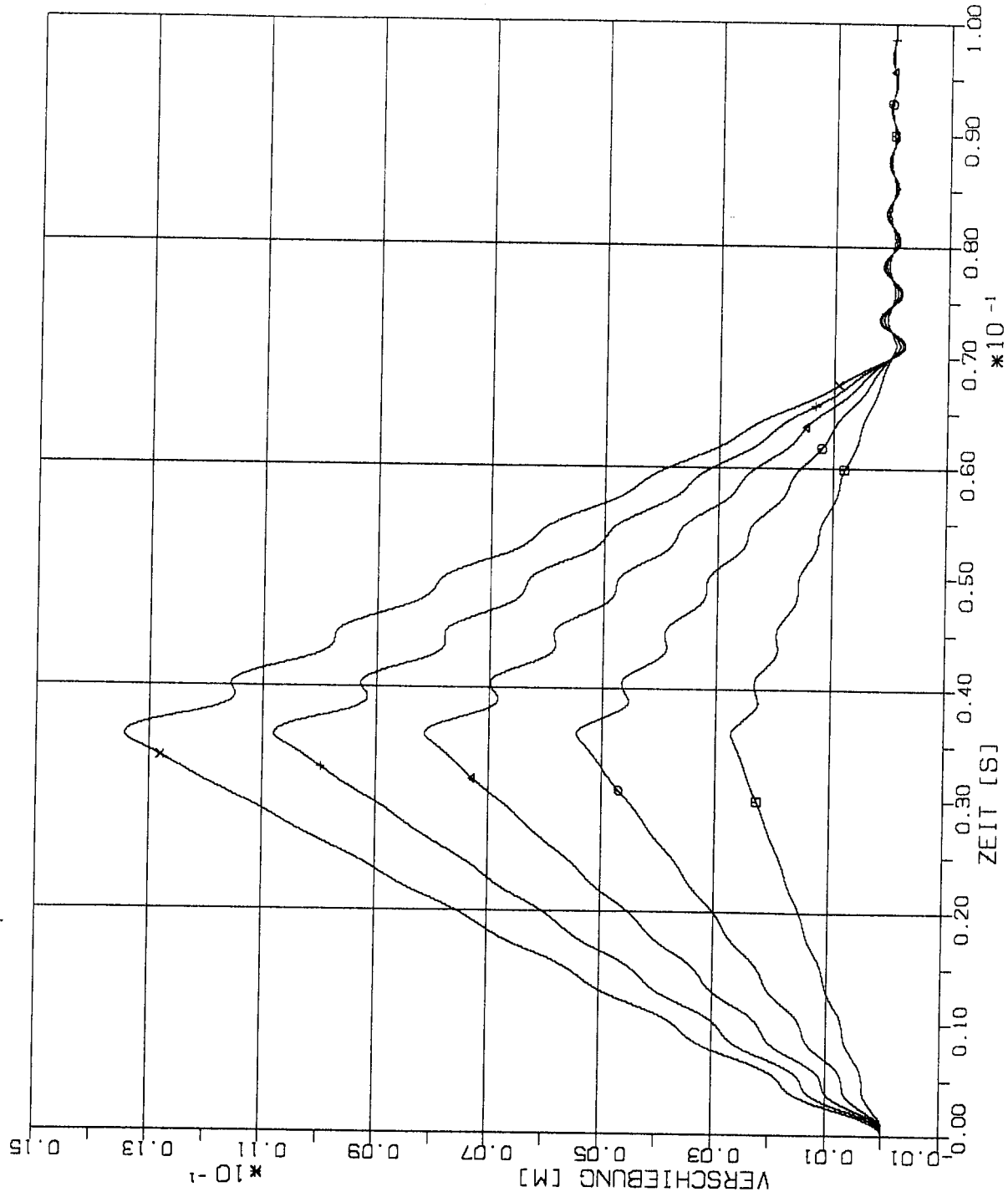
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 20 X 25 STOSSBEL. ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



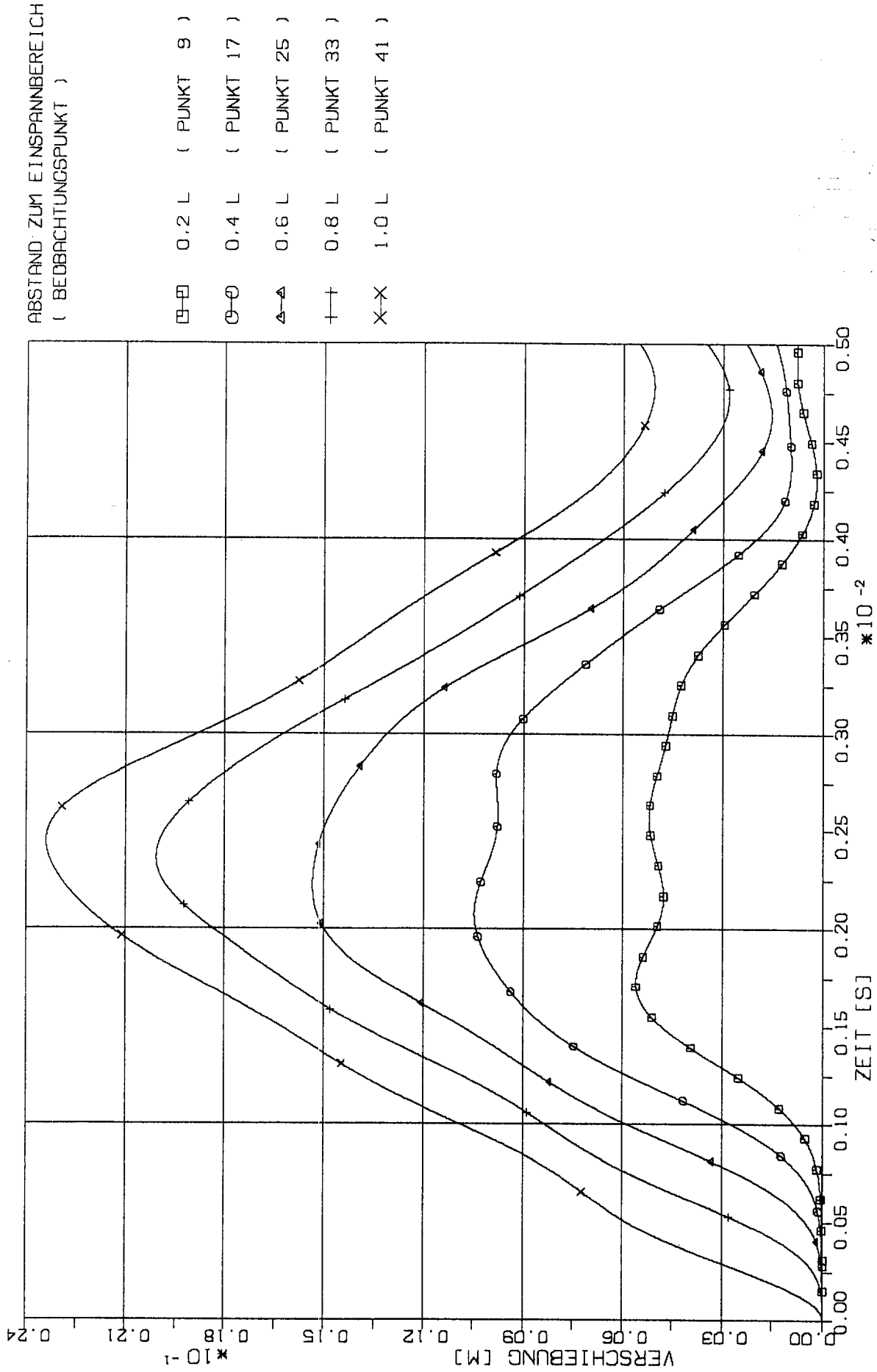
ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- ++ 0.8 L (PUNKT 33)
- ×× 1.0 L (PUNKT 41)

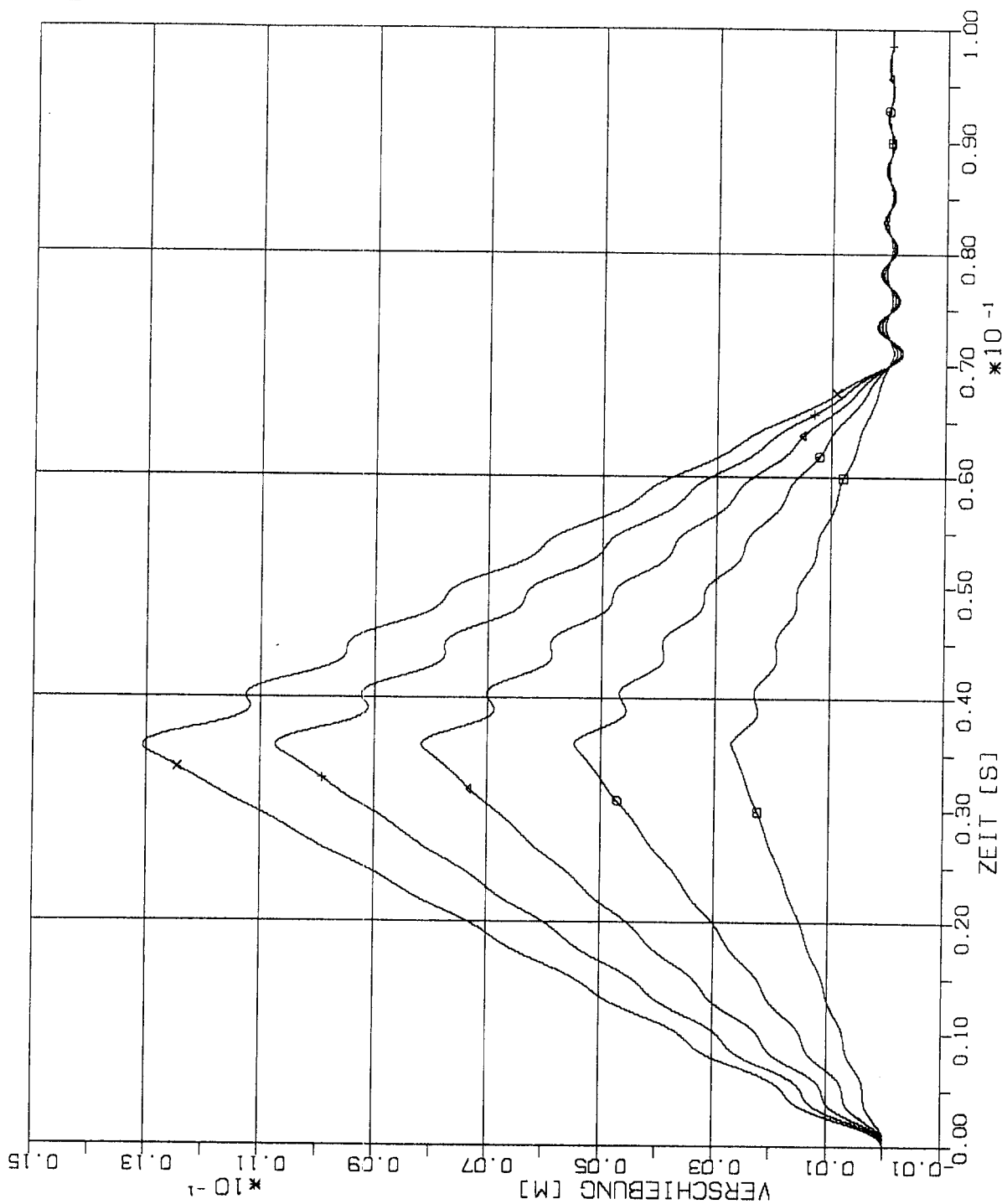
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 10 X 4S STOSSBEL. ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 5 X 8S STOSSEL. ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 5 X 8S STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- ++ 0.8 L (PUNKT 33)
- X-X 1.0 L (PUNKT 41)

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE VERSCHIEBUNGEN IN DEN OBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 40 X 5 STOSSBEL. ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

Zwischenblatt

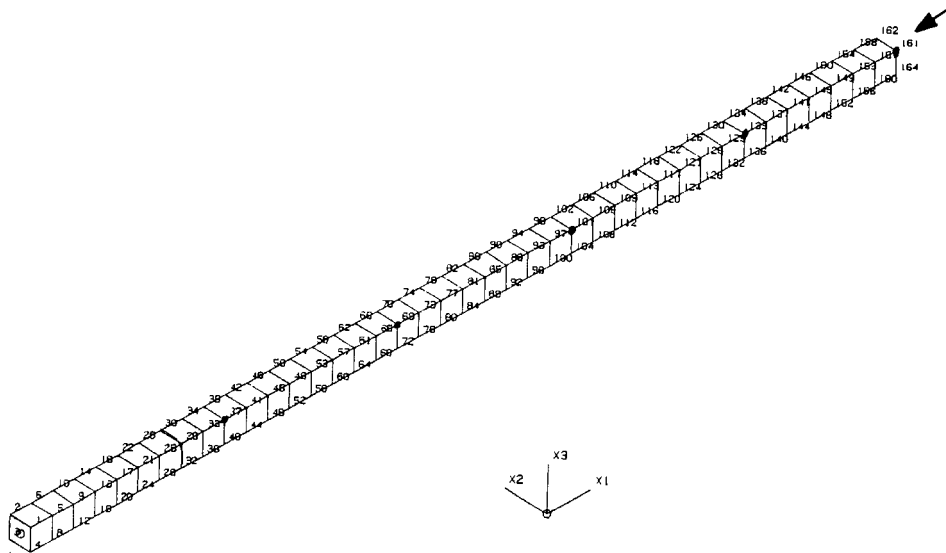
4

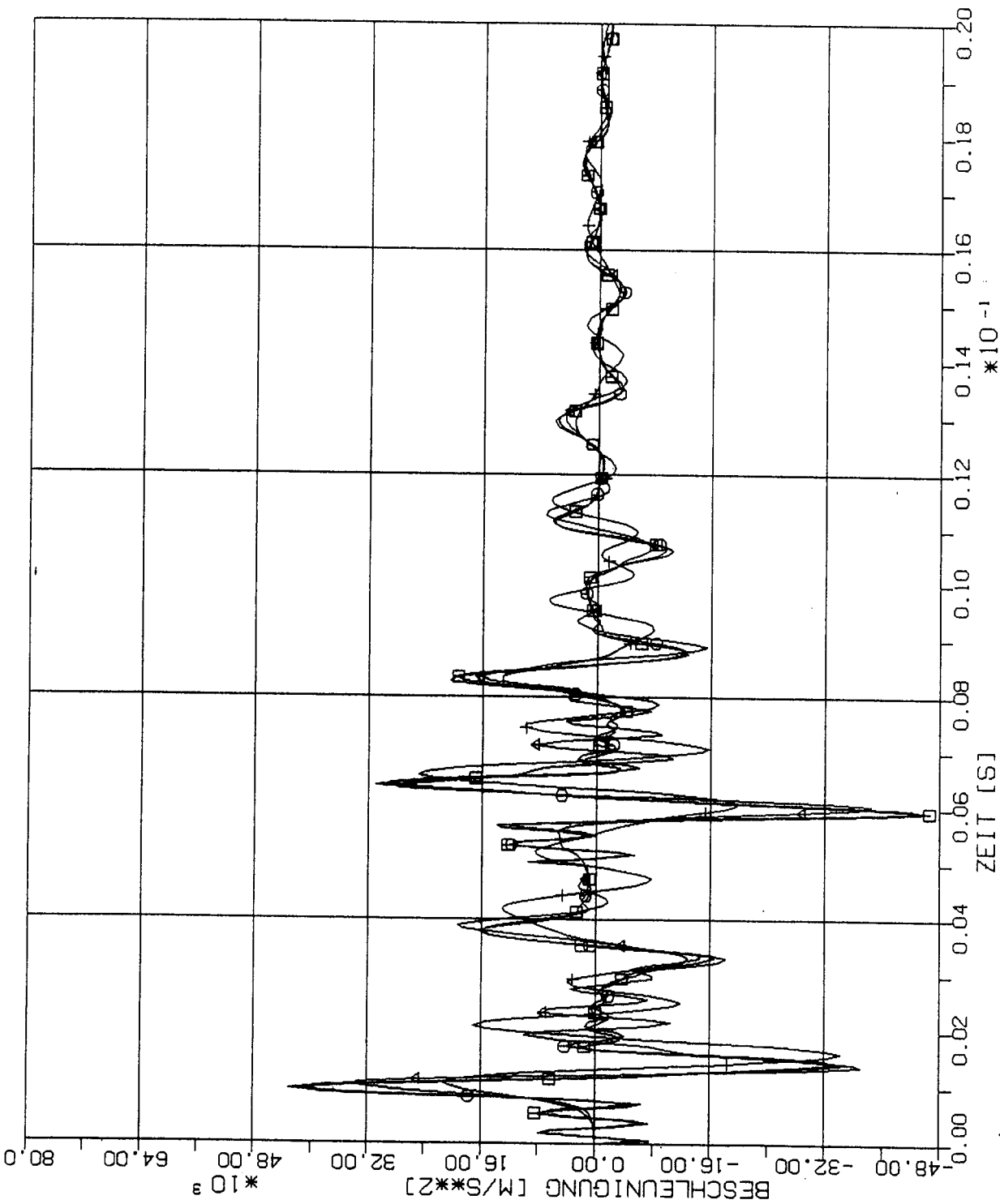
**Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in
charakteristischen Beobachtungspunkten des Modellbalkens
bei Anwendung verschiedener Elementarten,
Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen
(Strukturantworten in Axialrichtung)**

4.1 Volumenelemente-Modell

4.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1

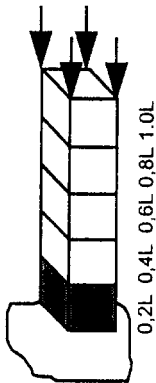
(Siehe Fig.1-4)





VOLUMENELEMENTE

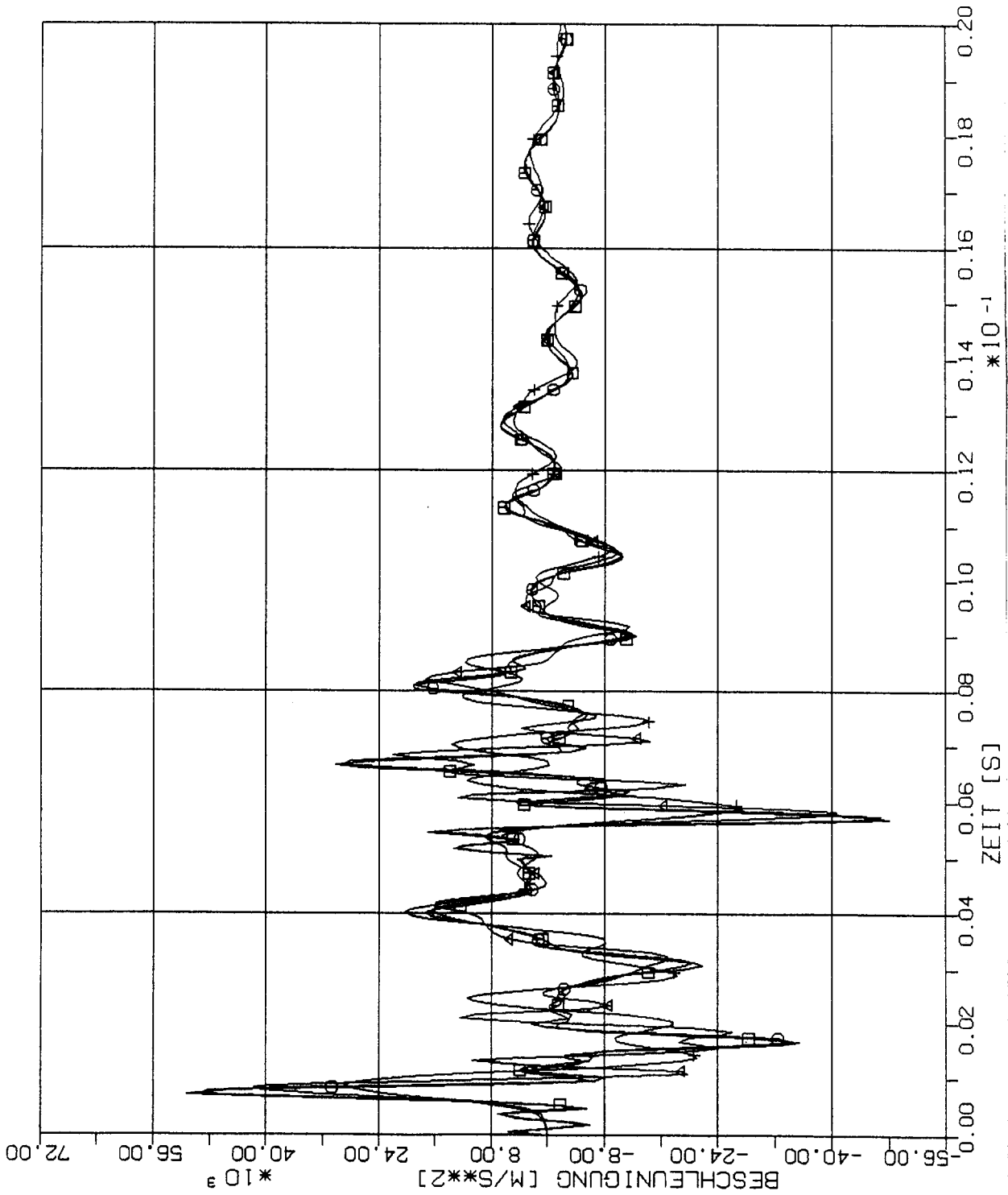
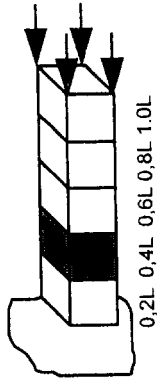
- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

VOLUMENELEMENTE

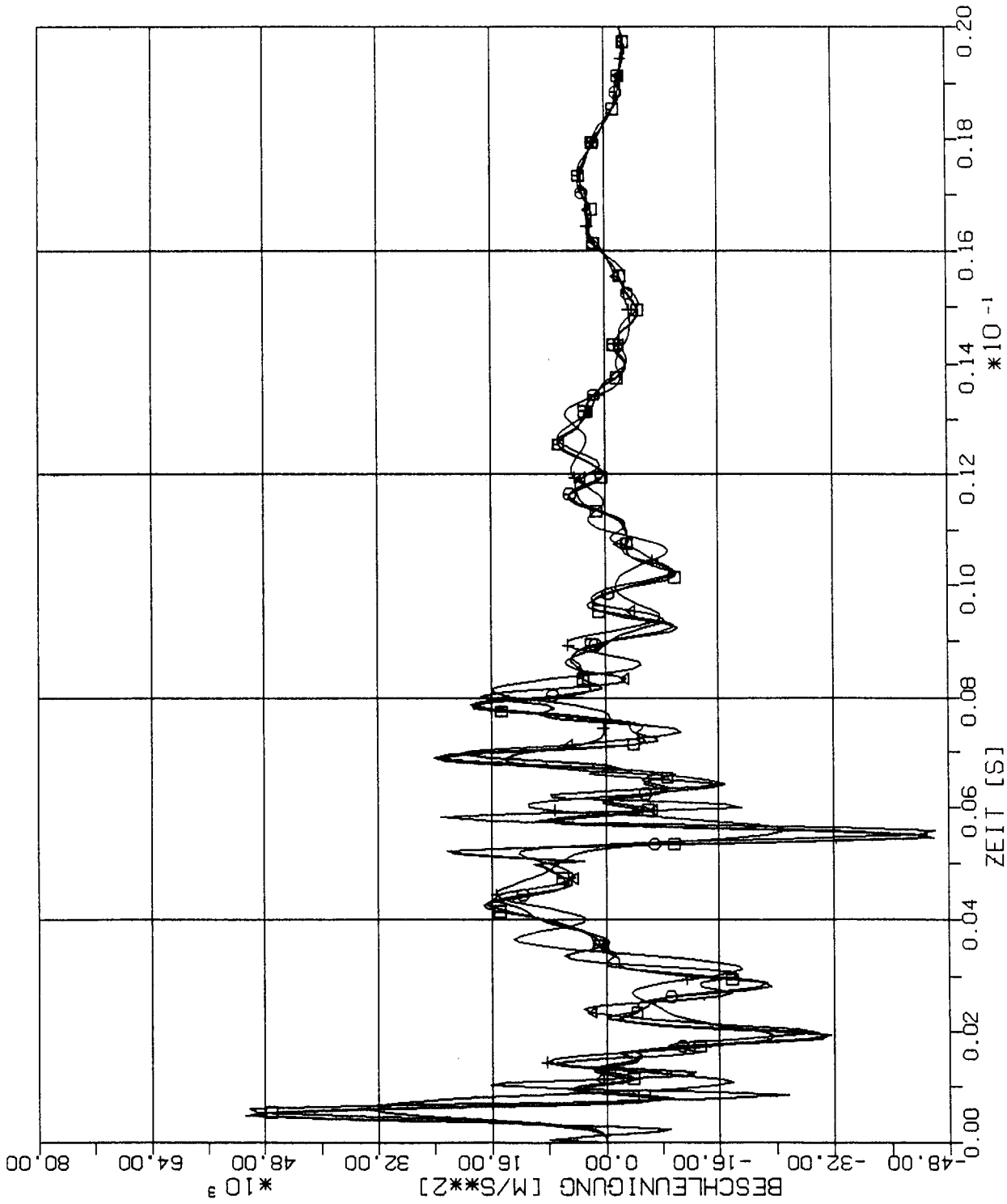
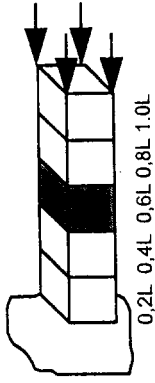
- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

VOLUMENELEMENTE

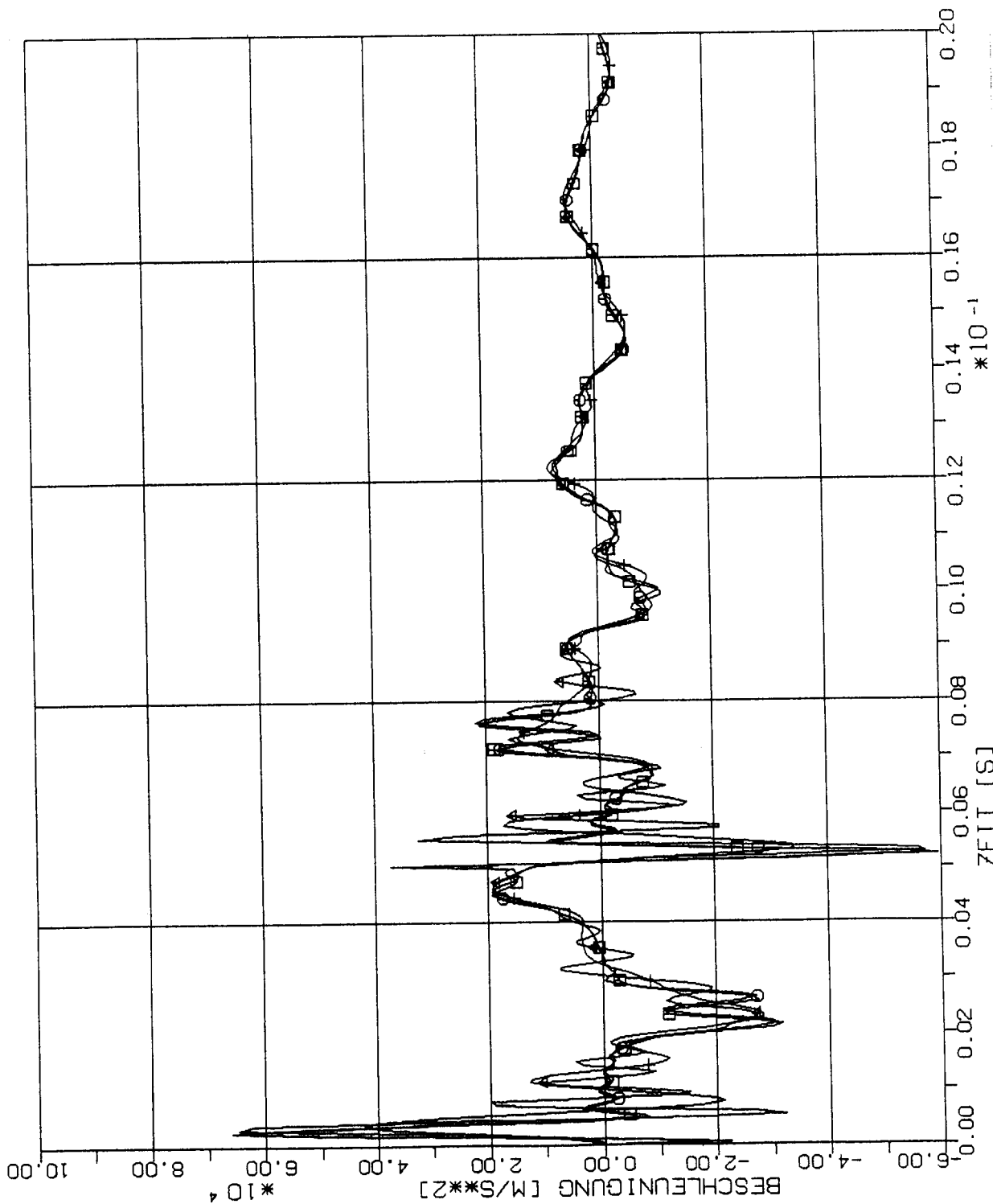
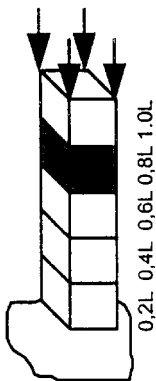
- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)

VOLUMENELEMENTE

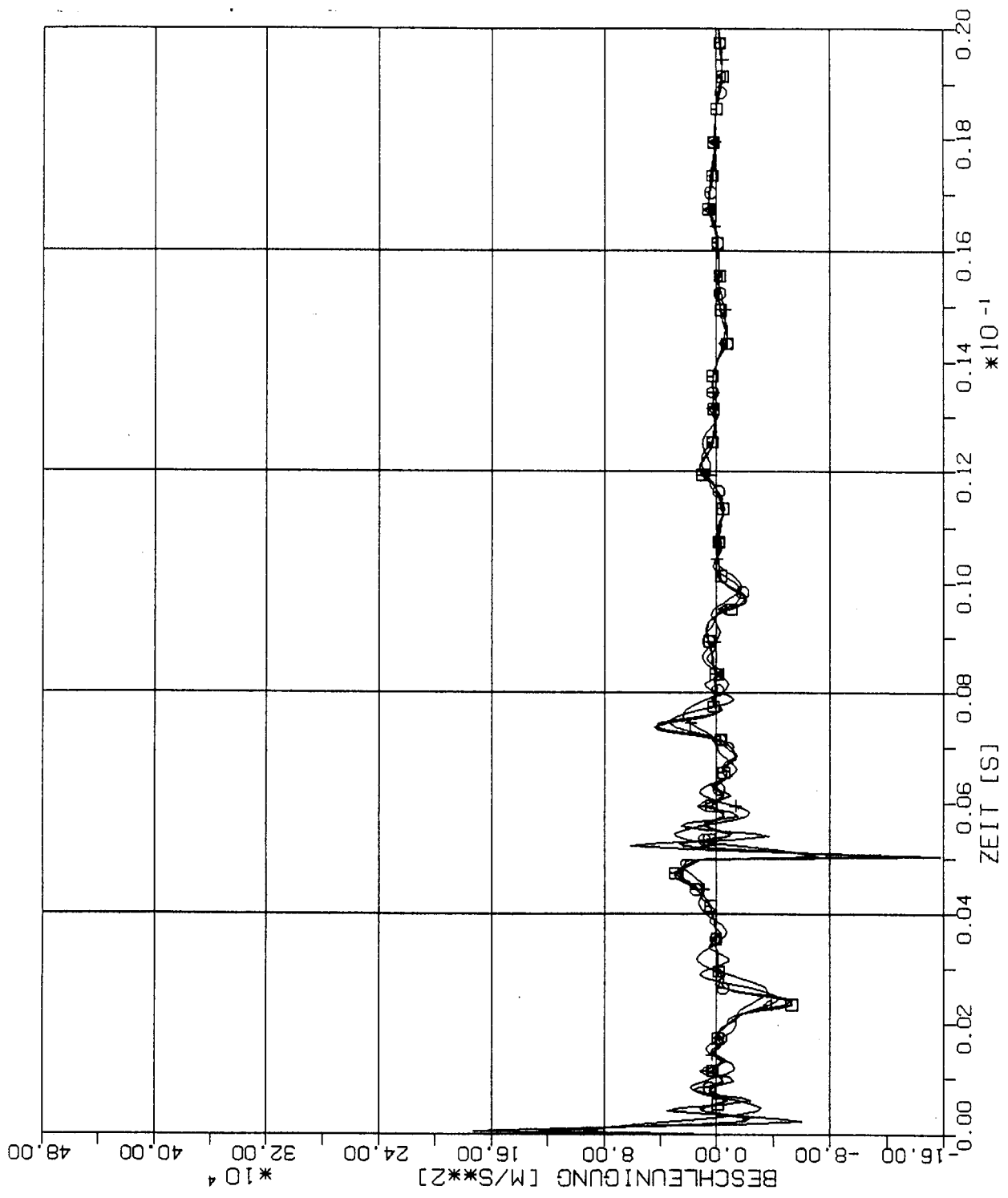
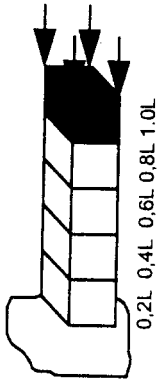
- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

VOLUMENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S

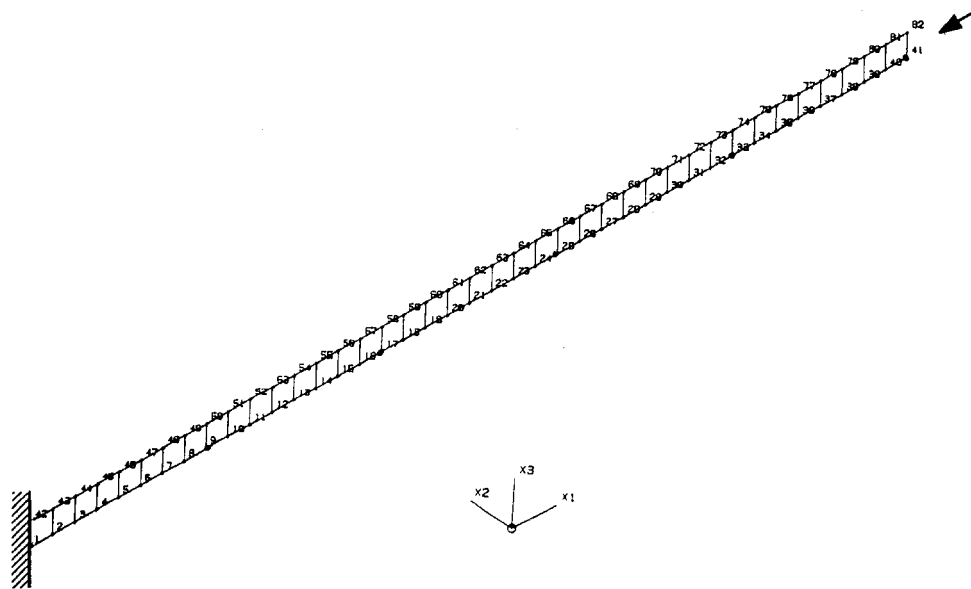


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 VOLUMENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

4.2 Plattenelemente-Modell

4.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)



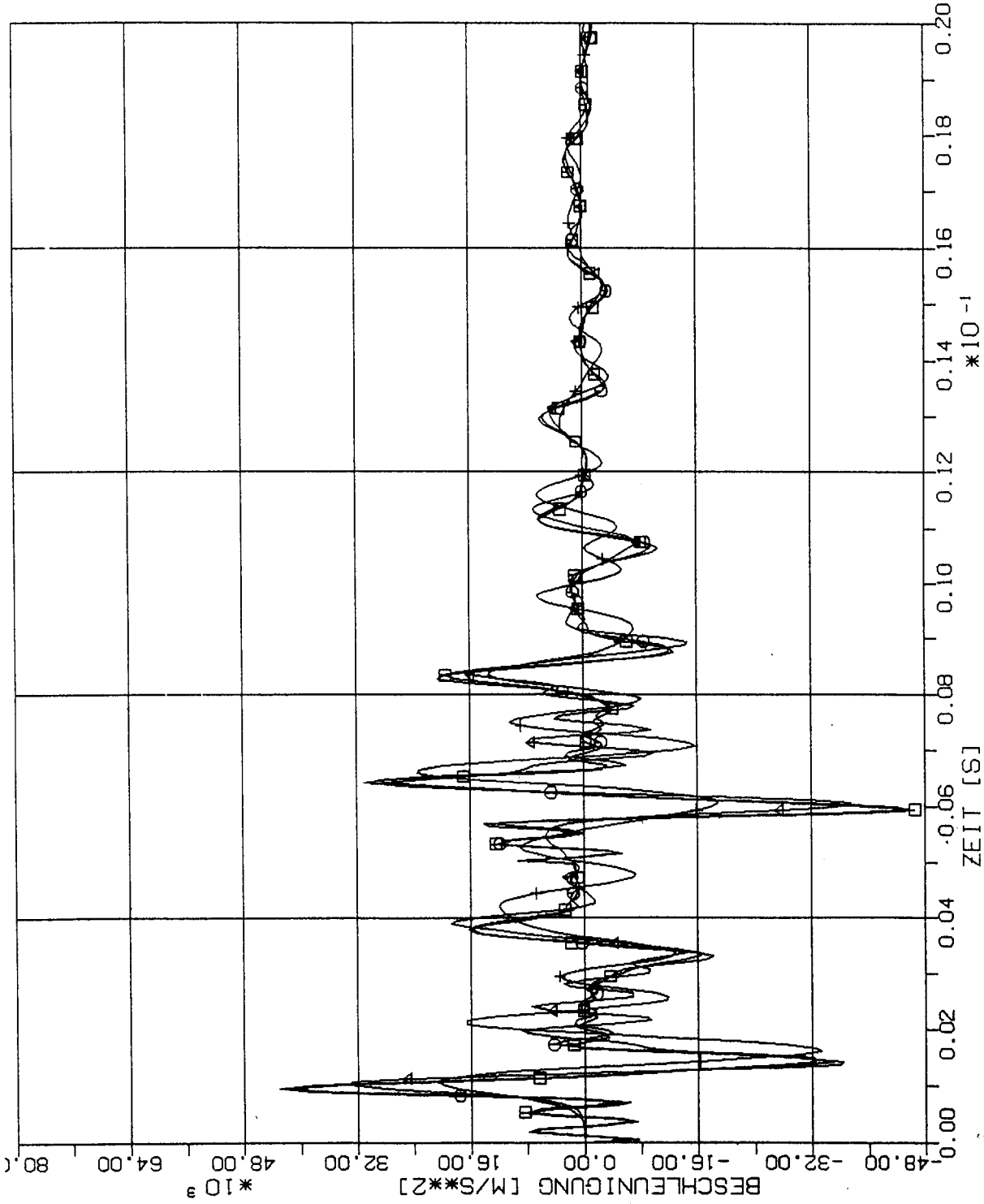
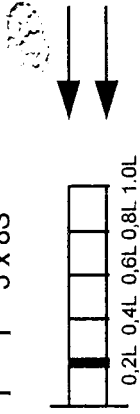
PLATTENELEMENTE

□ 40 x S

○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

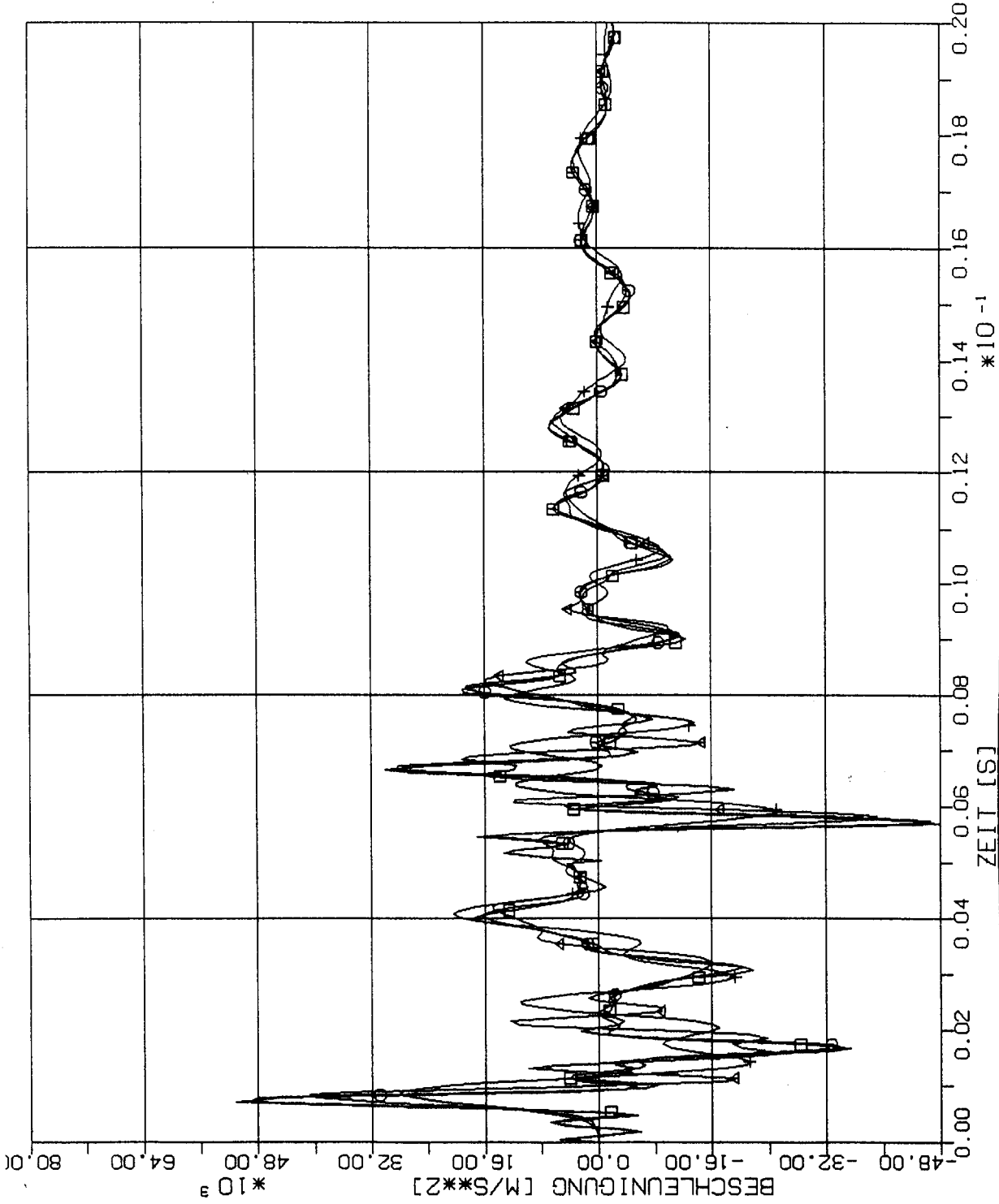
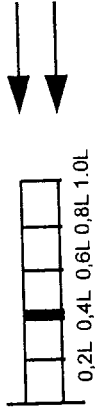
† 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)

PLATTENELEMENTE

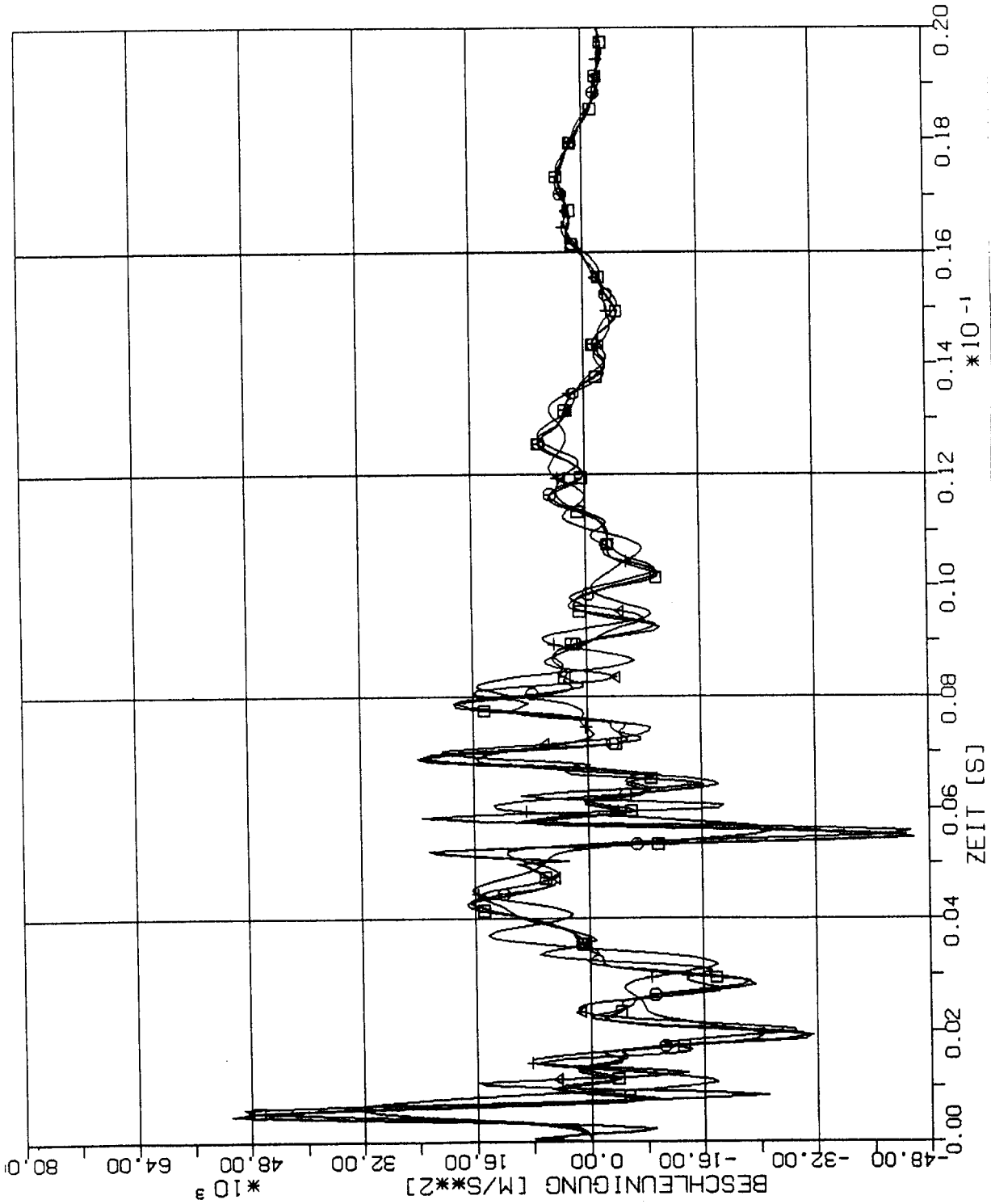
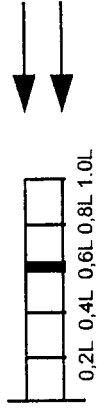
- 40 x S
- ⊙ 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

PLATTENELEMENTE

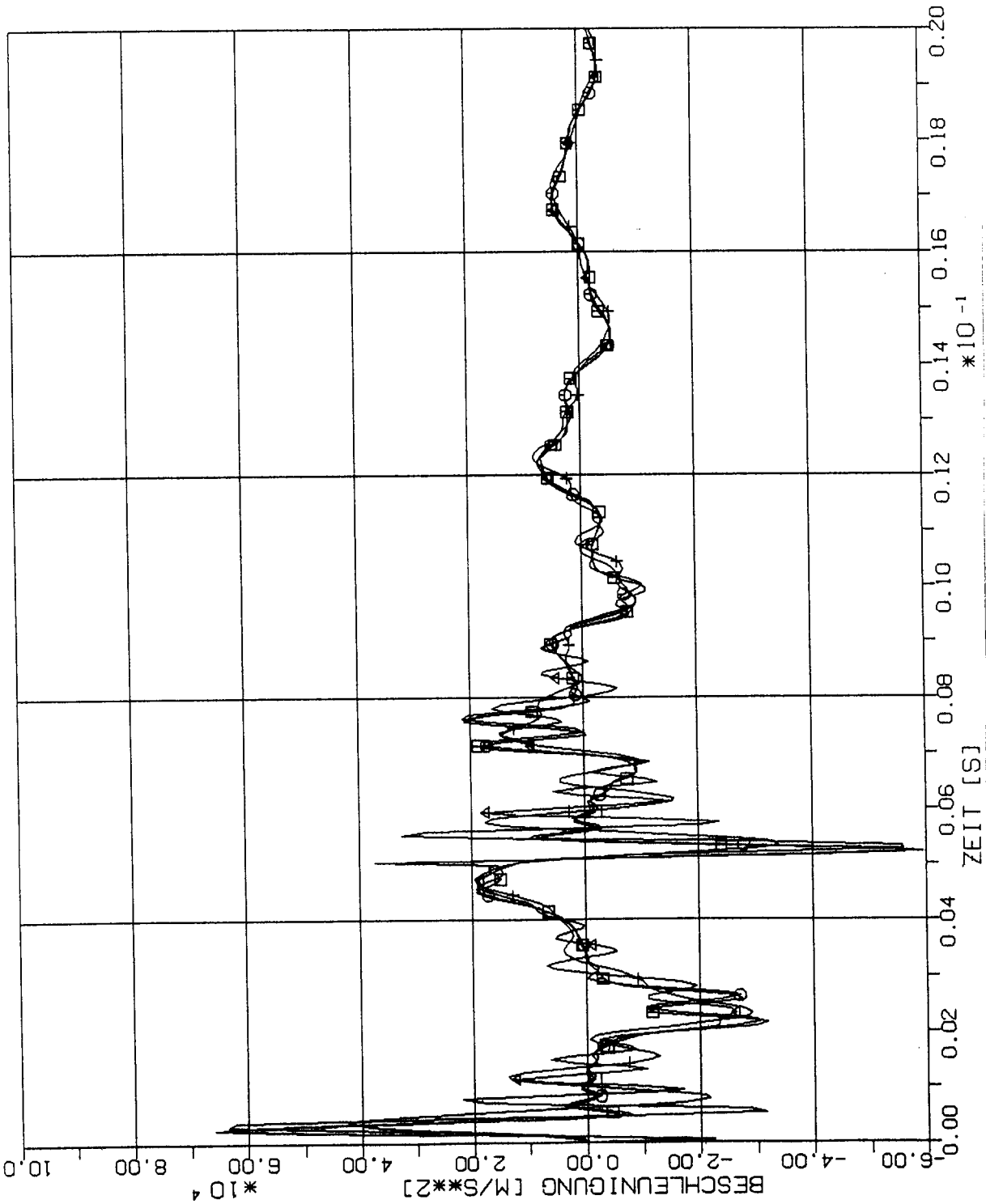
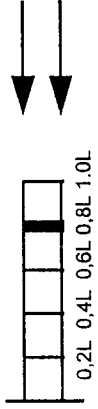
- 40 x S
- ⊙ 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

PLATTENELEMENTE

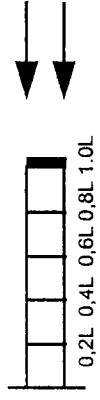
- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



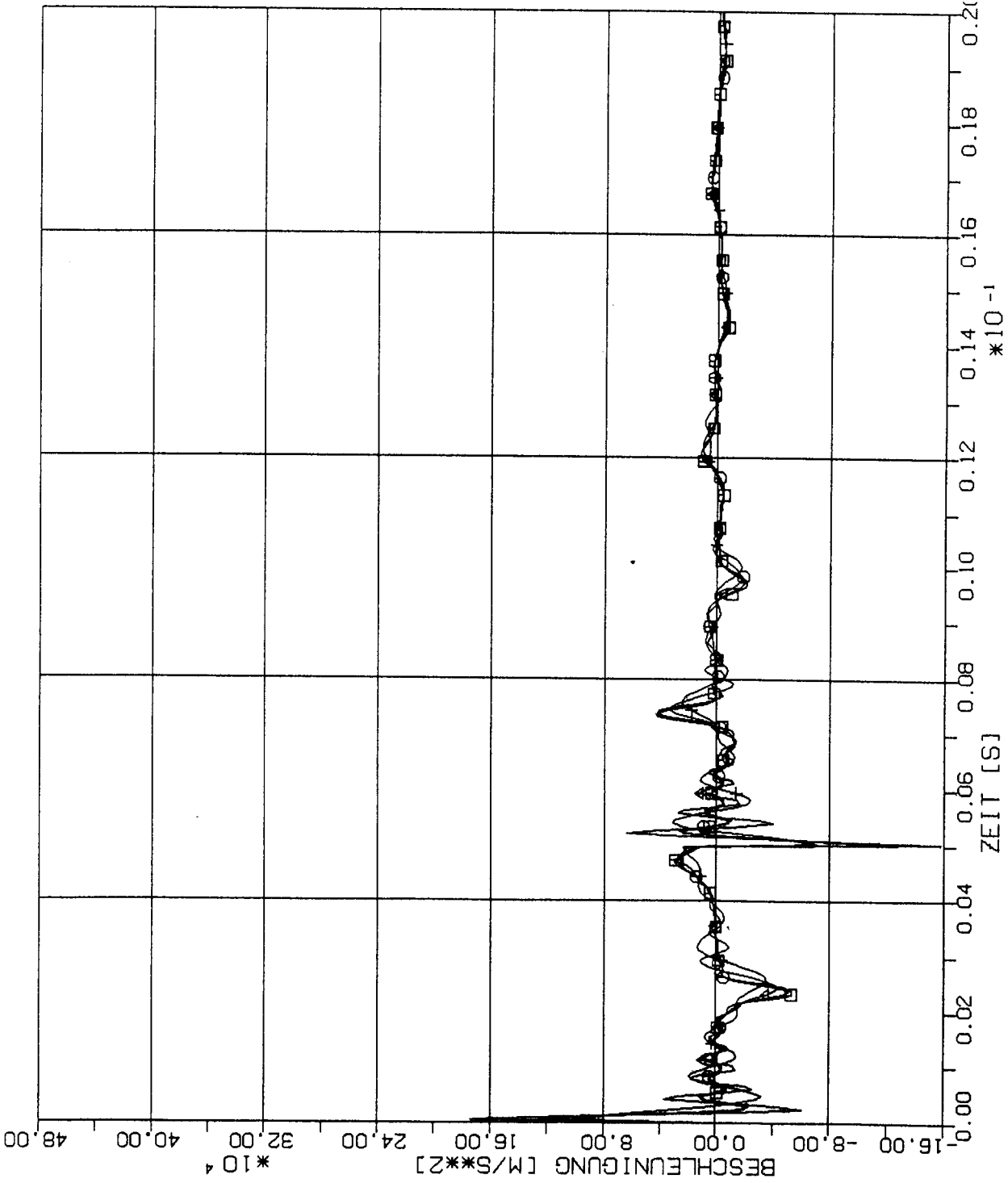
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

PLATTENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S

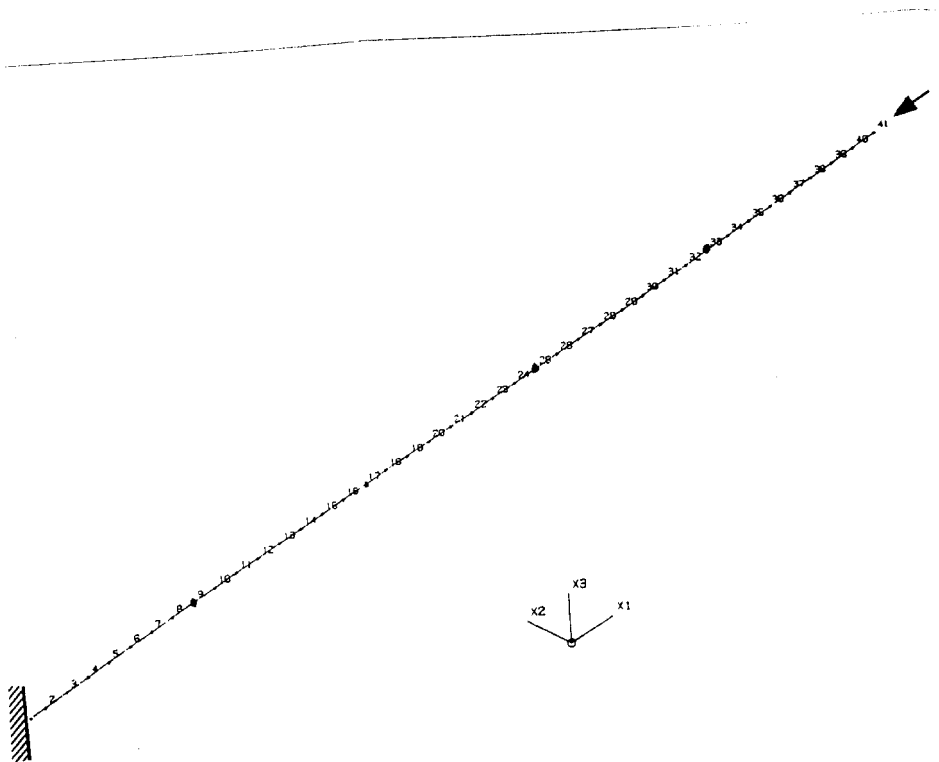


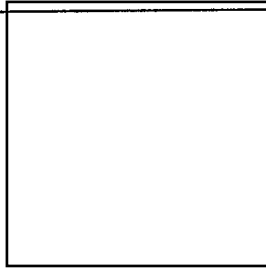
0.2L 0.4L 0.6L 0.8L 1.0L



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 PLATTENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)

4.3 Balkenelemente-Modell





4.3.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)

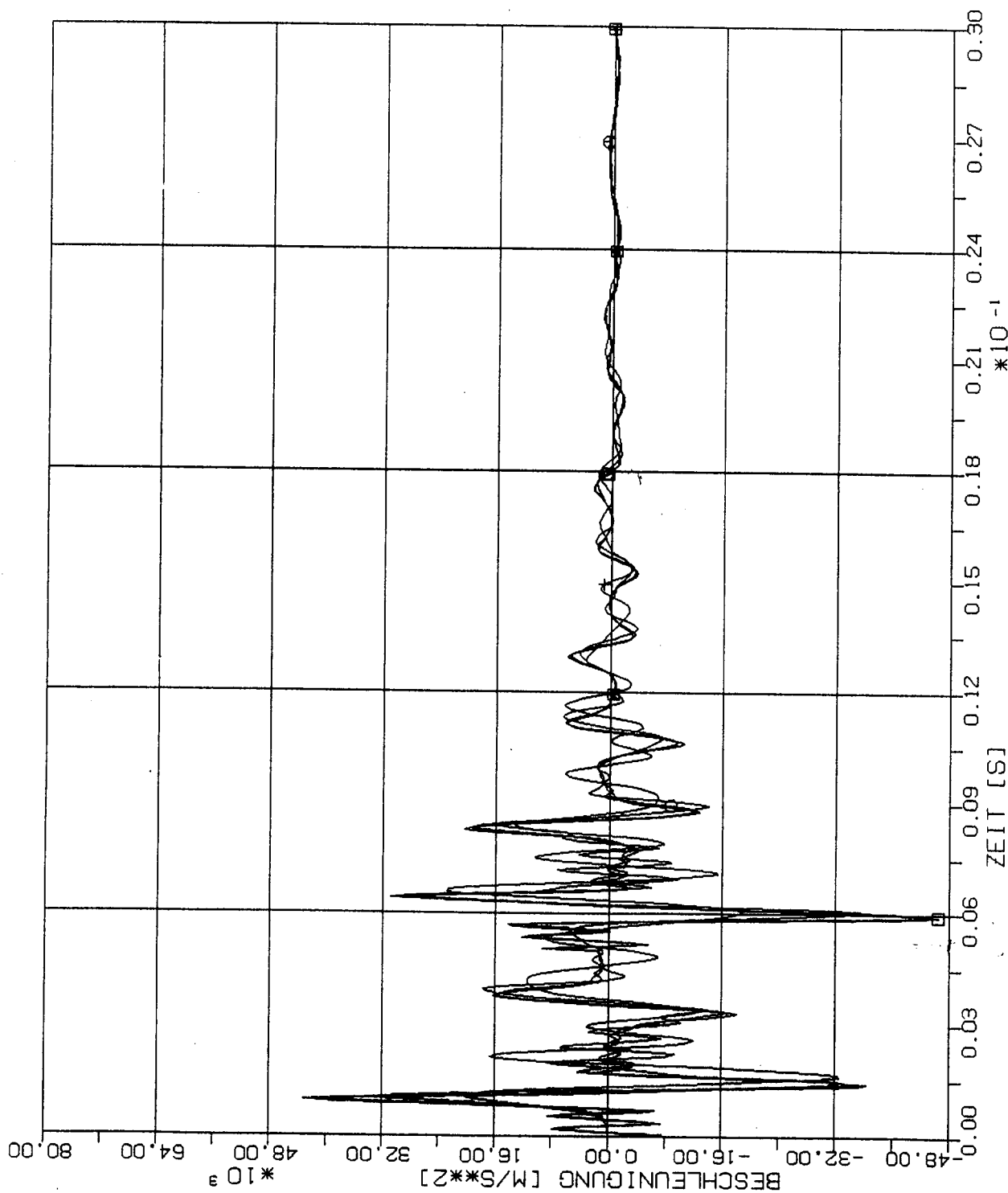
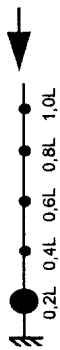
BALKENELEMENTE

□ 40 x S

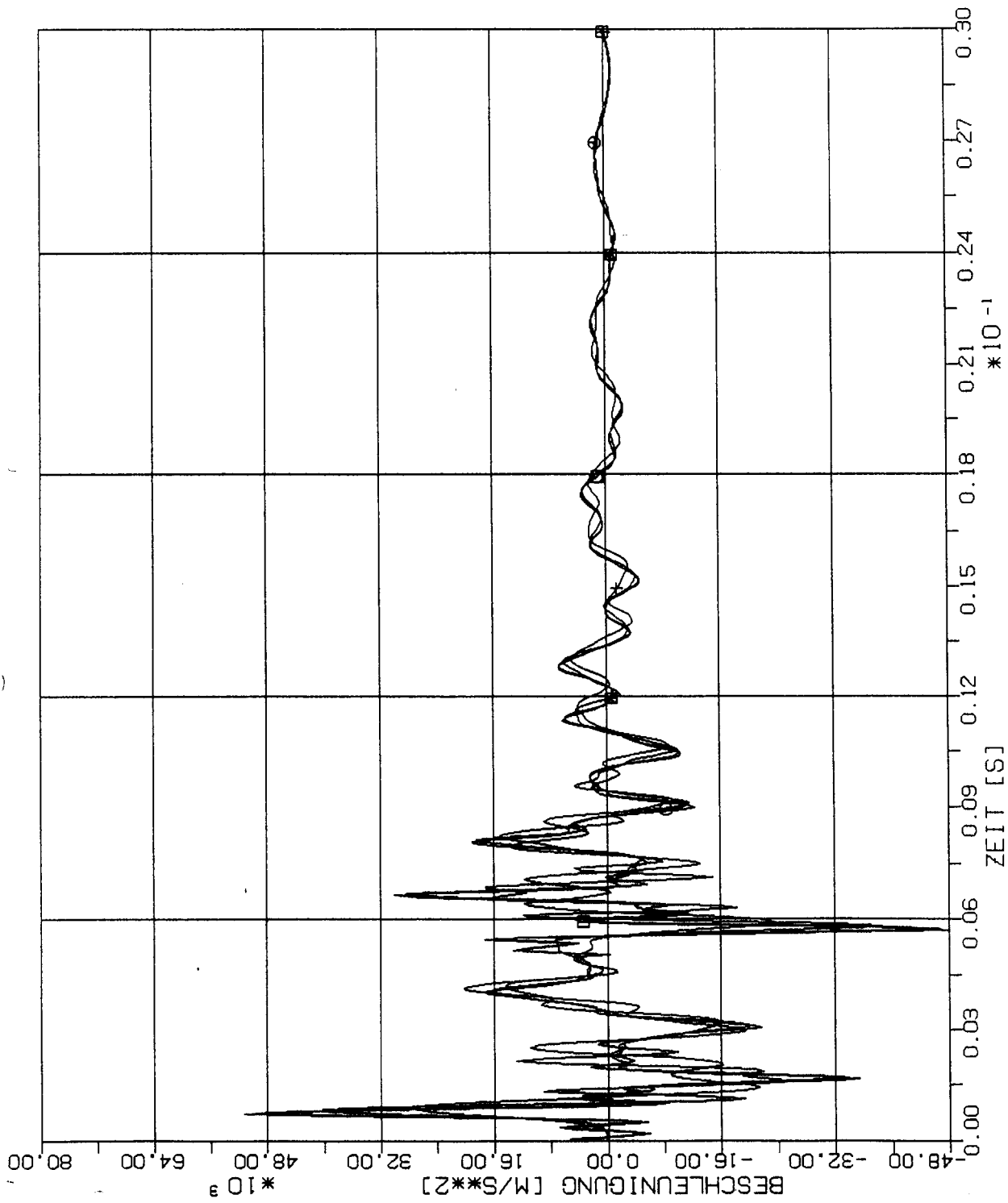
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

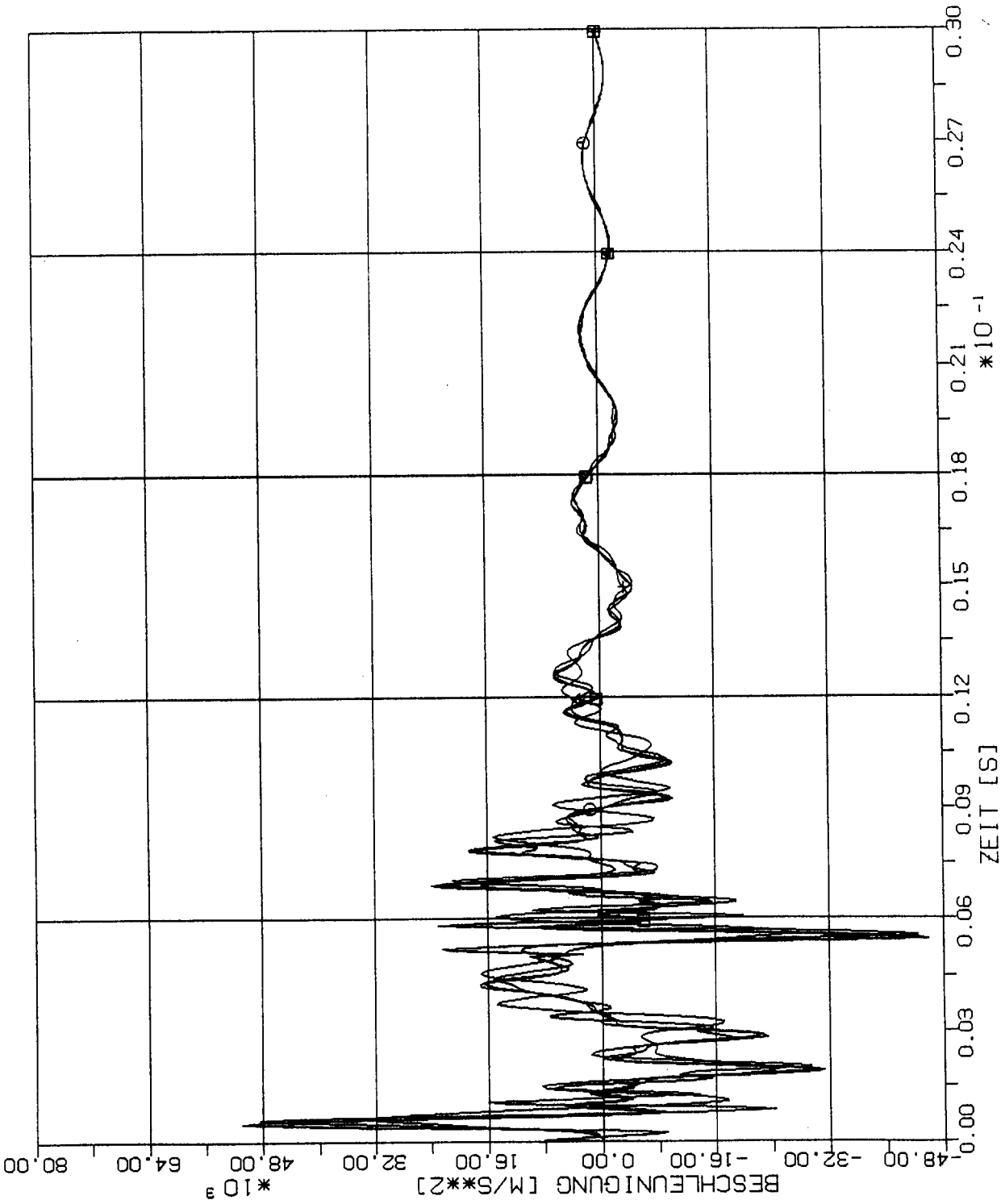
† 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

BALKENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S



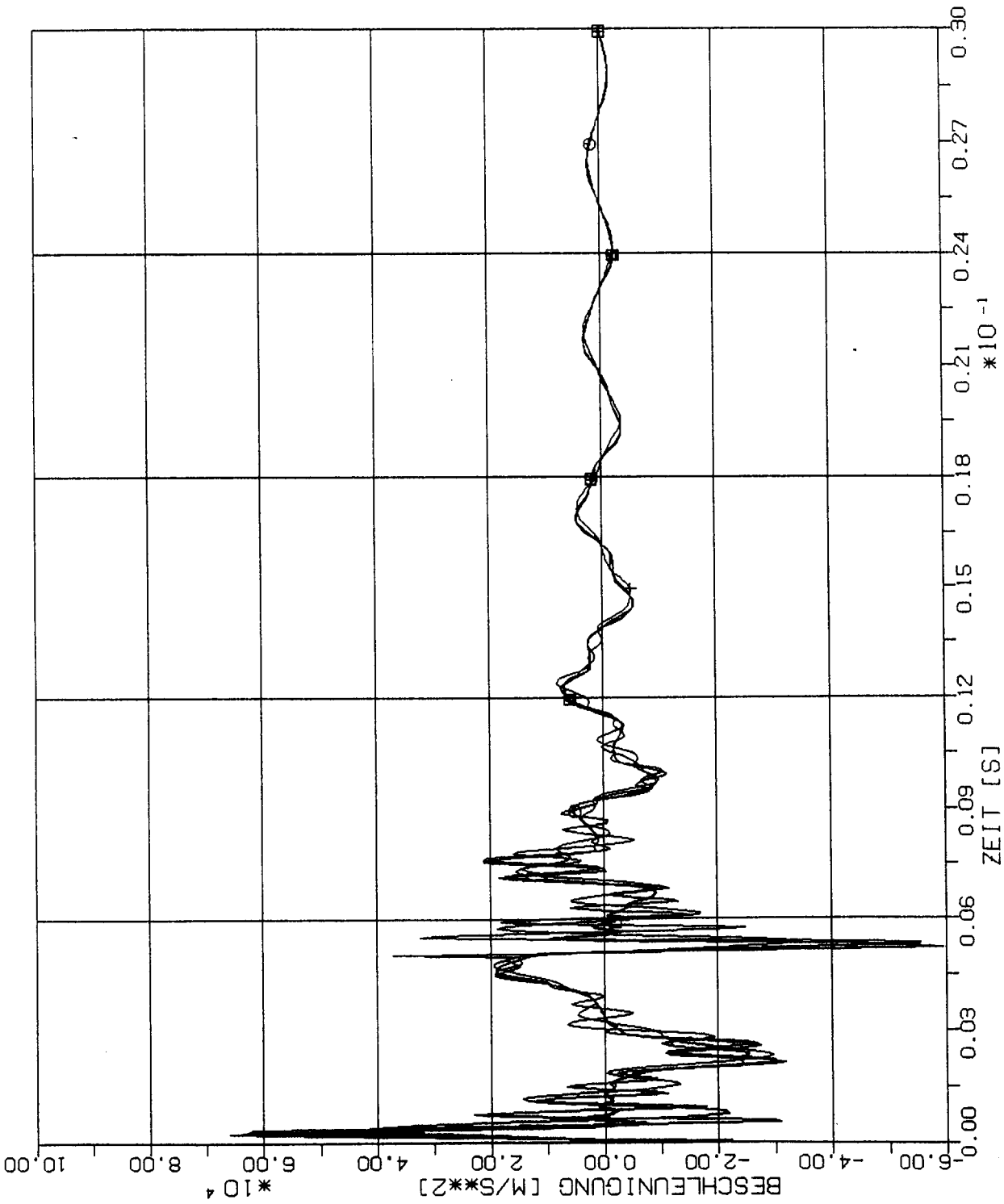
BALKENELEMENTE

□ 40 x S

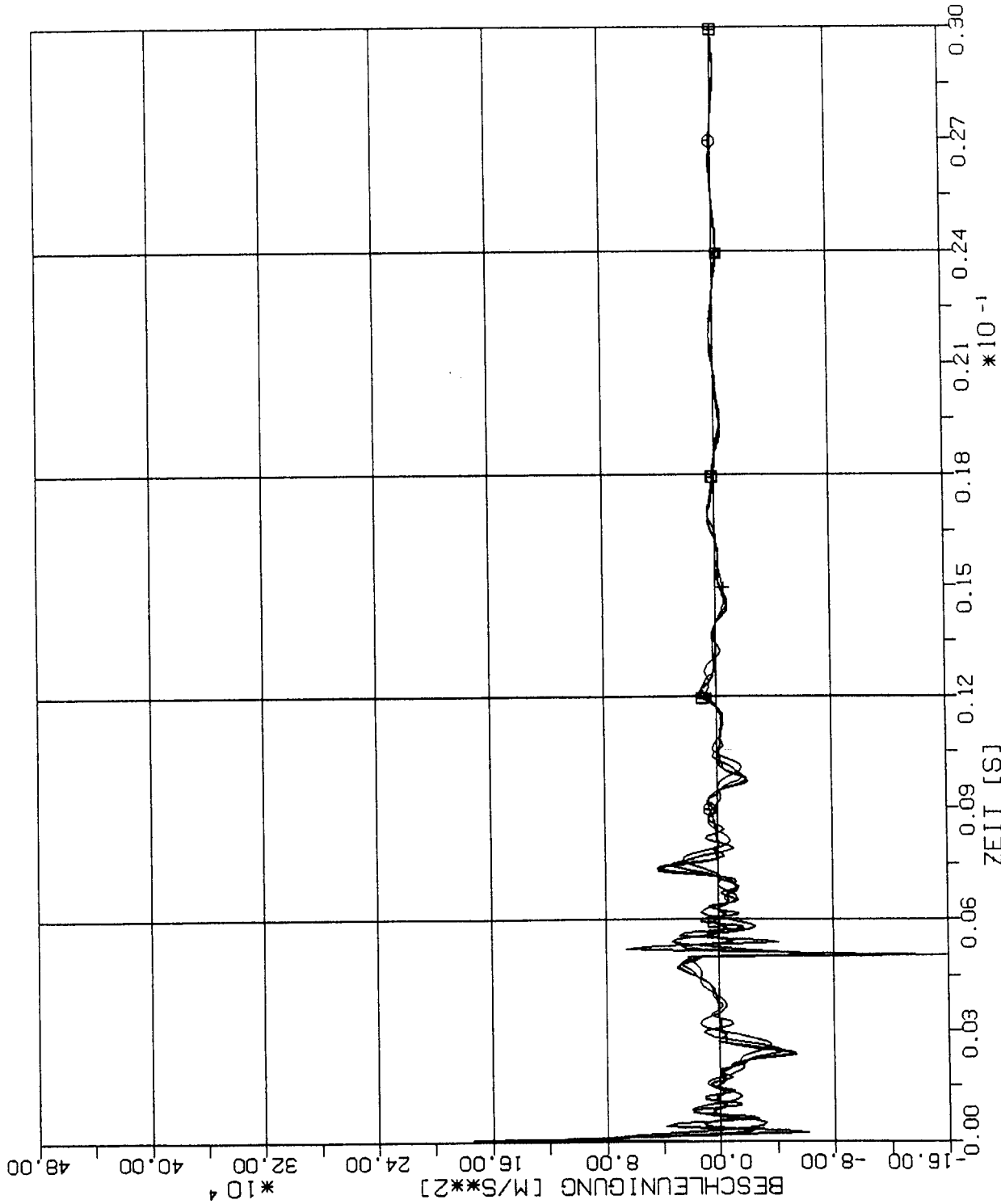
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

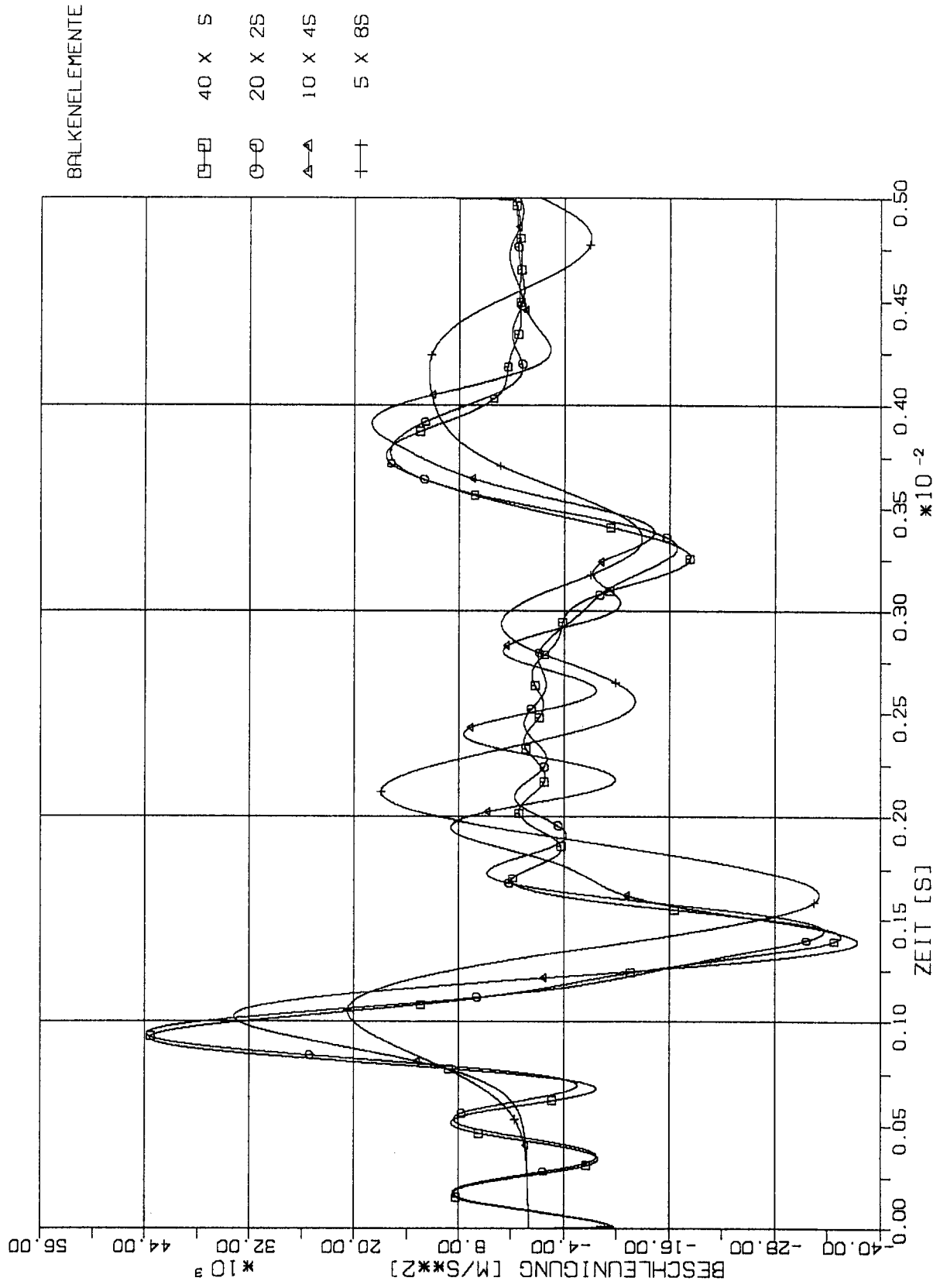
+ 5 x 8S



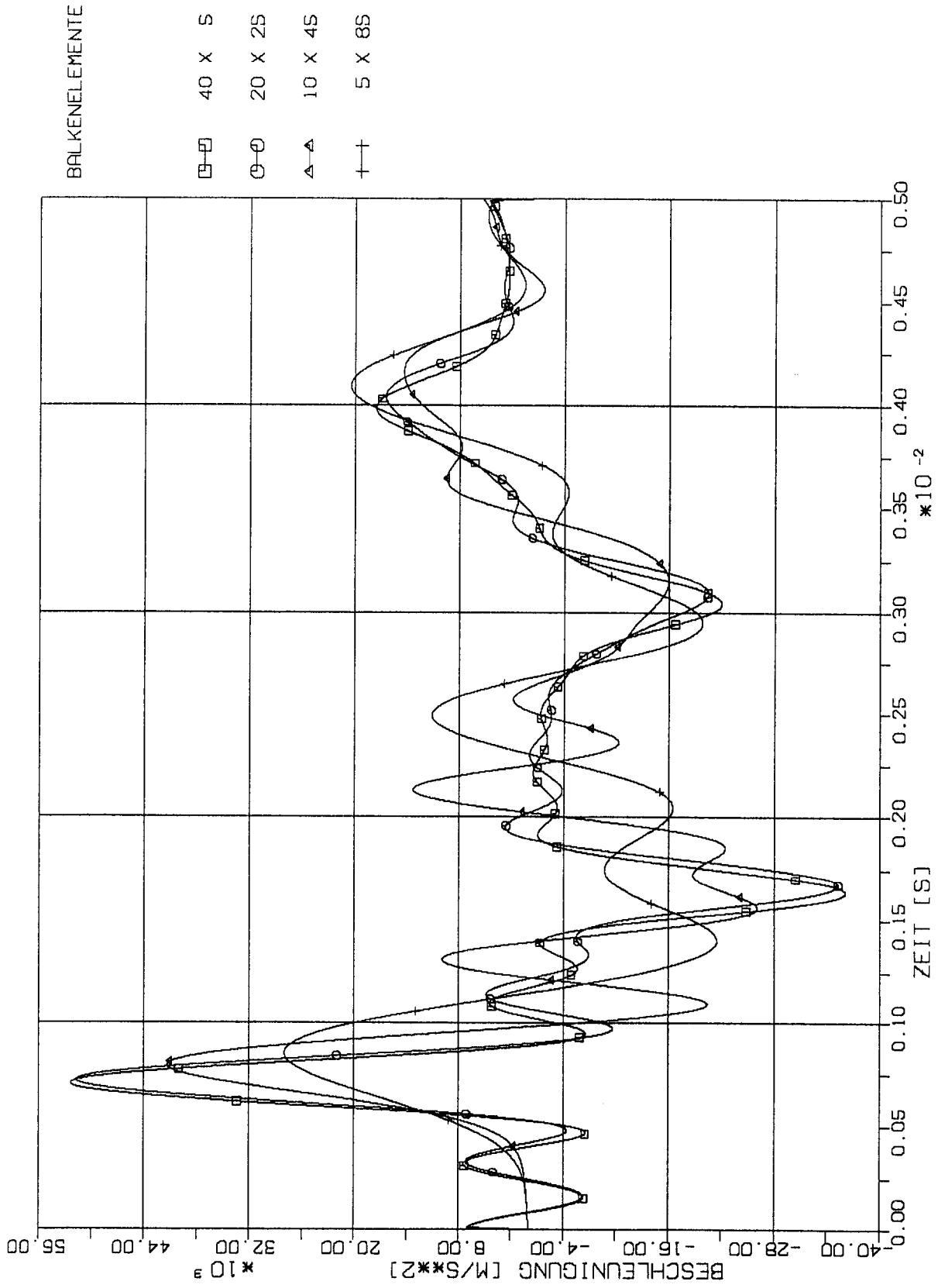
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



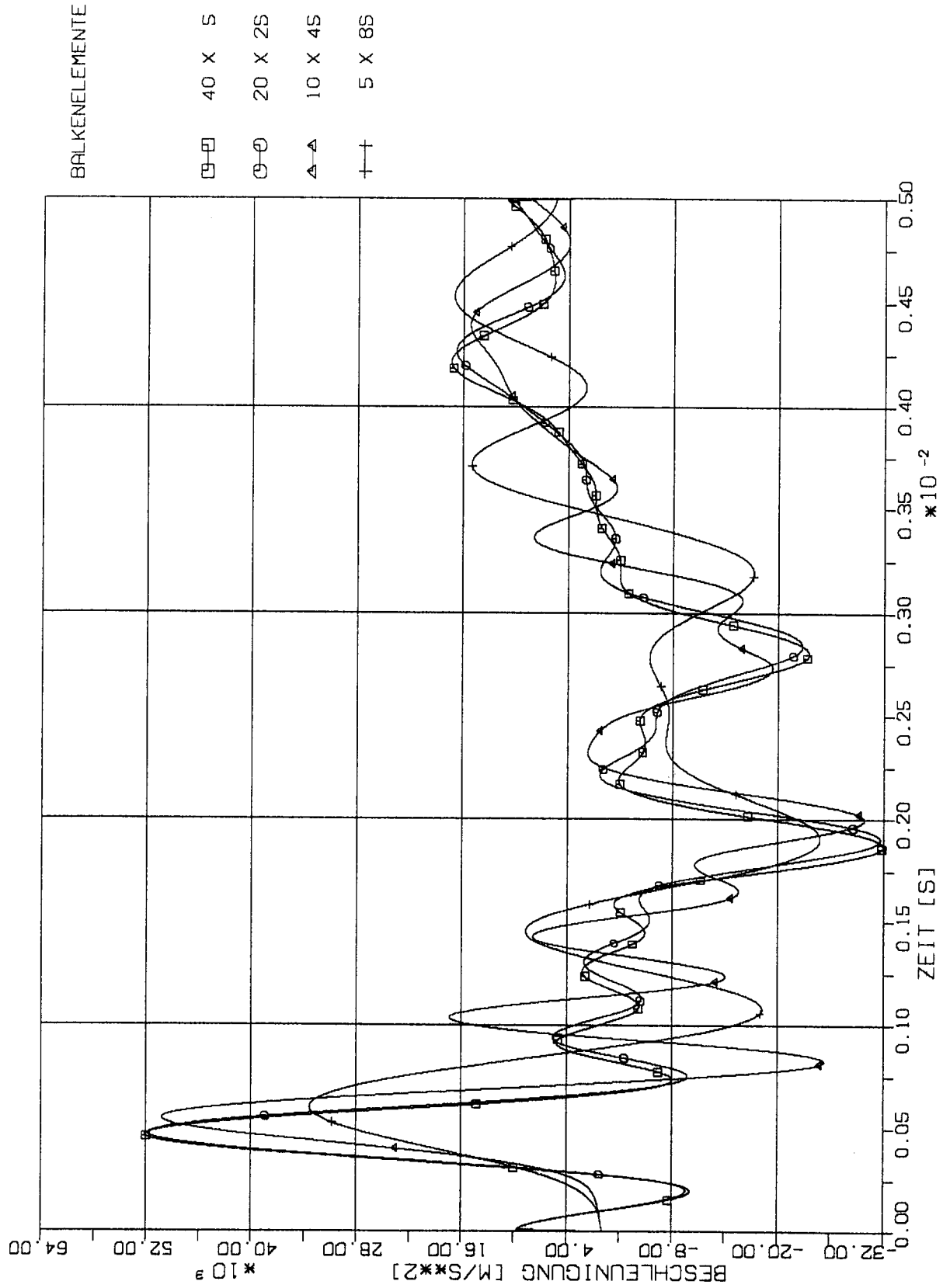
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1,0 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



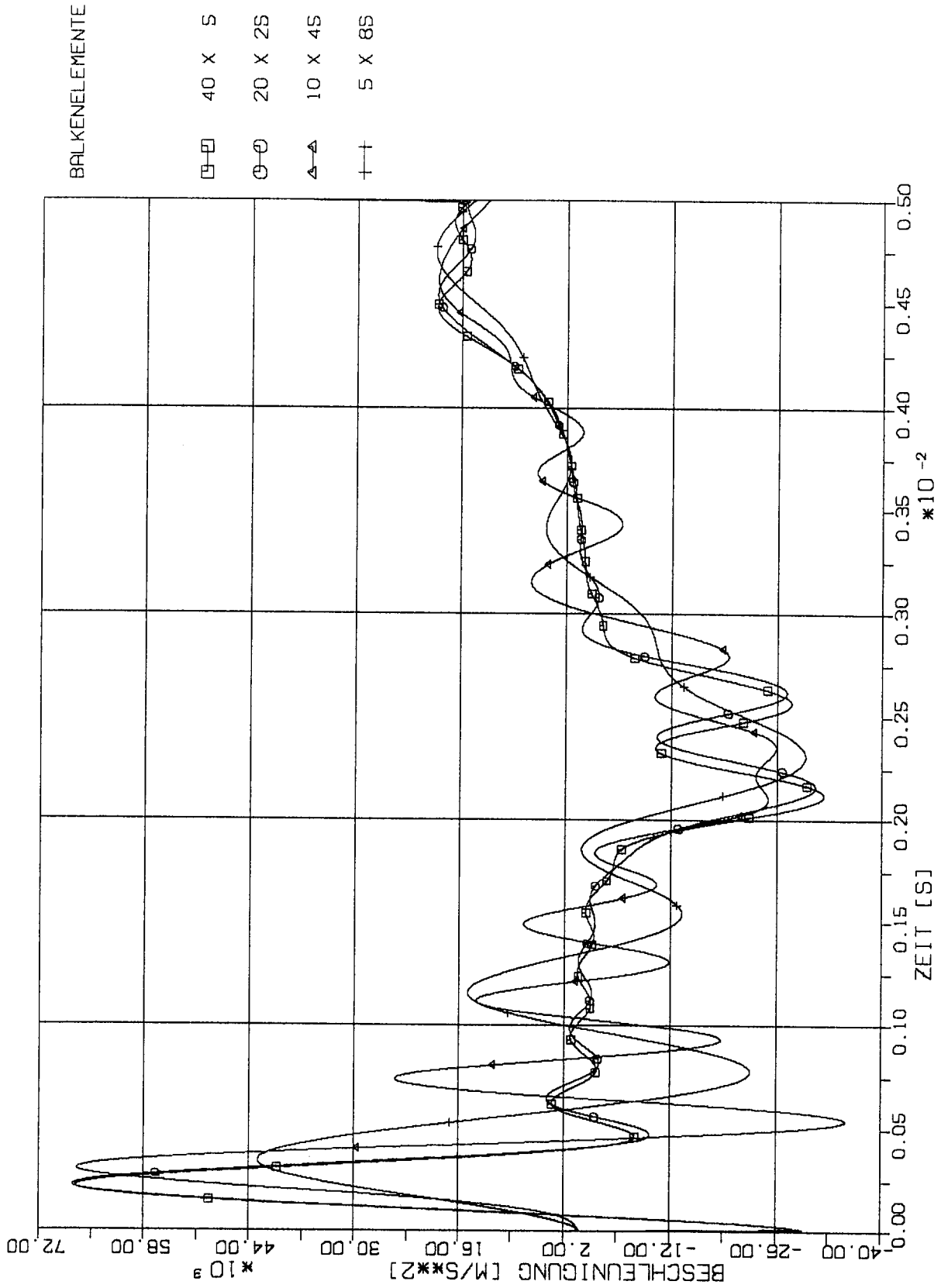
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



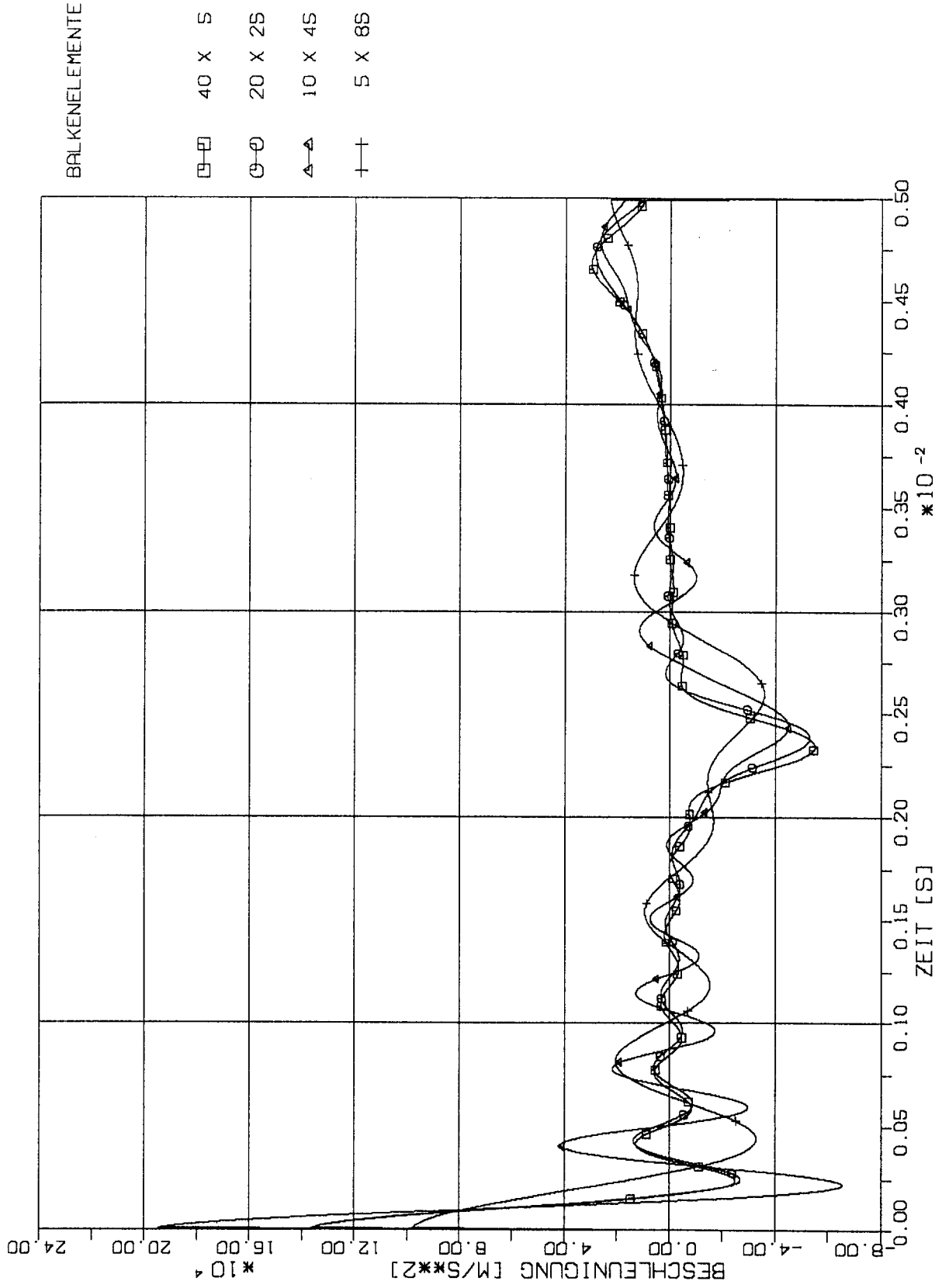
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0,4 L
 BALKELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)



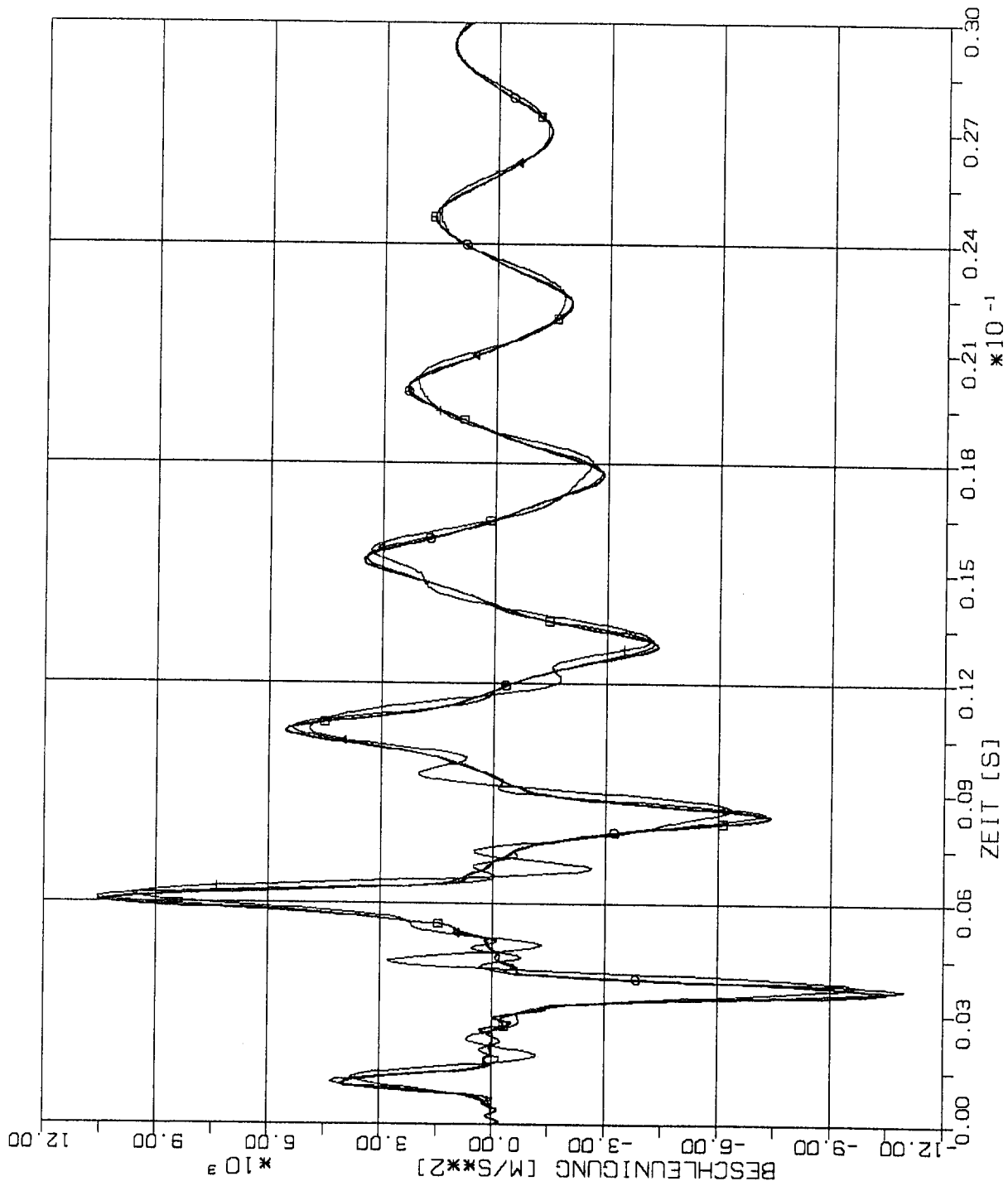
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1,0 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

4.3.2 Stoß-Lastfunktion ST2

(Siehe Fig.1-4)

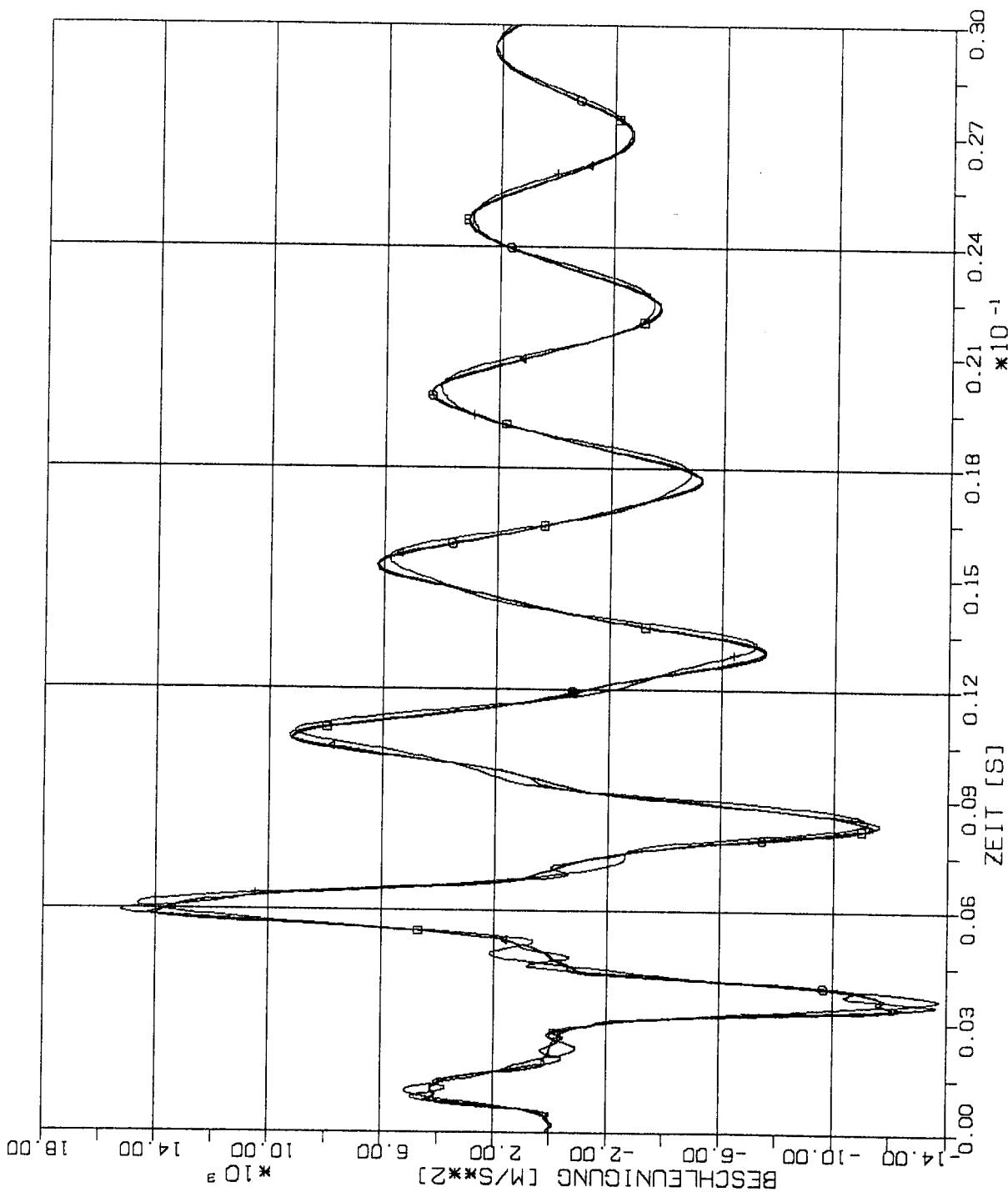


BALKENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

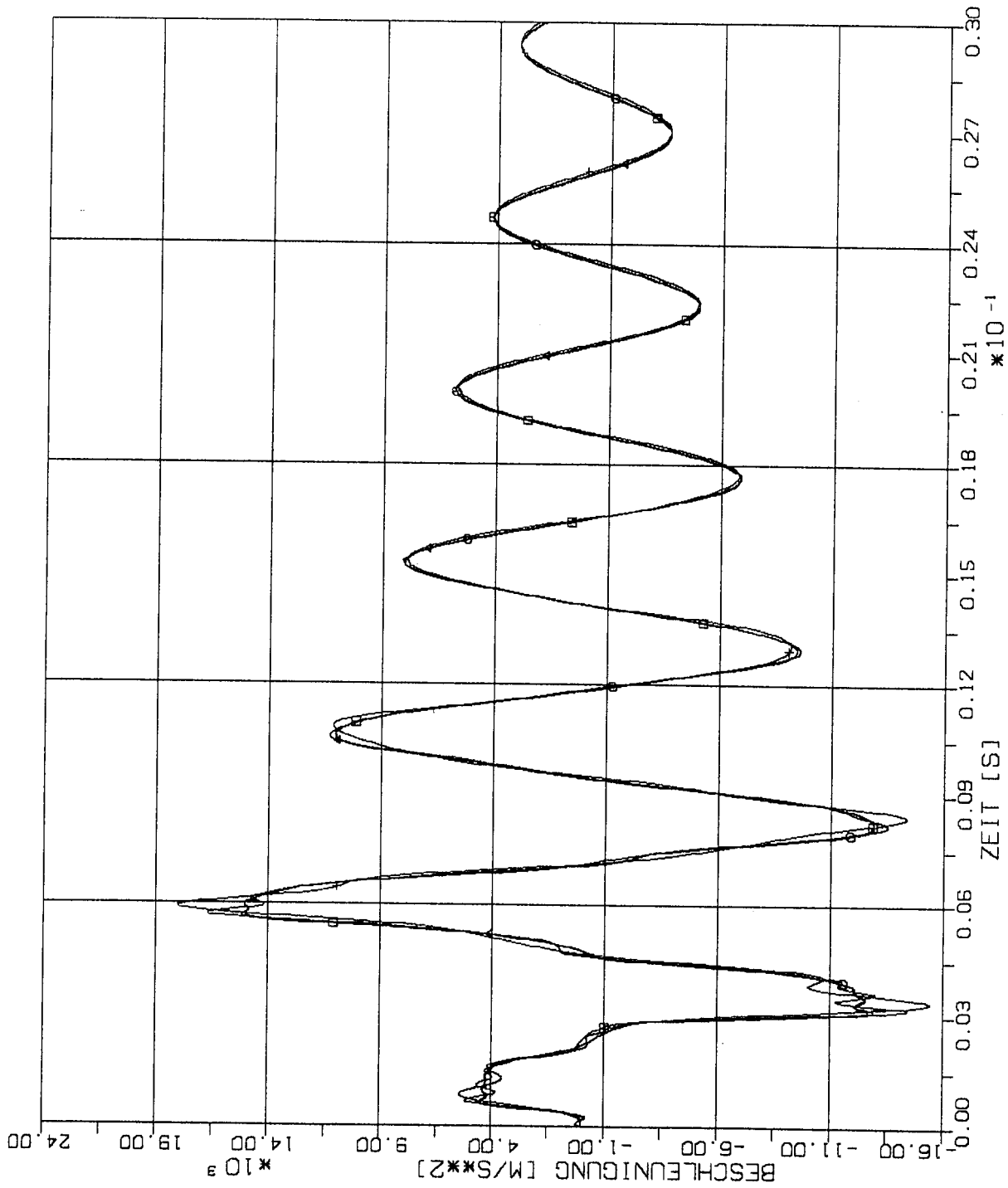
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

+ 5 x 8S



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGANG IM MODELLBALLEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

BALKENELEMENTE

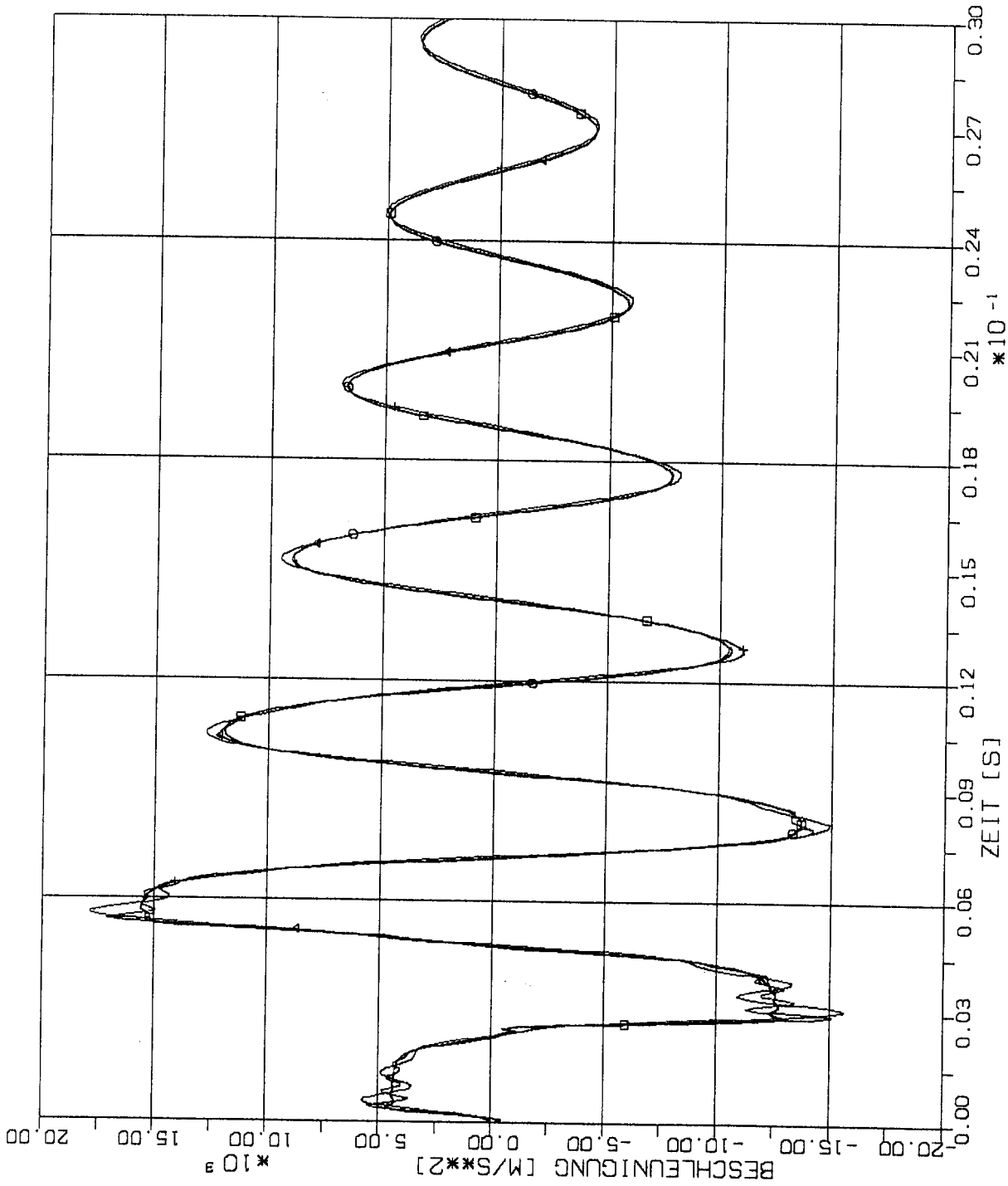
□ 40 x S

○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

+ 5 x 8S





BALKENELEMENTE

□ 40 x S

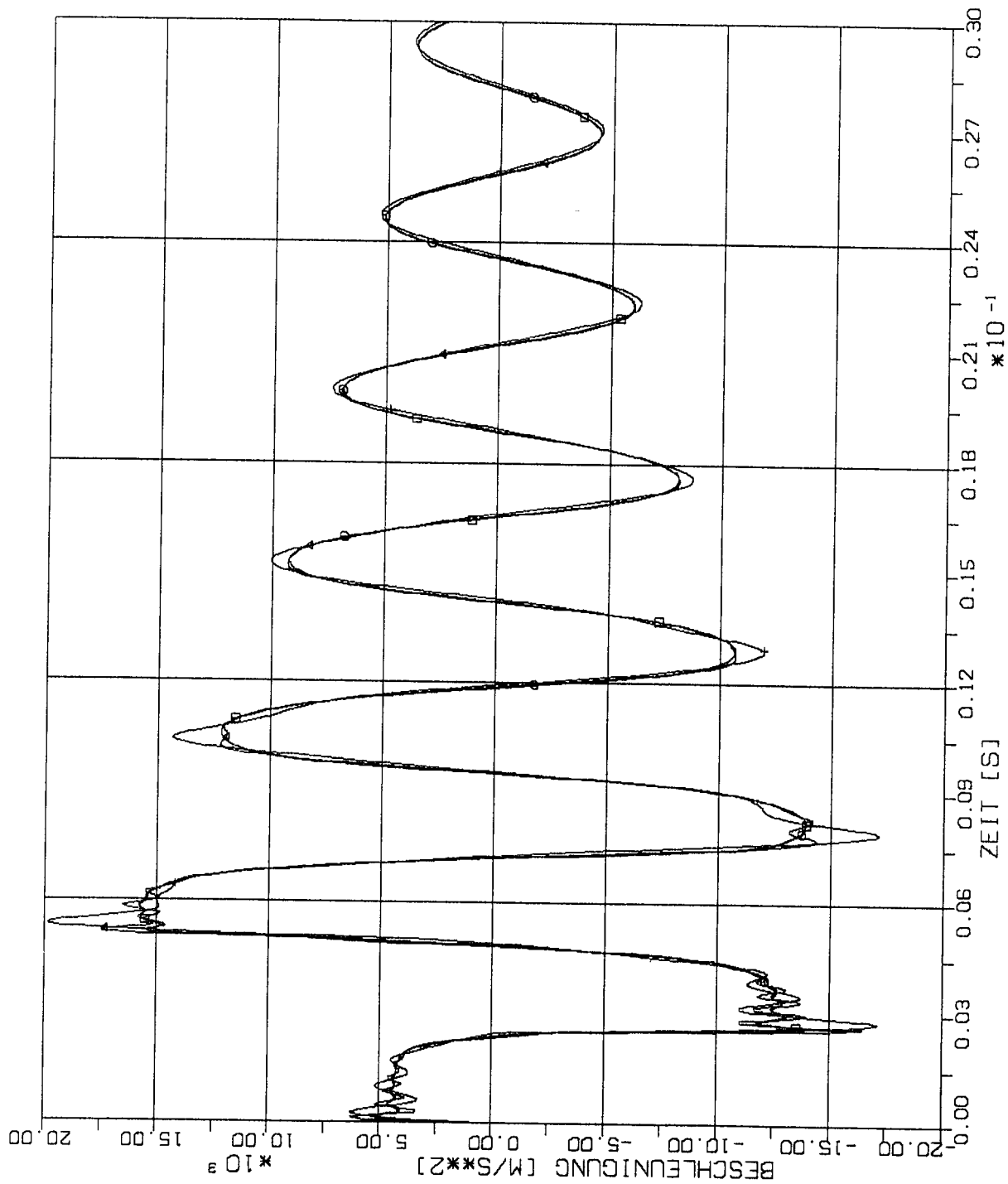
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

† 5 x 8S



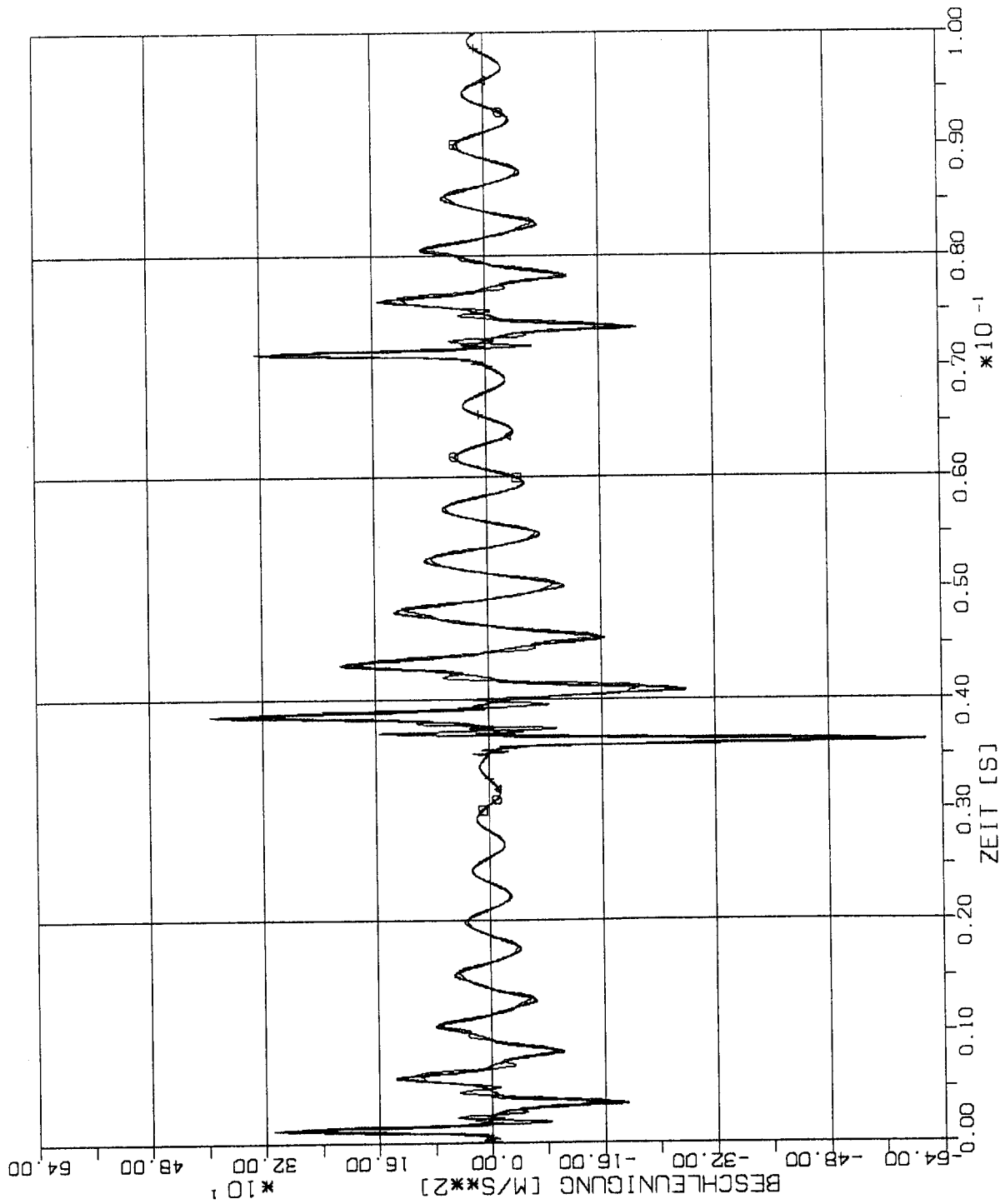
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



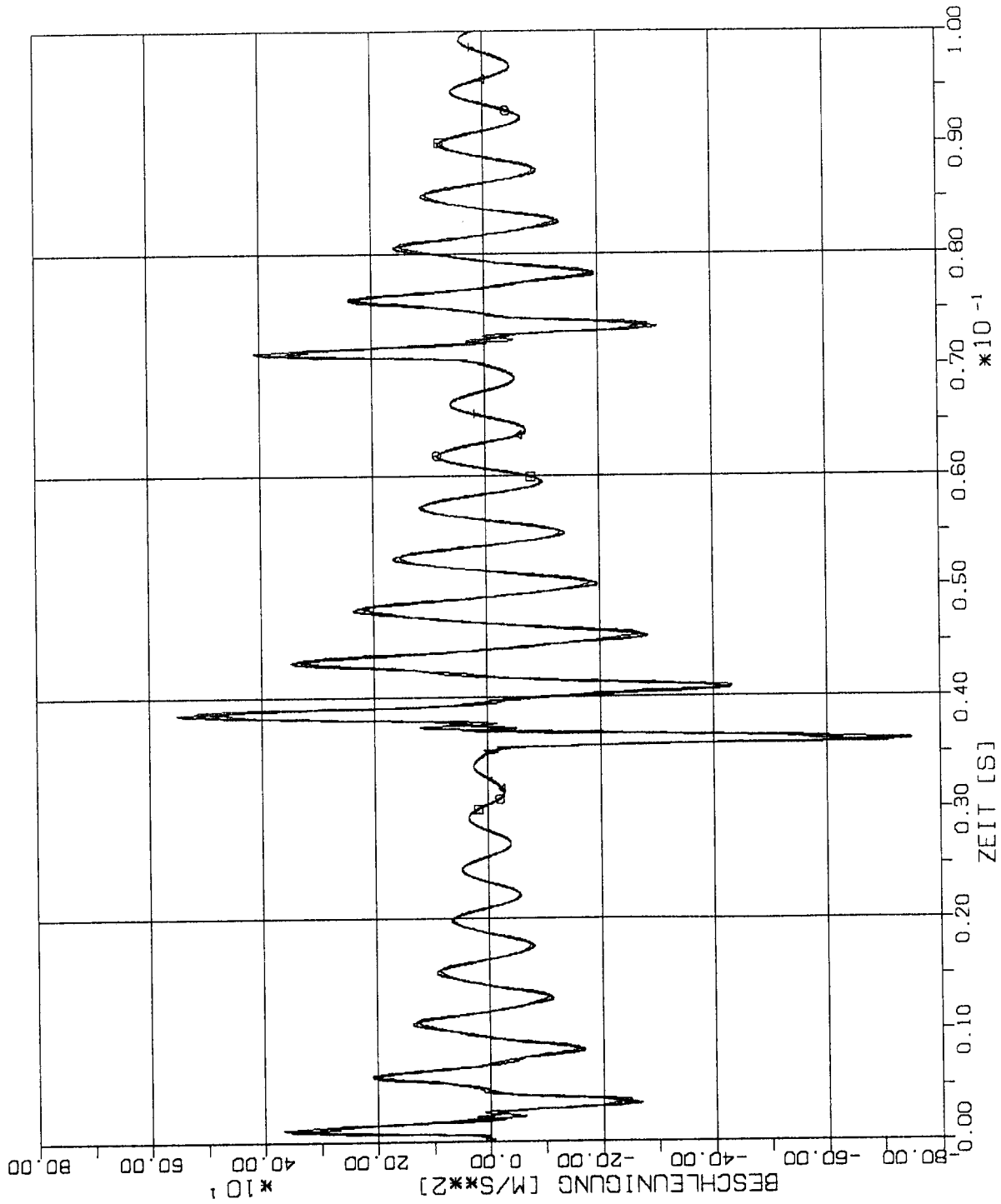
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBACHTUNGSPUNKT 1,0 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

4.3.3 Stoß-Lastfunktion ST3

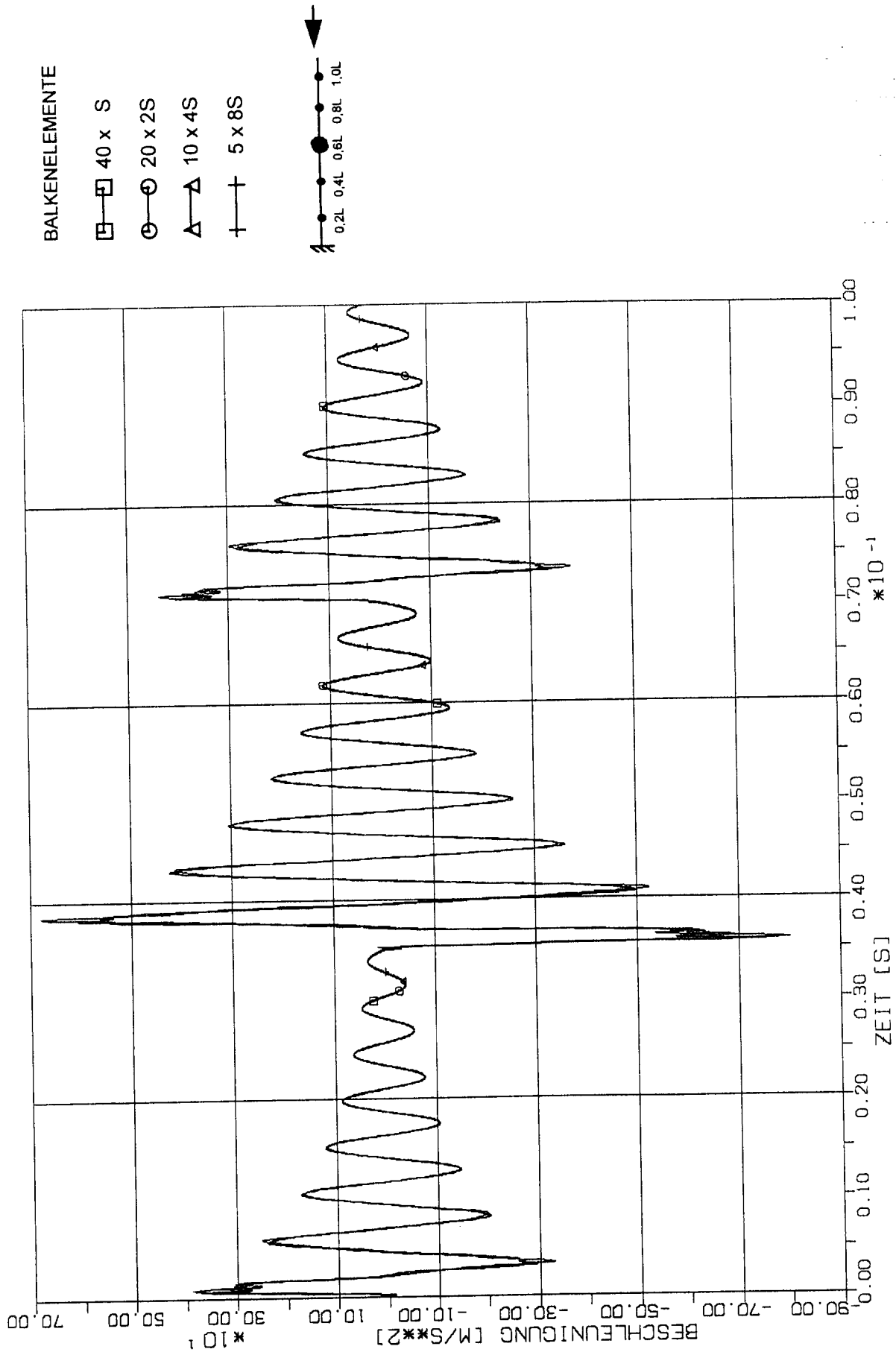
(Siehe Fig.1-4)



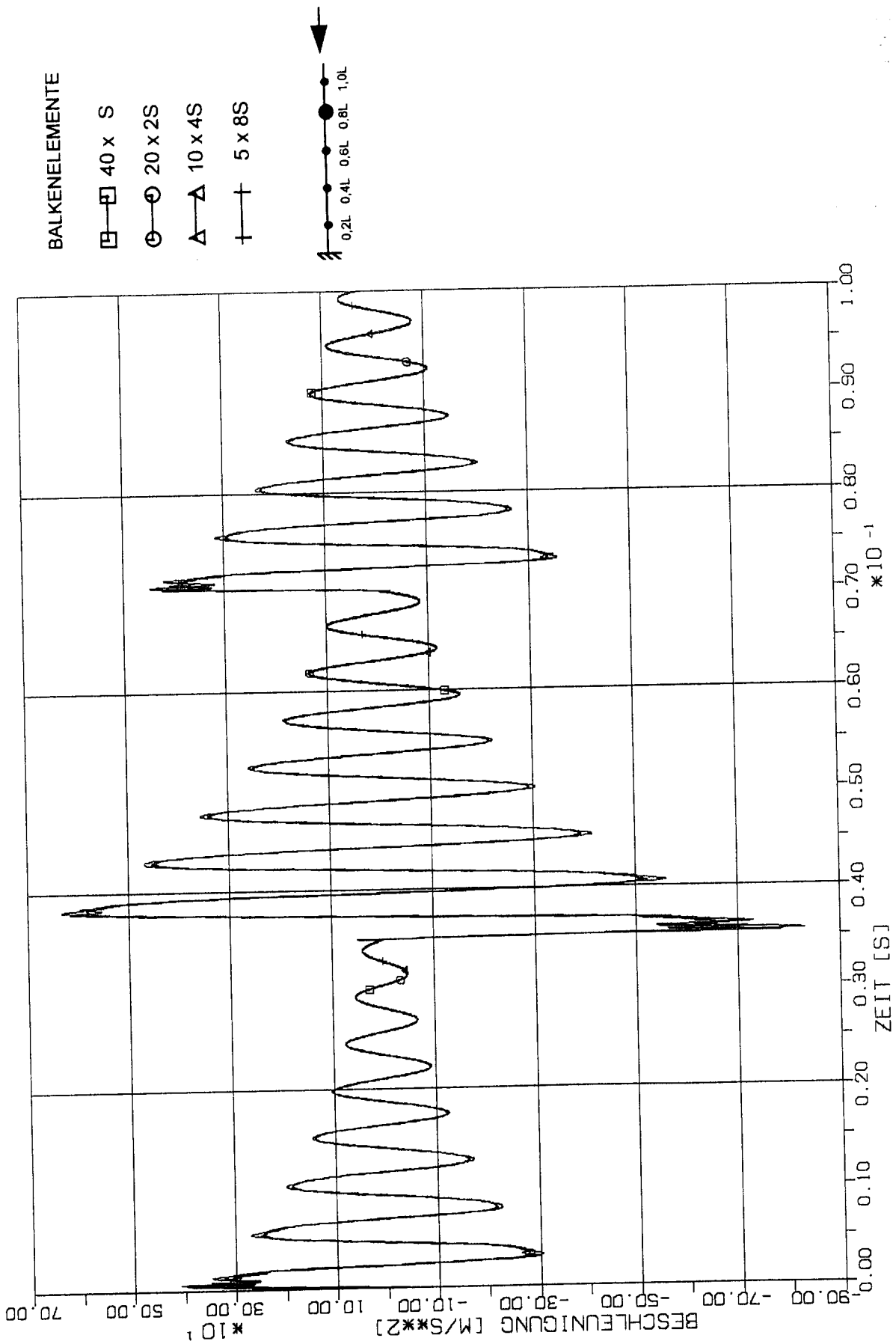
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE IM BEOBACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)



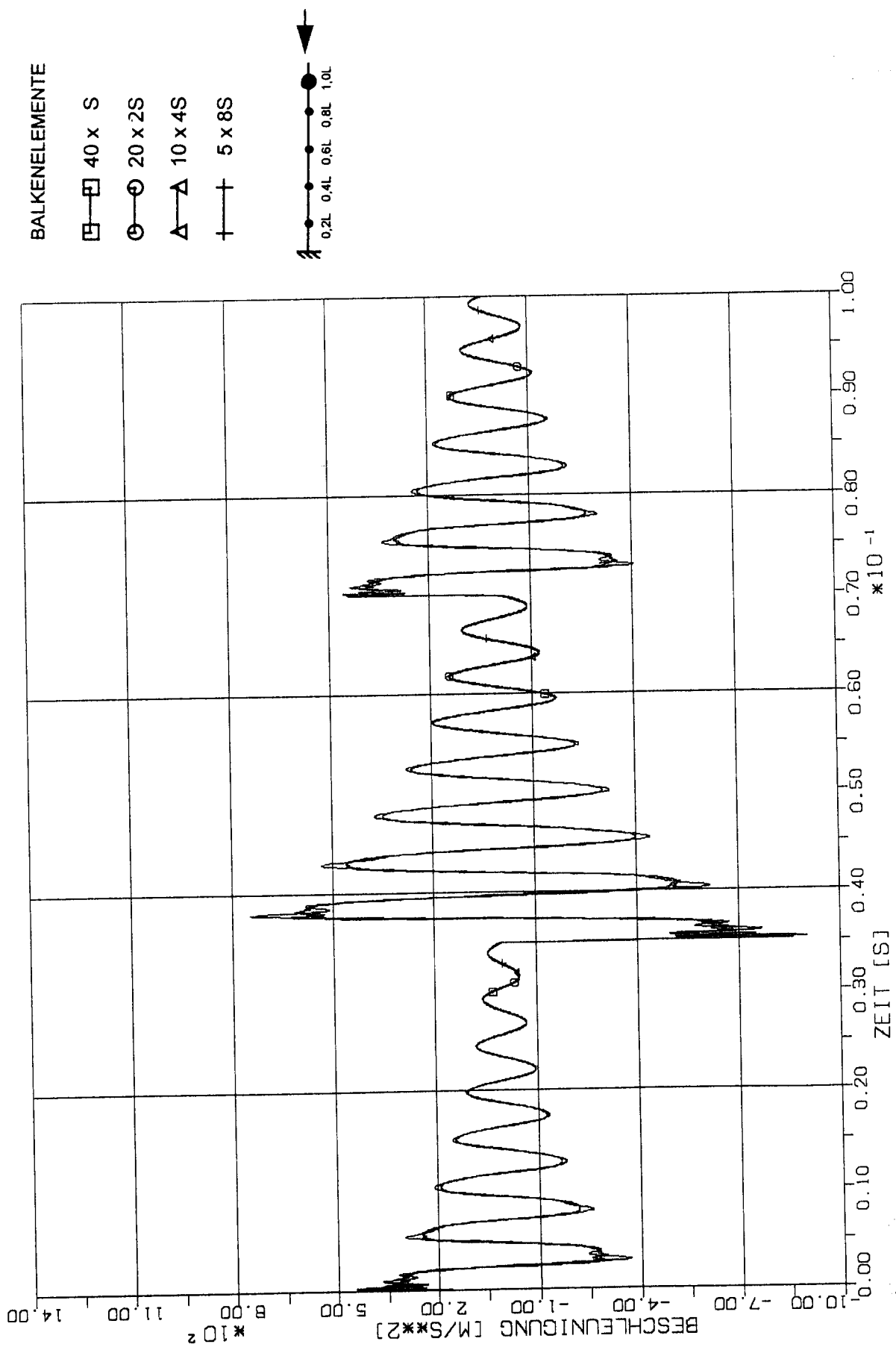
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFUE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 BALKENELEMENTE, STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEUF IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 BALKENELEMENTE. STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

Zwischenblatt

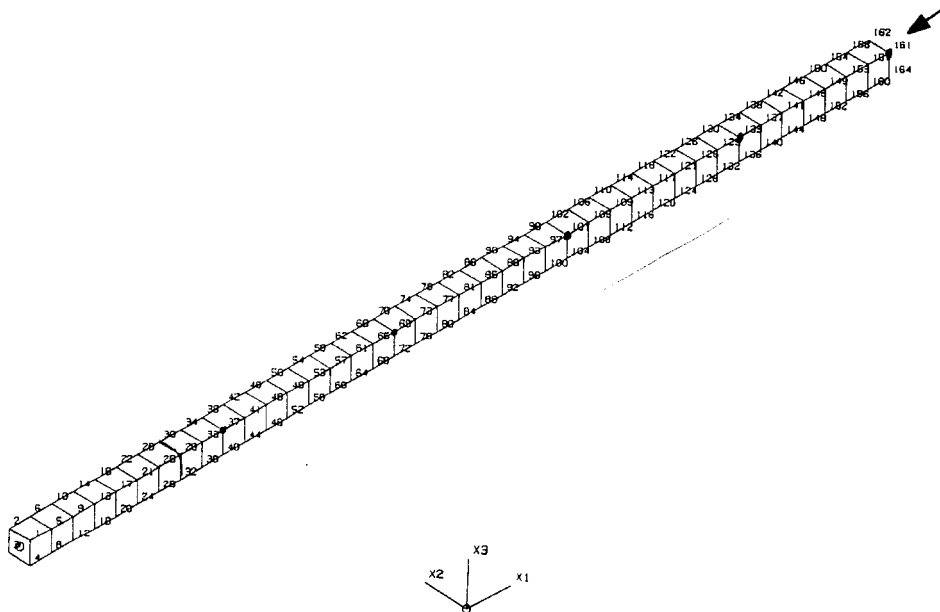
5

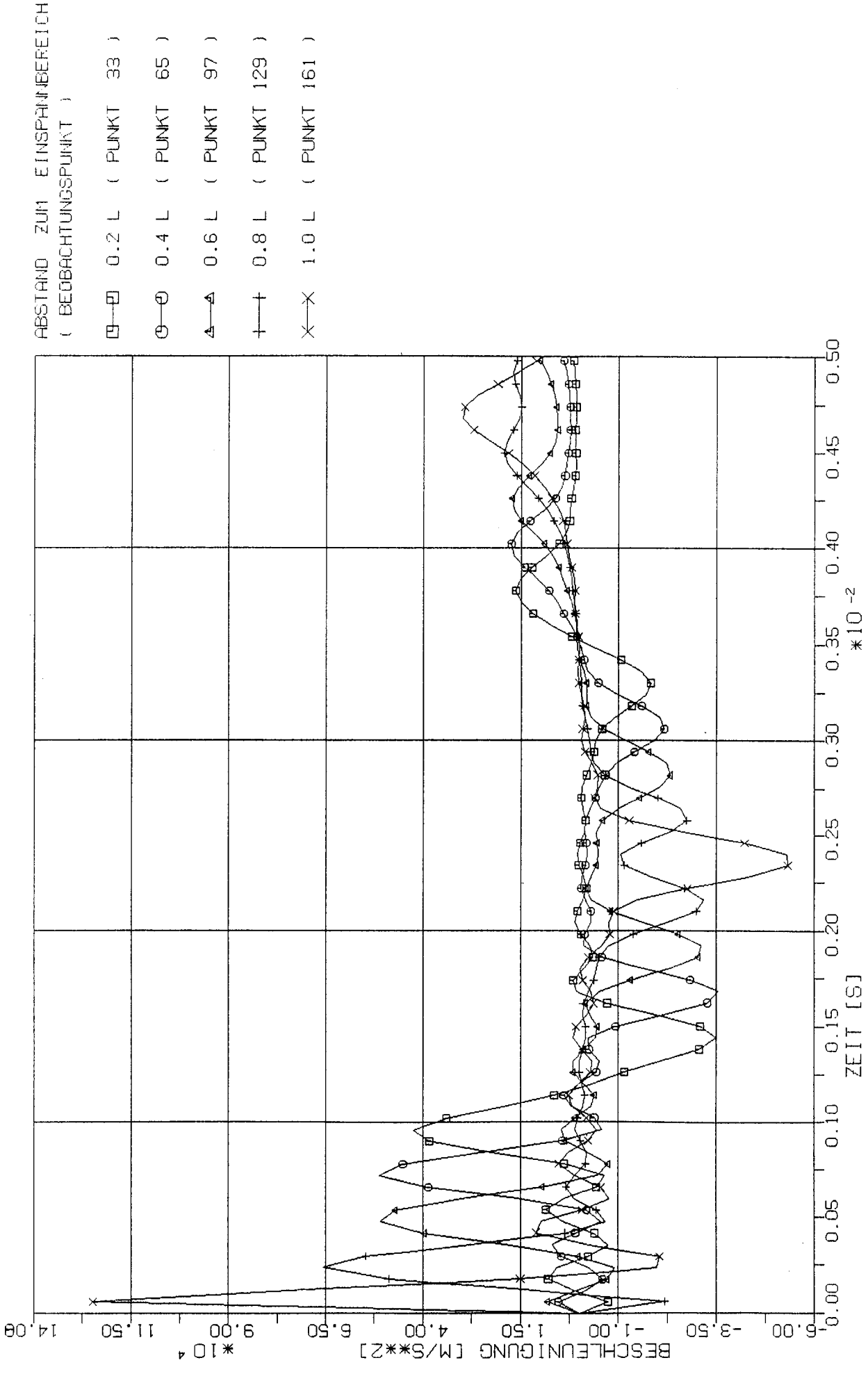
**Vergleich zeitpunktgleicher Beschleunigungen
in den charakteristischen Beobachtungspunkten des
Modellbalkens bei Anwendung verschiedener Elementarten,
Diskretisierungsgrade und Stoß-Lastfunktionen
(Strukturantworten in Axialrichtung)**

5.1 Volumenelemente-Modell

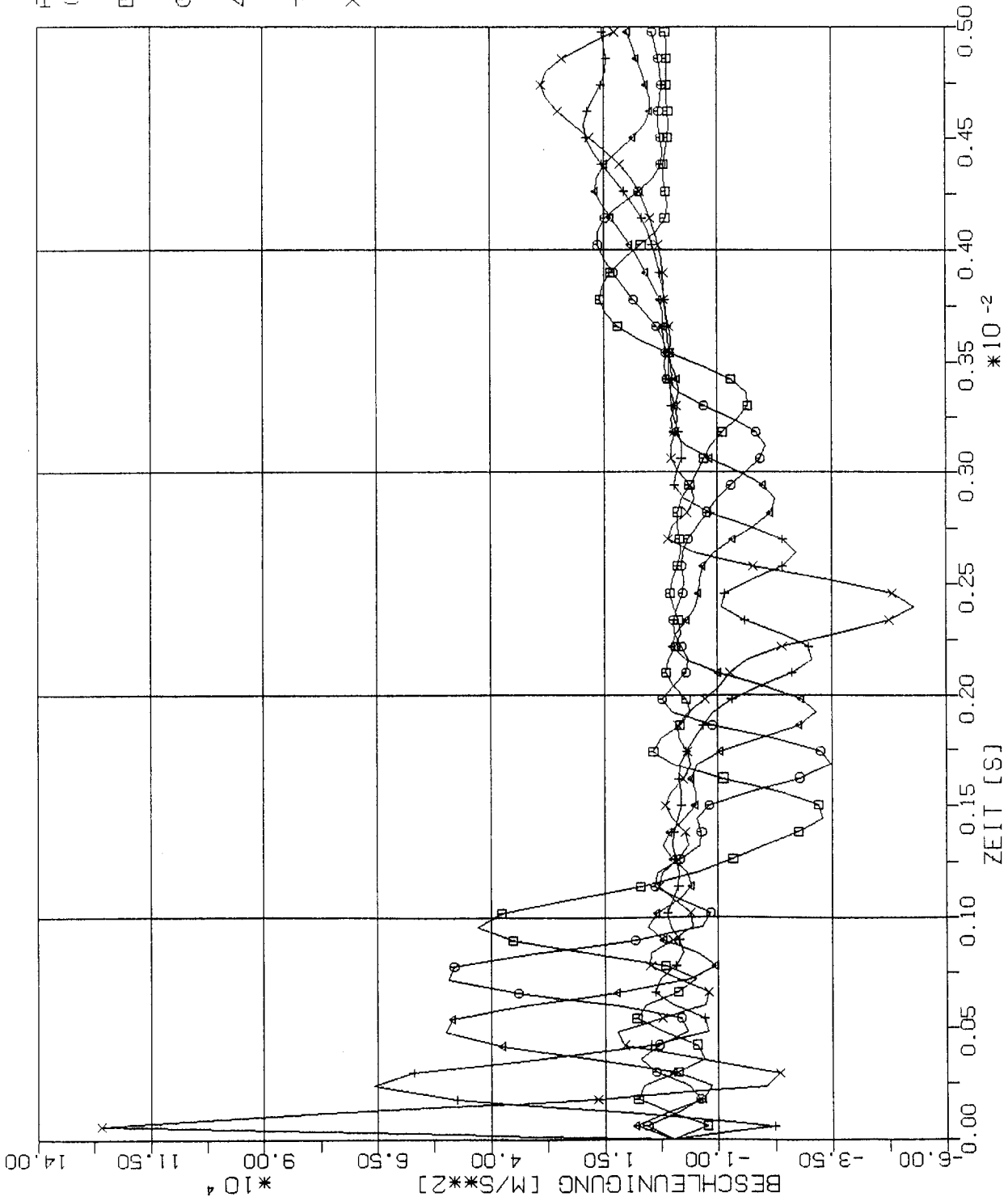
5.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)

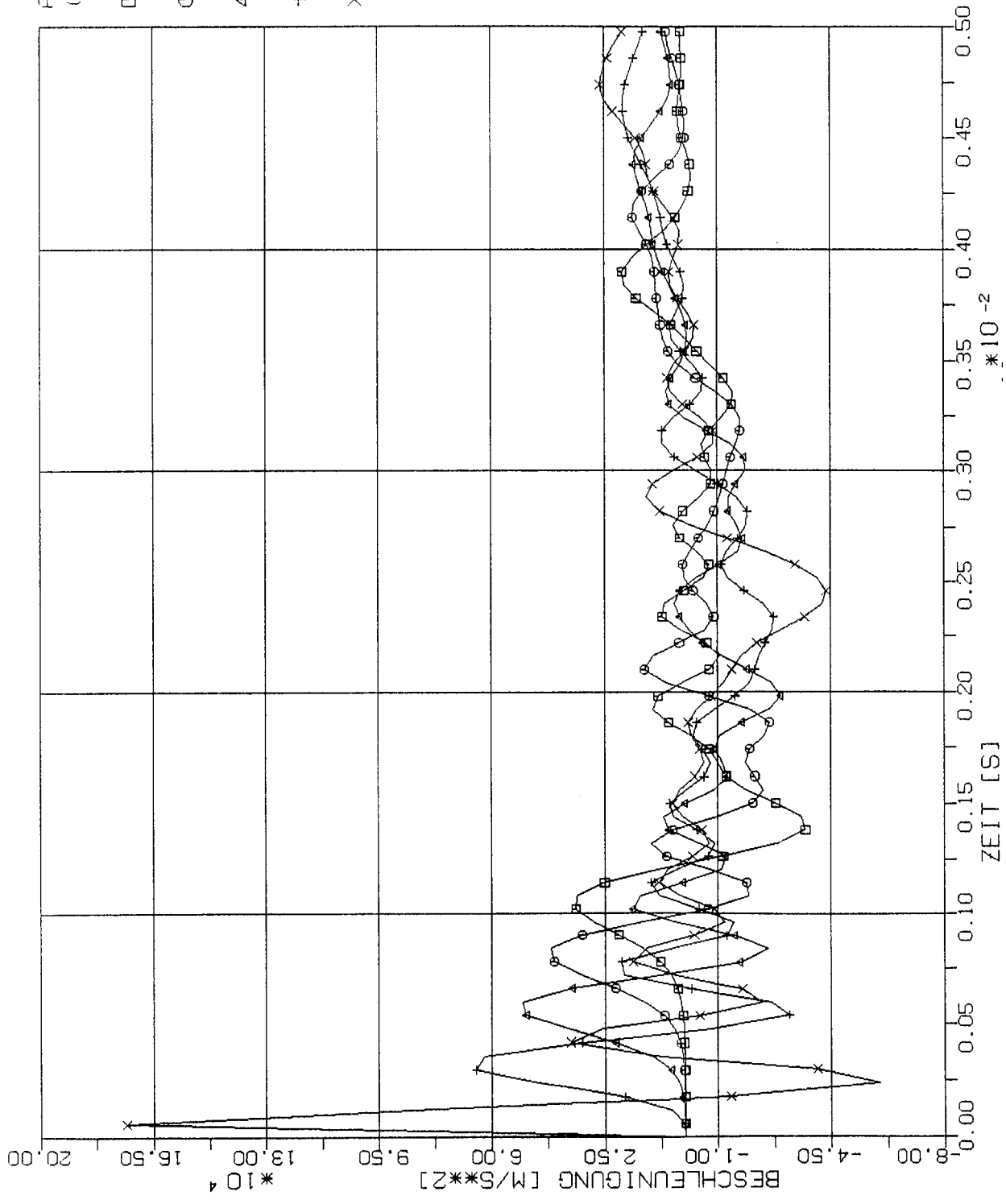




STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
VOLUMENELEMENTE 40 X 5 STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG(X1)



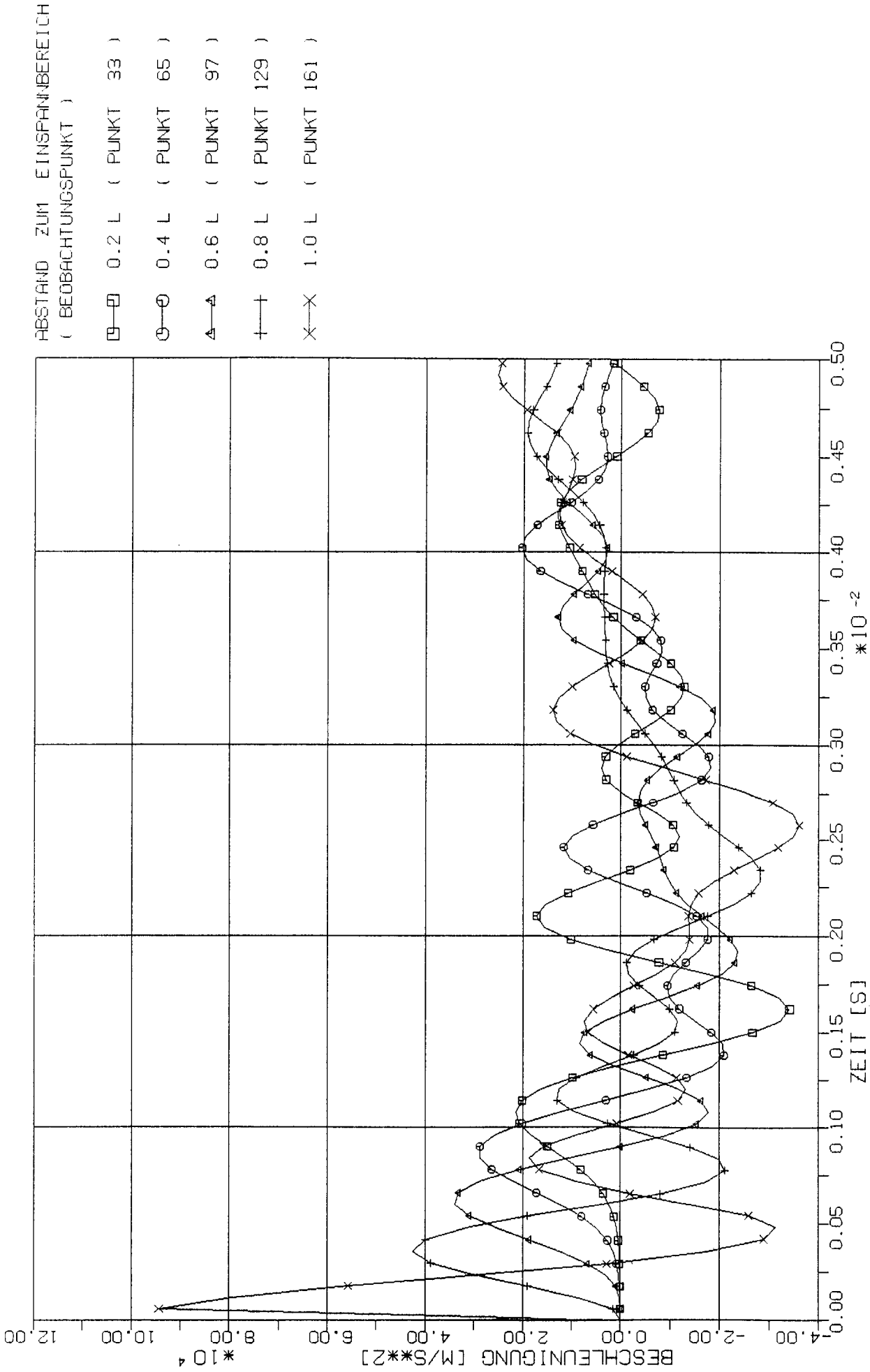
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 VOLUMENELEMENTE 20 X 2S STOSSBEL. ST1 IN LAENGRICHTUNG(X1)



ABSTAND ZUM EINSPIELBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 33)
- 0.4 L (PUNKT 65)
- △ 0.6 L (PUNKT 97)
- † 0.8 L (PUNKT 129)
- × 1.0 L (PUNKT 161)

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
VOLUMENELEMENTE 10 X 4S STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG(X1)

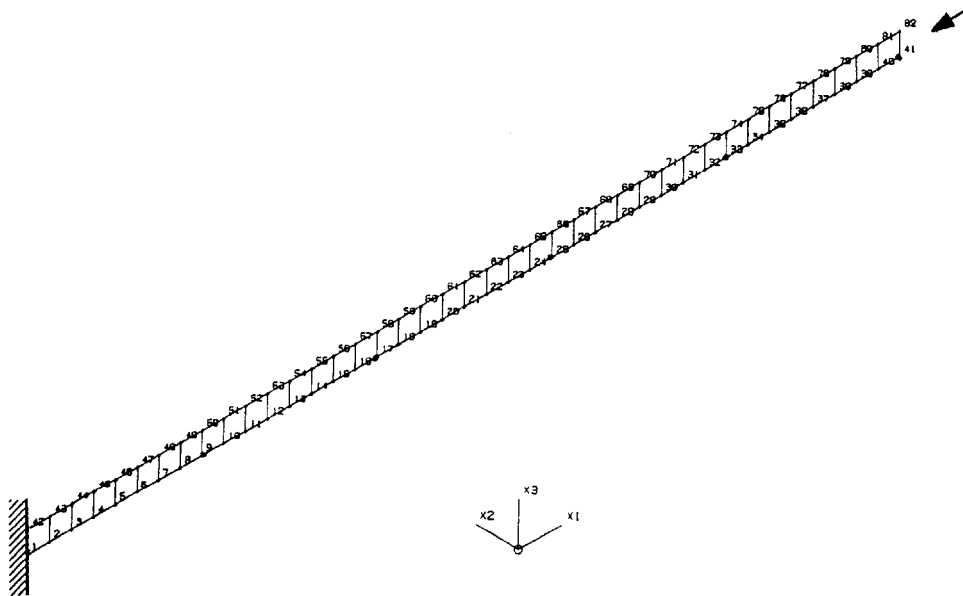


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBACHTUNGSPUNKTEN N
VOLUMELEMENTE 5 X 8S STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG(X1)

5.2 Plattenelemente-Modell

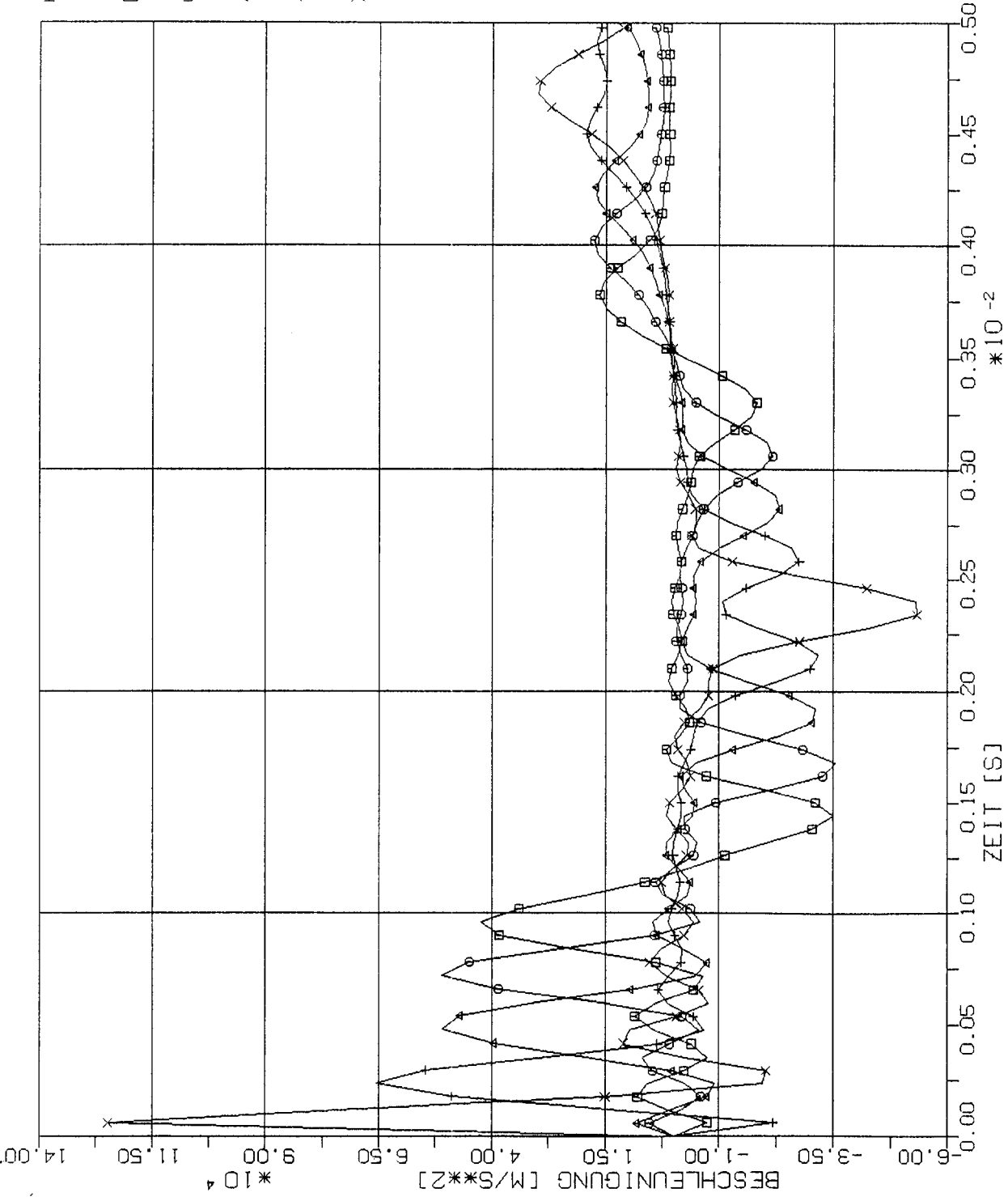
5.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)

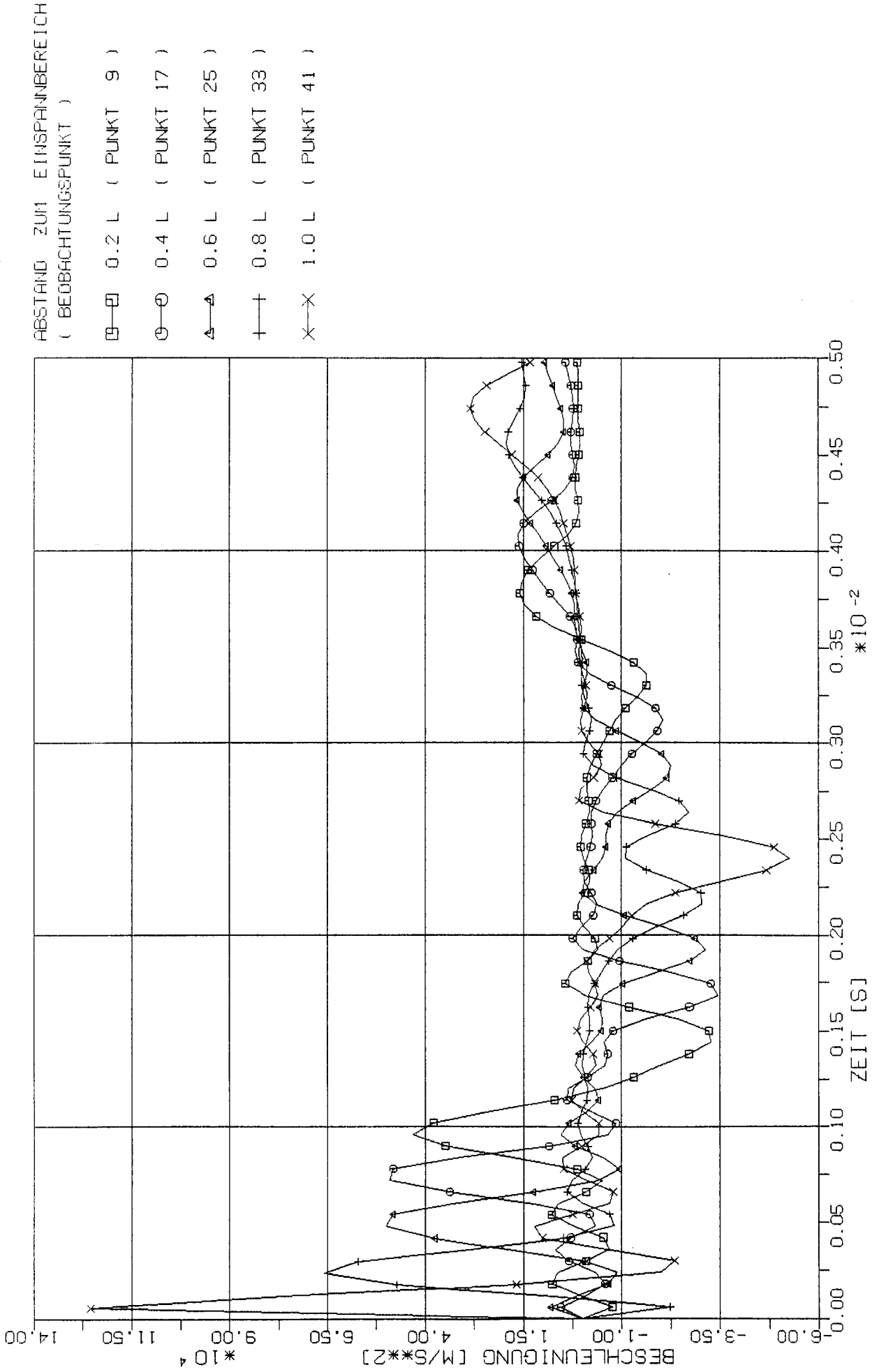


ABSTAND ZUM EINSFÄHBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- + 0.8 L (PUNKT 33)
- × 1.0 L (PUNKT 41)



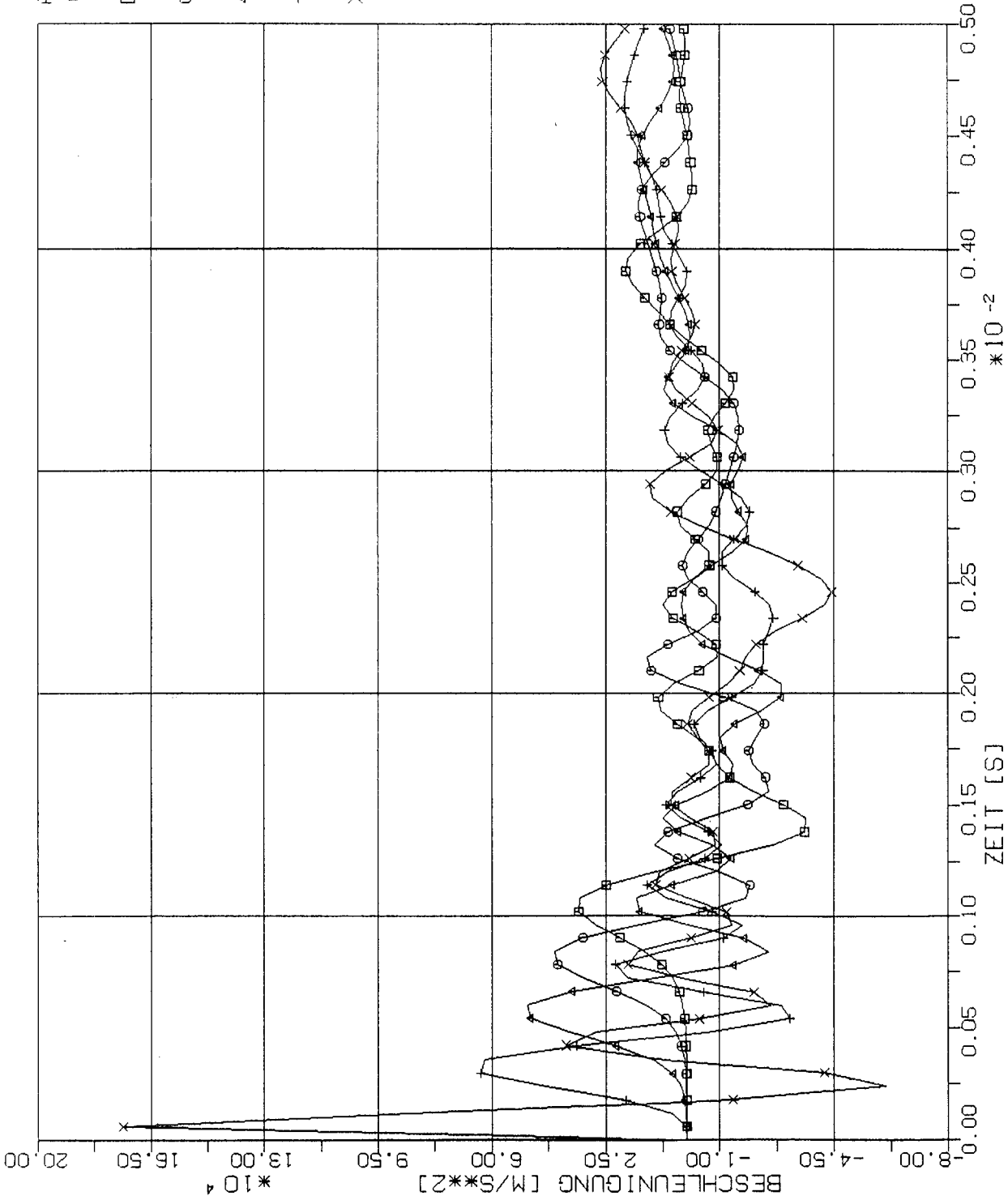
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
PLATTENELEMENTE 40 X 5 STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG(X1)



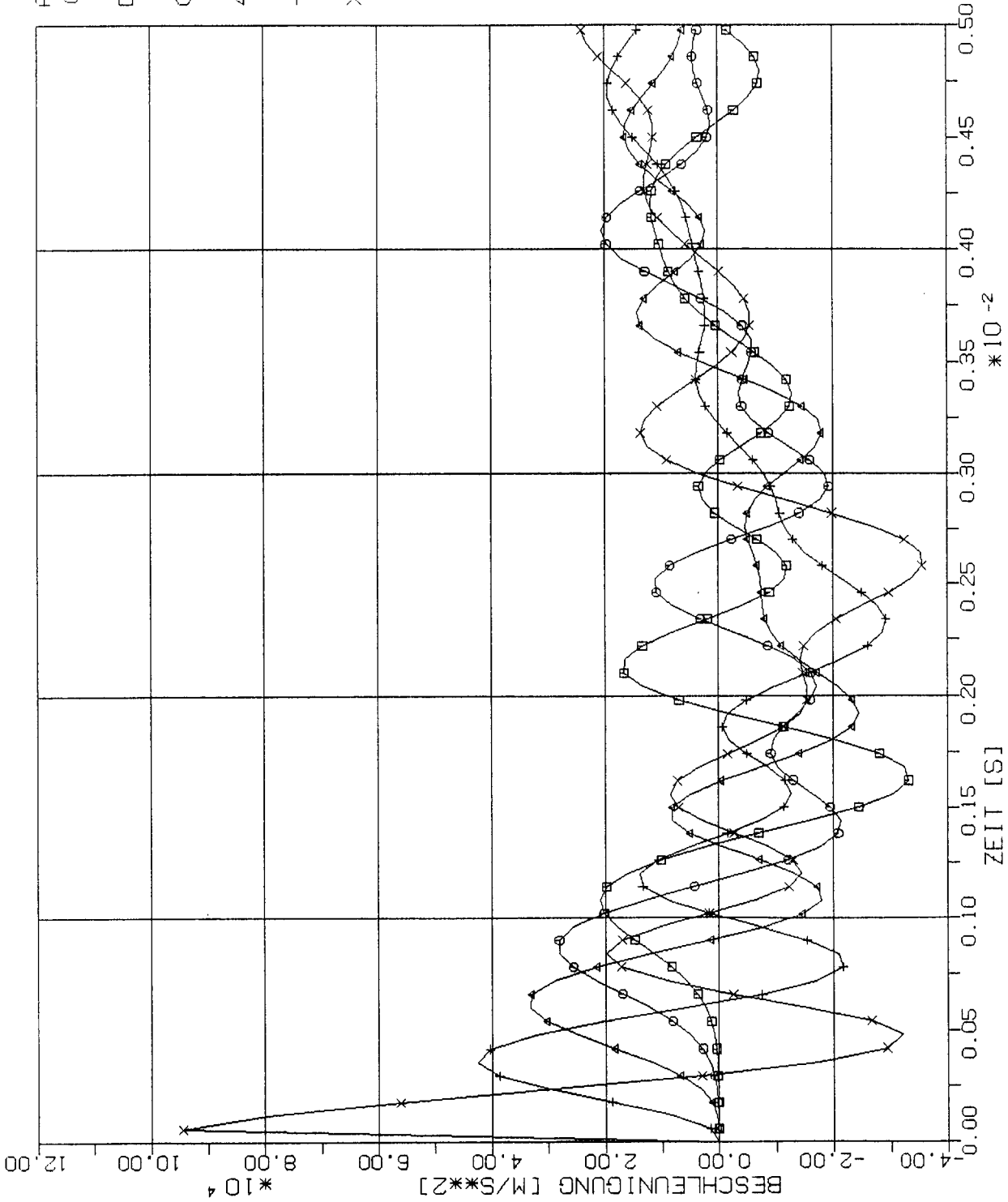
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
PLATTENELEMENTE 20 X 25 STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG(X1)

ABSTAND ZUM EINSPIENBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △—△ 0.6 L (PUNKT 25)
- +—+ 0.8 L (PUNKT 33)
- ×—× 1.0 L (PUNKT 41)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
PLATTENELEMENTE 10 X 4S STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG(X1)



ABSTAND ZUM EINSPIÄNBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

□ 0.2 L (PUNKT 9)

○ 0.4 L (PUNKT 17)

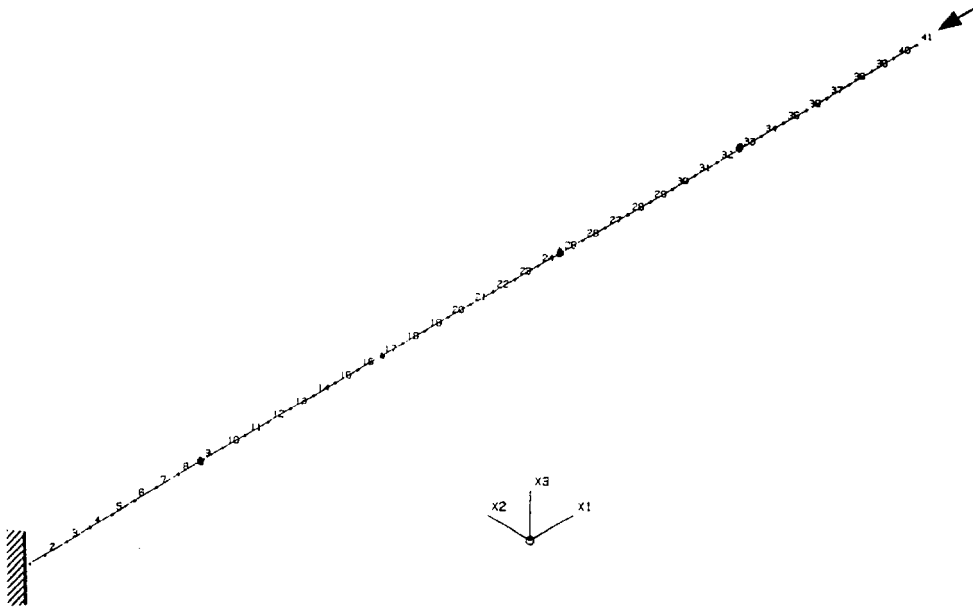
△ 0.6 L (PUNKT 25)

+ 0.8 L (PUNKT 33)

× 1.0 L (PUNKT 41)

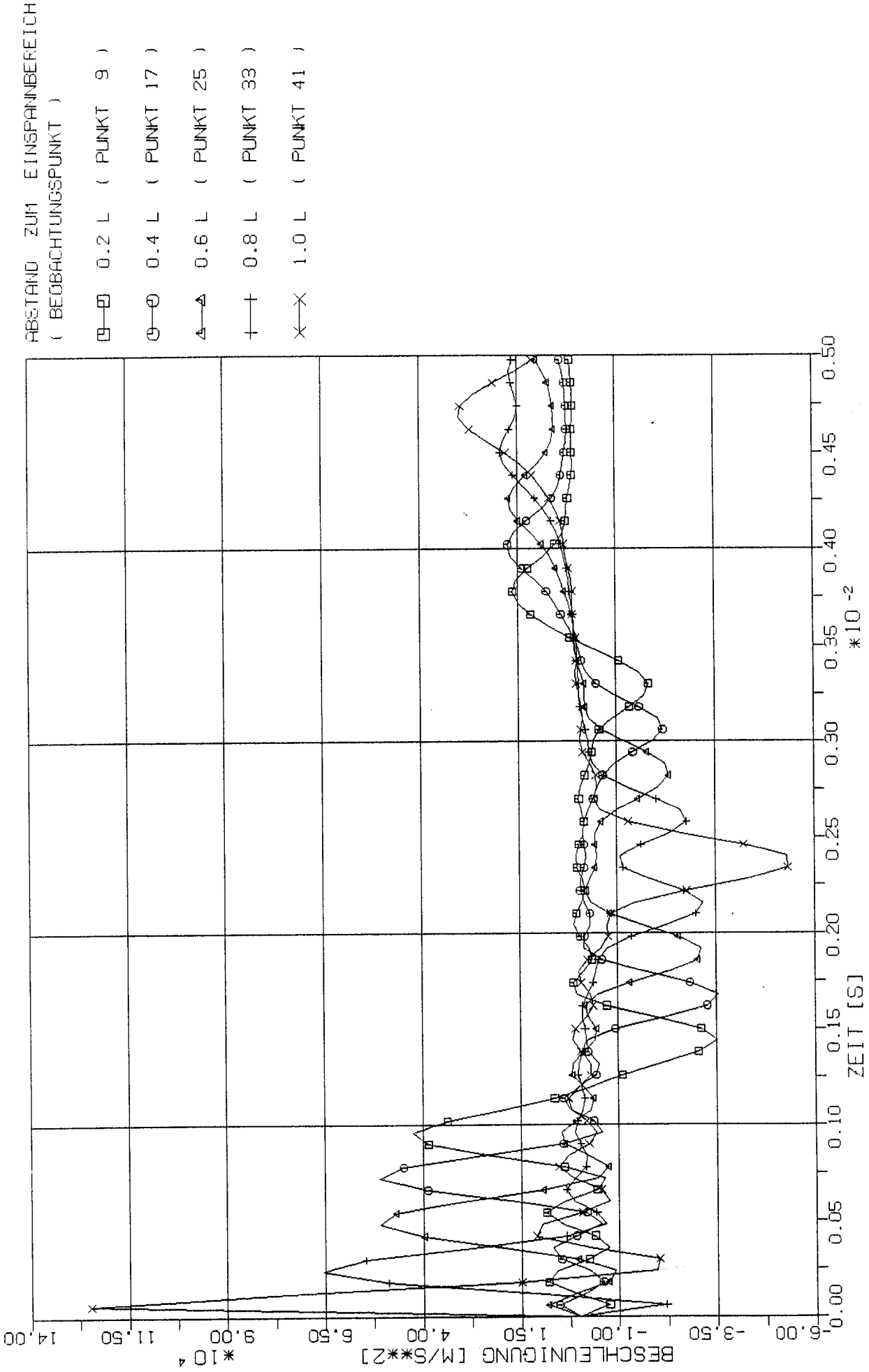
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
PLATTENELEMENTE 5 X 8S STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG(X1)

5.3 Balkenelement-Modell

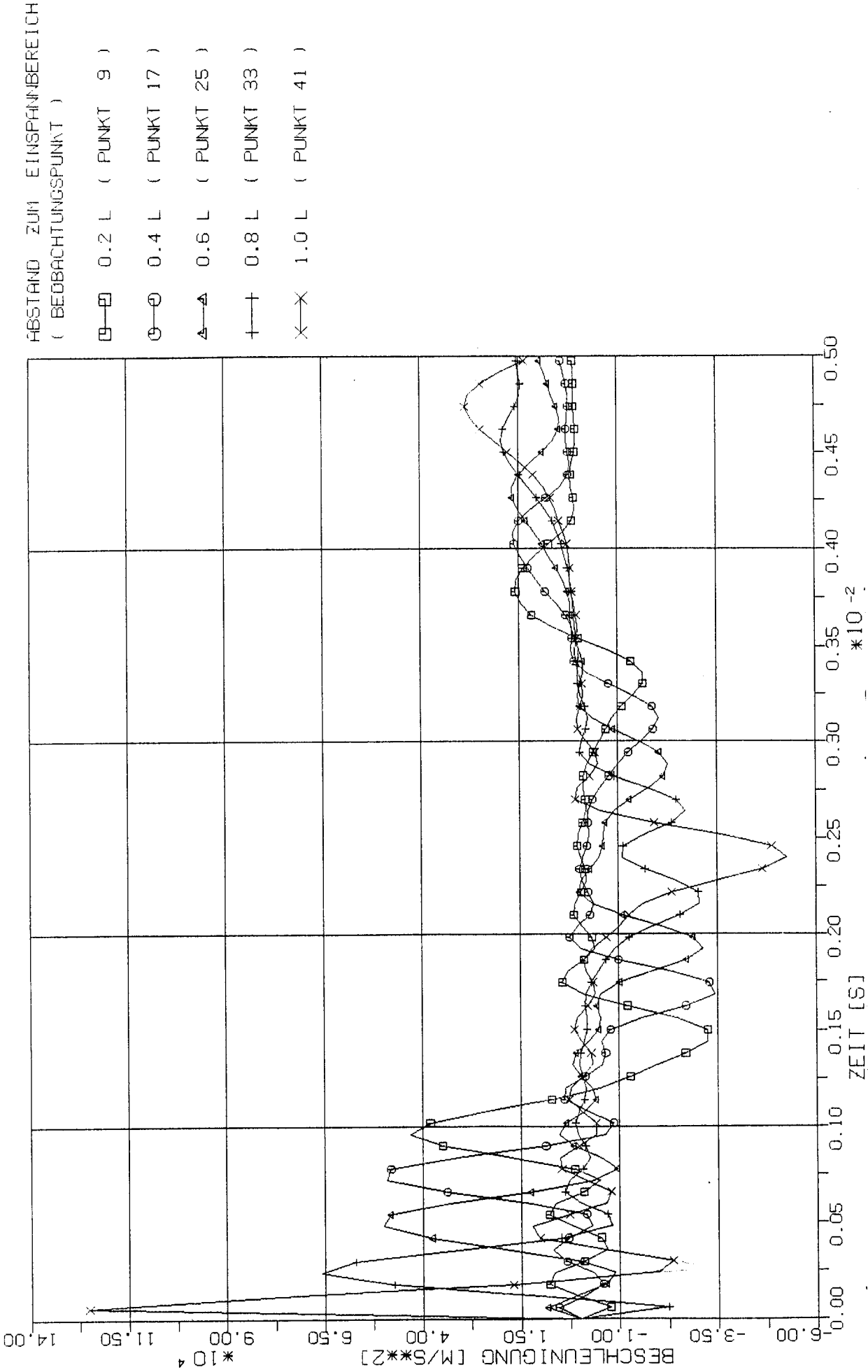


5.3.1 Stoß-Lastfunktion ST1

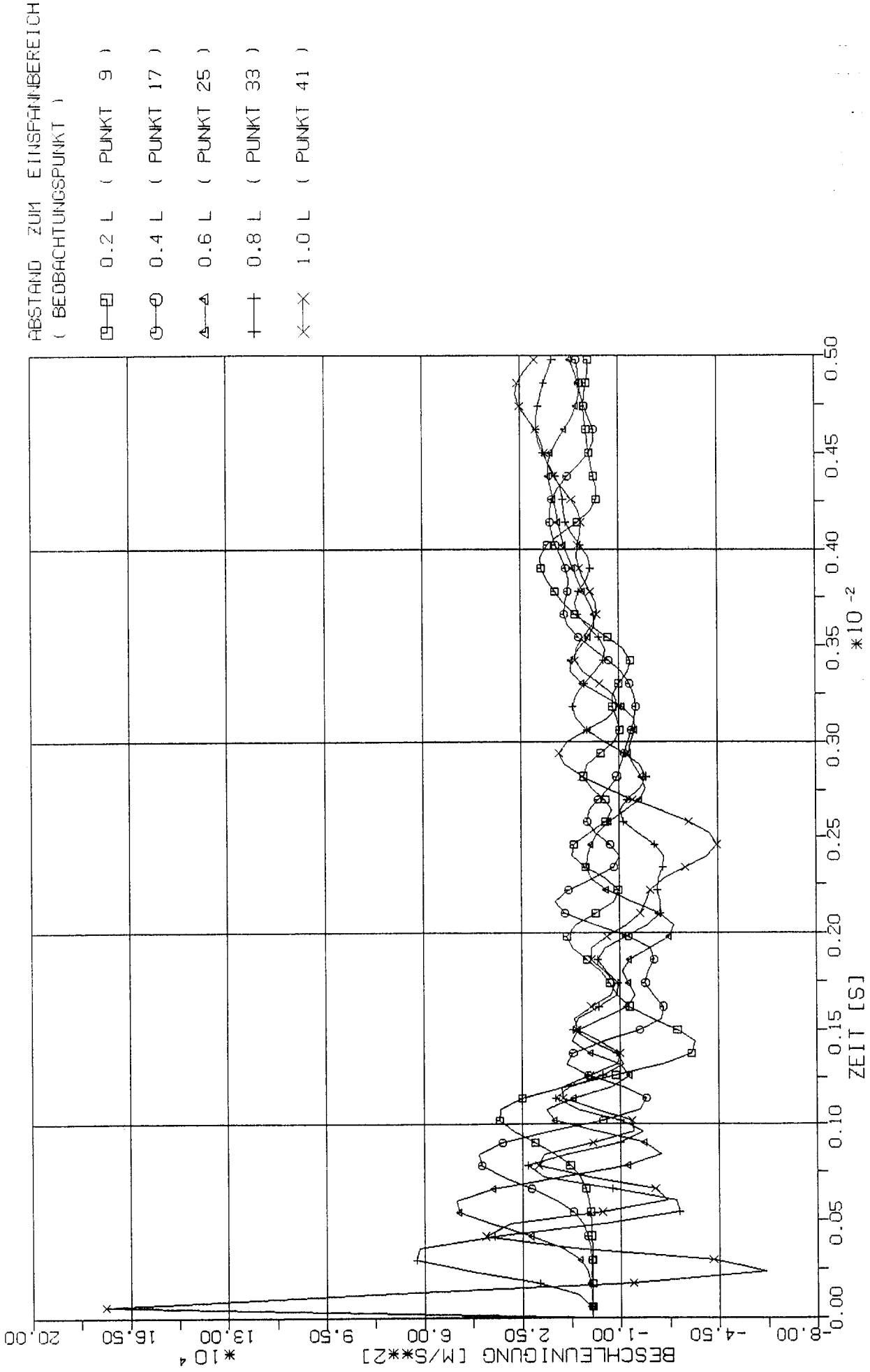
(Siehe Fig.1-4)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
BALKELEMENTE 40 X 5 STOSSEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN J
BALKELEMENTE 20 X 2S STOSSEL. ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALEN
 ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 10 X 4S STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

ABSTAND ZUM EINSFÄHBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

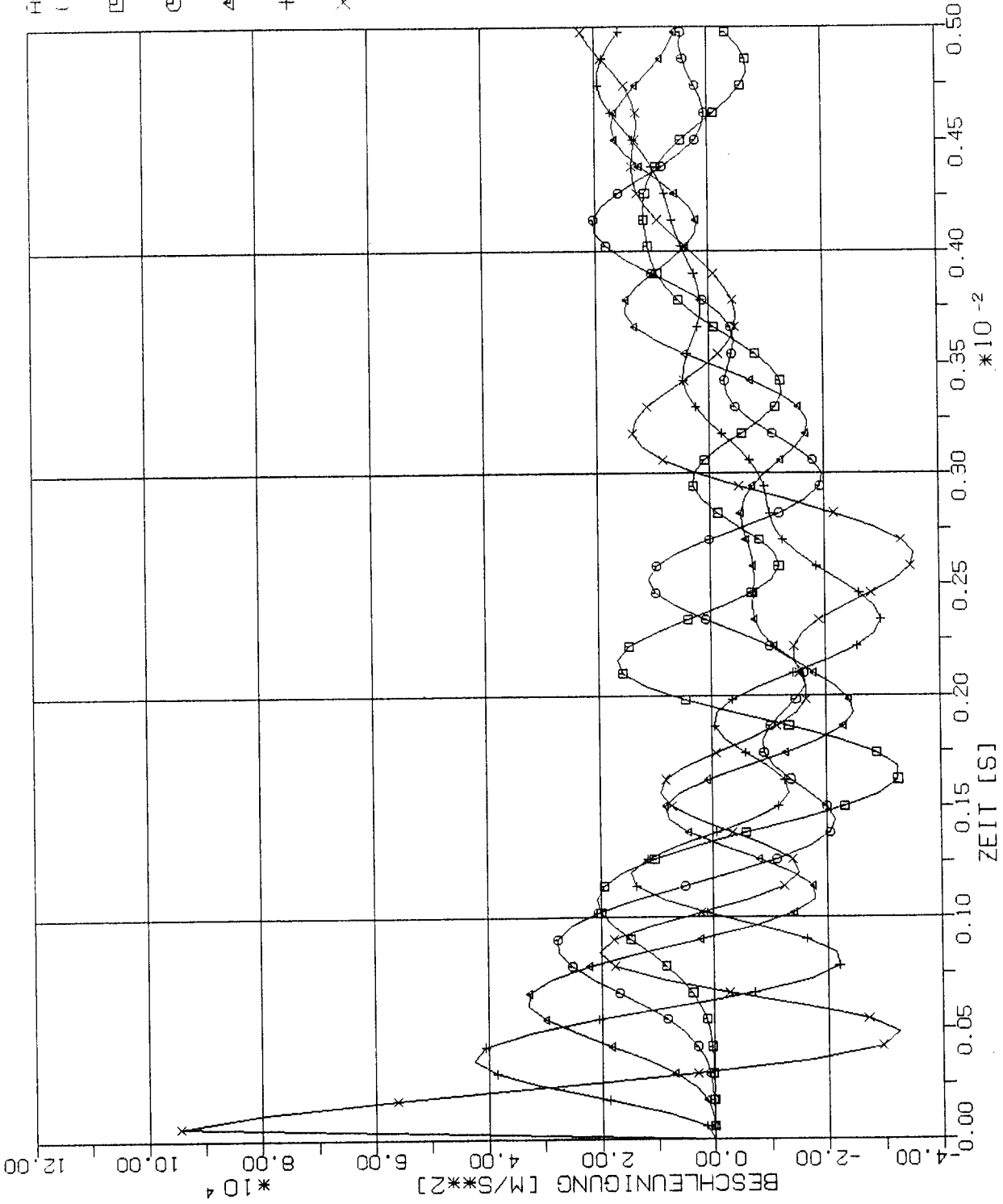
□ 0.2 L (PUNKT 9)

○ 0.4 L (PUNKT 17)

△ 0.6 L (PUNKT 25)

† 0.8 L (PUNKT 33)

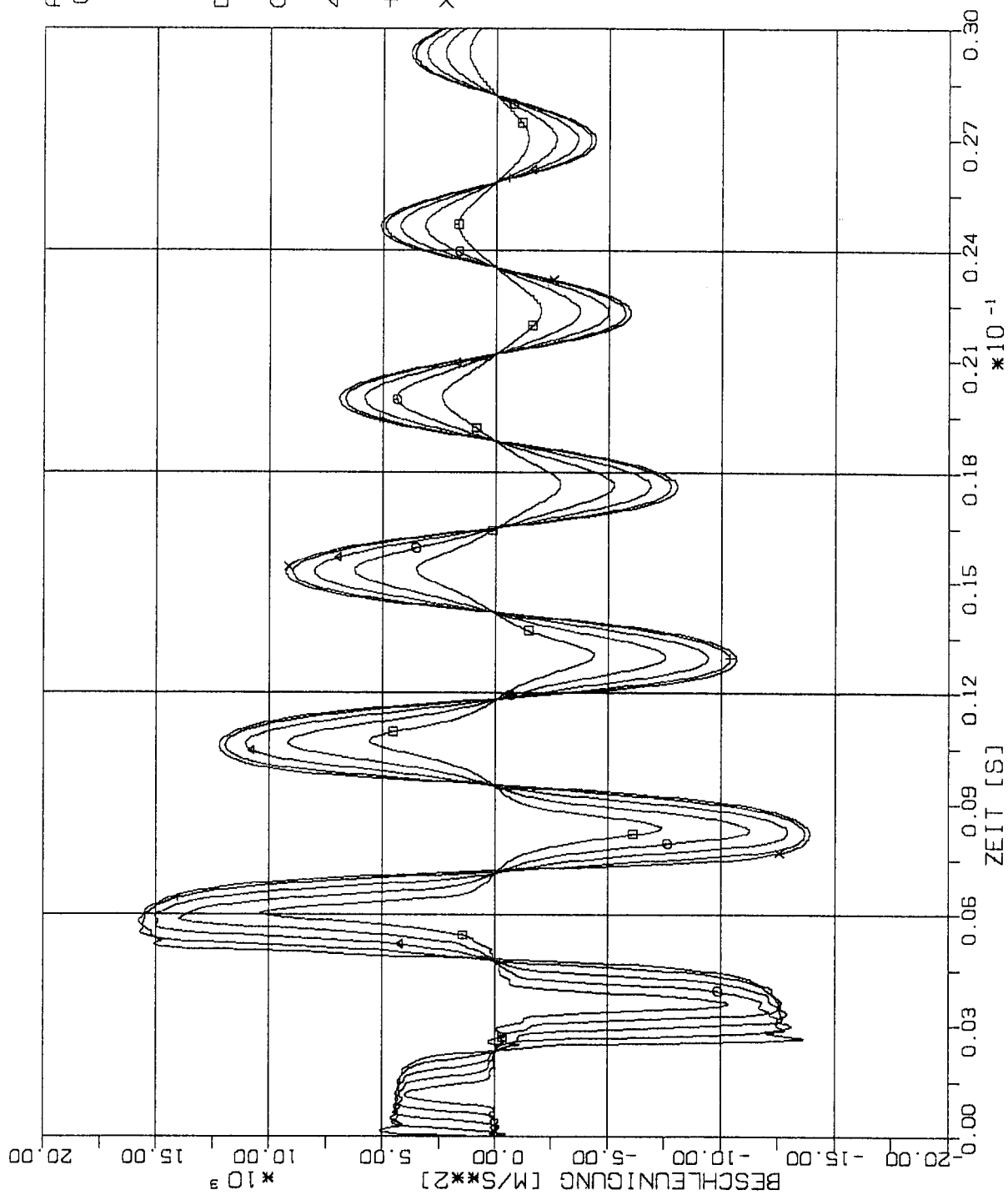
× 1.0 L (PUNKT 41)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
IBALKENELEMENTE 5 X 8S STOSSBEL. ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

5.3.2 Stoß-Lastfunktion ST2

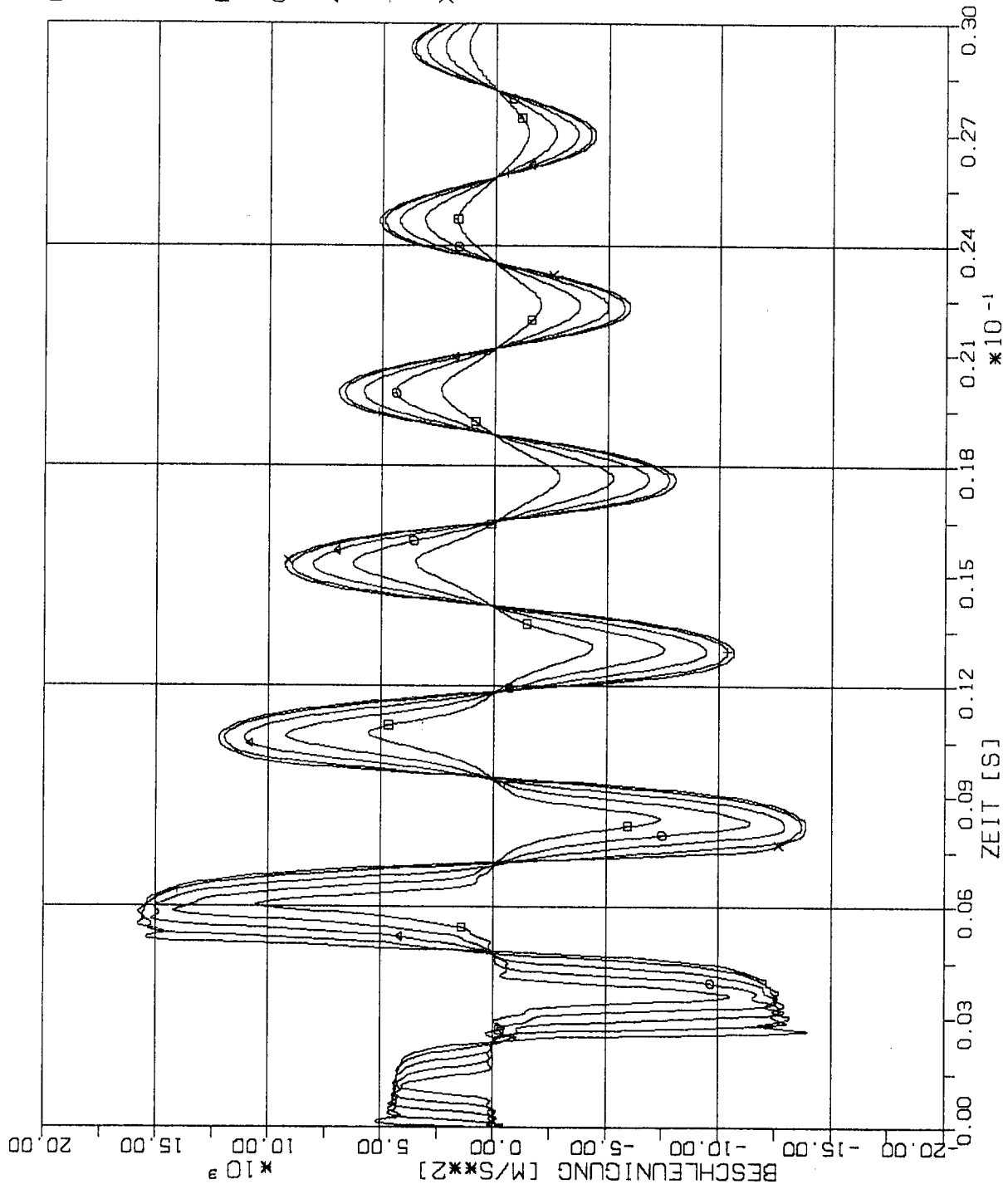
(Siehe Fig.1-4)



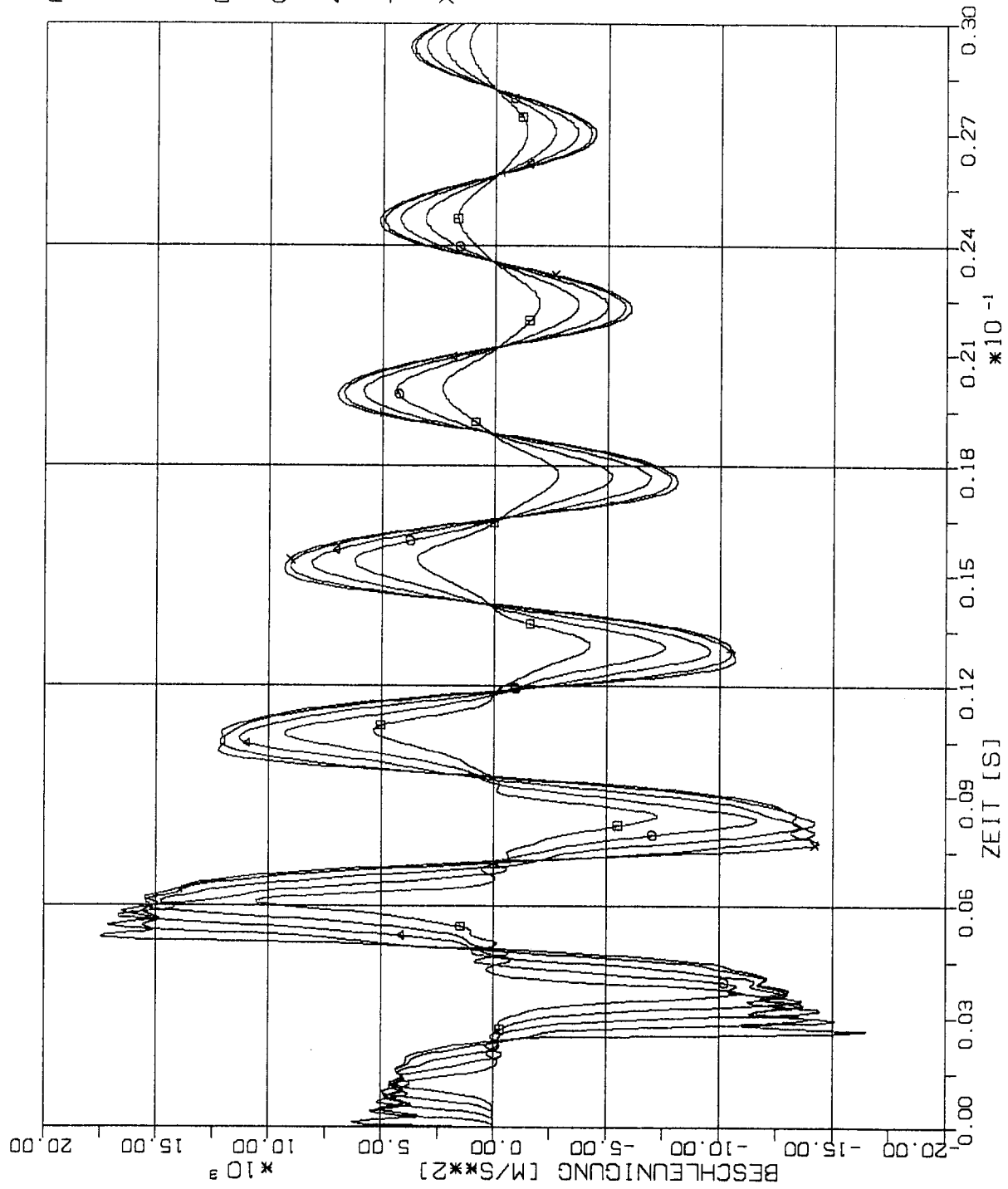
ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- † 0.8 L (PUNKT 33)
- X-X 1.0 L (PUNKT 41)

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 40 X S . STOSSBEL. ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)



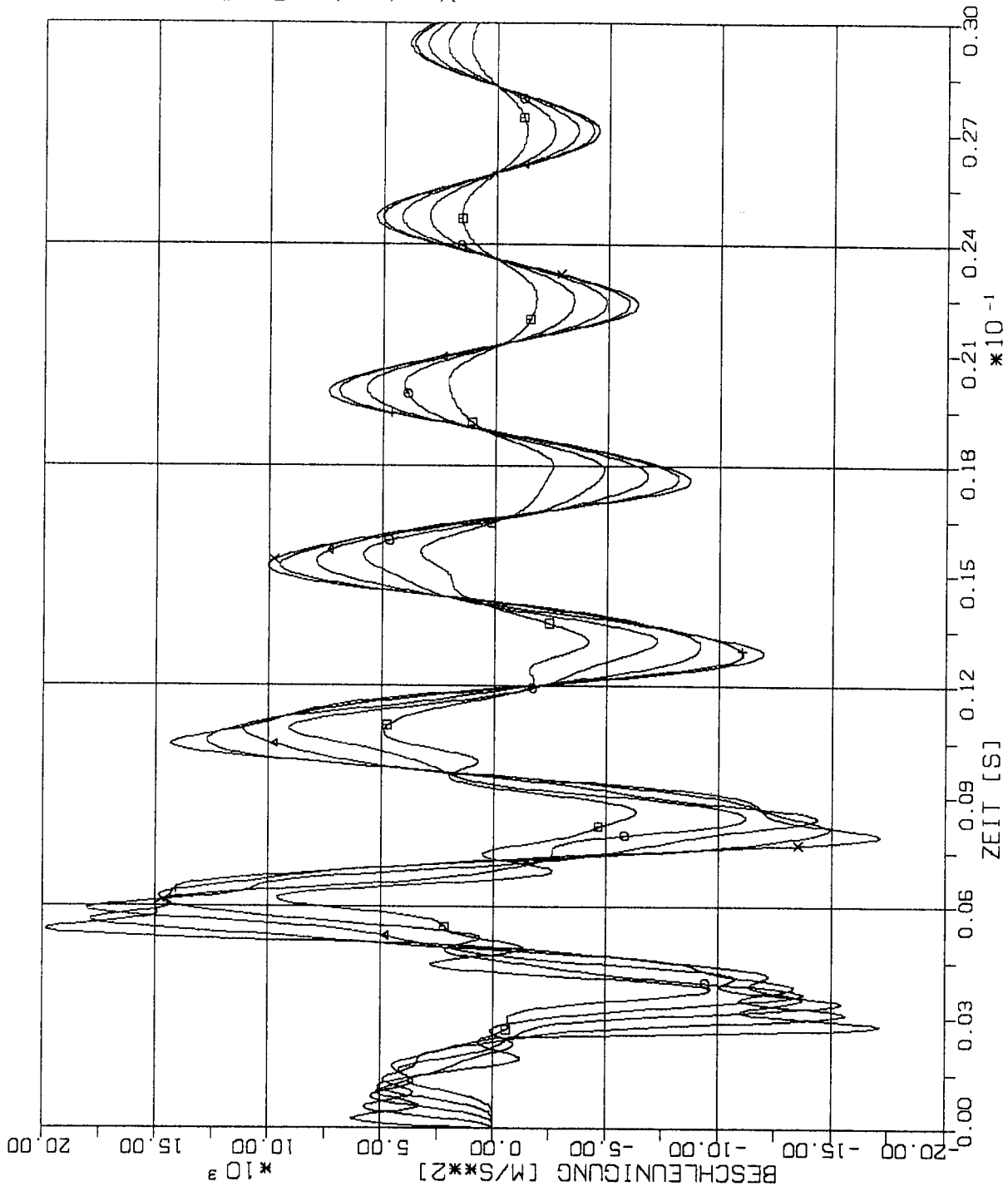
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBACHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 20 X 2S. STOSSEL. ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)



ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △-△ 0.6 L (PUNKT 25)
- +--+ 0.8 L (PUNKT 33)
- X-X 1.0 L (PUNKT 41)

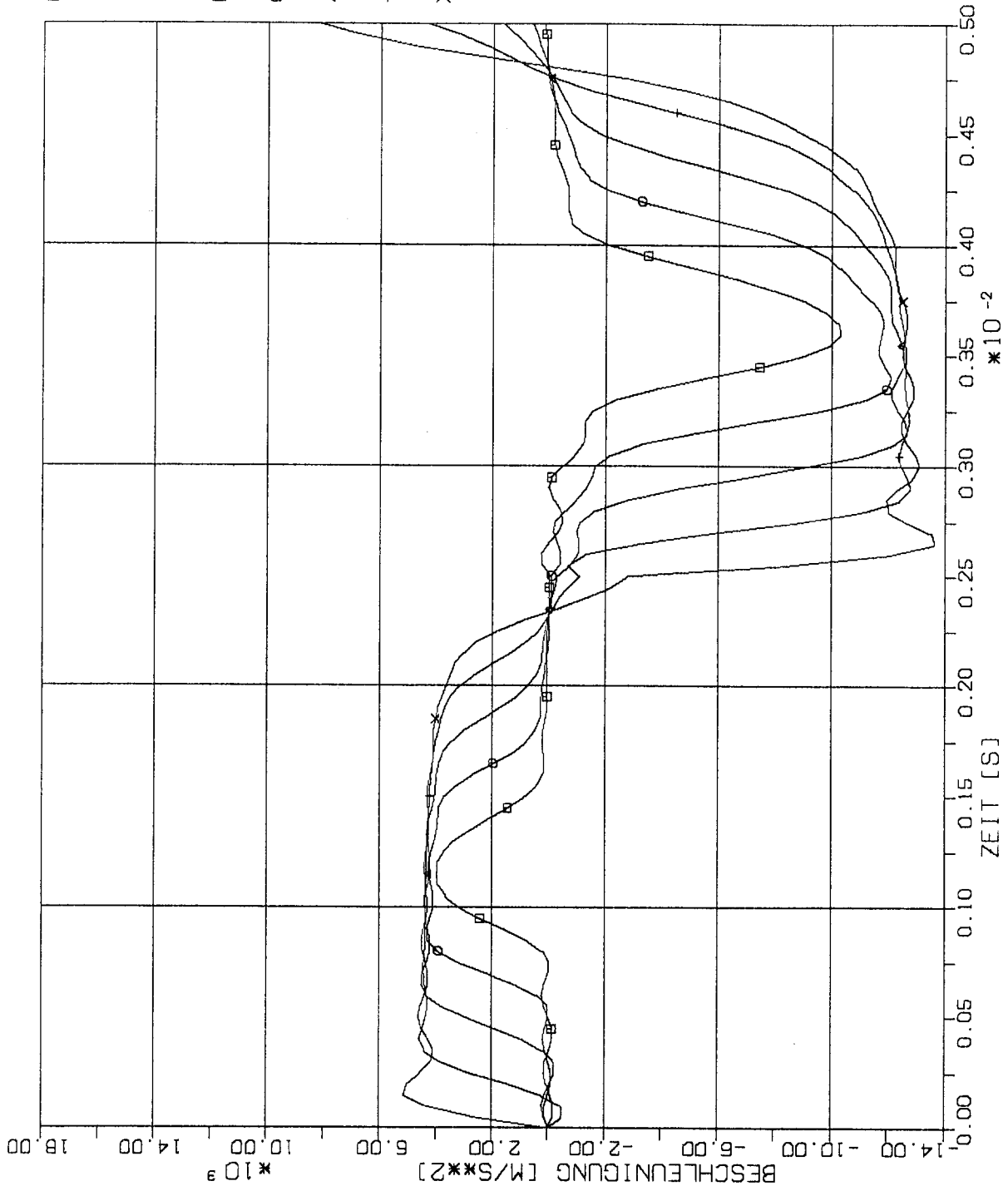
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 10 X 4S. STOSSBEL. ST21 IN LAENGRICHTUNG (X1)



ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0,2 L (PUNKT 9)
- 0,4 L (PUNKT 17)
- △-△ 0,6 L (PUNKT 25)
- †-† 0,8 L (PUNKT 33)
- ×-× 1,0 L (PUNKT 41)

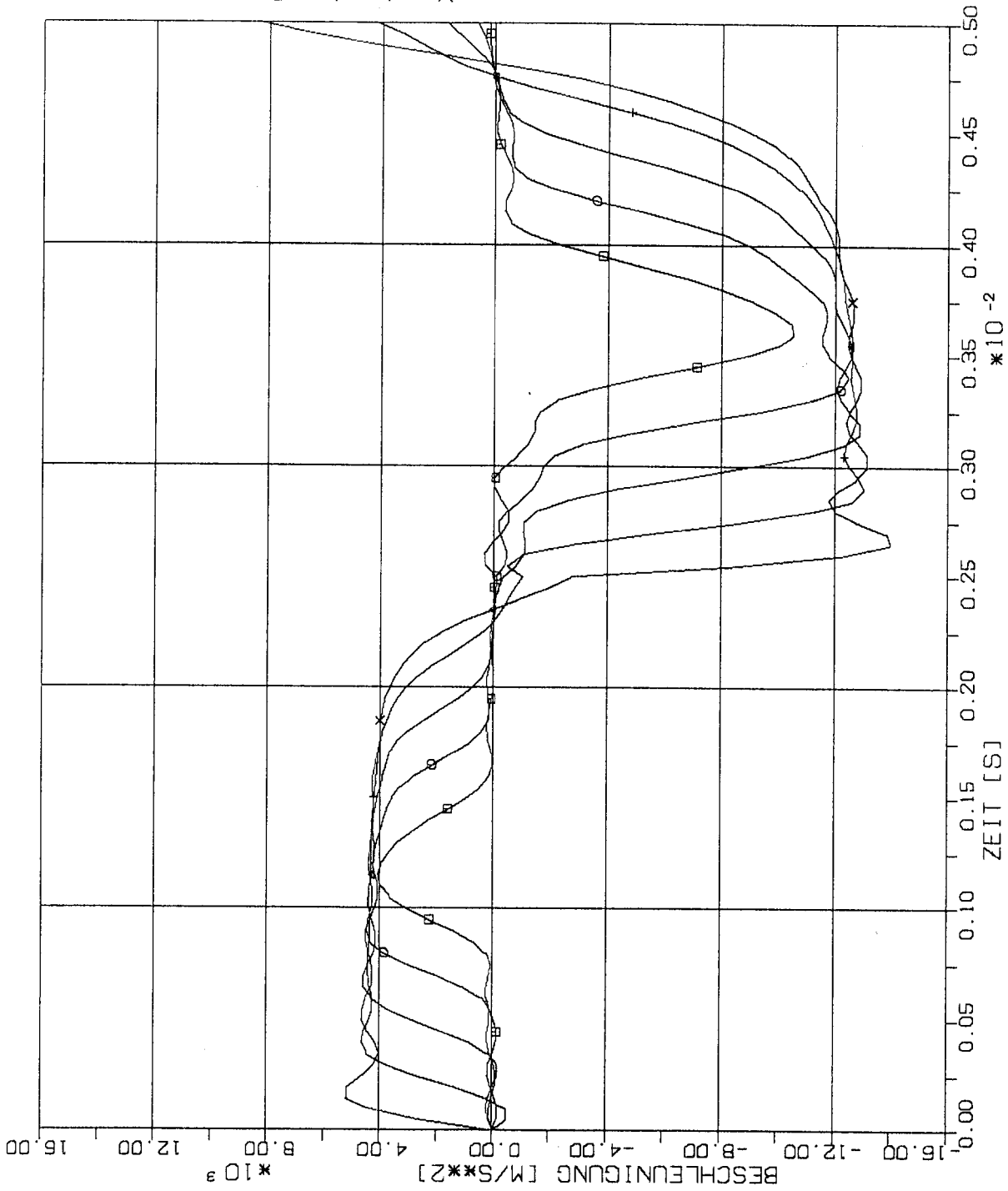
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 5 X 8S . STOSSBEL . ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)



ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △-△ 0.6 L (PUNKT 25)
- †-† 0.8 L (PUNKT 33)
- X-X 1.0 L (PUNKT 41)

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 40 X S , STOSSBEL. ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



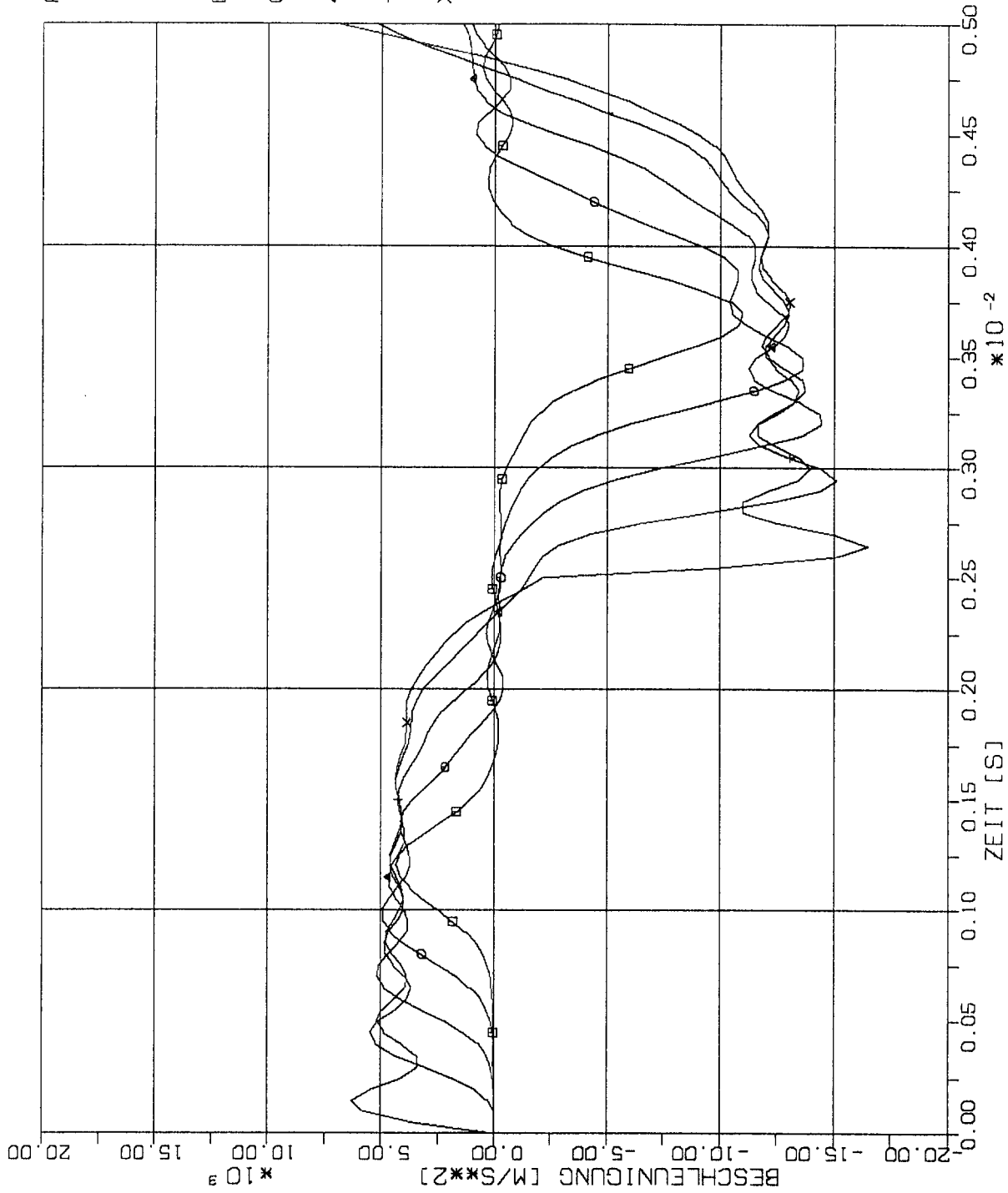
ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △-△ 0.6 L (PUNKT 25)
- †-† 0.8 L (PUNKT 33)
- ×-× 1.0 L (PUNKT 41)

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 20 X 25. STOSSBEL. ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)

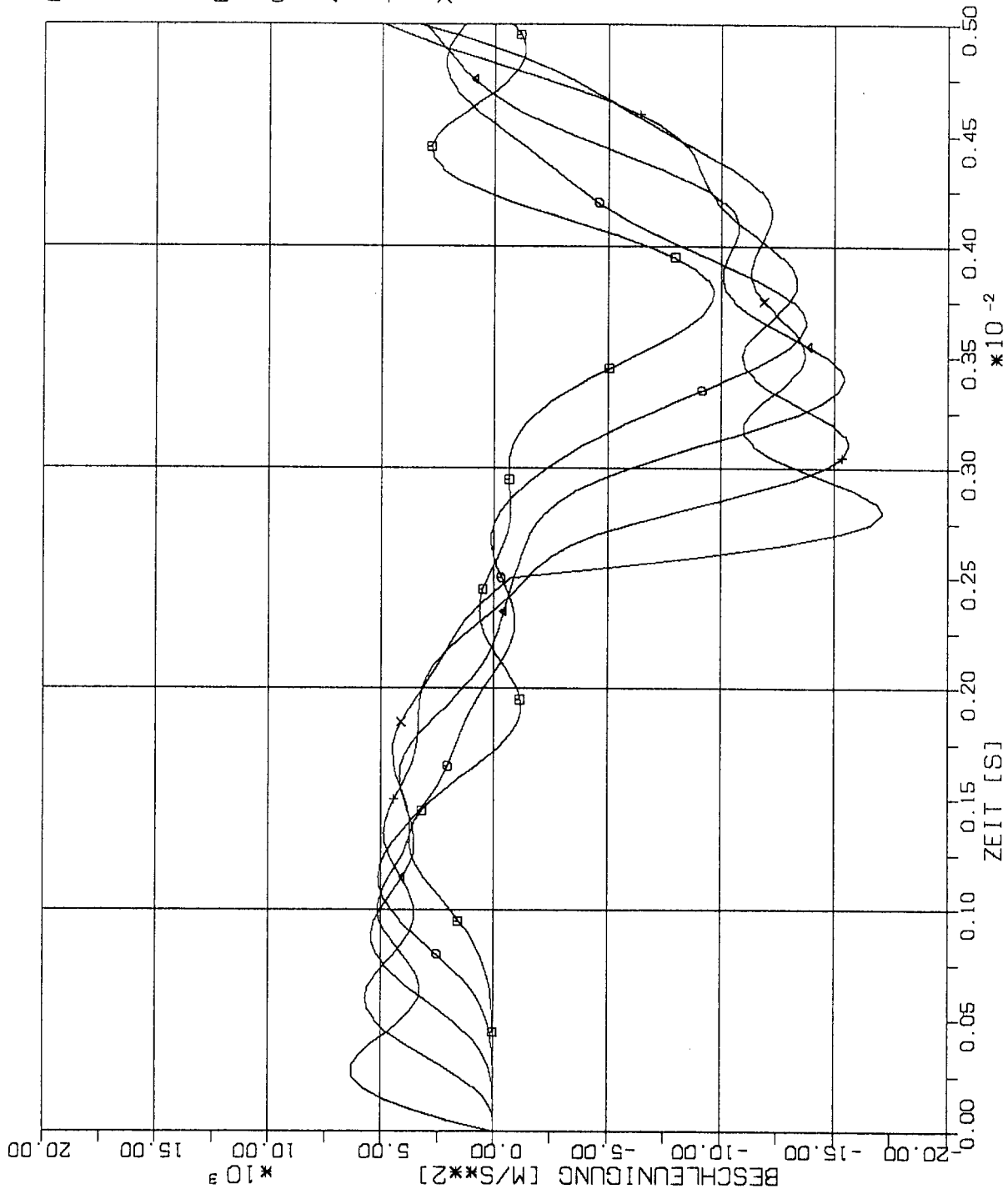
ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

- 0,2 L (PUNKT 9)
- 0,4 L (PUNKT 17)
- △-△ 0,6 L (PUNKT 25)
- + + 0,8 L (PUNKT 33)
- X-X 1,0 L (PUNKT 41)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 10 X 45. STOSSBEL. STI2 IN LAENGRICHTUNG (X1)

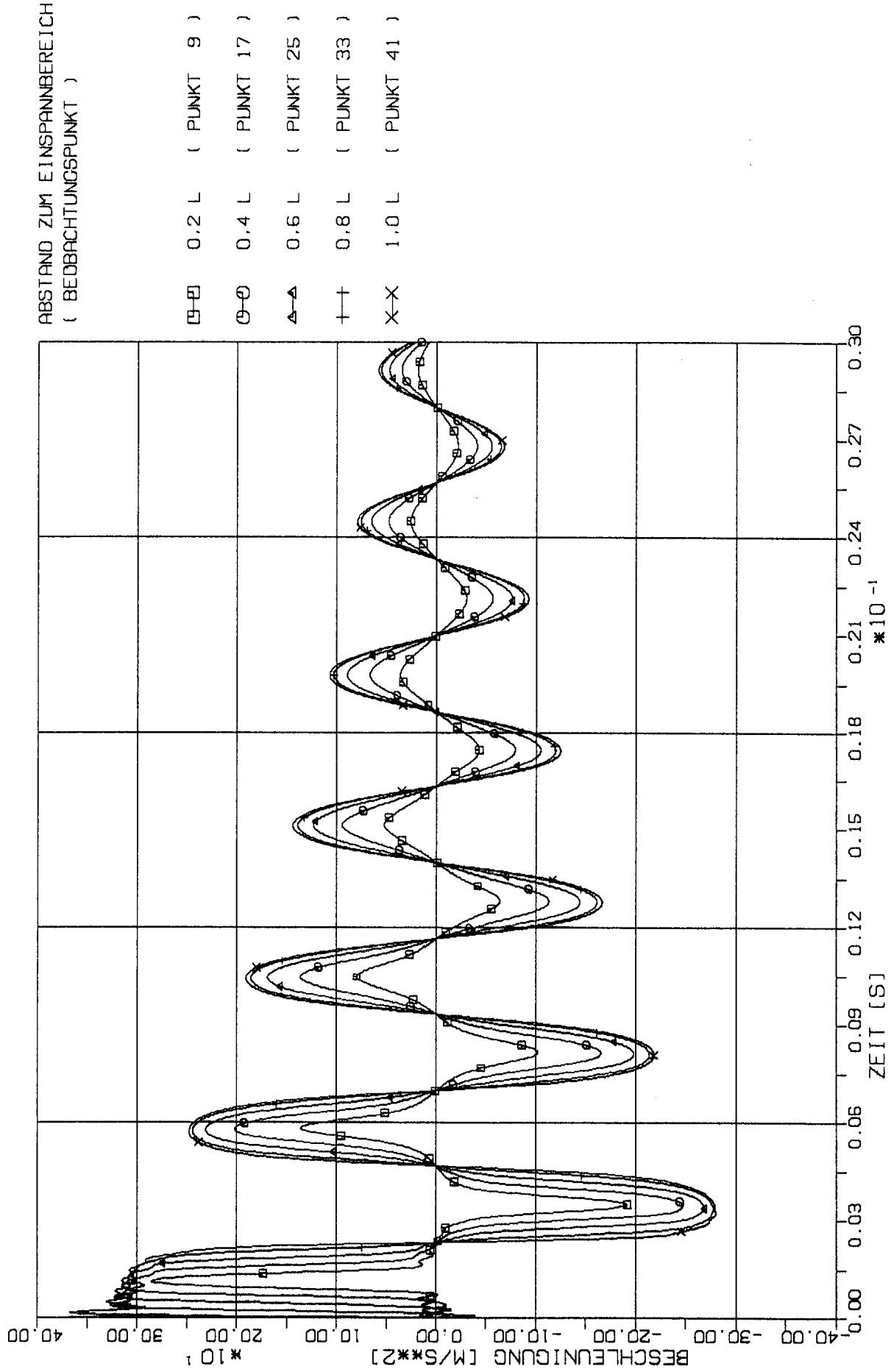
BRUNNEN
VERBODEN
ZUR
NACHRICHTLICHEN
VERWENDUNG



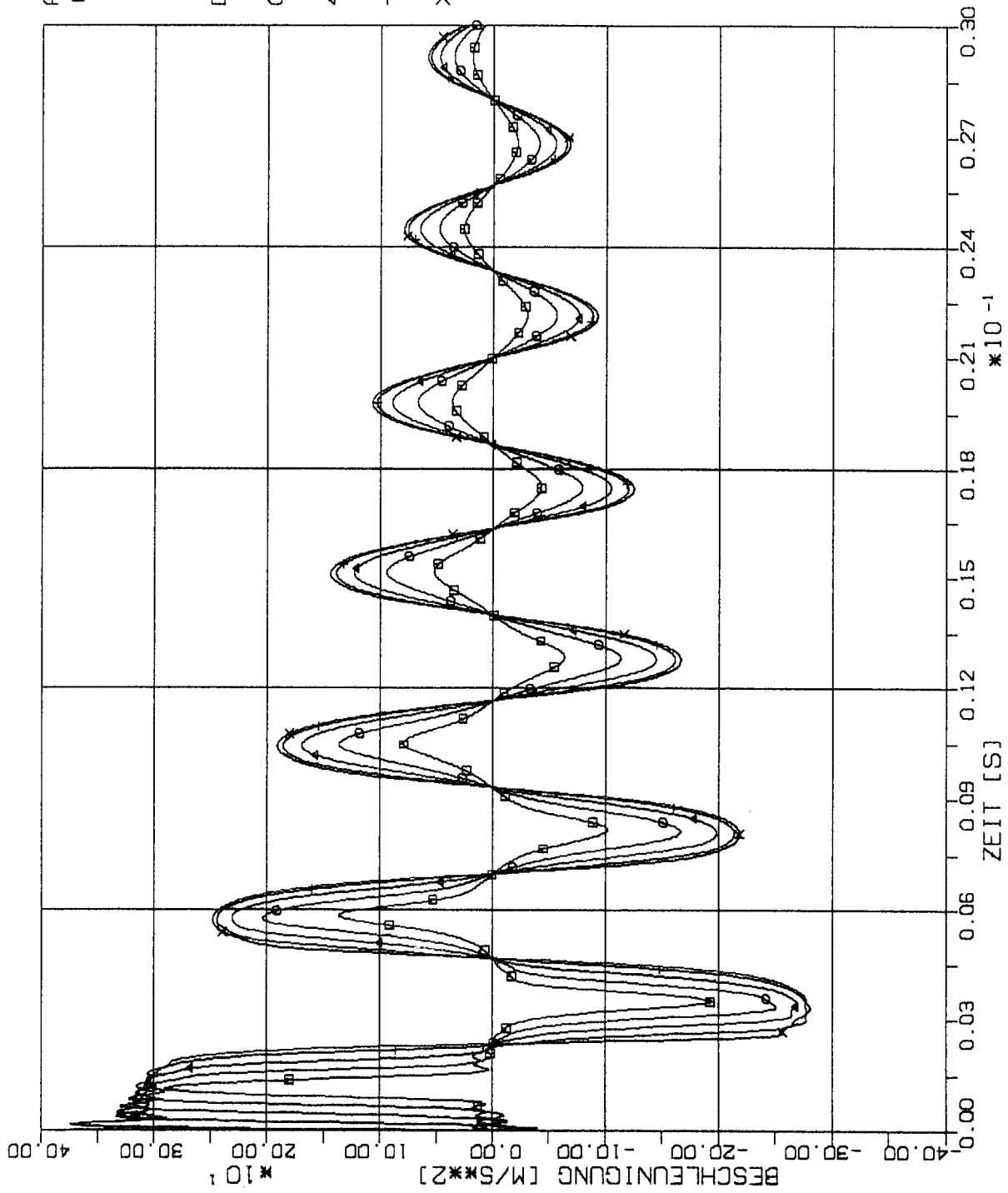
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 5 X 8S , STOSSBEL. ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)

5.3.3 Stoß-Lastfunktion ST3

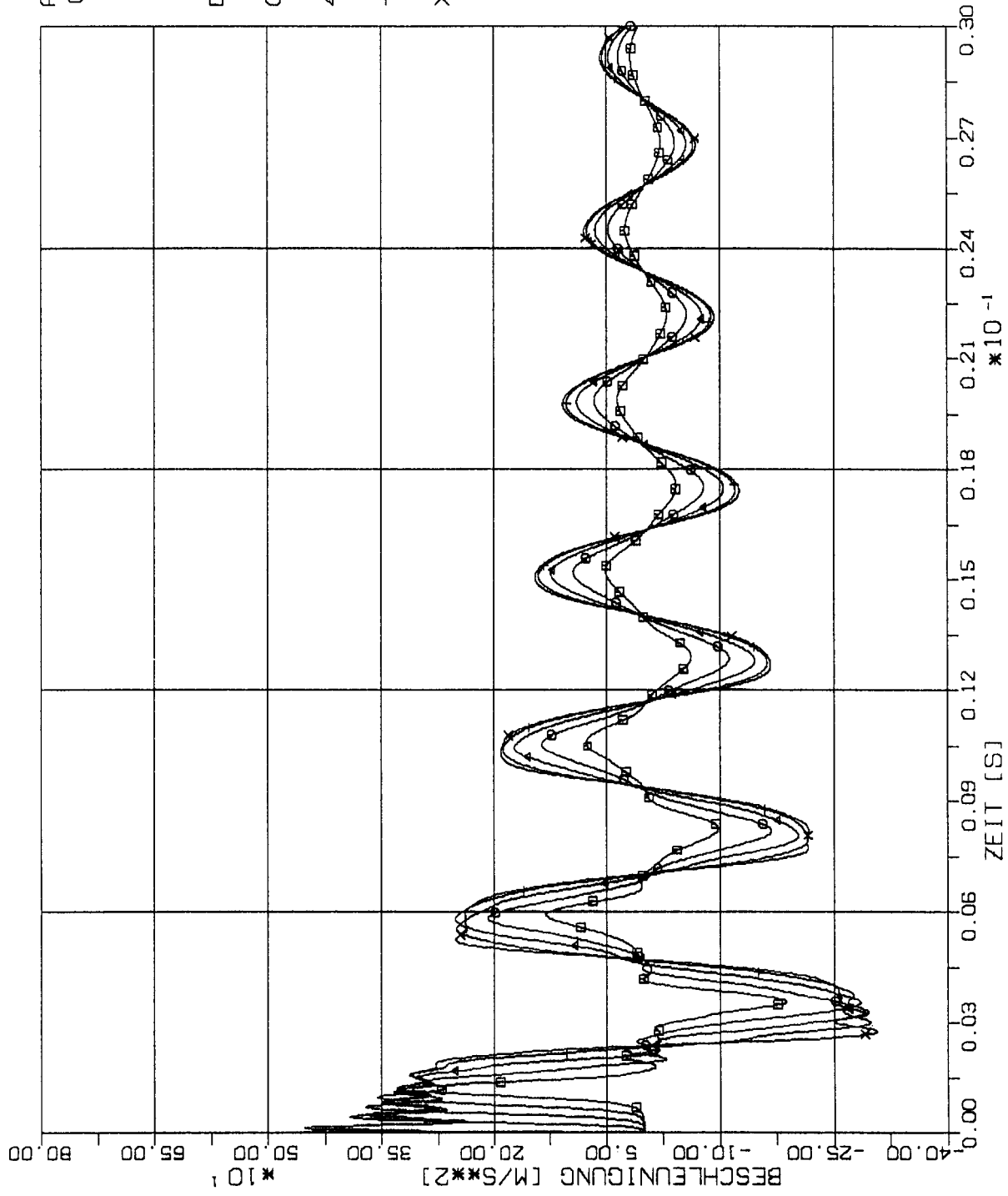
(Siehe Fig.1-4)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALLEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKELEMENTE 40 X 5 STOSSBEL. ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)



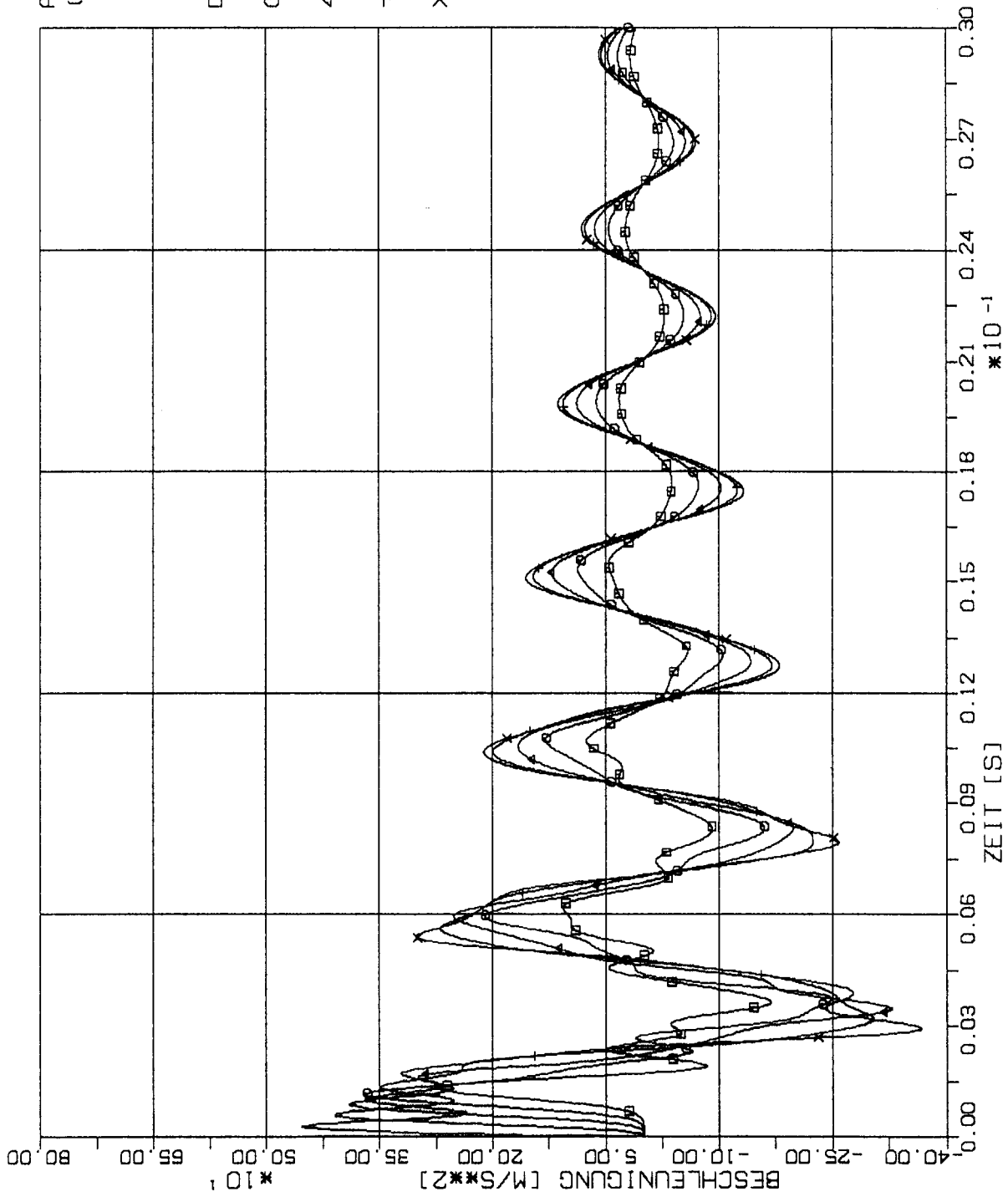
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 20 X 25 STOSSEL. ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



ABSTAND ZUM EINSPANNBereich
(BEOBSCHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- + 0.8 L (PUNKT 33)
- X 1.0 L (PUNKT 41)

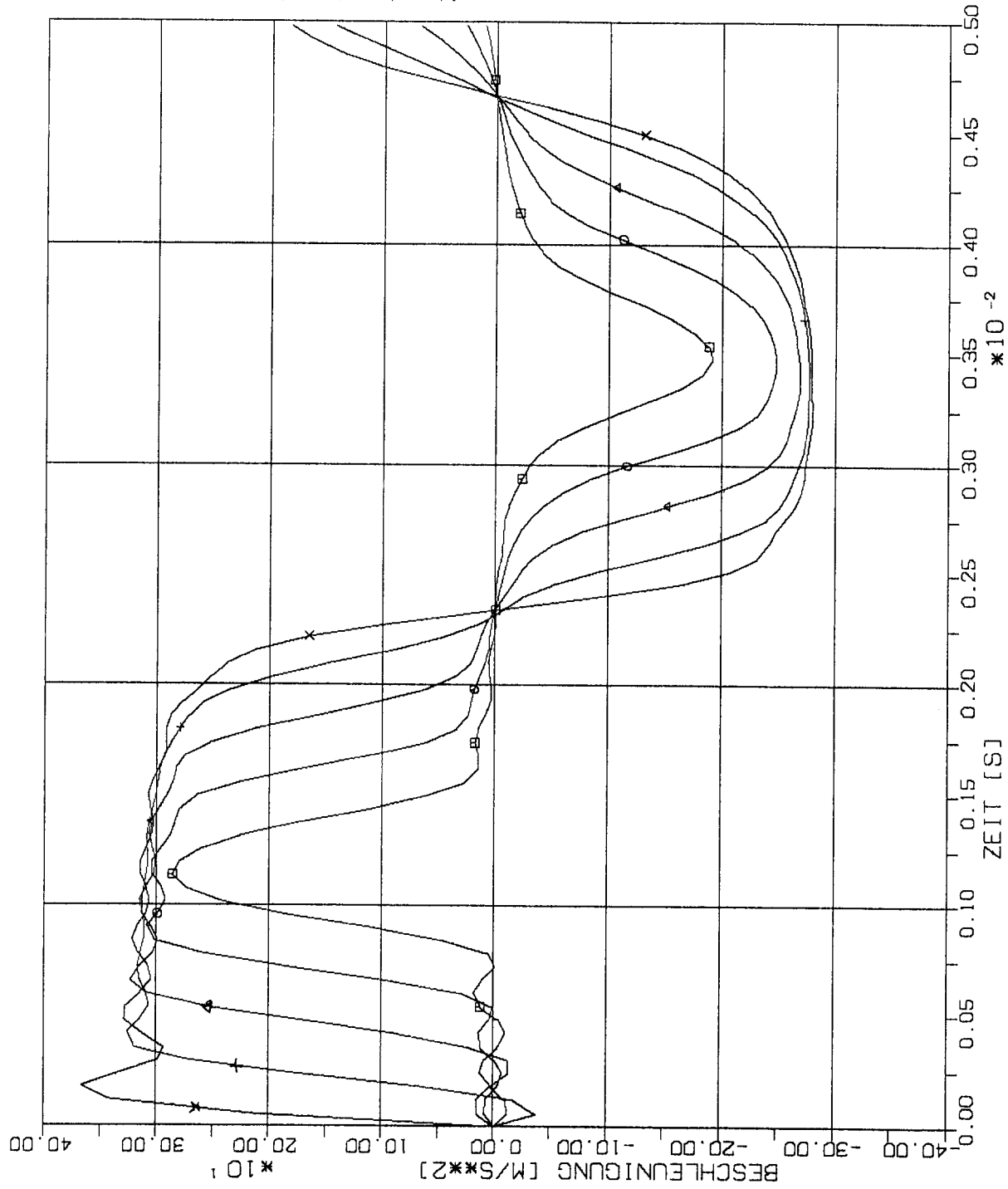
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEUGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSCHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 10 X 4S STOSSBEL. ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)



ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- ▲-▲ 0.6 L (PUNKT 25)
- †-† 0.8 L (PUNKT 33)
- ×-× 1.0 L (PUNKT 41)

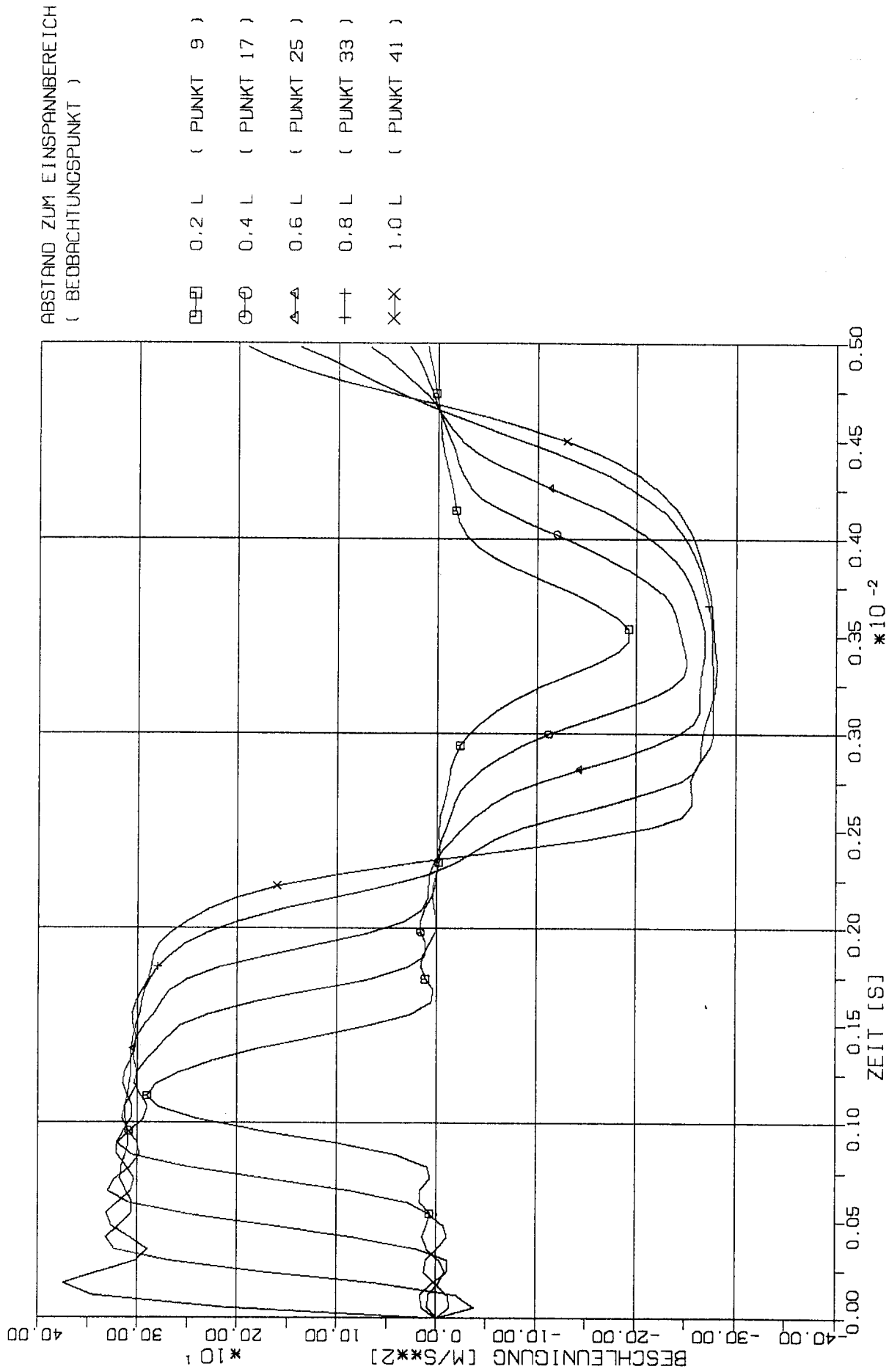
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 5 X 8S STOSSBEL. ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)



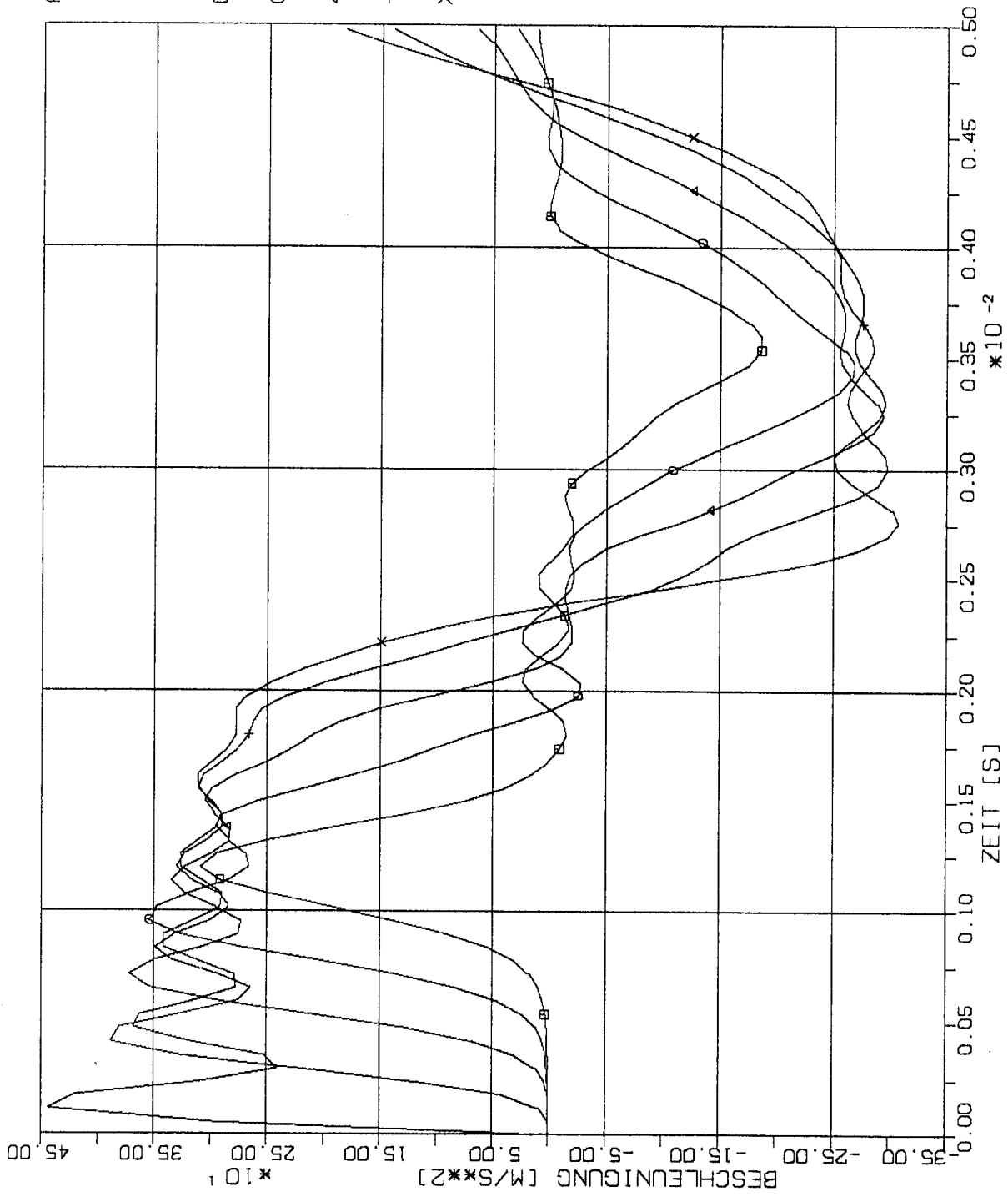
ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- + 0.8 L (PUNKT 33)
- X 1.0 L (PUNKT 41)

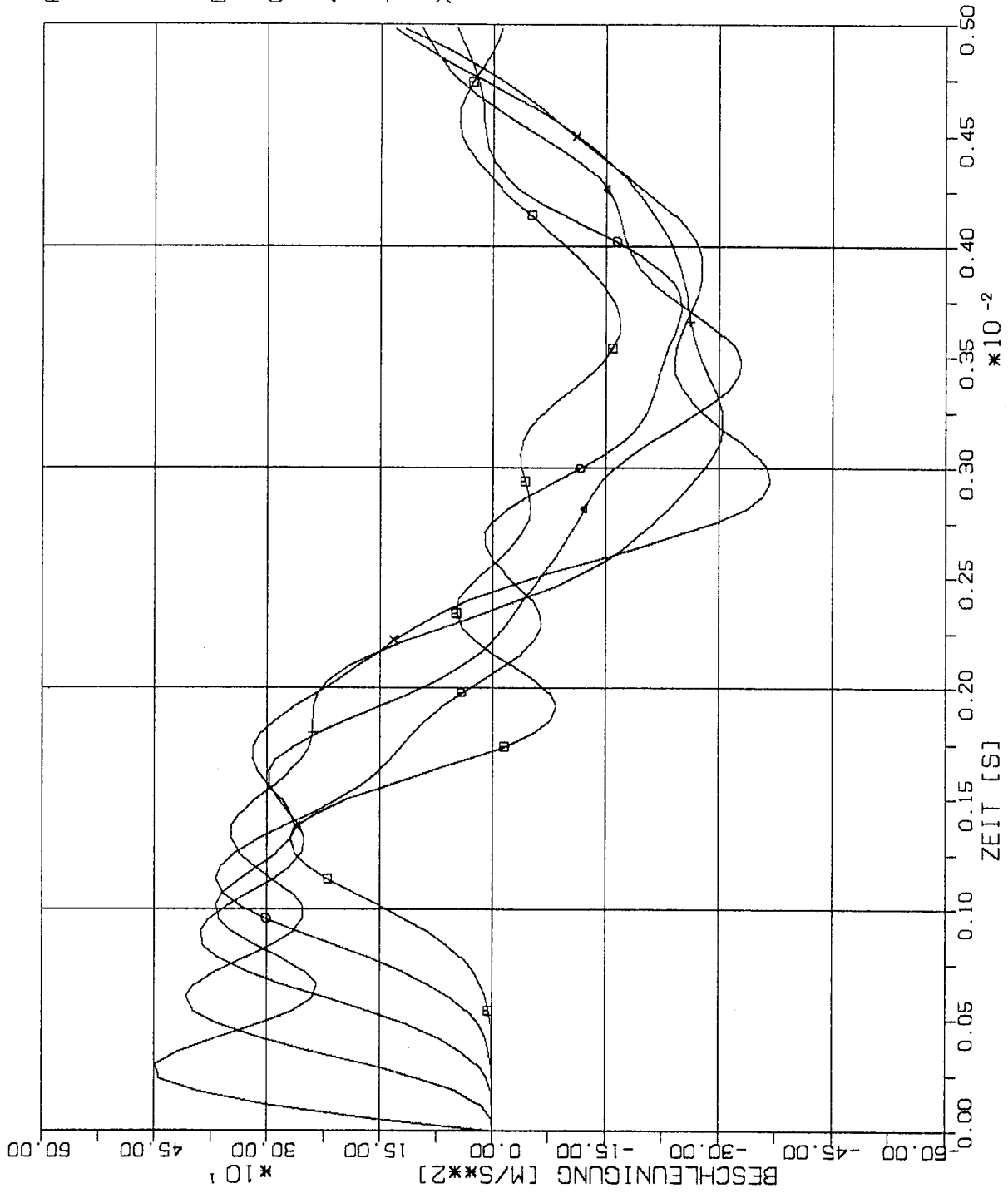
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBACHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 40 X S . STOSSBEL . ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 20 X 25. STOSSBEL. ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
 ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
 BALKENELEMENTE 10 X 4S. STOSSBEL. ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)



ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBSACHTUNGSPUNKT)

- 0.2 L (PUNKT 9)
- 0.4 L (PUNKT 17)
- △ 0.6 L (PUNKT 25)
- ++ 0.8 L (PUNKT 33)
- ×× 1.0 L (PUNKT 41)

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IM MODELLBALKEN
ZEITPUNKTGLEICHE BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN BEOBSACHTUNGSPUNKTEN
BALKENELEMENTE 5 X 8S, STOSSBEL, ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

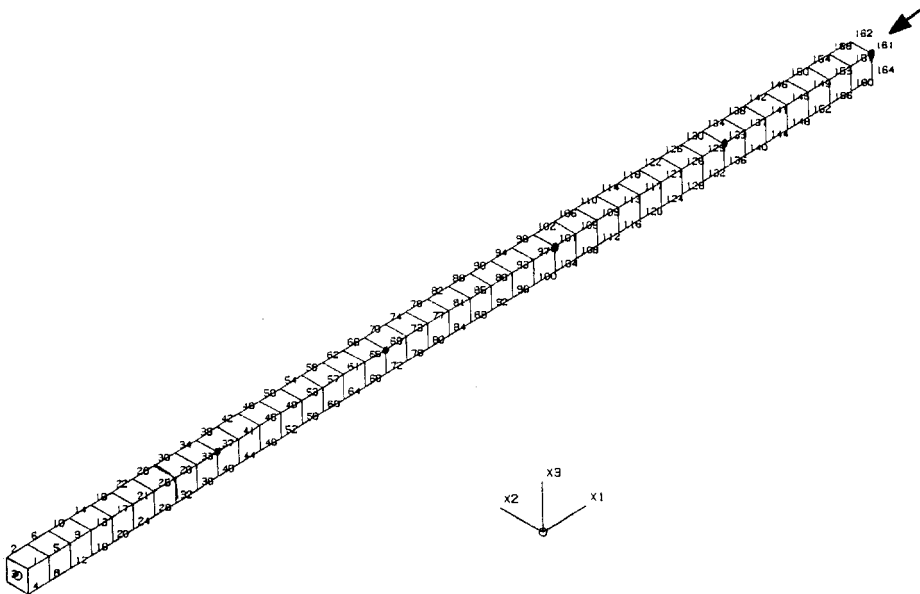
6

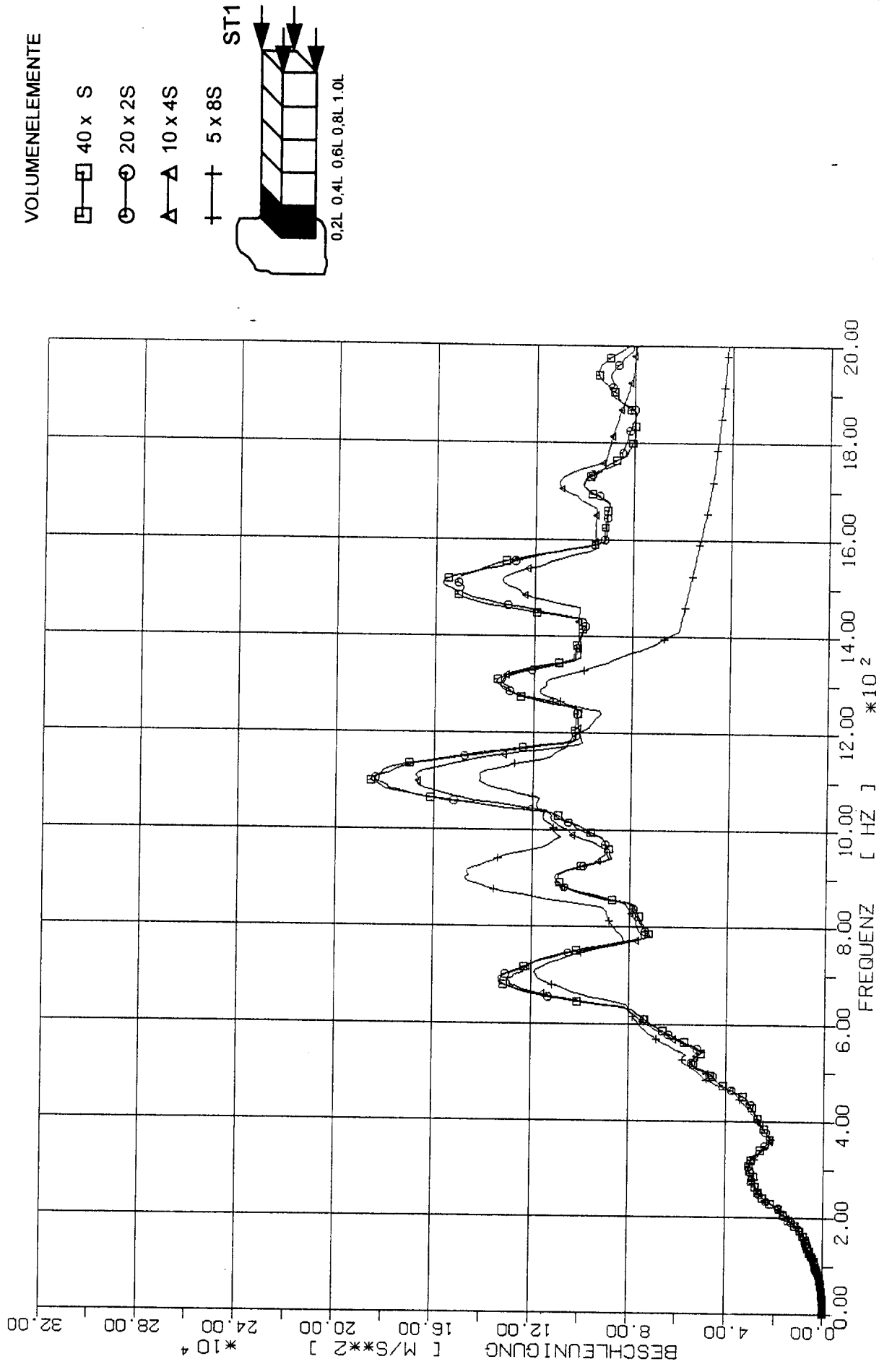
**Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in den
charakteristischen Beobachtungspunkten des
Modellbalkens bei Anwendung verschiedener
Elementarten und Diskretisierungsgrade
(Strukturantworten in Axialrichtung)**

6.1 Volumenelemente-Modell

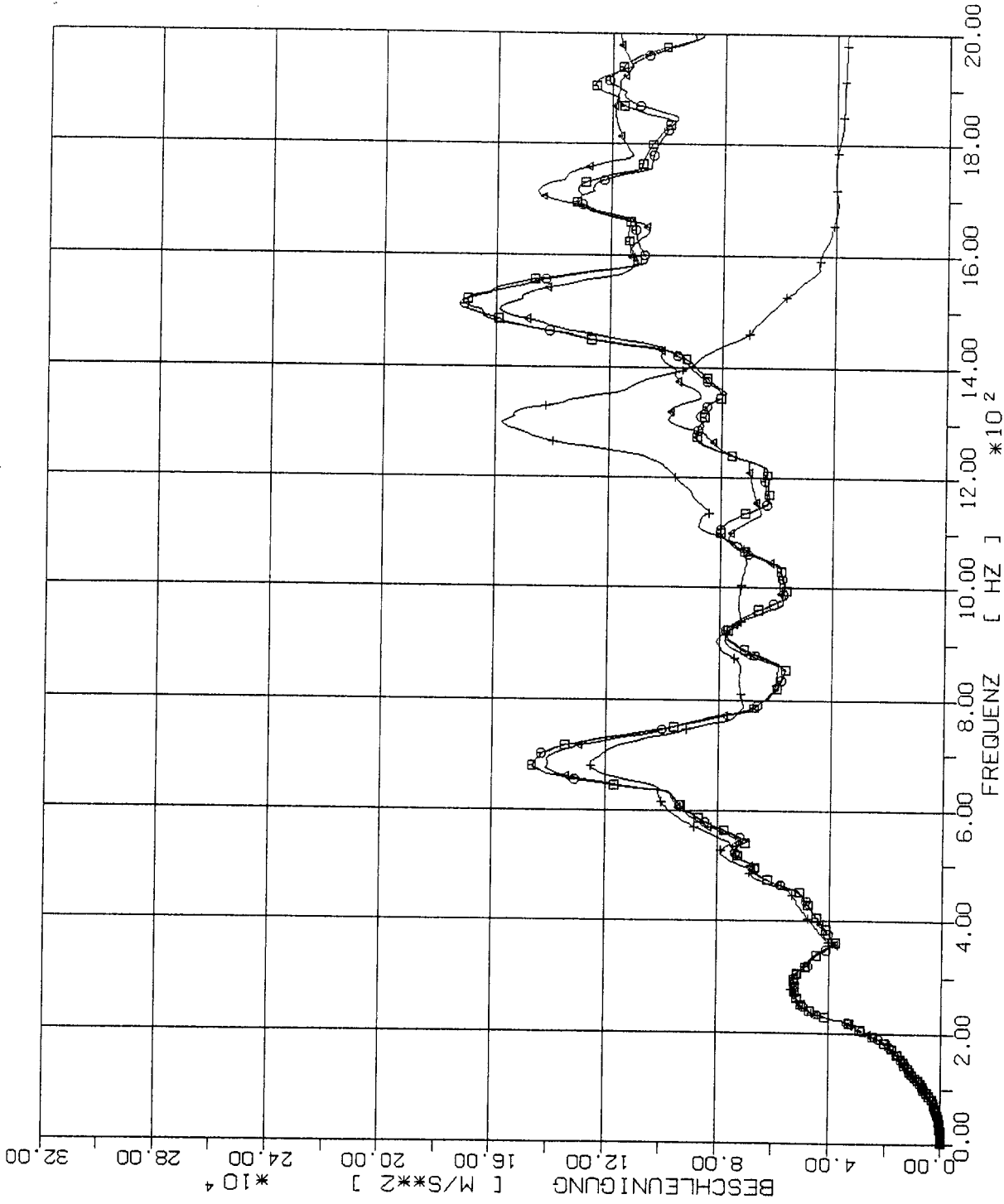
6.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)



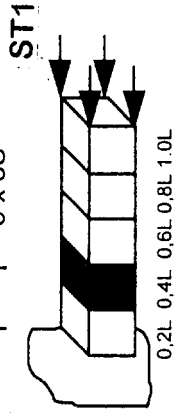


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

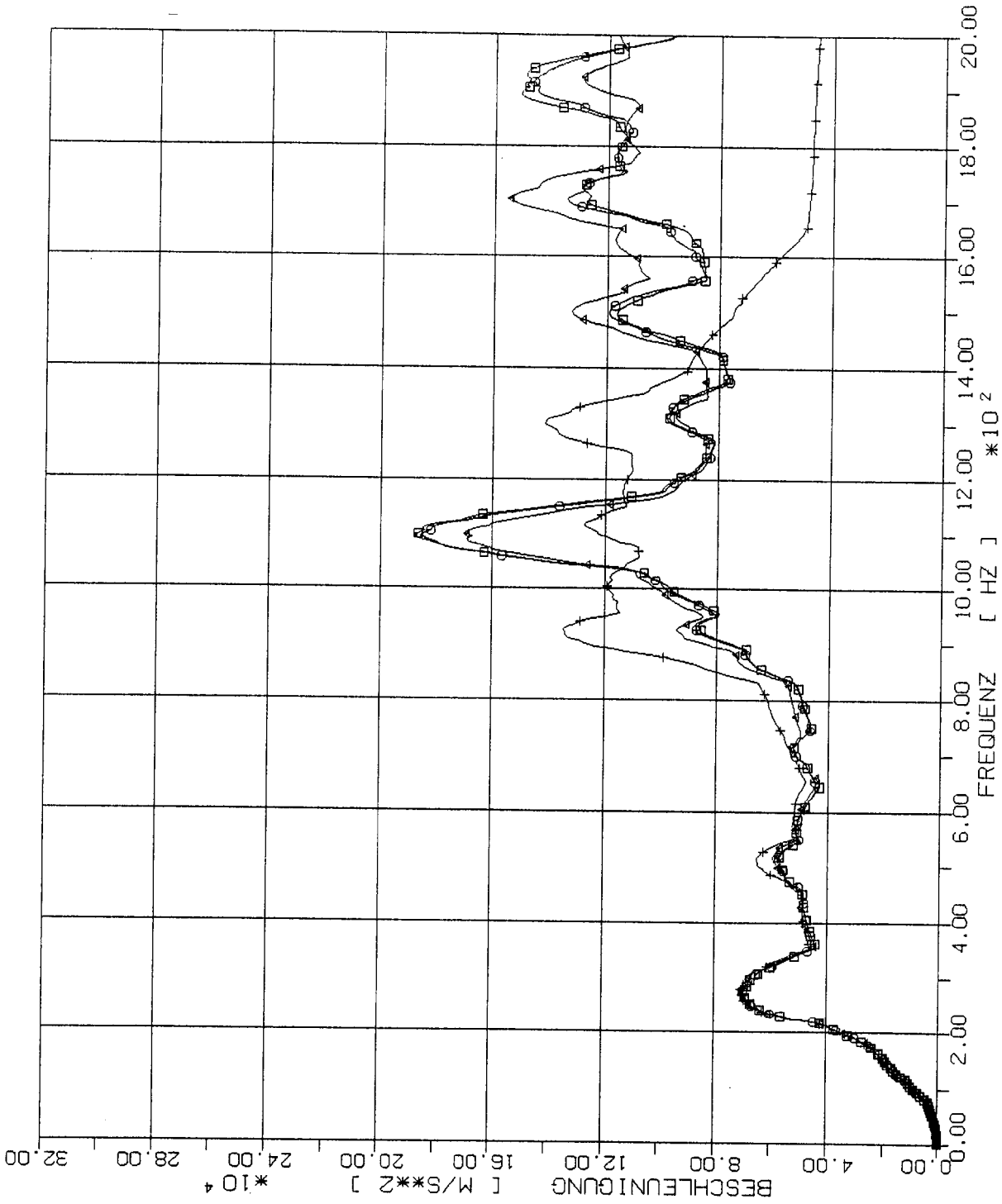


VOLUMENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S

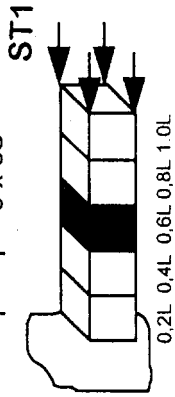


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGANGE IN MODELLBALEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

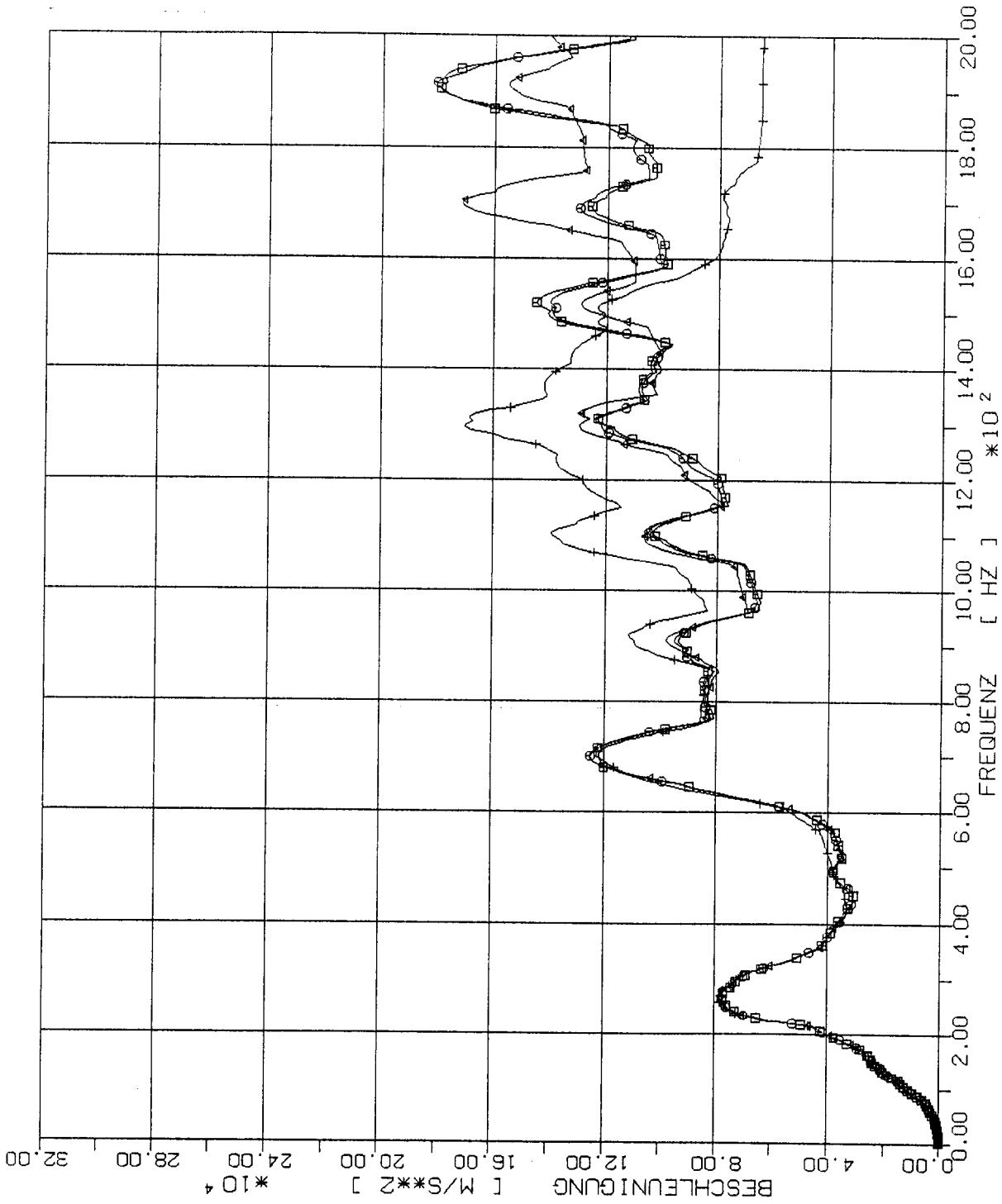


VOLUMENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S

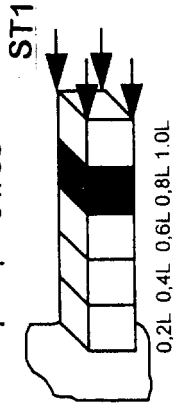


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

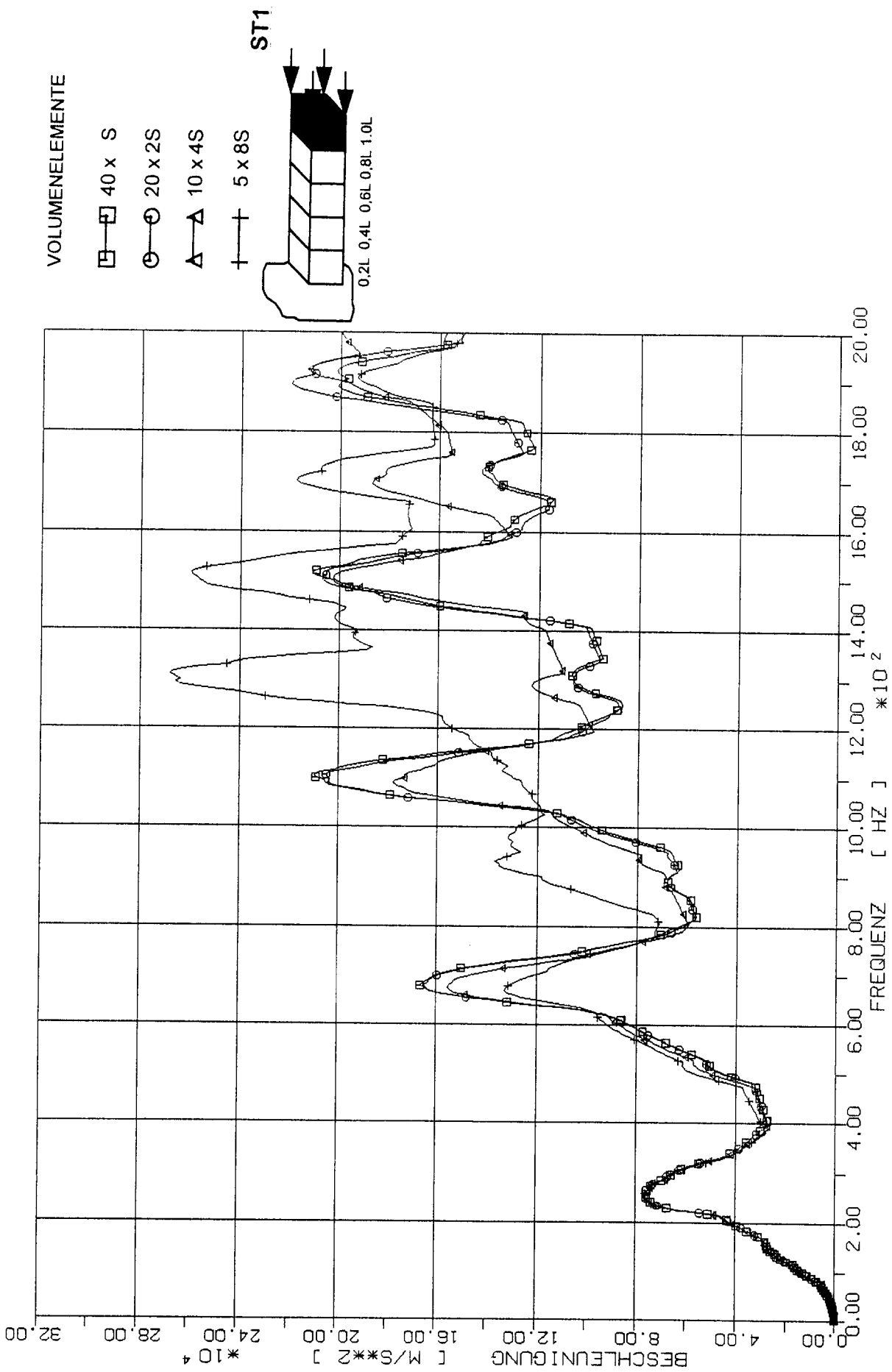


VOLUMELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

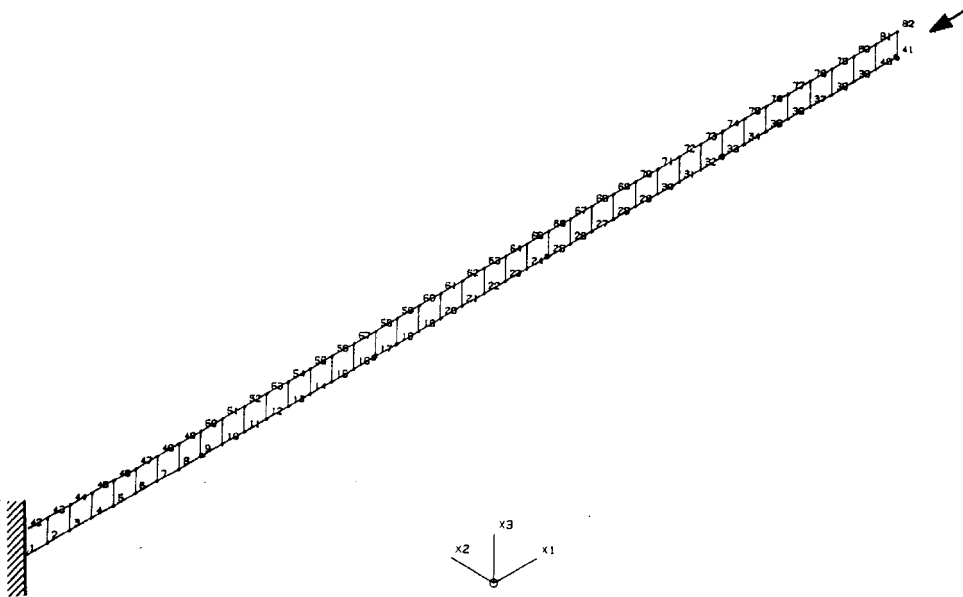


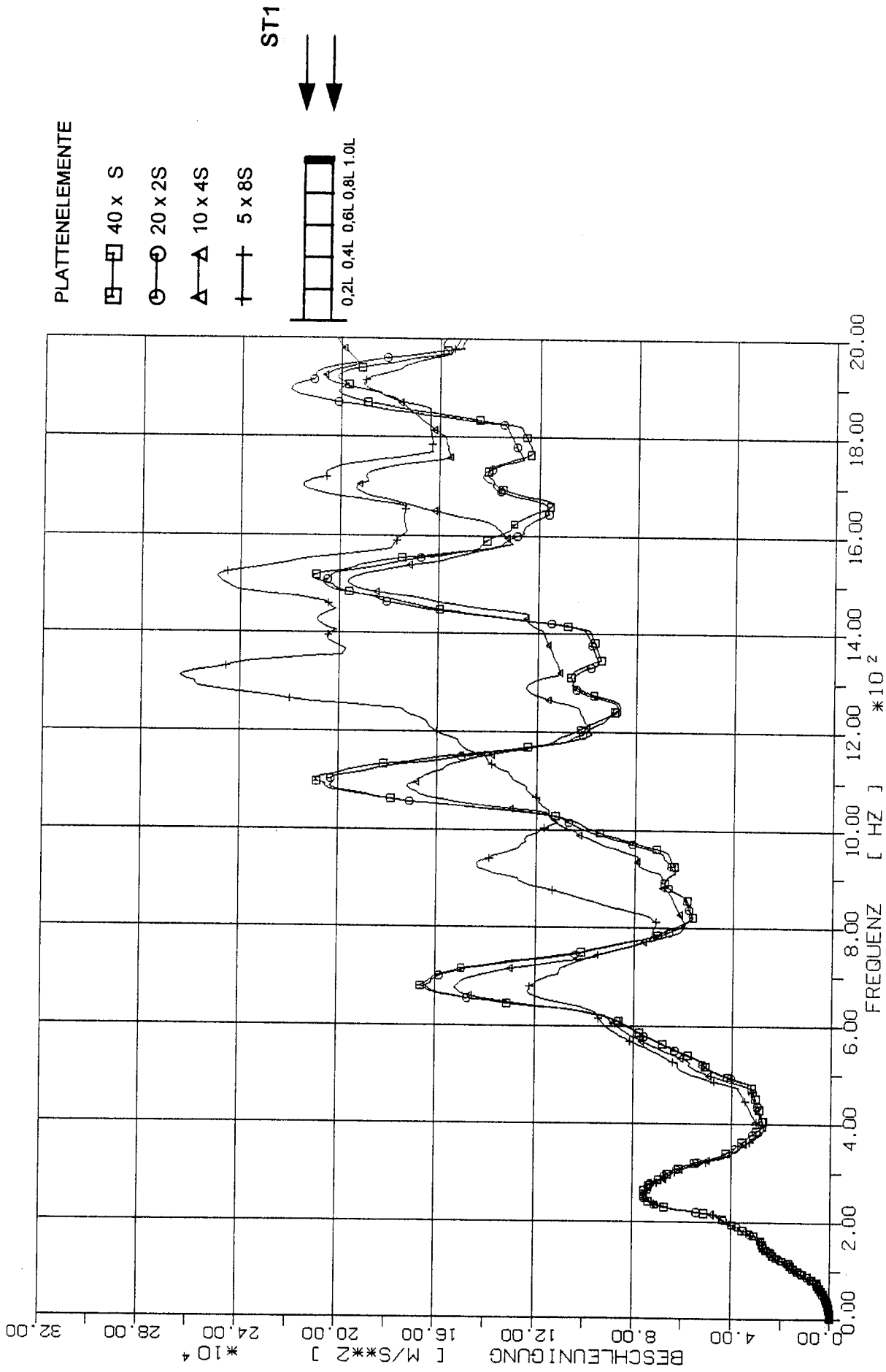
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

6.2 Plattenelemente-Modell

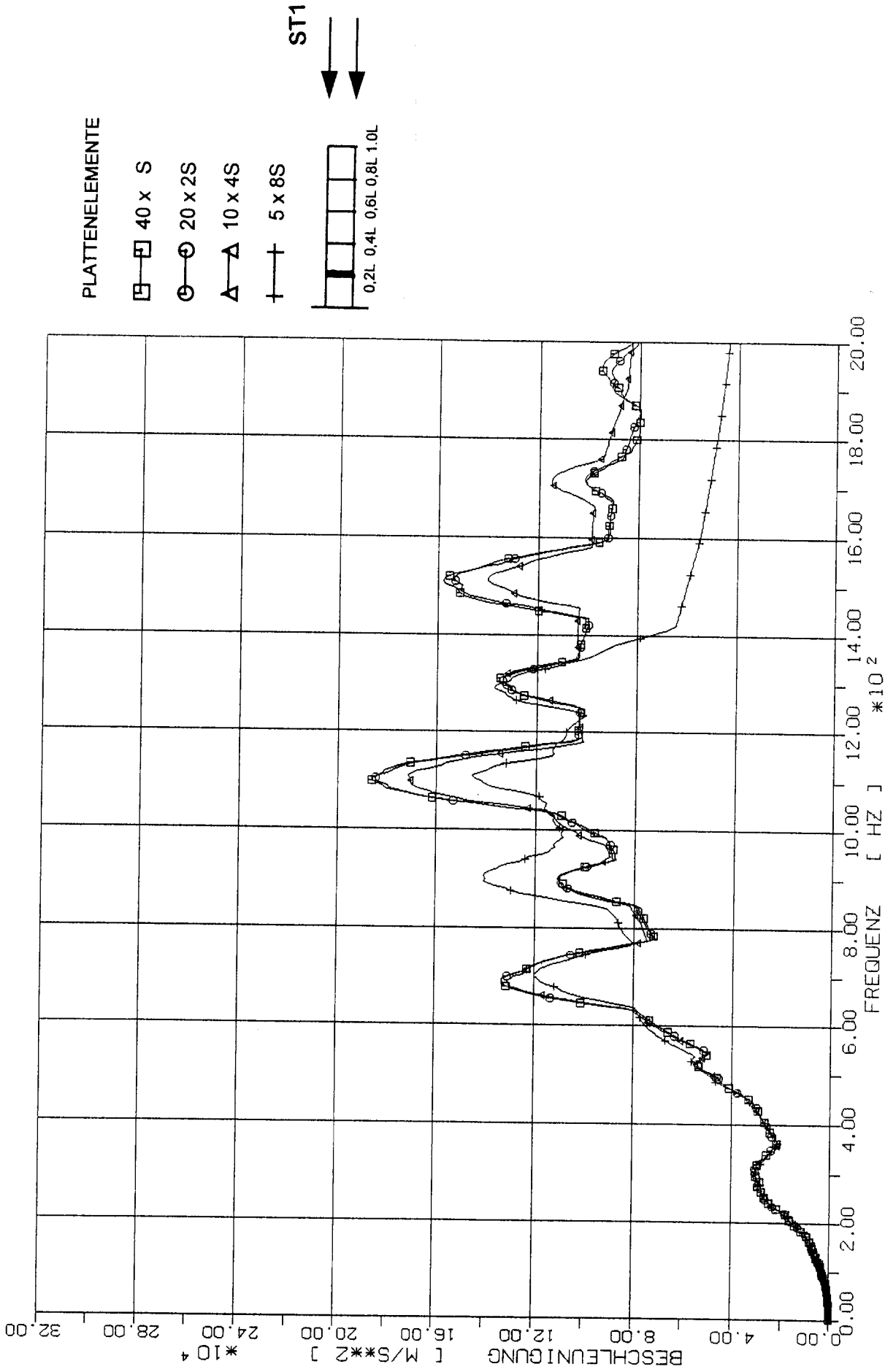
6.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)





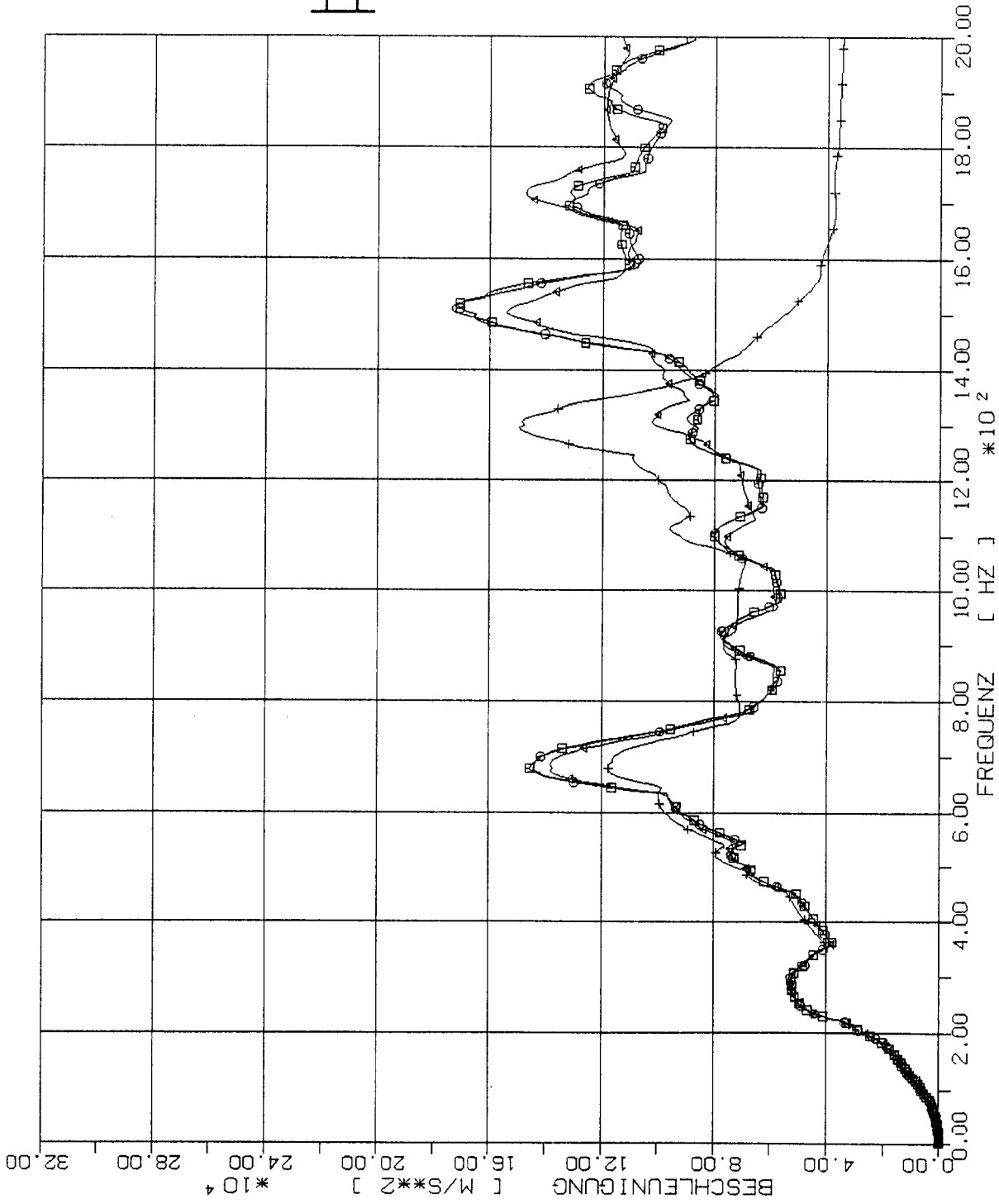
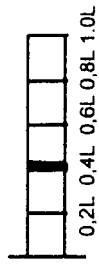
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

PLATTENELEMENTE

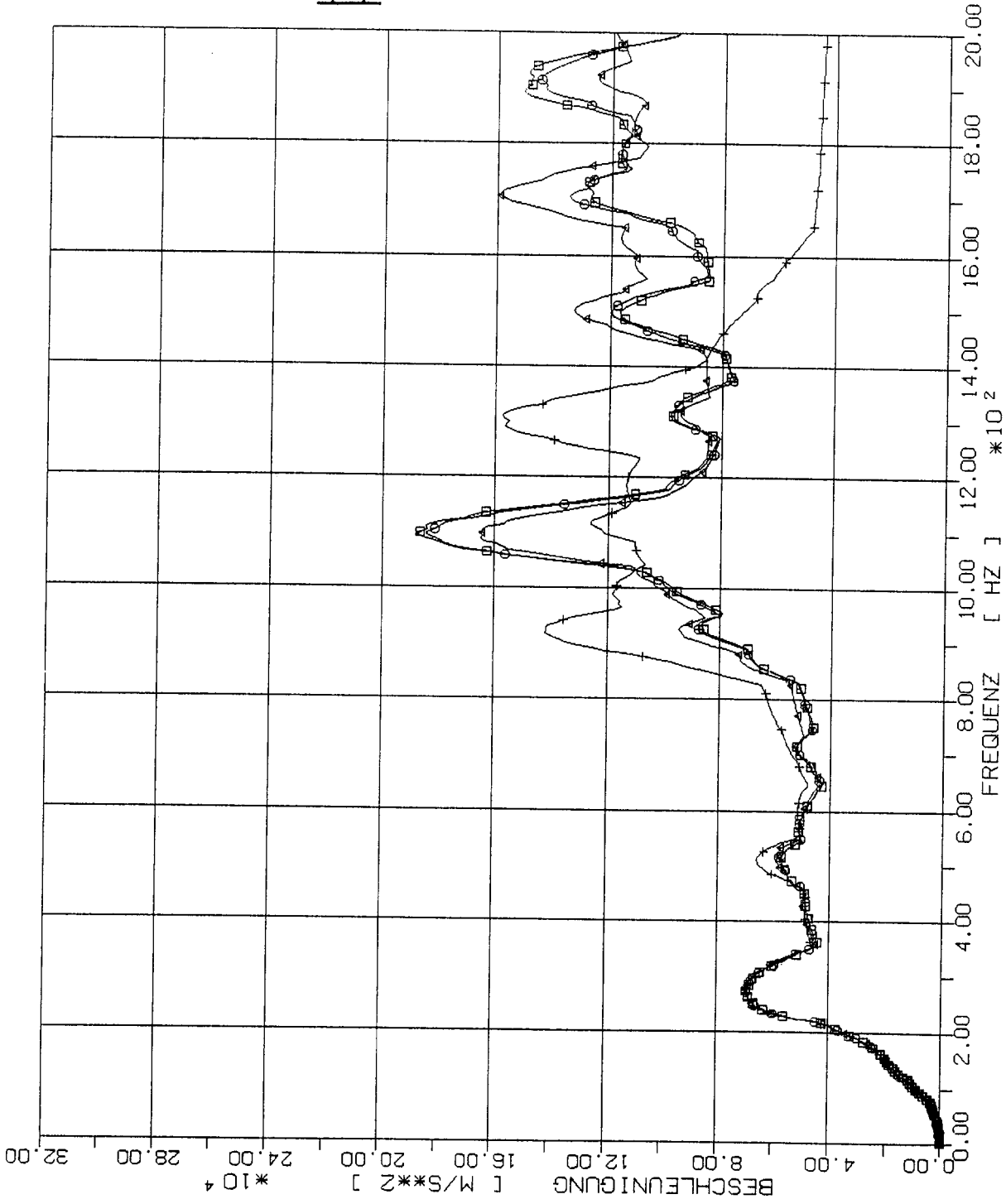
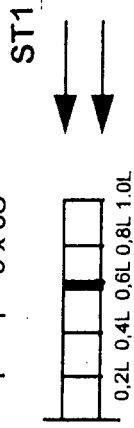
- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- + 5 x 8S



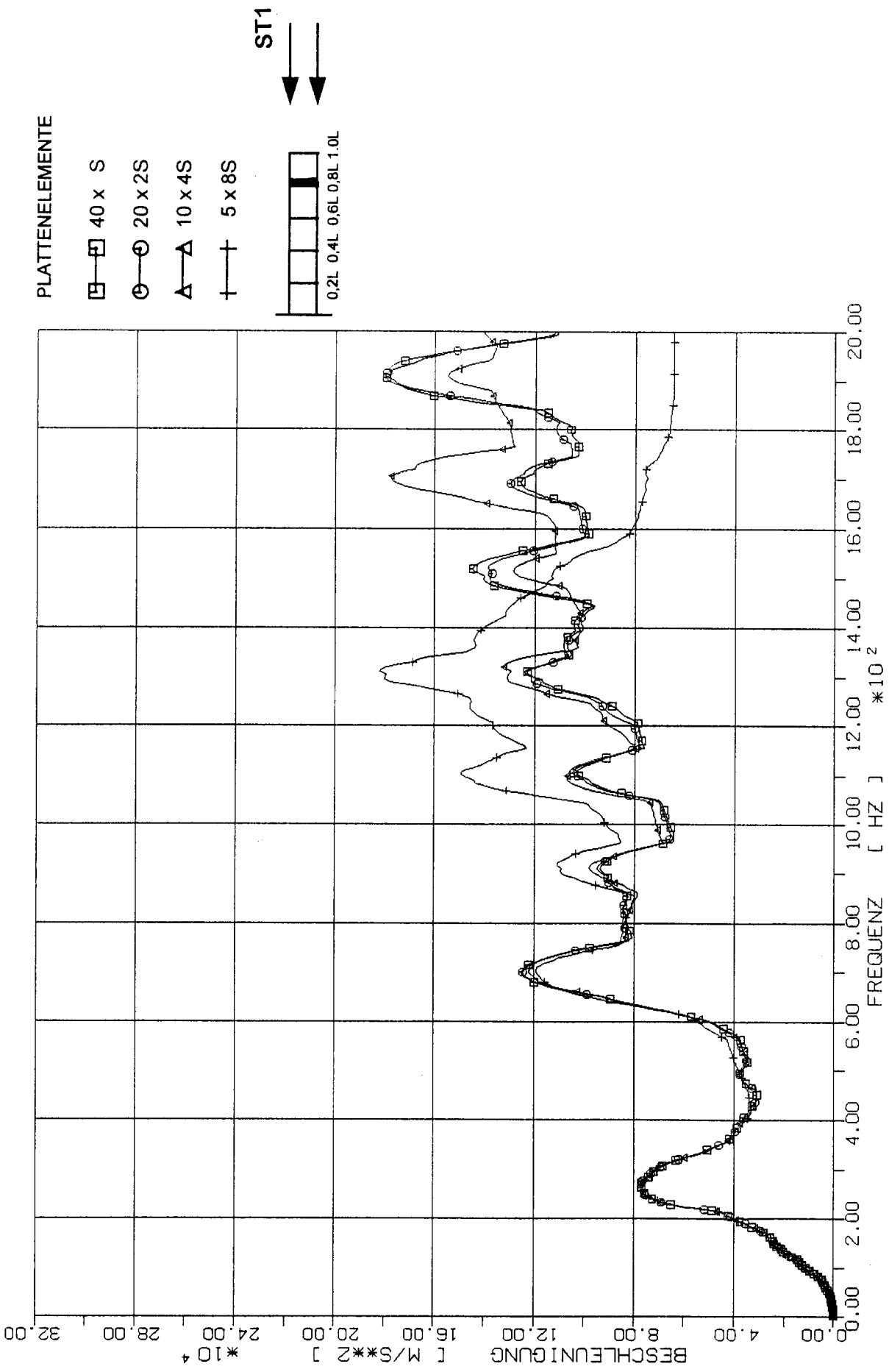
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

PLATTENELEMENTE

- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S

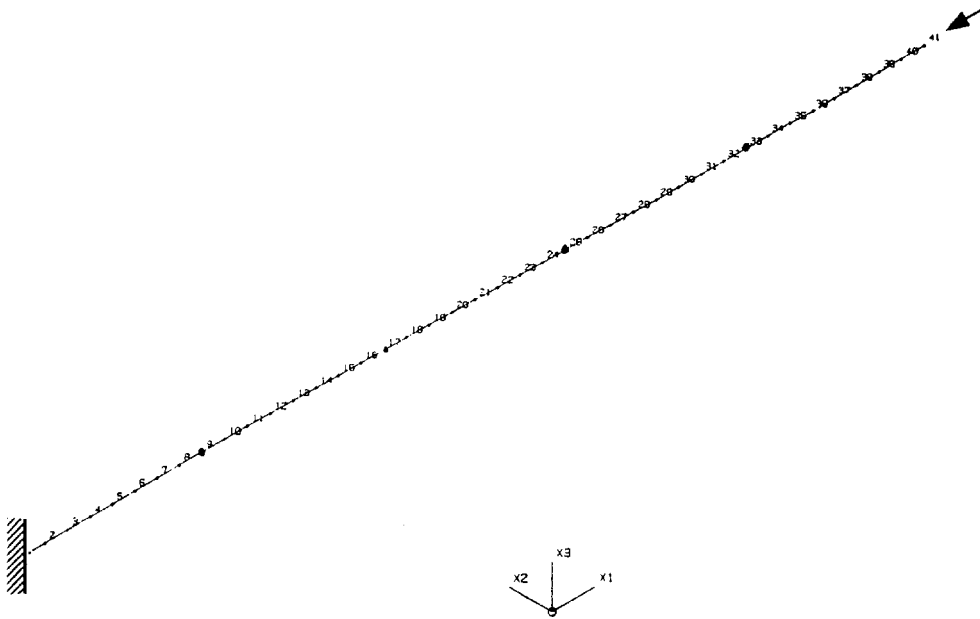


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBAEKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



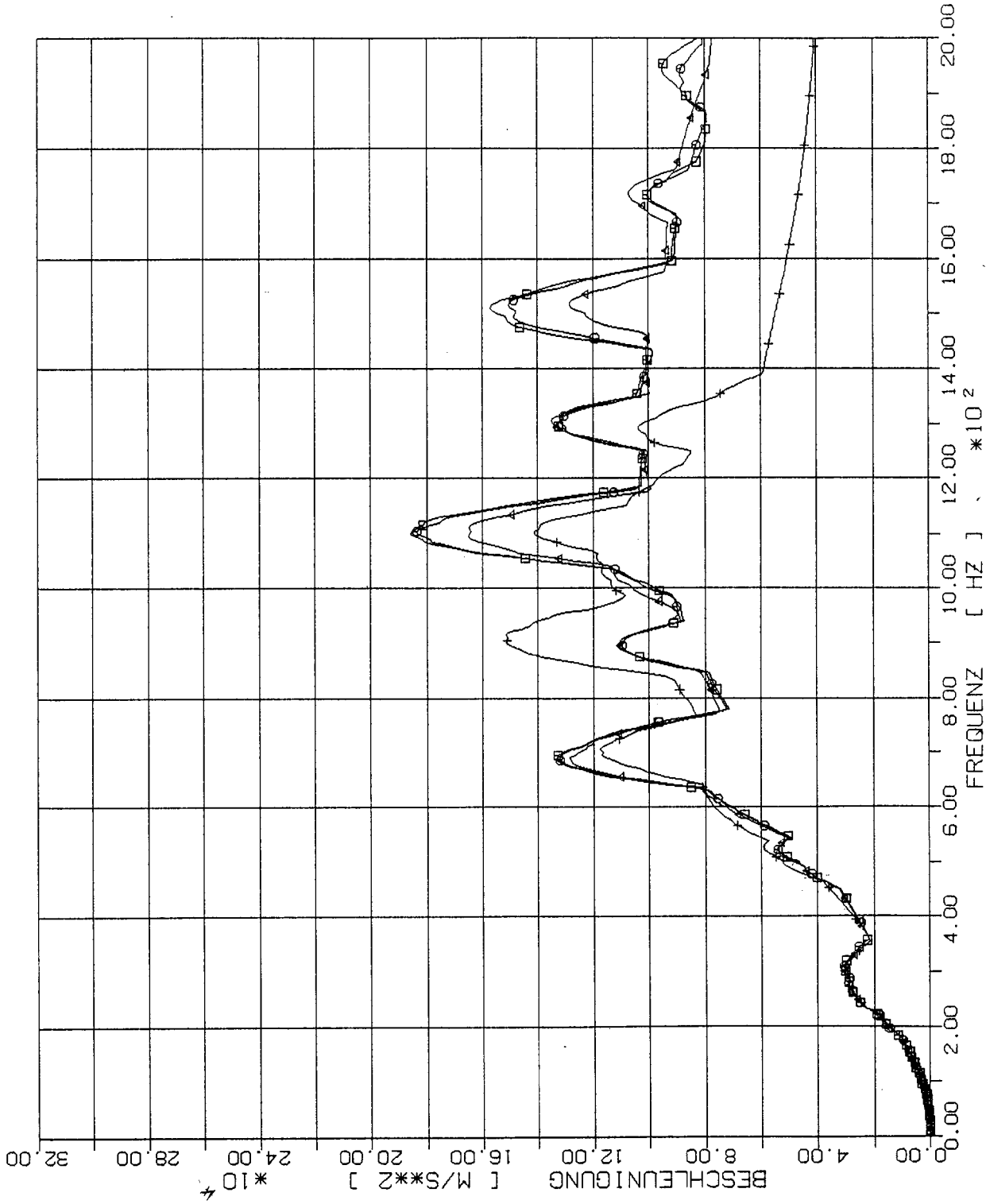
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

6.3 Balkenelemente-Modell



6.3.1 Stoß-Lastfunktion ST1

(Siehe Fig.1-4)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

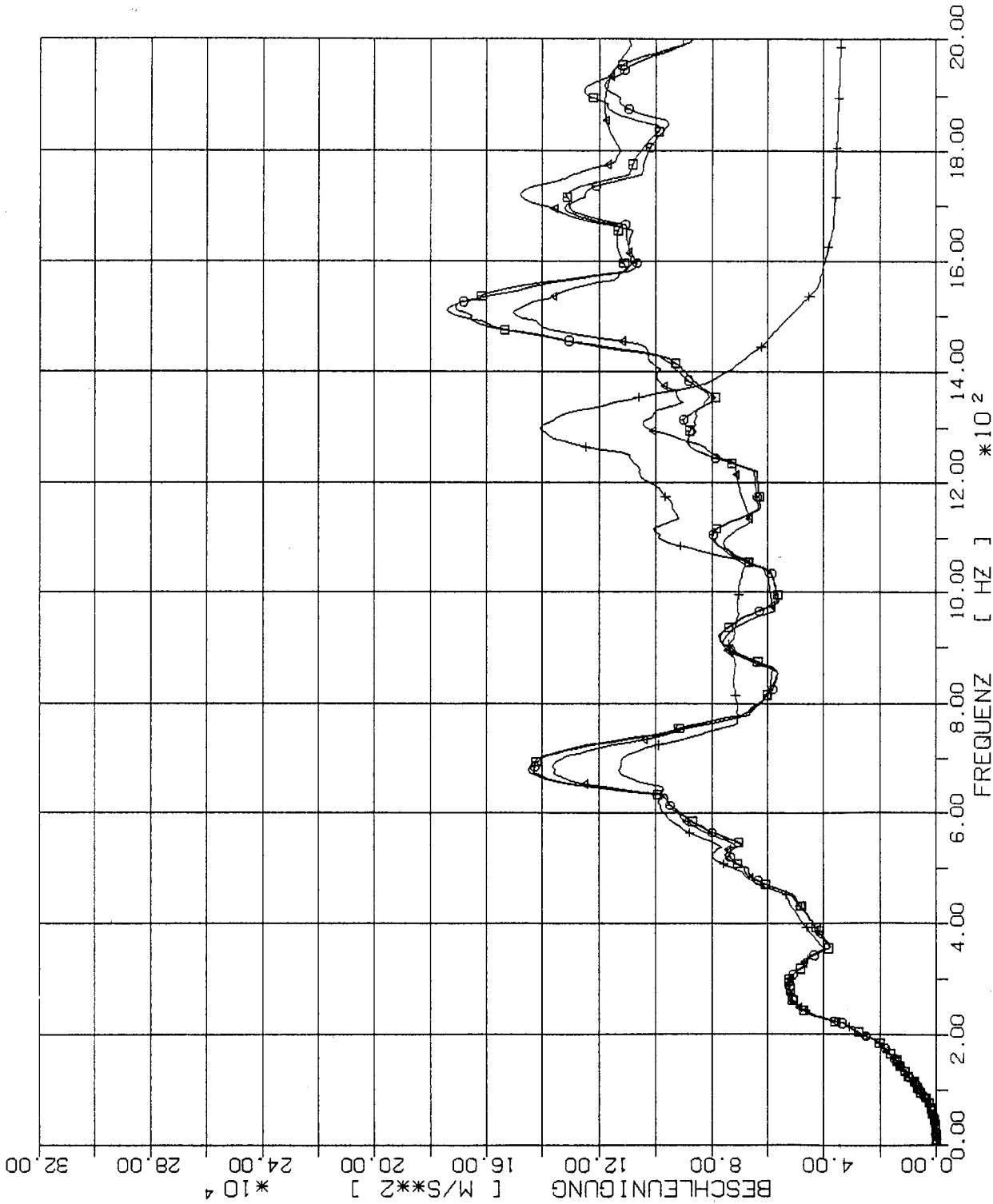
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

† 5 x 8S



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

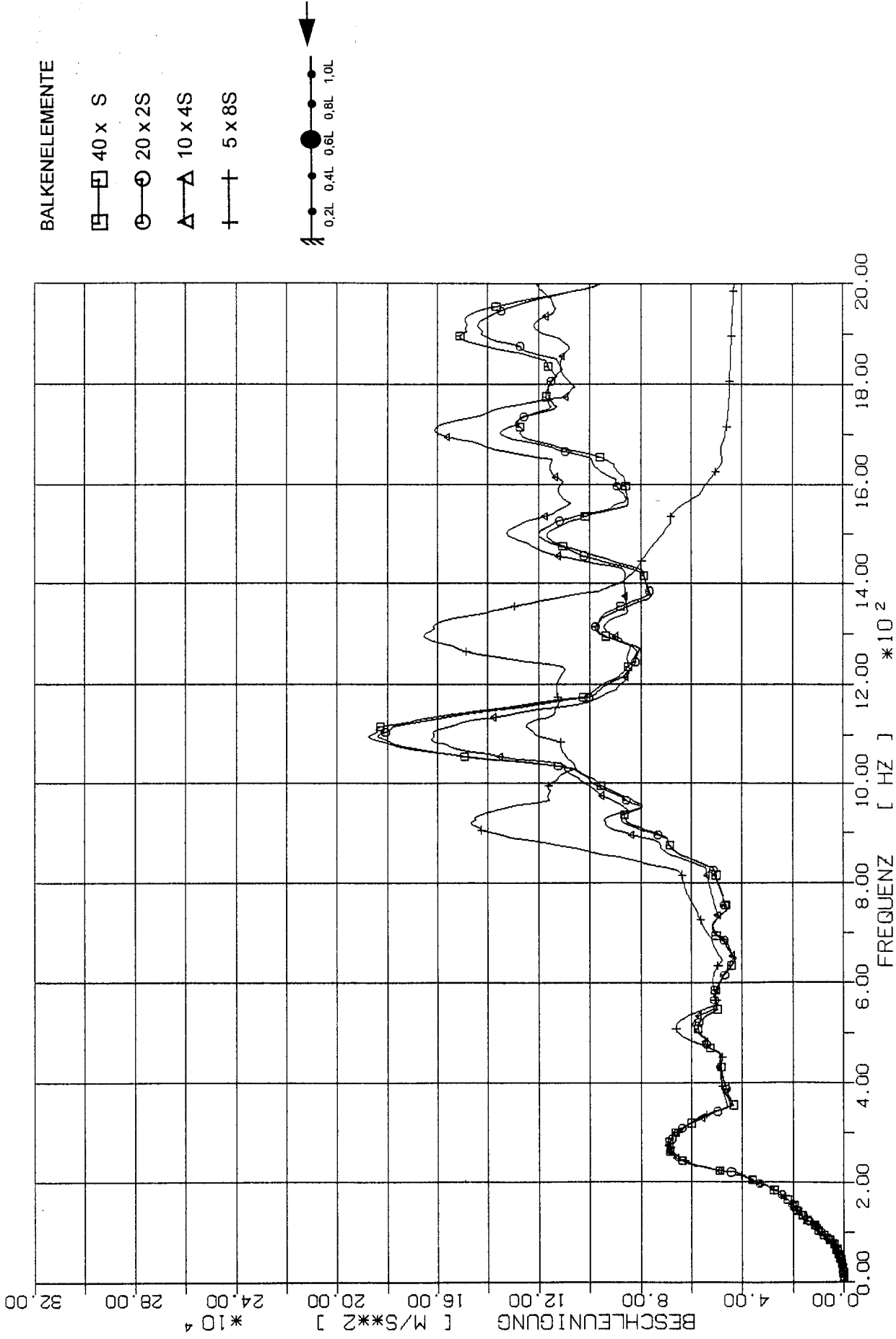
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

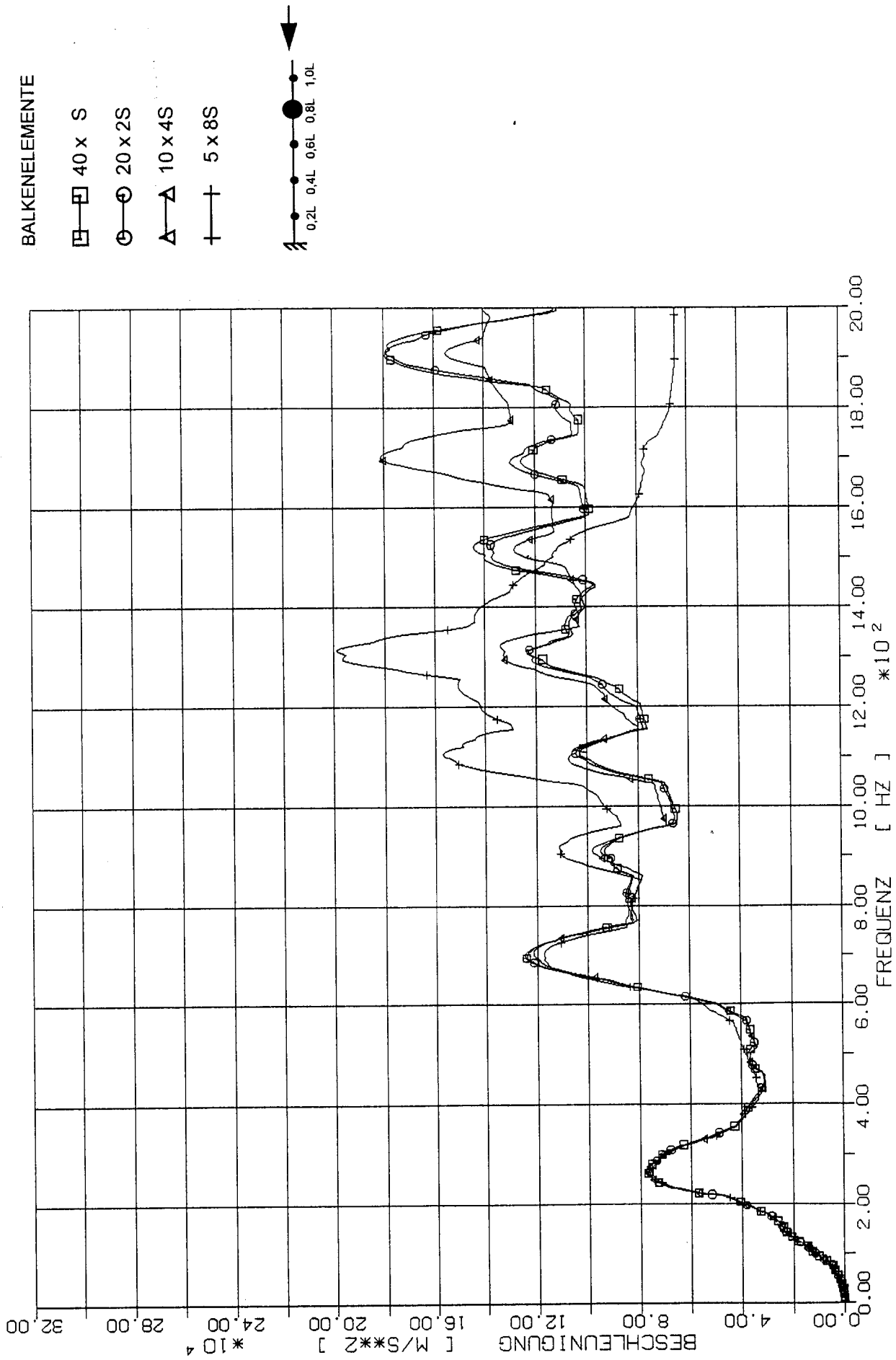
† 5 x 8S



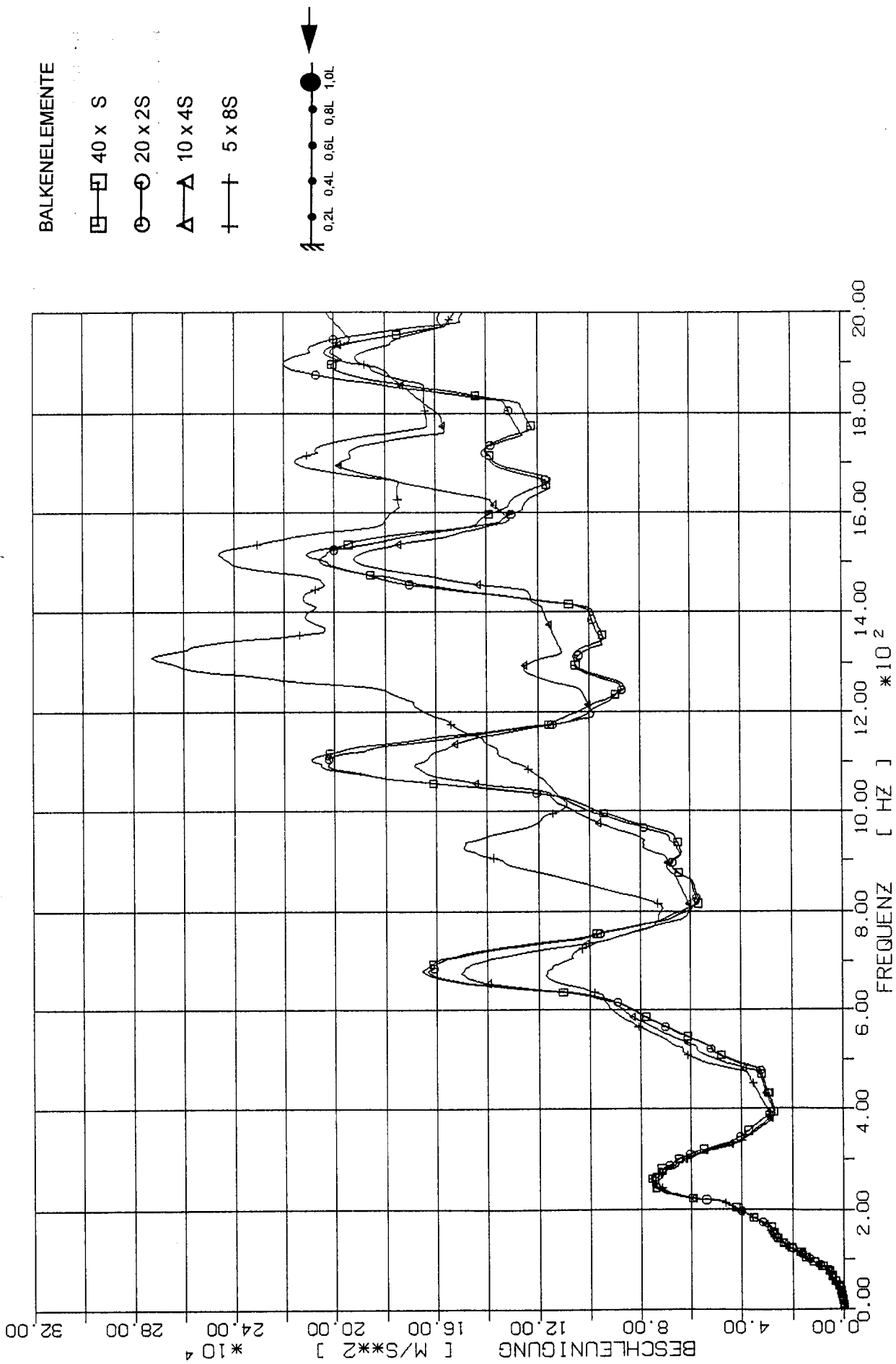
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



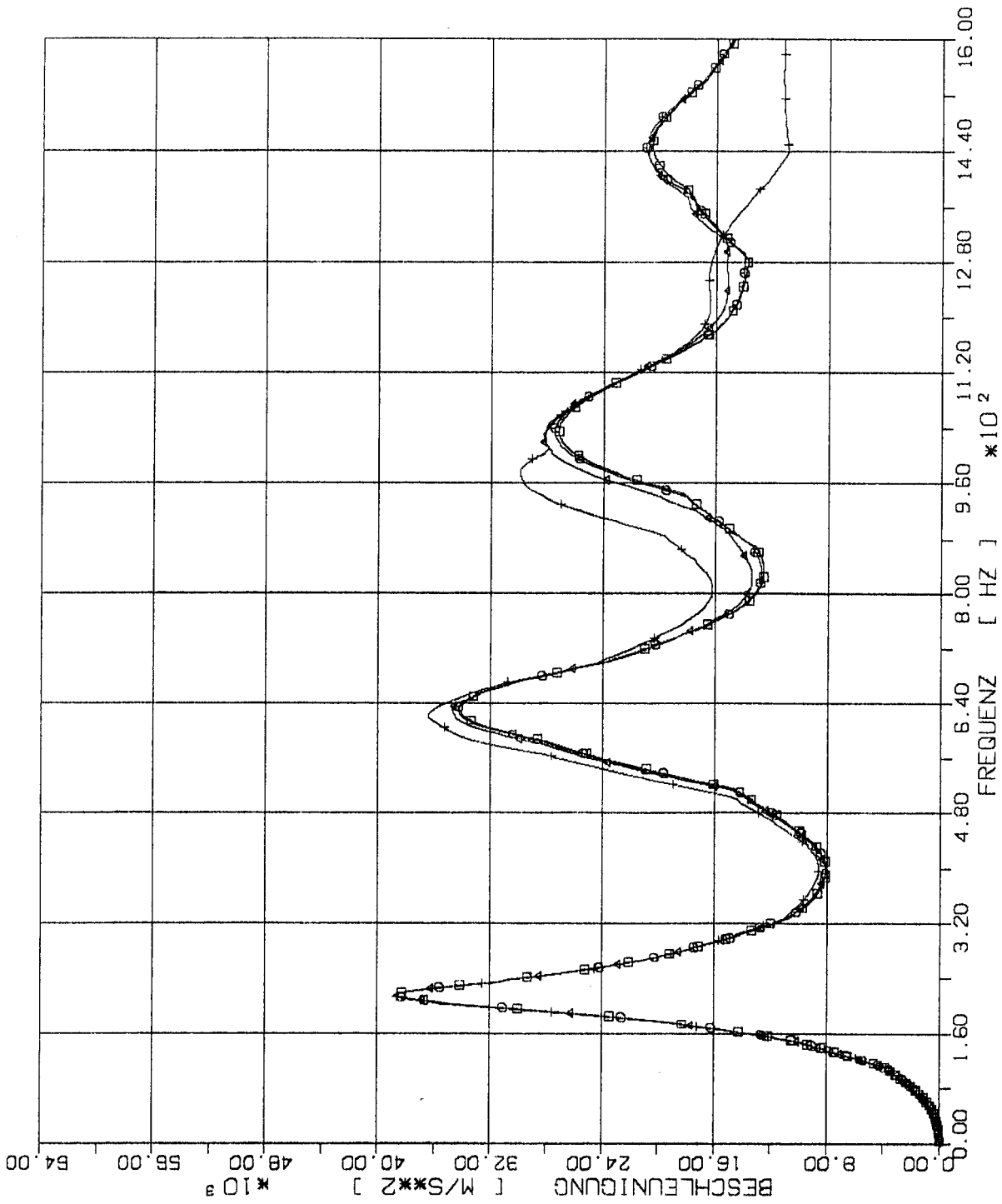
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 STOSSBELASTUNG ST1 IN LAENGRICHTUNG (X1)

6.3.2 Stoß-Lastfunktion ST2

(Siehe Fig.1-4)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

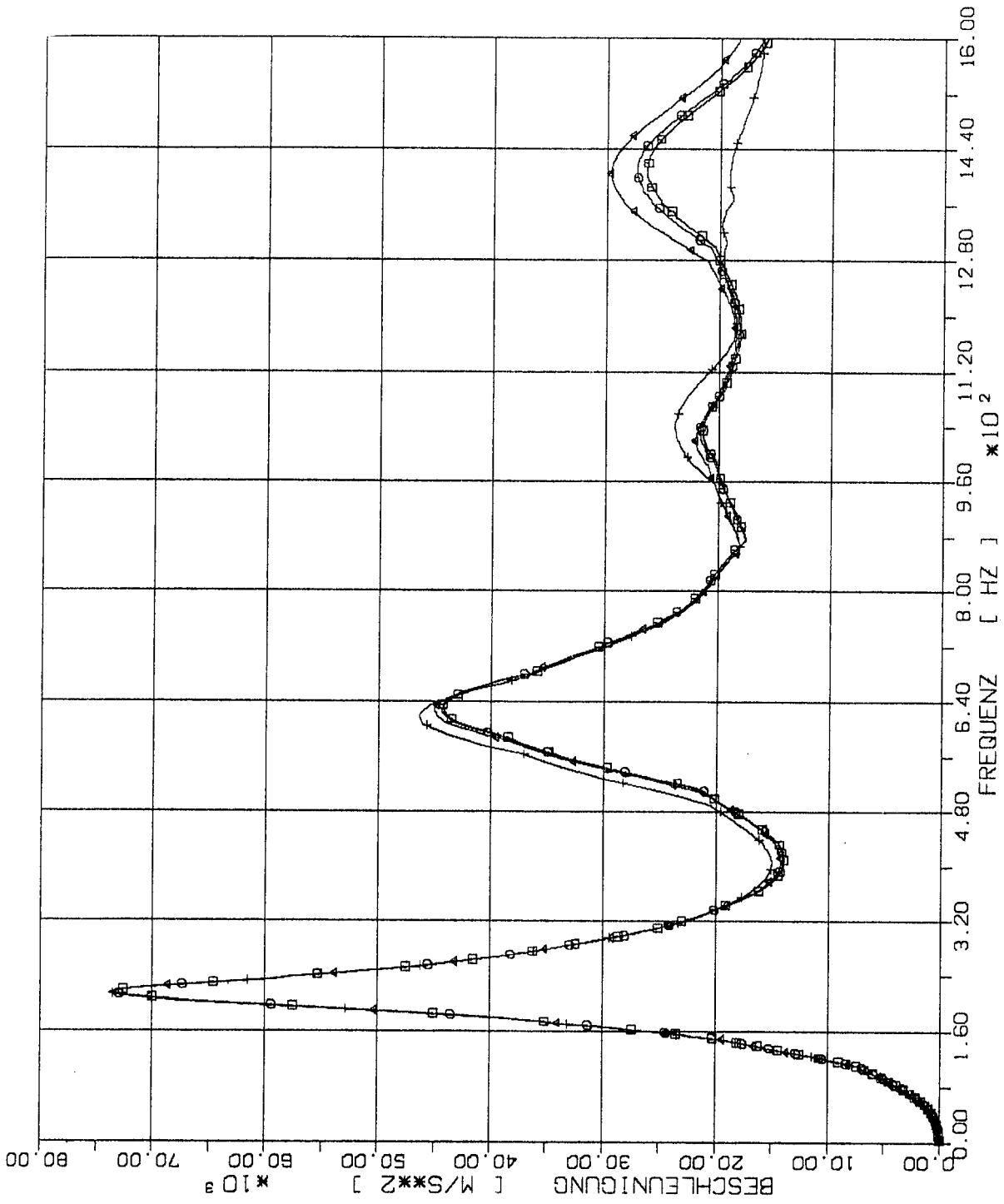
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

† 5 x 8S



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

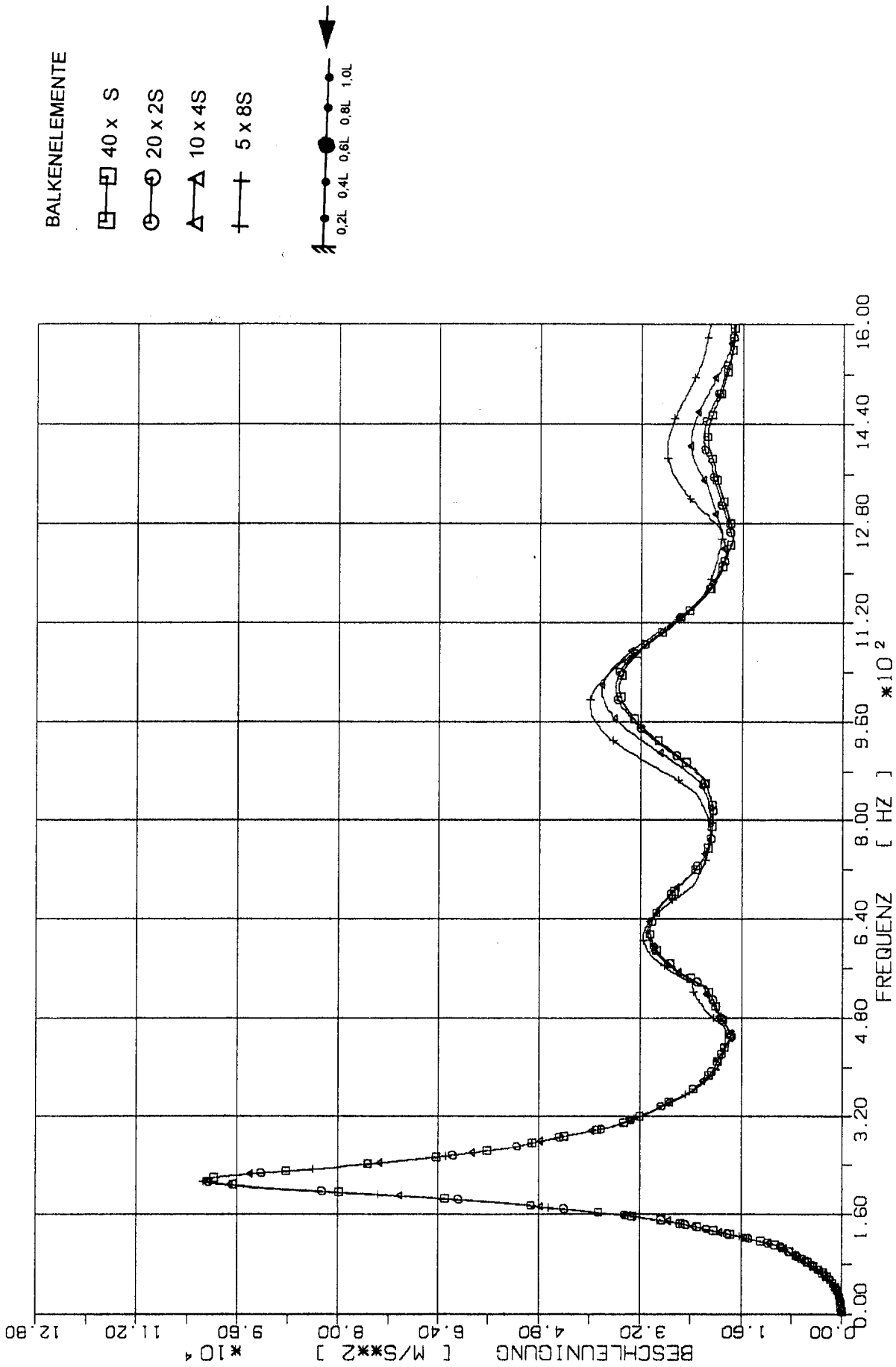
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

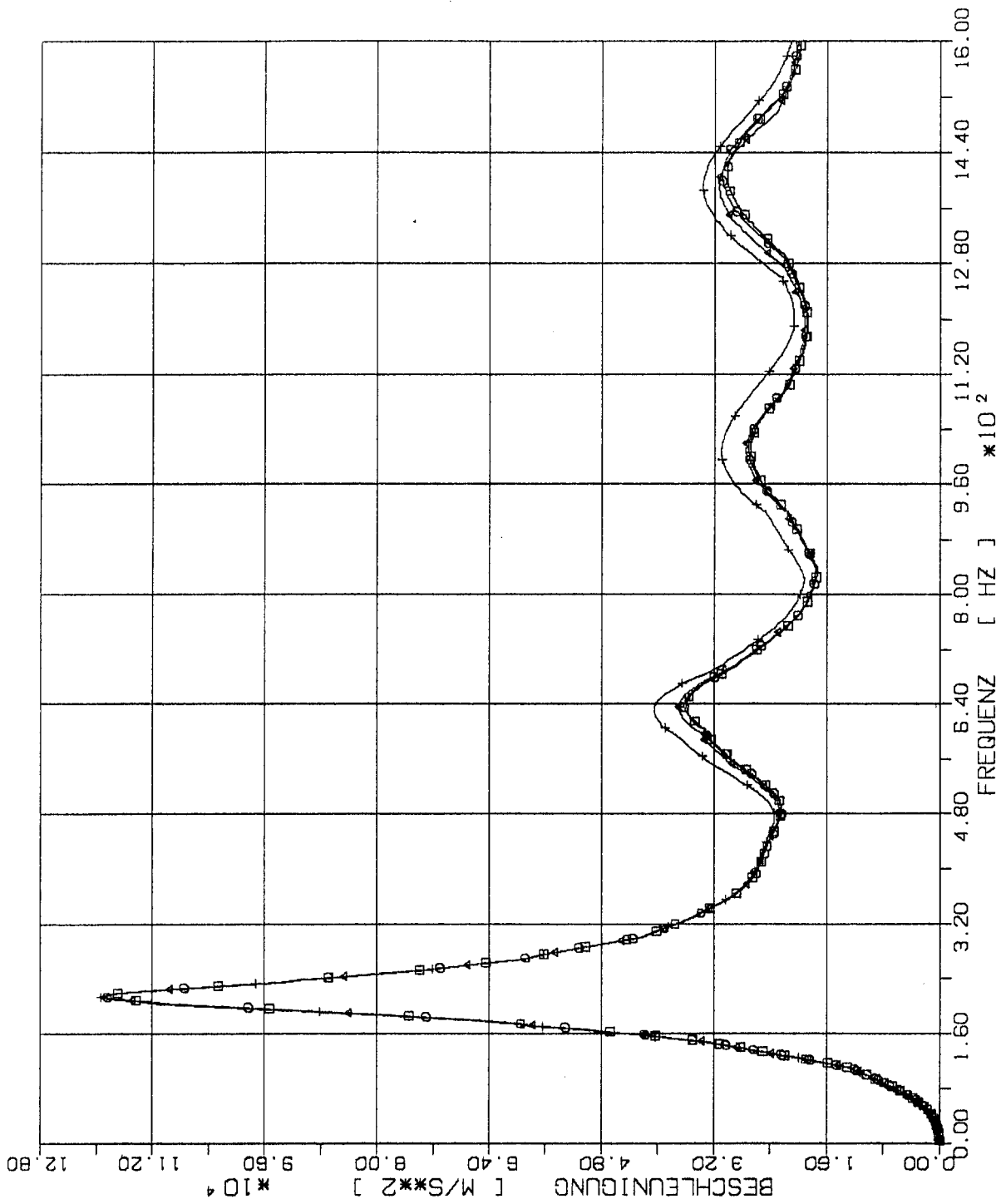
† 5 x 8S



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

□ 40 x S

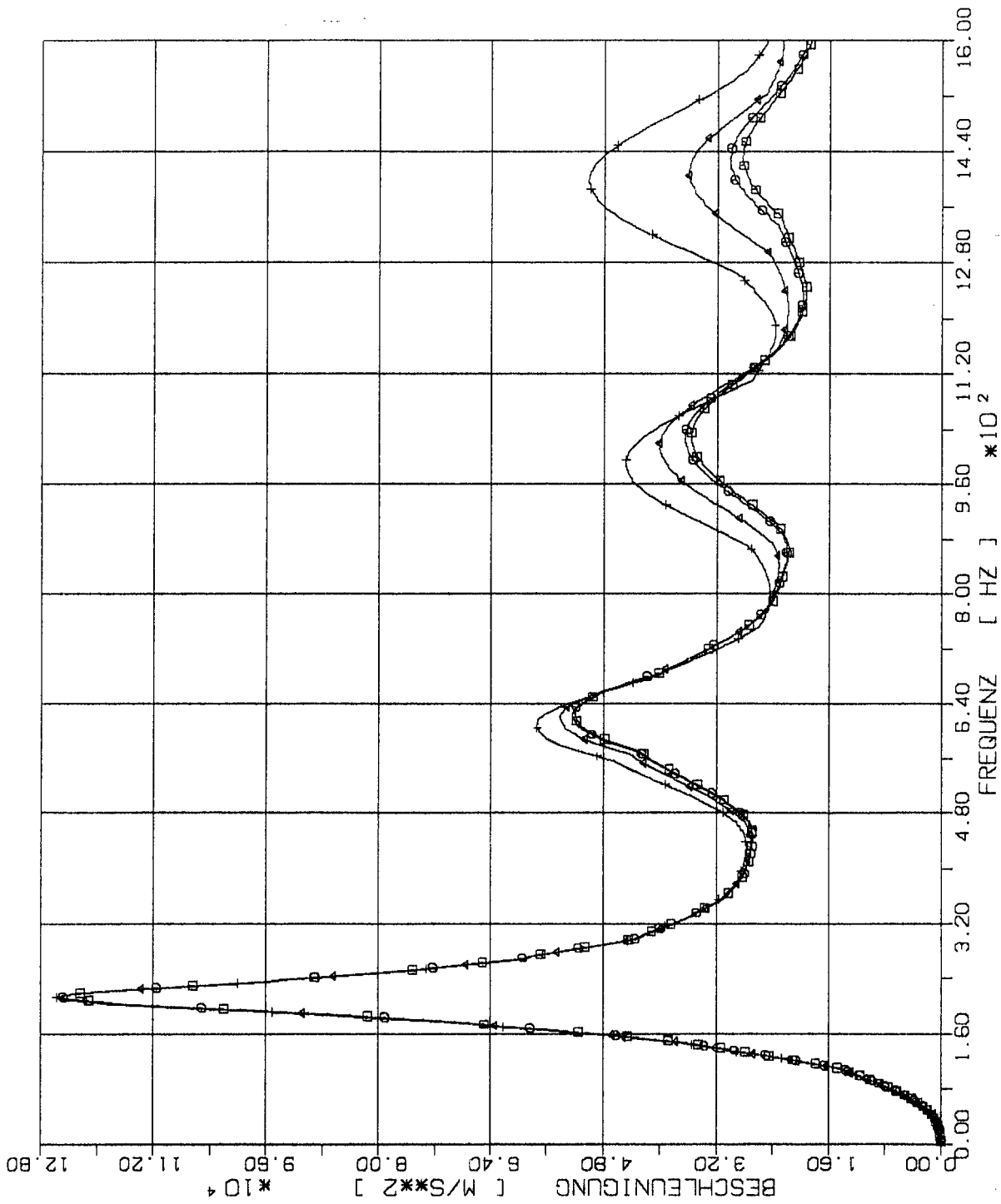
○ 20 x 2S

△ 10 x 4S

+ 5 x 8S



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



BALKENELEMENTE

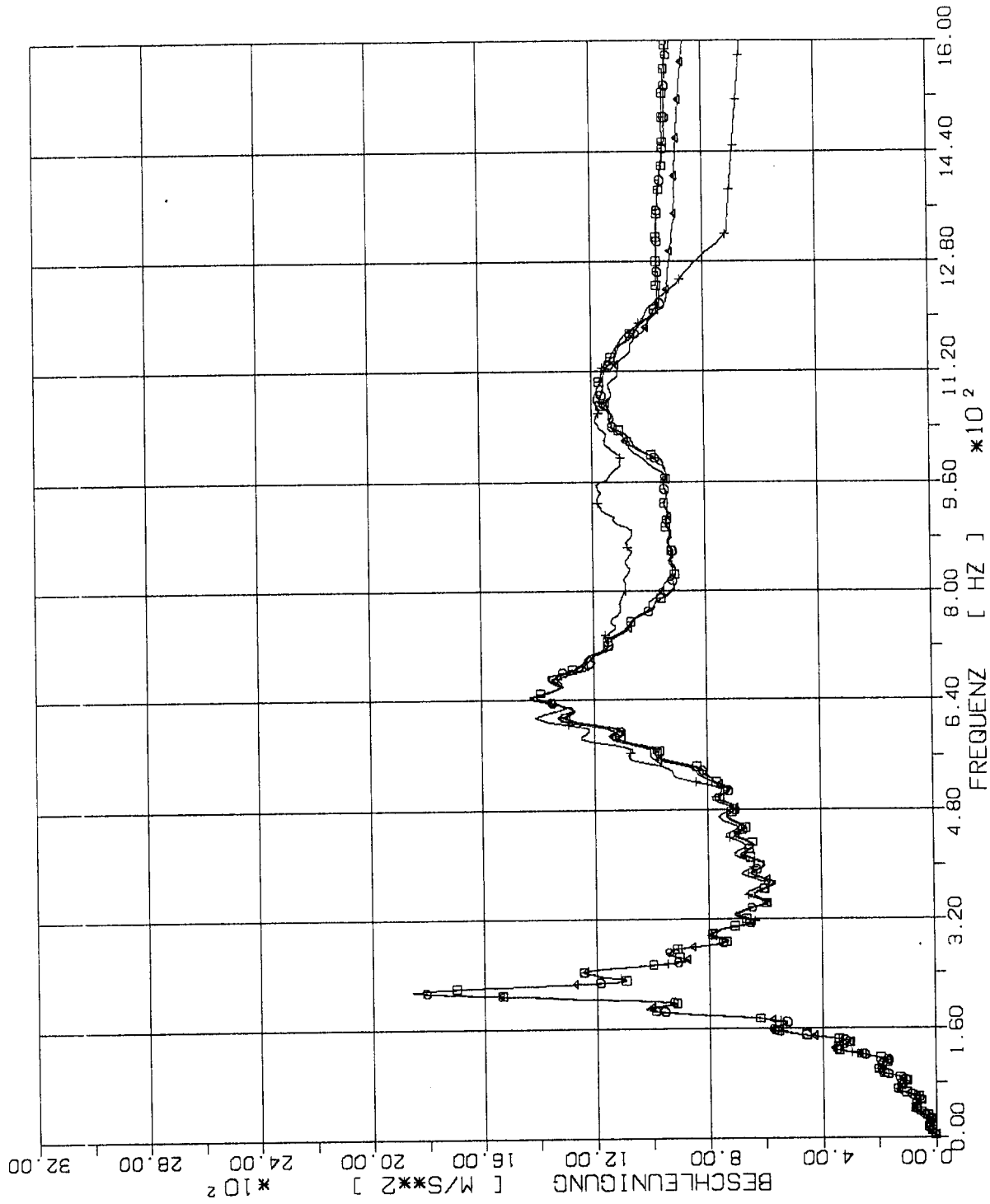
- 40 x S
- 20 x 2S
- △ 10 x 4S
- † 5 x 8S



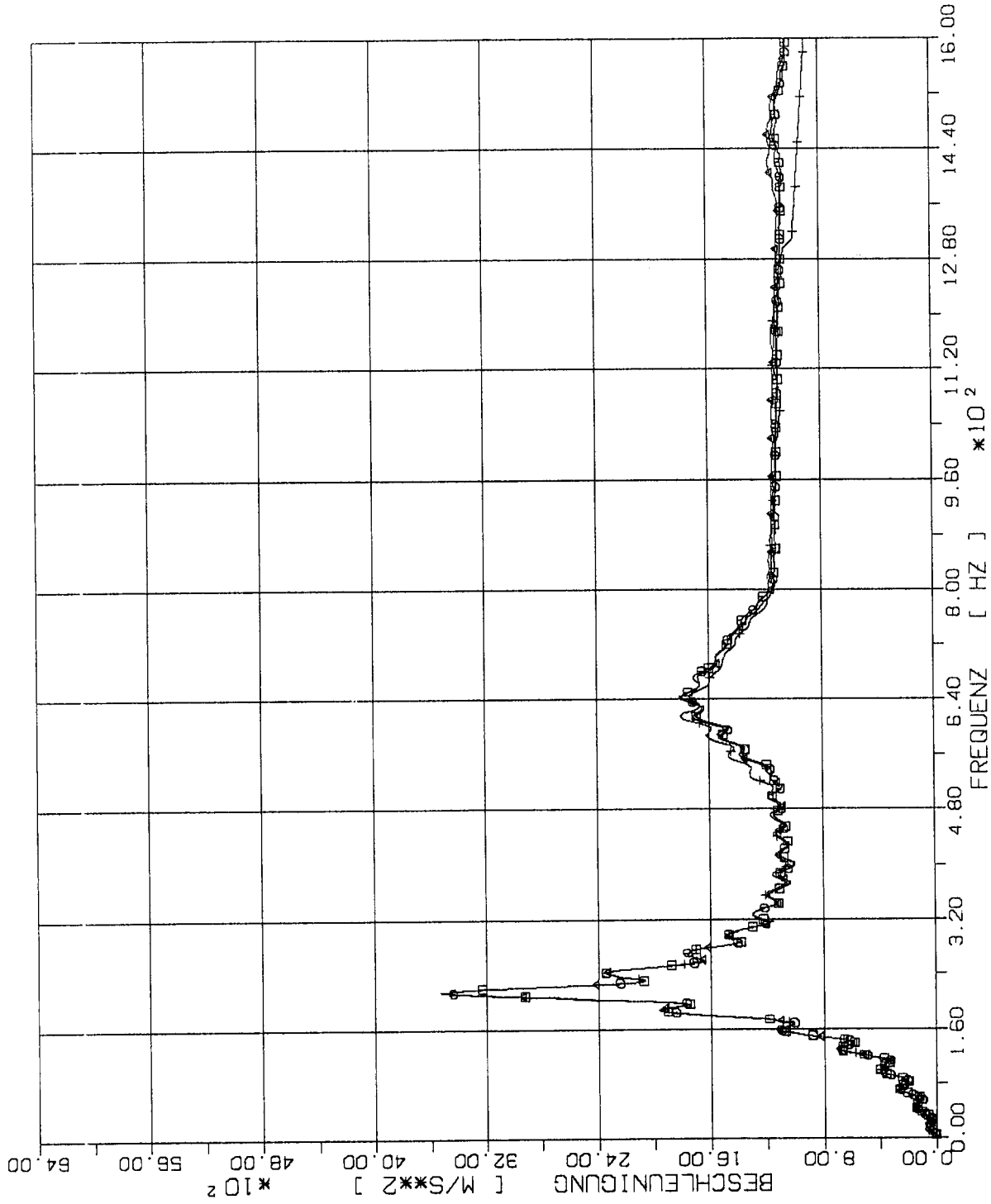
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 STOSSBELASTUNG ST2 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

6.3.3 Stoß-Lastfunktion ST3

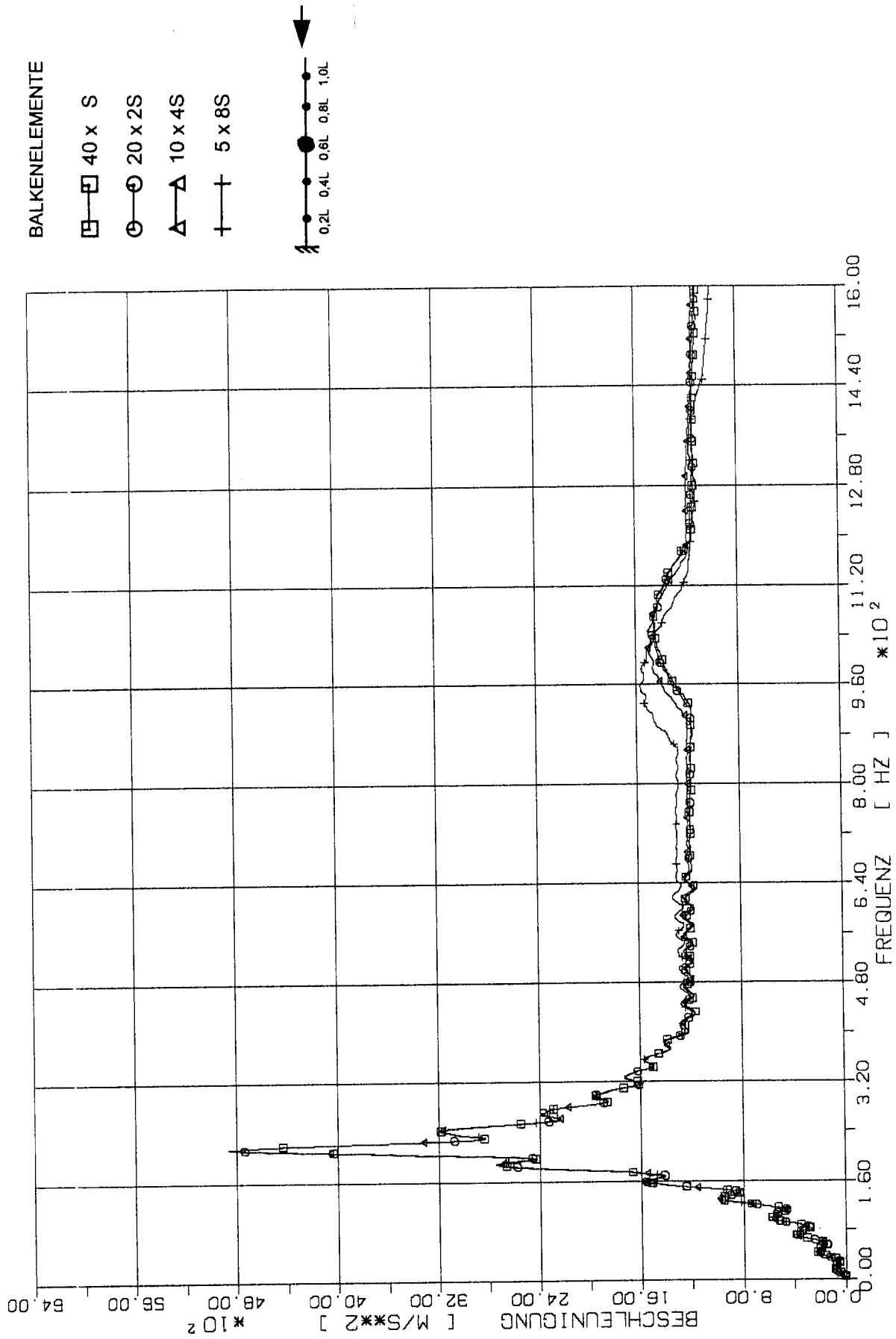
(Siehe Fig.1-4)



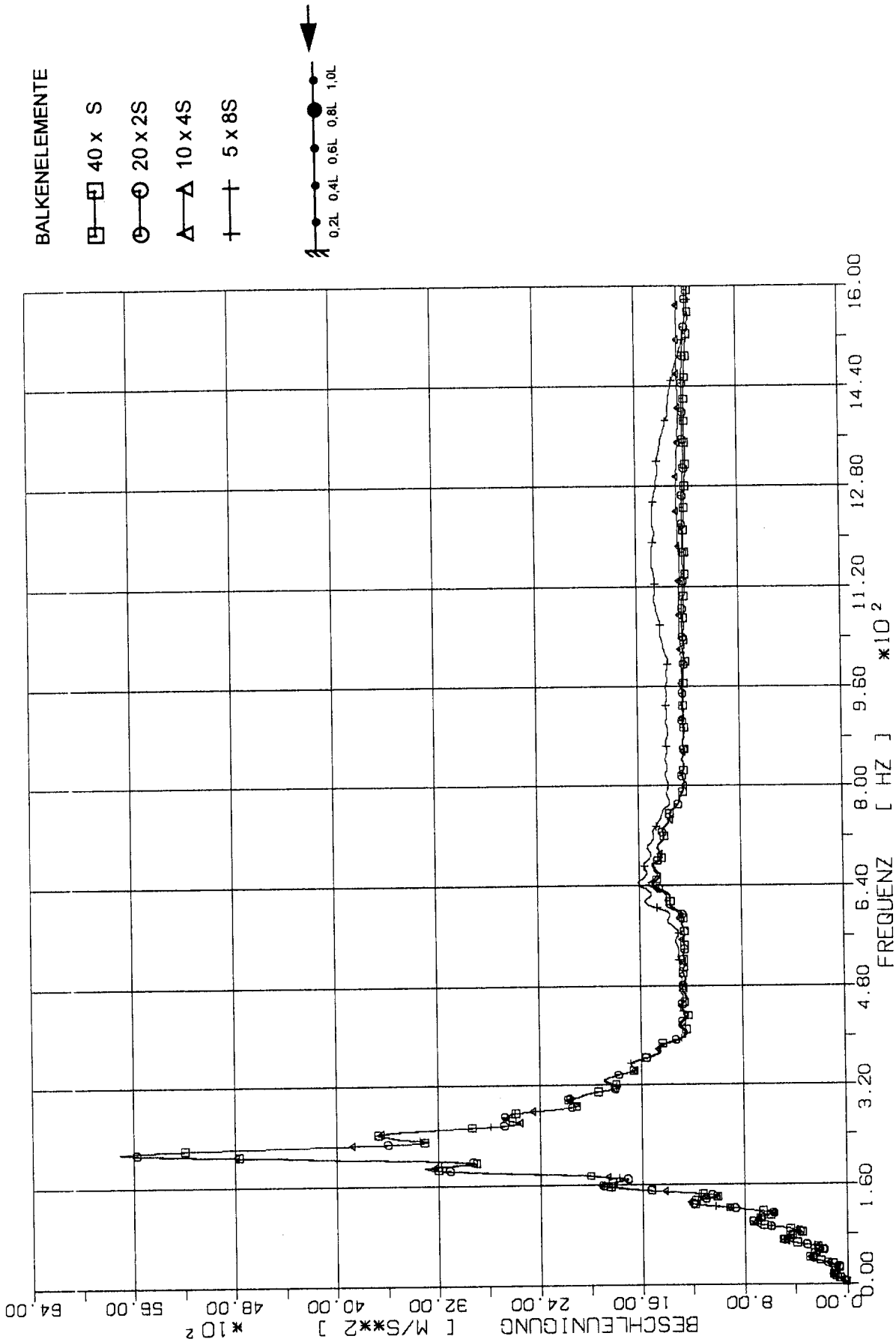
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.2 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



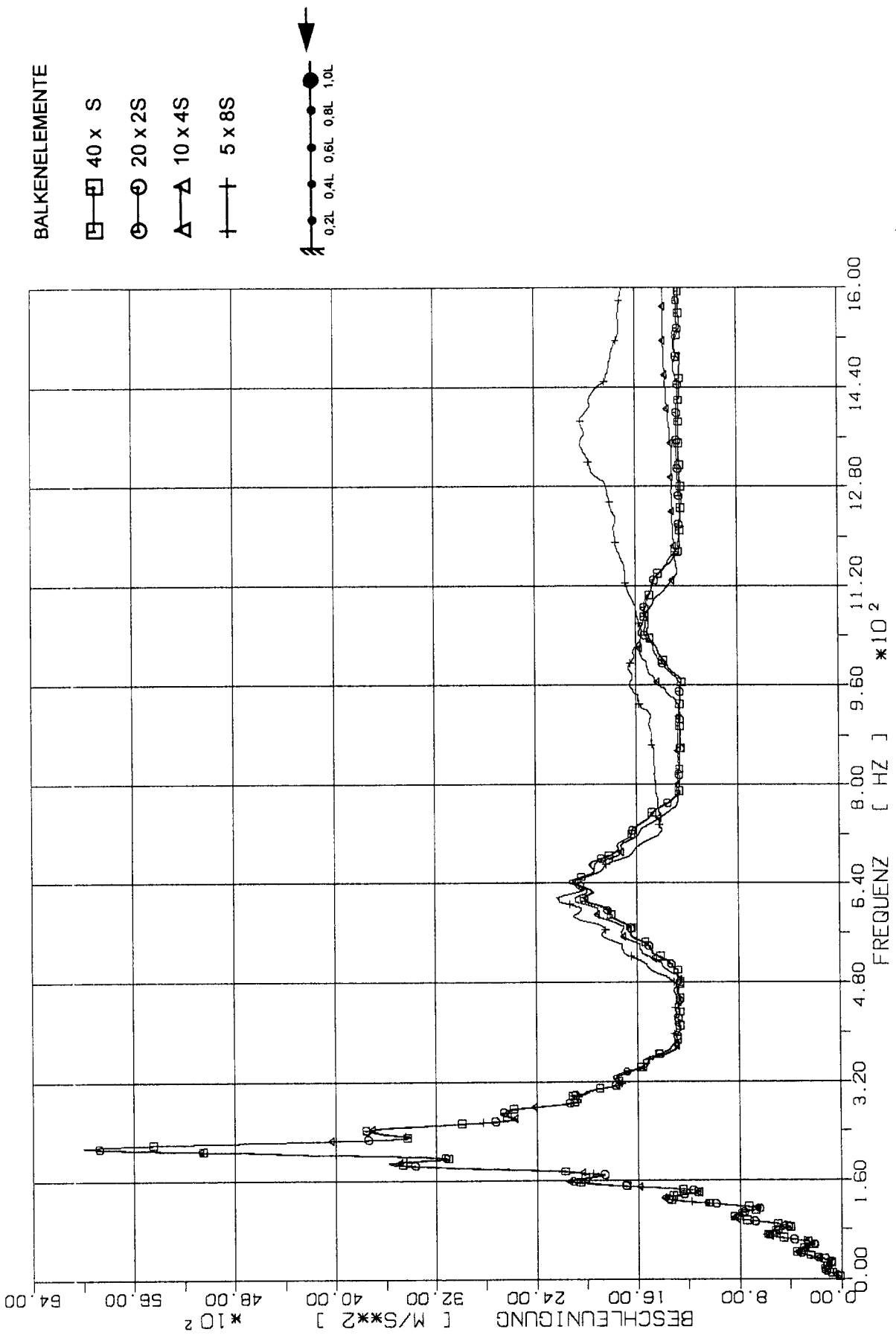
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.4 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 0.8 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN MODELLBALKEN
 BESCHLEUNIGUNGSANTWORTSPEKTREN, IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1.0 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

Zwischenblatt

Zwischenblatt

T e i l 2

**Numerische FE-Simulation
von Erschütterungsausbreitungsvorgängen
in Modell-Wandscheiben und Deckenplatten**

Inhaltsverzeichnis

1	Modellwandscheiben	A1-211
1.1	Modellabbildungen, Eigenwerte und Stoß-Lastfunktionen	A1-212
1.2	Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten der Modellwandscheibe bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen und Stoßbelastungen	A1-234
1.2.1	Stoßbelastungen und Antworten in Längsrichtung	A1-235
1.2.2	Stoßbelastungen und Antworten in Querrichtung	A1-250
1.3	Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten der Modellwandscheibe bei verschiedenen Diskretisierungen und Stoßbelastungen	A1-272
1.3.1	Stoßbelastungen und Antworten in Längsrichtung	A1-273
1.3.2	Stoßbelastungen und Antworten in Querrichtung	A1-288
1.4	Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten der Modellwandscheibe bei verschiedenen Diskretisierungen und Stoßbelastungen	A1-301
1.4.1	Stoßbelastungen und Antworten in Längsrichtung	A1-302
1.4.2	Stoßbelastungen und Antworten in Querrichtung	A1-317
2	Modell-Deckplatten	A1-333
2.1	Modellabbildungen, Eigenwerte und Lastfunktionen	A1-334
2.2	Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten der Modellplatte bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen und Stoßbelastungen senkrecht zur Plattenebene	A1-354
2.2.1	Frei aufgelagerte Platte	A1-355
2.2.2	Platte mit Kontureinspannung	A1-373
2.3	Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in charakteristischen Beobachtungspunkten der Modelldeckenplatte bei verschiedenen Diskretisierungen und Stoßbelastungen senkrecht zur Plattenebene	A1-397
2.3.1	Frei aufgelagerte Platte	A1-398
2.3.2	Platte mit Kontureinspannung	A1-421
2.4	Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten der Modelldeckenplatte bei verschiedenen Diskretisierungen und Stoßbelastungen senkrecht zur Plattenebene	A1-445
2.4.1	Frei aufgelagerte Platte	A1-446
2.4.2	Platte mit Kontureinspannung	A1-459

1. Modellwandscheibe

1.1 Modellabbildungen, Eigenwerte und Stoß-Lastfunktionen

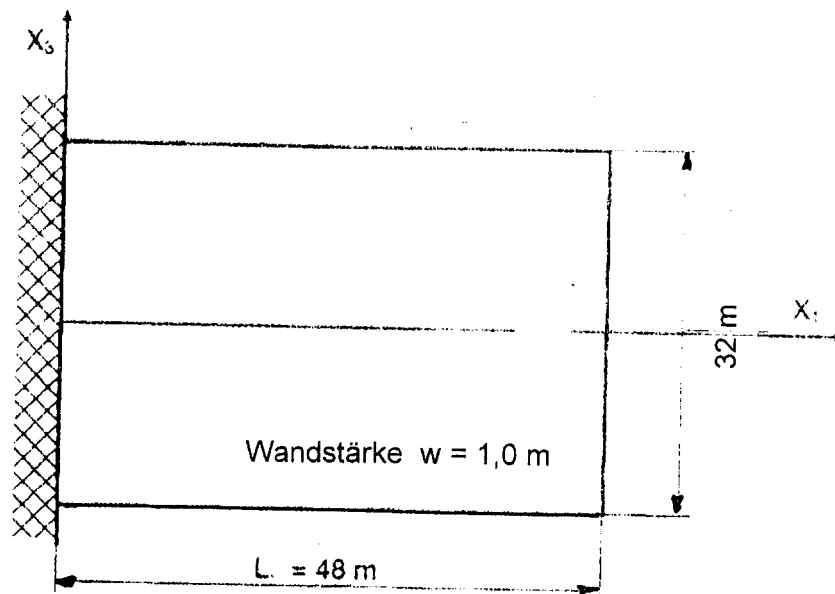


Fig. 1-1 Abmessungen der Modellwandscheibe

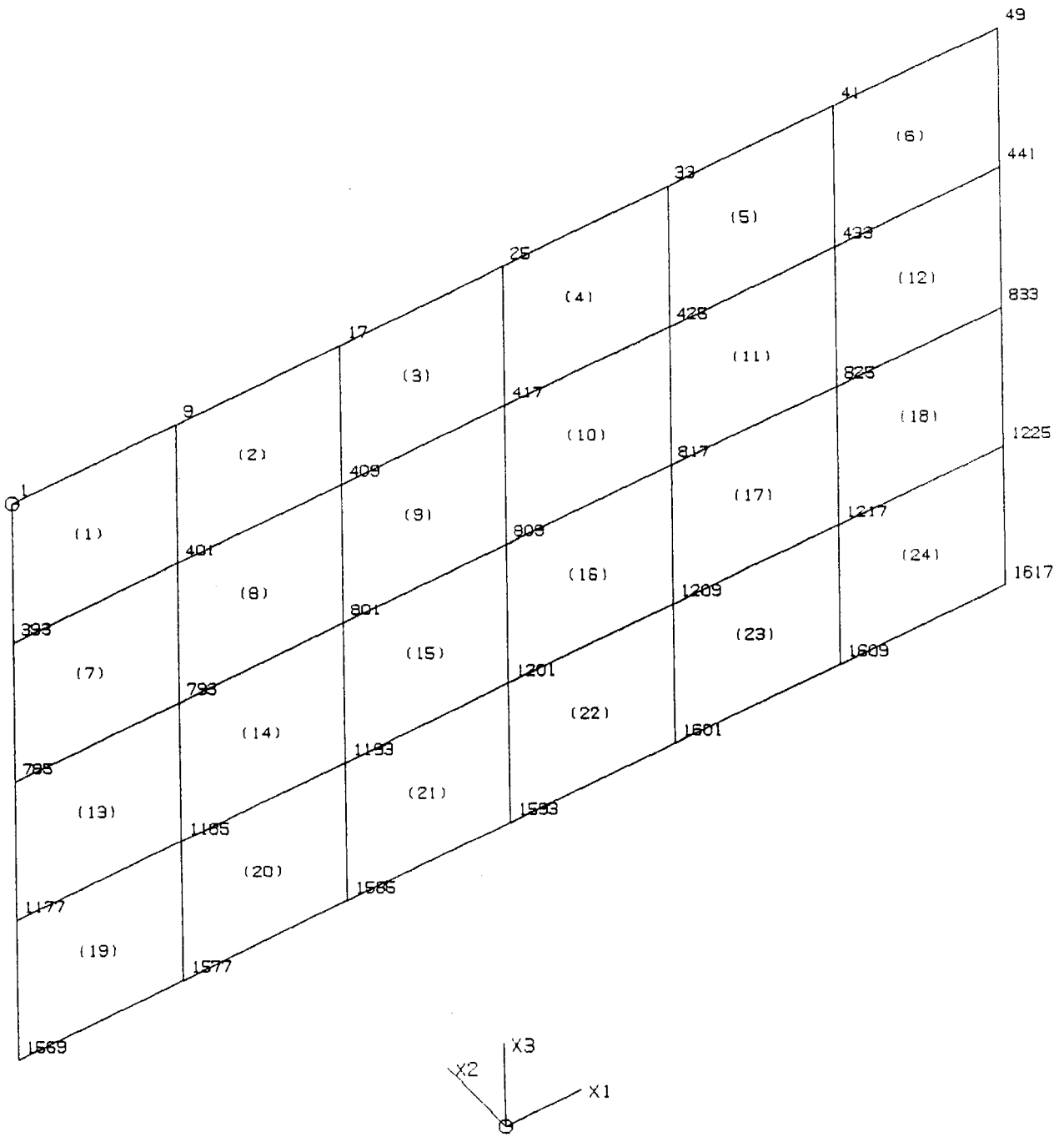


Fig.1.1-1 Diskretisierungsvariante 8w x 8w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	0.24	833-2	0.000	23229.746	0.000	5.00	5.00
2	0.82	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	1.45	833-2	0.000	7245.792	0.000	5.00	5.00
4	2.68	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
5	3.25	1609-2	0.000	151.424	0.000	5.00	5.00
6	3.97	1585-2	0.000	2322.478	0.000	5.00	5.00
7	5.19	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
8	5.28	1617-2	0.000	65.564	0.000	5.00	5.00
9	6.06	49-3	0.000	0.000	23193.989	5.00	5.00
10	7.42	1577-2	0.000	1113.991	0.000	5.00	5.00
11	7.61	1225-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
12	8.17	1617-2	0.000	121.326	0.000	5.00	5.00
13	8.48	1593-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	9.38	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	11.23	1577-2	0.000	202.232	0.000	5.00	5.00
16	11.56	41-2	0.000	439.057	0.000	5.00	5.00
17	11.94	33-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	12.17	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	13.05	833-2	0.000	9.605	0.000	5.00	5.00
20	14.41	1585-2	0.000	90.278	0.000	5.00	5.00
21	14.64	801-2	0.000	51.555	0.000	5.00	5.00
22	14.69	25-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
23	14.93	793-2	0.000	97.180	0.000	5.00	5.00
24	15.30	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
25	16.79	817-2	0.000	4.261	0.000	5.00	5.00
26	17.74	809-2	0.000	51.942	0.000	5.00	5.00
27	17.87	833-1	30556.769	0.000	0.000	5.00	5.00
28	18.35	401-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
29	19.28	793-2	0.000	1.498	0.000	5.00	5.00
30	19.84	49-1	0.000	0.000	8869.771	5.00	5.00
31	20.68	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
32	21.58	825-2	0.000	1.336	0.000	5.00	5.00
33	23.20	809-2	0.000	0.734	0.000	5.00	5.00
34	39.26	1617-1	0.000	0.000	1489.372	5.00	5.00
35	40.51	49-3	45.761	0.000	0.000	5.00	5.00

Fig. 1.1-1 Eigenwerte der Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante 8w x 8w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
36	45.35	49-3	0.000	0.000	702.244	5.00	5.00
37	47.74	1609-3	996.614	0.000	0.000	5.00	5.00
38	52.63	1585-3	816.723	0.000	0.000	5.00	5.00
39	55.53	1585-1	1343.591	0.000	0.000	5.00	5.00
40	56.90	49-3	0.000	0.000	251.385	5.00	5.00
41	59.18	1585-1	81.554	0.000	0.000	5.00	5.00
42	59.65	49-1	0.000	0.000	126.149	5.00	5.00
43	67.55	833-3	0.000	0.000	360.892	5.00	5.00
44	68.69	49-3	9.683	0.000	0.000	5.00	5.00
45	71.17	9-3	34.863	0.000	0.000	5.00	5.00
46	72.05	17-3	0.000	0.000	1.113	5.00	5.00
47	73.00	833-1	9.963	0.000	0.000	5.00	5.00
48	75.62	801-3	0.000	0.000	0.015	5.00	5.00
49	77.18	817-1	6.880	0.000	0.000	5.00	5.00
50	77.94	817-3	0.000	0.000	95.943	5.00	5.00
51	78.94	801-1	34.423	0.000	0.000	5.00	5.00
52	79.42	33-1	0.000	0.000	10.115	5.00	5.00
53	80.13	41-3	0.000	0.000	0.001	5.00	5.00
54	80.82	793-1	9.209	0.000	0.000	5.00	5.00
55	81.11	809-1	22.283	0.000	0.000	5.00	5.00
56	81.87	833-3	0.000	0.000	35.655	5.00	5.00
57	82.73	1201-3	1.124	0.000	0.000	5.00	5.00
58	84.68	809-3	0.000	0.000	27.025	5.00	5.00
59	84.98	817-1	741.508	0.000	0.000	5.00	5.00
60	86.90	33-3	3.313	0.000	0.000	5.00	5.00
61	87.67	1577-1	0.000	0.000	17.405	5.00	5.00
62	88.11	25-1	3.087	0.000	0.000	5.00	5.00
63	89.43	1585-3	0.000	0.000	0.073	5.00	5.00
64	90.07	833-3	0.000	0.000	0.004	5.00	5.00
65	90.14	1601-1	33.334	0.000	0.000	5.00	5.00
66	93.70	833-1	12.963	0.000	0.000	5.00	5.00
67	93.91	49-1	0.000	0.000	0.364	5.00	5.00
68	97.93	1577-3	0.000	0.000	6.767	5.00	5.00
69	98.08	1617-3	0.000	0.000	1.909	5.00	5.00
70	99.66	1617-3	2.970	0.000	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			34766.614	35200.000	35190.190		
GESAMT-GEWICHTE:			35200.000	35200.000	35200.000		

Tab. 1.1-1 Eigenwerte des Modellbalkens
Diskretisierungsvariante 8w x 8w (Fortsetzung)

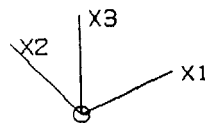
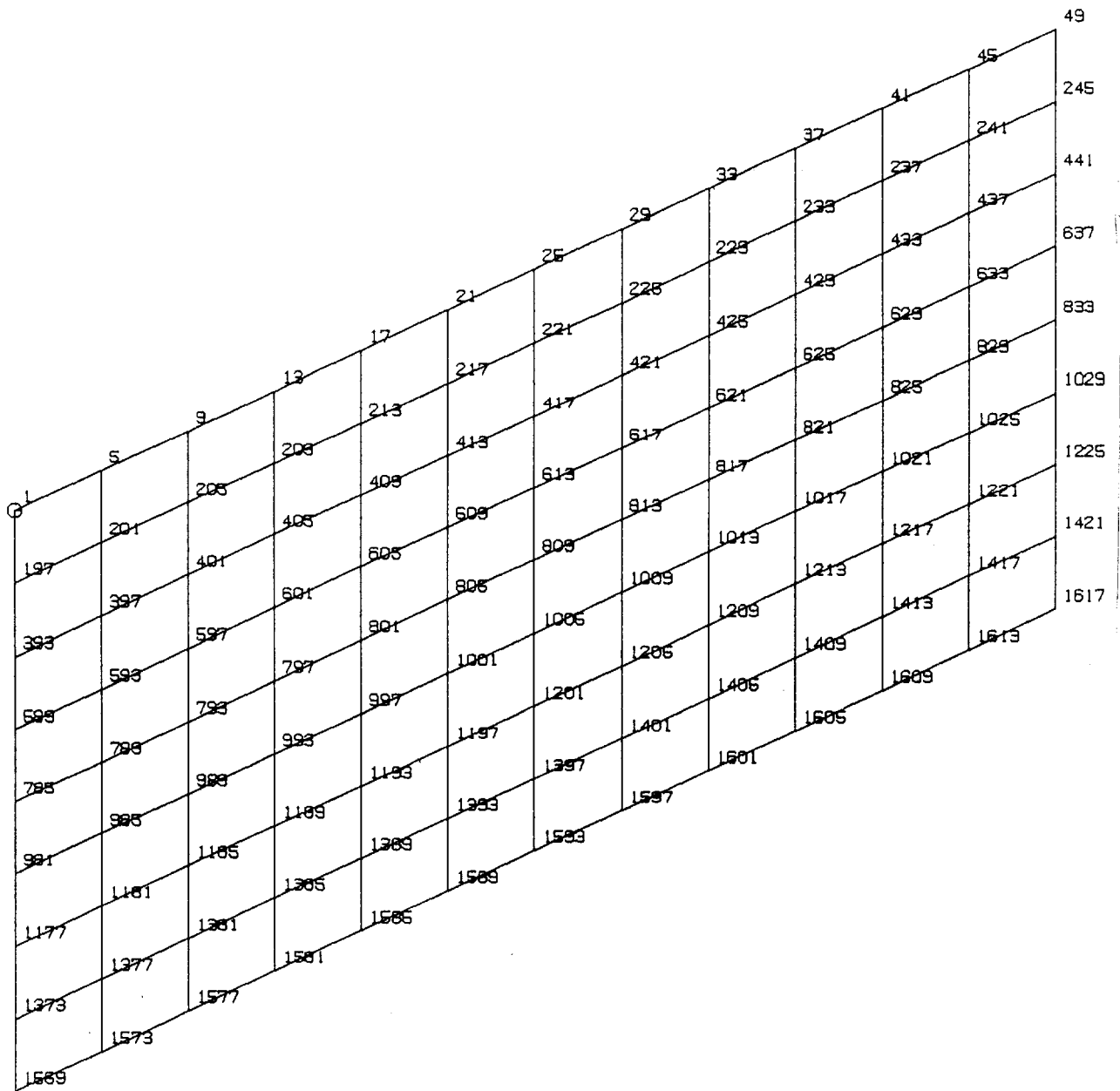


Fig. 1.1-2 Rechenmodell der Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante 4w x 4w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	0.24	833-2	0.000	23429.986	0.000	5.00	5.00
2	0.85	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	1.50	833-2	0.000	7238.004	0.000	5.00	5.00
4	2.82	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
5	3.66	1609-2	0.000	193.163	0.000	5.00	5.00
6	4.22	1617-2	0.000	2306.575	0.000	5.00	5.00
7	5.64	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
8	5.90	49-2	0.000	27.625	0.000	5.00	5.00
9	6.07	1617-3	0.000	0.000	23756.633	5.00	5.00
10	8.17	1421-2	0.000	1241.821	0.000	5.00	5.00
11	9.13	41-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
12	9.28	49-2	0.000	22.504	0.000	5.00	5.00
13	9.67	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	11.28	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	13.35	1577-2	0.000	653.795	0.000	5.00	5.00
16	13.63	49-2	0.000	109.565	0.000	5.00	5.00
17	14.65	33-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	14.99	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	17.23	1613-2	0.000	4.052	0.000	5.00	5.00
20	17.90	833-1	30840.065	0.000	0.000	5.00	5.00
21	18.81	833-2	0.000	2.381	0.000	5.00	5.00
22	19.25	17-2	0.000	39.841	0.000	5.00	5.00
23	19.54	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
24	19.84	1617-2	0.000	462.176	0.000	5.00	5.00
25	20.16	1617-1	0.000	0.000	8840.847	5.00	5.00
26	21.09	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
27	22.63	1617-2	0.000	5.310	0.000	5.00	5.00
28	25.19	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
29	25.34	25-2	0.000	0.935	0.000	5.00	5.00
30	27.12	37-2	0.000	246.849	0.000	5.00	5.00
31	27.46	1613-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
32	27.58	1617-2	0.000	109.492	0.000	5.00	5.00
33	28.35	21-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
34	29.36	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
35	31.69	33-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
36	32.56	29-2	0.000	5.029	0.000	5.00	5.00
37	32.74	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
38	33.30	49-2	0.000	0.173	0.000	5.00	5.00
39	35.47	25-2	0.000	250.096	0.000	5.00	5.00
40	36.26	1581-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
41	37.27	637-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
42	39.14	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
43	39.23	833-2	0.000	2.855	0.000	5.00	5.00
44	39.99	33-2	0.000	2.796	0.000	5.00	5.00
45	40.11	49-1	0.000	0.000	1407.232	5.00	5.00
46	40.65	5-2	0.000	8.360	0.000	5.00	5.00
47	41.44	801-2	0.000	0.138	0.000	5.00	5.00
48	43.05	637-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
49	43.89	29-2	0.000	160.003	0.000	5.00	5.00
50	44.32	1573-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
51	44.50	833-2	0.000	6.568	0.000	5.00	5.00
52	45.63	49-3	55.688	0.000	0.000	5.00	5.00
53	46.88	25-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
54	46.92	1617-3	0.000	0.000	1018.202	5.00	5.00
55	47.14	1605-2	0.000	0.083	0.000	5.00	5.00
56	48.67	789-2	0.000	16.367	0.000	5.00	5.00
57	49.08	49-2	0.000	8.196	0.000	5.00	5.00
58	49.53	637-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
59	49.63	37-3	1656.568	0.000	0.000	5.00	5.00
60	51.05	441-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
61	51.56	1609-2	0.000	93.498	0.000	5.00	5.00
62	51.75	5-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
63	54.01	833-2	0.000	3.776	0.000	5.00	5.00
64	54.43	413-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
65	54.85	1193-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00

Tab. 1.1-2 Eigenwerte der Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante 4w x 4w

66	54.86	1617-2	0.000	0.001	0.000	5.00	5.00
67	56.57	1001-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
68	56.85	13-1	1008.151	0.000	0.000	5.00	5.00
69	56.99	405-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
70	57.04	9-2	0.000	16.050	0.000	5.00	5.00
71	57.51	9-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
72	57.54	1605-2	0.000	63.336	0.000	5.00	5.00
73	57.64	1617-1	830.726	0.000	0.000	5.00	5.00
74	59.37	833-2	0.000	0.149	0.000	5.00	5.00
75	60.16	245-2	0.000	2.337	0.000	5.00	5.00
76	60.64	1213-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
77	61.12	25-2	0.000	7.351	0.000	5.00	5.00
78	61.16	1593-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
79	62.28	1585-2	0.000	2.898	0.000	5.00	5.00
80	62.37	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
81	63.64	201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
82	63.65	1617-1	0.000	0.000	131.101	5.00	5.00
83	64.31	821-2	0.000	36.876	0.000	5.00	5.00
84	65.19	1217-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
85	65.60	809-2	0.000	0.001	0.000	5.00	5.00
86	66.06	1617-3	0.000	0.000	532.010	5.00	5.00
87	66.42	17-1	16.753	0.000	0.000	5.00	5.00
88	66.43	805-2	0.000	0.737	0.000	5.00	5.00
89	67.44	797-2	0.000	0.032	0.000	5.00	5.00
90	68.78	1189-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
91	69.07	825-2	0.000	1.853	0.000	5.00	5.00
92	69.29	809-2	0.000	12.913	0.000	5.00	5.00
93	70.14	1377-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
94	70.27	809-2	0.000	0.016	0.000	5.00	5.00
95	70.49	985-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
96	72.67	201-2	0.000	0.449	0.000	5.00	5.00
97	73.14	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
98	73.82	813-2	0.000	0.003	0.000	5.00	5.00
99	74.67	821-2	0.000	1.472	0.000	5.00	5.00
100	75.49	413-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
101	76.38	1021-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
102	77.83	809-2	0.000	0.028	0.000	5.00	5.00
103	78.35	805-2	0.000	0.752	0.000	5.00	5.00
104	78.47	817-2	0.000	0.110	0.000	5.00	5.00
105	78.57	49-1	0.000	0.000	309.430	5.00	5.00
106	78.57	1617-3	21.757	0.000	0.000	5.00	5.00
107	80.63	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
108	81.09	1017-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
109	81.64	1617-1	25.414	0.000	0.000	5.00	5.00
110	82.04	805-2	0.000	0.025	0.000	5.00	5.00
111	83.41	825-2	0.000	0.273	0.000	5.00	5.00
112	84.11	1005-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
113	85.31	397-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
114	85.76	1589-3	0.000	0.000	19.033	5.00	5.00
115	86.16	809-2	0.000	0.024	0.000	5.00	5.00
116	87.21	821-2	0.000	0.182	0.000	5.00	5.00
117	89.25	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
118	89.36	1577-1	986.382	0.000	0.000	5.00	5.00
119	89.60	809-2	0.000	0.064	0.000	5.00	5.00
120	89.92	817-2	0.000	0.021	0.000	5.00	5.00
121	90.98	1617-3	78.056	0.000	0.000	5.00	5.00
122	92.06	833-3	0.000	0.000	182.140	5.00	5.00
123	92.23	405-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
124	93.10	809-2	0.000	0.018	0.000	5.00	5.00
125	94.09	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
126	95.52	797-2	0.000	0.012	0.000	5.00	5.00
127	95.84	21-1	0.000	0.000	0.047	5.00	5.00
128	97.03	809-2	0.000	0.004	0.000	5.00	5.00
129	98.51	49-1	0.000	0.000	142.144	5.00	5.00
130	98.99	1617-1	0.198	0.000	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			35519.761	36800.000	36338.820		
GESAMT-GEWICHTE:			36800.000	36800.000	36800.000		

Tab. 1.1-2 Eigenwerte des Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante 4w x 4w (Fortsetzung)

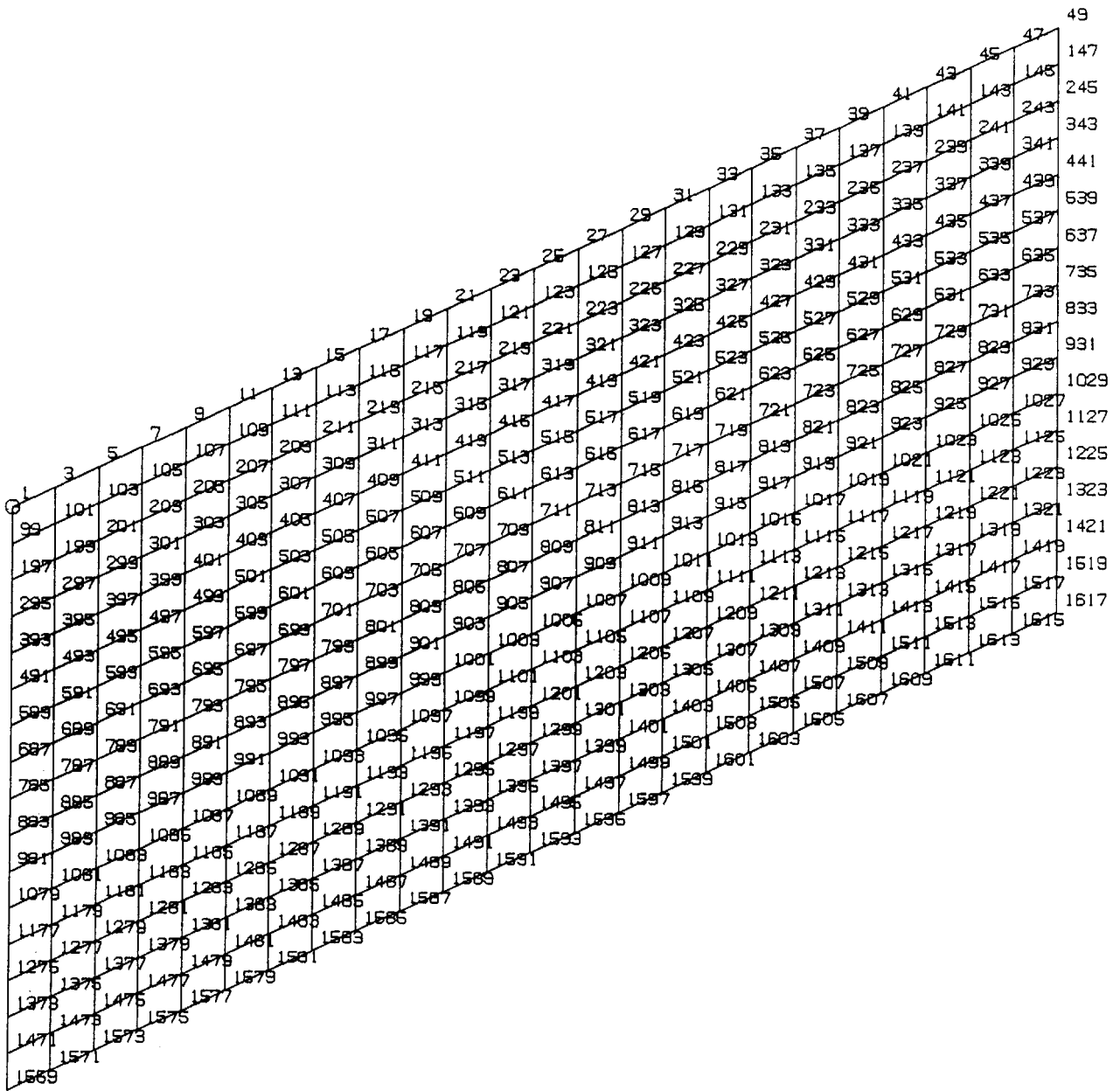


Fig. 1.1-3 Rechenmodell der Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante $2w \times 2w$

TAB. 1: MODALE WERTE

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	0.24	833-2	0.000	23481.111	0.000	5.00	5.00
2	0.86	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	1.52	833-2	0.000	7236.245	0.000	5.00	5.00
4	2.85	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
5	3.78	39-2	0.000	217.933	0.000	5.00	5.00
6	4.29	1617-2	0.000	2285.794	0.000	5.00	5.00
7	5.74	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
8	6.07	1617-2	0.000	20.328	0.000	5.00	5.00
9	6.07	49-3	0.000	0.000	23910.772	5.00	5.00
10	8.35	1421-2	0.000	1255.124	0.000	5.00	5.00
11	9.53	1617-2	0.000	12.048	0.000	5.00	5.00
12	9.62	1607-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
13	9.97	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	11.88	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	13.76	833-2	0.000	720.523	0.000	5.00	5.00
16	14.03	1617-2	0.000	47.365	0.000	5.00	5.00
17	15.24	1599-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	15.63	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	17.91	833-1	30912.115	0.000	0.000	5.00	5.00
20	18.64	1611-2	0.000	3.811	0.000	5.00	5.00
21	19.65	833-2	0.000	0.033	0.000	5.00	5.00
22	20.24	1617-1	0.000	0.000	8840.235	5.00	5.00
23	20.46	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
24	20.47	1585-2	0.000	352.084	0.000	5.00	5.00
25	20.75	1617-2	0.000	159.097	0.000	5.00	5.00
26	22.04	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
27	24.29	49-2	0.000	2.058	0.000	5.00	5.00
28	26.48	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
29	26.55	1617-2	0.000	0.108	0.000	5.00	5.00
30	28.63	343-2	0.000	355.548	0.000	5.00	5.00
31	29.41	49-2	0.000	11.755	0.000	5.00	5.00
32	29.99	245-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
33	30.52	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
34	32.30	15-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
35	33.65	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
36	34.67	833-2	0.000	0.509	0.000	5.00	5.00
37	35.71	1617-2	0.000	0.145	0.000	5.00	5.00
38	35.88	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
39	38.05	1519-2	0.000	275.067	0.000	5.00	5.00
40	39.46	147-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
41	40.30	49-1	0.000	0.000	1385.921	5.00	5.00
42	40.95	7-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
43	42.07	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
44	43.16	833-2	0.000	0.004	0.000	5.00	5.00
45	44.06	45-2	0.000	1.124	0.000	5.00	5.00
46	45.03	49-2	0.000	0.412	0.000	5.00	5.00
47	46.77	19-2	0.000	1.064	0.000	5.00	5.00
48	47.06	49-3	47.628	0.000	0.000	5.00	5.00
49	47.31	21-1	0.000	0.000	1096.857	5.00	5.00
50	47.45	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
51	48.75	1617-2	0.000	210.560	0.000	5.00	5.00
52	50.05	35-3	1817.237	0.000	0.000	5.00	5.00
53	50.11	1573-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
54	50.26	1581-2	0.000	1.663	0.000	5.00	5.00
55	51.61	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00

Tab. 1.1-3 Eigenwerte der Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante 2w x 2w

56	51.86	1617-2	0.000	0.025	0.000	5.00	5.00
57	54.74	1573-2	0.000	1.340	0.000	5.00	5.00
58	55.21	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
59	55.43	1617-2	0.000	0.108	0.000	5.00	5.00
60	57.18	15-1	1119.019	0.000	0.000	5.00	5.00
61	59.17	1585-3	648.849	0.000	0.000	5.00	5.00
62	60.69	25-2	0.000	166.268	0.000	5.00	5.00
63	61.50	833-2	0.000	0.591	0.000	5.00	5.00
64	61.79	1613-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
65	62.10	1617-2	0.000	3.154	0.000	5.00	5.00
66	62.13	1225-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
67	62.57	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
68	63.86	21-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
69	64.35	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
70	64.63	49-1	0.000	0.000	138.747	5.00	5.00
71	66.76	1617-2	0.000	1.367	0.000	5.00	5.00
72	67.39	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
73	68.29	49-3	0.000	0.000	631.235	5.00	5.00
74	68.45	17-1	7.819	0.000	0.000	5.00	5.00
75	69.75	833-2	0.000	0.033	0.000	5.00	5.00
76	72.37	11-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
77	72.74	49-2	0.000	2.144	0.000	5.00	5.00
78	73.89	1617-2	0.000	135.482	0.000	5.00	5.00
79	74.16	1599-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
80	74.50	5-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
81	75.21	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
82	78.89	43-2	0.000	0.090	0.000	5.00	5.00
83	78.99	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
84	79.88	833-2	0.000	2.222	0.000	5.00	5.00
85	80.90	49-3	9.556	0.000	0.000	5.00	5.00
86	81.97	1617-2	0.000	0.090	0.000	5.00	5.00
87	83.04	1617-1	0.000	0.000	286.245	5.00	5.00
88	83.76	1587-2	0.000	0.086	0.000	5.00	5.00
89	84.96	1617-2	0.000	0.747	0.000	5.00	5.00
90	85.10	49-1	52.997	0.000	0.000	5.00	5.00
91	85.49	1601-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
92	86.87	1591-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
93	87.11	833-2	0.000	2.561	0.000	5.00	5.00
94	87.77	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
95	88.23	17-2	0.000	107.600	0.000	5.00	5.00
96	88.97	1589-3	0.000	0.000	18.941	5.00	5.00
97	89.34	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
98	89.37	49-2	0.000	1.842	0.000	5.00	5.00
99	90.79	11-1	1101.027	0.000	0.000	5.00	5.00
100	92.11	49-2	0.000	0.274	0.000	5.00	5.00
101	94.22	1617-2	0.000	2.995	0.000	5.00	5.00
102	95.52	833-3	0.000	0.000	220.449	5.00	5.00
103	96.14	735-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
104	96.86	1617-3	23.952	0.000	0.000	5.00	5.00
105	98.03	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
106	98.19	27-2	0.000	0.223	0.000	5.00	5.00
107	98.71	49-2	0.000	0.401	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			35740.200	37081.155	36529.402		
GESAMT-GEWICHTE:			37600.000	37600.000	37600.000		

Tab. 1.1-3 Eigenwerte der Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante 2w x 2w (Fortsetzung)

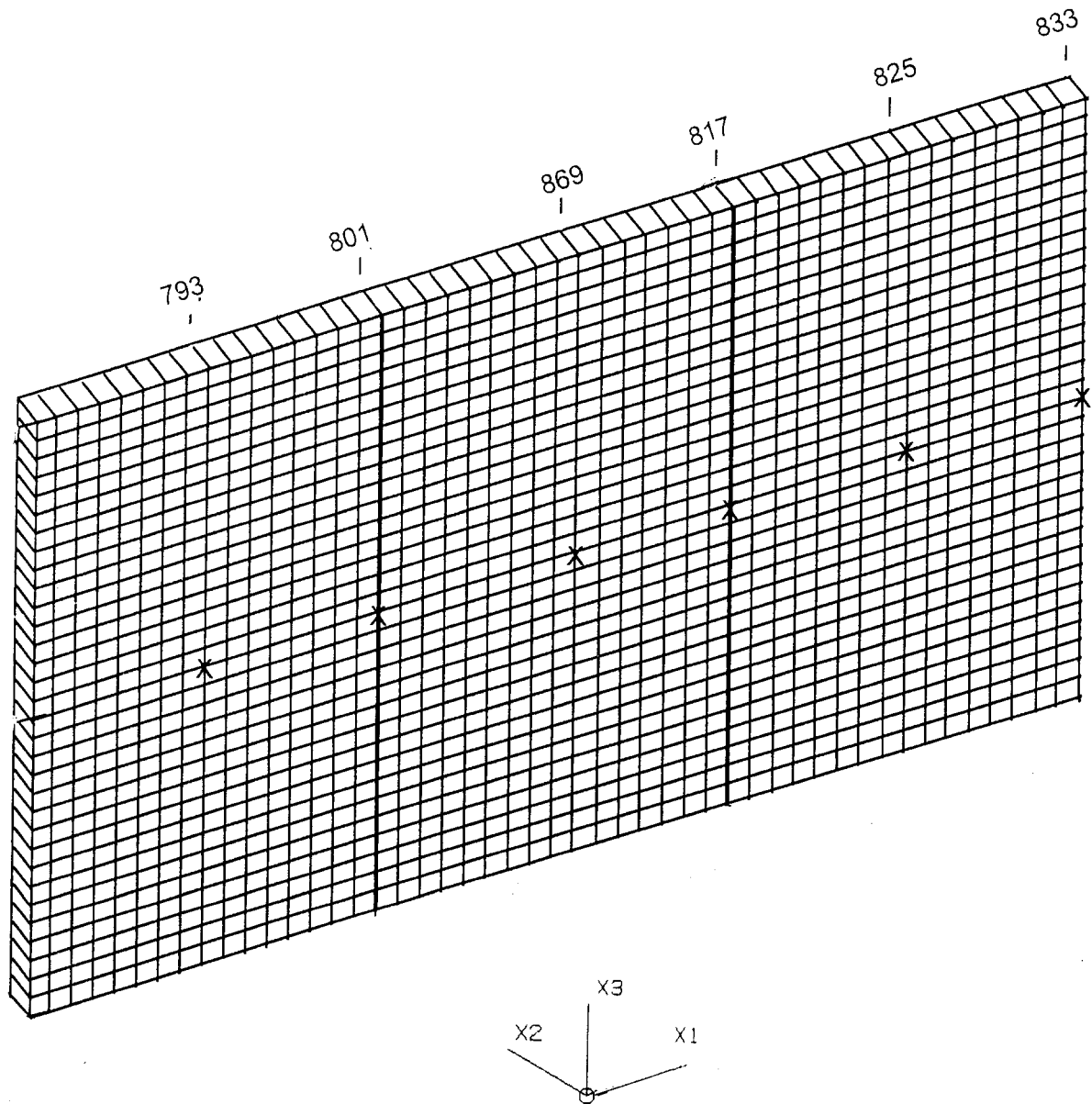


Fig. 1.1-4 Rechenmodell der Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante $w \times w$

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE		X3	DAEMPfung (%)	
			X1	GEWICHTE X2		MODAL	KTA
1	0.24	833-2	0.000	23494.035	0.000	5.00	5.00
2	0.86	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	1.52	833-2	0.000	7235.716	0.000	5.00	5.00
4	2.86	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
5	3.81	1608-2	0.000	226.239	0.000	5.00	5.00
6	4.30	49-2	0.000	2278.249	0.000	5.00	5.00
7	5.76	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
8	6.07	1617-3	0.000	0.000	23952.553	5.00	5.00
9	6.12	1617-2	0.000	18.675	0.000	5.00	5.00
10	8.39	245-2	0.000	1257.647	0.000	5.00	5.00
11	9.59	49-2	0.000	10.070	0.000	5.00	5.00
12	9.74	1607-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
13	10.06	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	12.04	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	13.86	833-2	0.000	730.331	0.000	5.00	5.00
16	14.12	49-2	0.000	38.192	0.000	5.00	5.00
17	15.36	1598-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	15.79	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	17.91	833-1	30930.619	0.000	0.000	5.00	5.00
20	19.04	43-2	0.000	3.982	0.000	5.00	5.00
21	19.81	1617-2	0.000	0.119	0.000	5.00	5.00
22	20.26	49-1	0.000	0.000	8841.034	5.00	5.00
23	20.66	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
24	20.69	1274-2	0.000	462.570	0.000	5.00	5.00
25	21.11	49-2	0.000	48.908	0.000	5.00	5.00
26	22.24	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
27	24.72	1617-2	0.000	1.531	0.000	5.00	5.00
28	26.72	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
29	26.78	1617-2	0.000	0.061	0.000	5.00	5.00
30	28.94	294-2	0.000	362.163	0.000	5.00	5.00
31	29.84	1617-2	0.000	5.880	0.000	5.00	5.00
32	30.39	1421-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
33	31.32	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
34	33.15	16-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
35	33.96	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
36	35.03	833-2	0.000	0.242	0.000	5.00	5.00
37	36.17	1617-2	0.000	0.093	0.000	5.00	5.00
38	36.75	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
39	38.53	1519-2	0.000	276.321	0.000	5.00	5.00
40	40.00	98-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
41	40.35	1617-1	0.000	0.000	1381.336	5.00	5.00
42	41.82	1604-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
43	42.47	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
44	43.67	833-2	0.000	0.002	0.000	5.00	5.00
45	44.62	1568-2	0.000	0.380	0.000	5.00	5.00
46	46.53	49-2	0.000	0.667	0.000	5.00	5.00
47	47.41	1588-1	0.000	0.000	1115.974	5.00	5.00
48	47.42	1617-3	43.328	0.000	0.000	5.00	5.00
49	48.30	18-2	0.000	2.398	0.000	5.00	5.00
50	48.33	39-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
51	49.49	49-2	0.000	211.793	0.000	5.00	5.00
52	50.16	35-3	1859.041	0.000	0.000	5.00	5.00
53	50.93	1568-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
54	51.80	13-2	0.000	0.499	0.000	5.00	5.00
55	52.16	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
56	52.43	1617-2	0.000	0.032	0.000	5.00	5.00
57	55.59	49-2	0.000	0.349	0.000	5.00	5.00
58	56.09	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
59	56.91	49-2	0.000	0.258	0.000	5.00	5.00
60	57.26	15-1	1124.639	0.000	0.000	5.00	5.00

Fig. 1.1-4 Eigenwerte der Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante w x w

61	59.57	65-3	625.506	0.000	0.000	5.00	5.00
62	61.77	1421-2	0.000	170.359	0.000	5.00	5.00
63	62.35	833-2	0.000	0.426	0.000	5.00	5.00
64	63.14	5-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
65	63.19	1519-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
66	63.45	49-2	0.000	1.234	0.000	5.00	5.00
67	64.75	41-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
68	64.86	49-1	0.000	0.000	140.847	5.00	5.00
69	65.11	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
70	66.52	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
71	67.90	49-2	0.000	0.310	0.000	5.00	5.00
72	68.81	1617-3	0.000	0.000	654.773	5.00	5.00
73	68.96	1586-1	6.215	0.000	0.000	5.00	5.00
74	69.91	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
75	71.28	6-2	0.000	0.022	0.000	5.00	5.00
76	73.62	1617-2	0.000	0.421	0.000	5.00	5.00
77	74.88	1578-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
78	75.24	1599-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
79	75.43	1568-2	0.000	140.277	0.000	5.00	5.00
80	75.65	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
81	76.88	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
82	80.44	42-2	0.000	0.024	0.000	5.00	5.00
83	81.46	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
84	81.50	49-3	6.861	0.000	0.000	5.00	5.00
85	81.55	833-2	0.000	0.379	0.000	5.00	5.00
86	84.25	1617-1	0.000	0.000	284.615	5.00	5.00
87	85.84	45-2	0.000	0.029	0.000	5.00	5.00
88	85.96	79-3	63.270	0.000	0.000	5.00	5.00
89	86.23	1617-2	0.000	0.273	0.000	5.00	5.00
90	86.72	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
91	87.68	1617-2	0.000	0.412	0.000	5.00	5.00
92	89.16	41-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
93	89.55	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
94	89.76	1588-3	0.000	0.000	18.066	5.00	5.00
95	90.40	12-2	0.000	110.332	0.000	5.00	5.00
96	90.80	833-2	0.000	0.001	0.000	5.00	5.00
97	91.15	11-1	1113.753	0.000	0.000	5.00	5.00
98	91.16	1617-2	0.000	6.249	0.000	5.00	5.00
99	91.83	1617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
100	95.93	21-2	0.000	0.138	0.000	5.00	5.00
101	96.37	833-3	0.000	0.000	228.073	5.00	5.00
102	96.61	1617-2	0.000	0.302	0.000	5.00	5.00
103	98.28	49-3	20.496	0.000	0.000	5.00	5.00
104	98.63	1573-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
105	99.51	49-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
106	99.97	1617-2	0.000	0.099	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			35793.729	37098.694	36617.270		

GESAMT-GEWICHTE:			38000.000	38000.000	38000.000		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1.1-4 Eigenwerte der Modellwandscheibe
Diskretisierungsvariante w x w (Fortsetzung)

Diskretisierung	Mode Nr.	Eigenfrequenzen (Hz) in Schwingungsrichtung		
		X1	X2	X3
8w x 8w	1	17,87	0,24	6,06
	2	47,74	1,45	19,82
	3	55,63	3,97	39,26
4w x 4w	1	17,90	0,24	6,07
	2	49,63	1,50	20,16
	3	56,85	4,22	40,11
2w x 2w	1	17,91	0,24	6,07
	2	50,05	1,52	20,24
	3	57,18	4,29	40,30
w x w	1	19,91	0,24	6,07
	2	50,16	1,52	20,26
	3	57,26	4,30	40,35

.Tab.1.1-5 Eigenfrequenzen der Modellwandscheibe bei verschiedener Diskretisierung

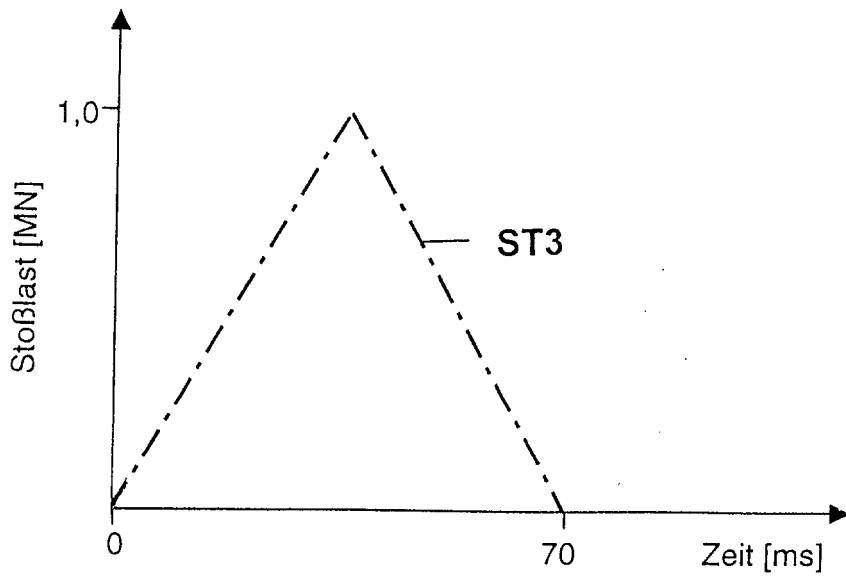
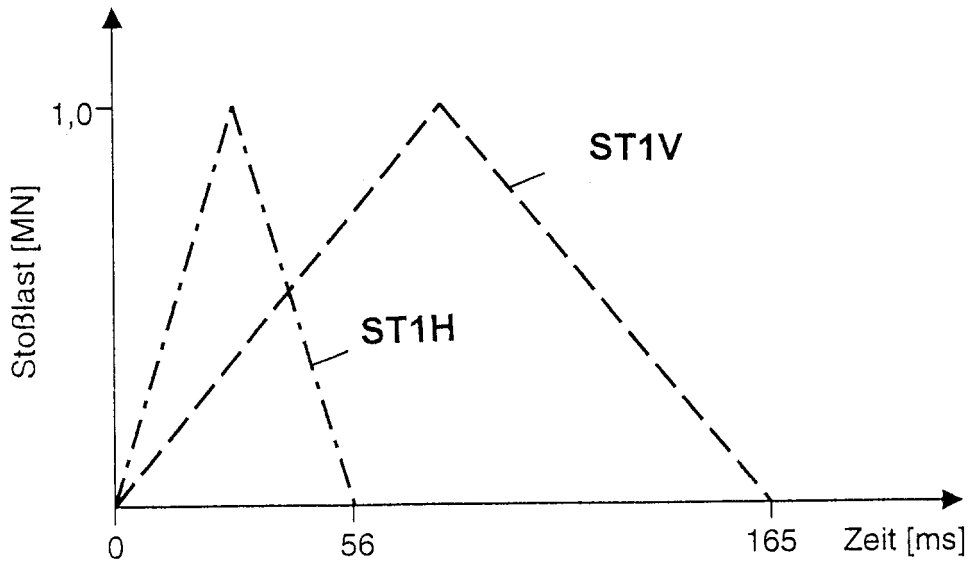


Fig 1-2 Stoß-Lastfunktionen für Wandscheiben

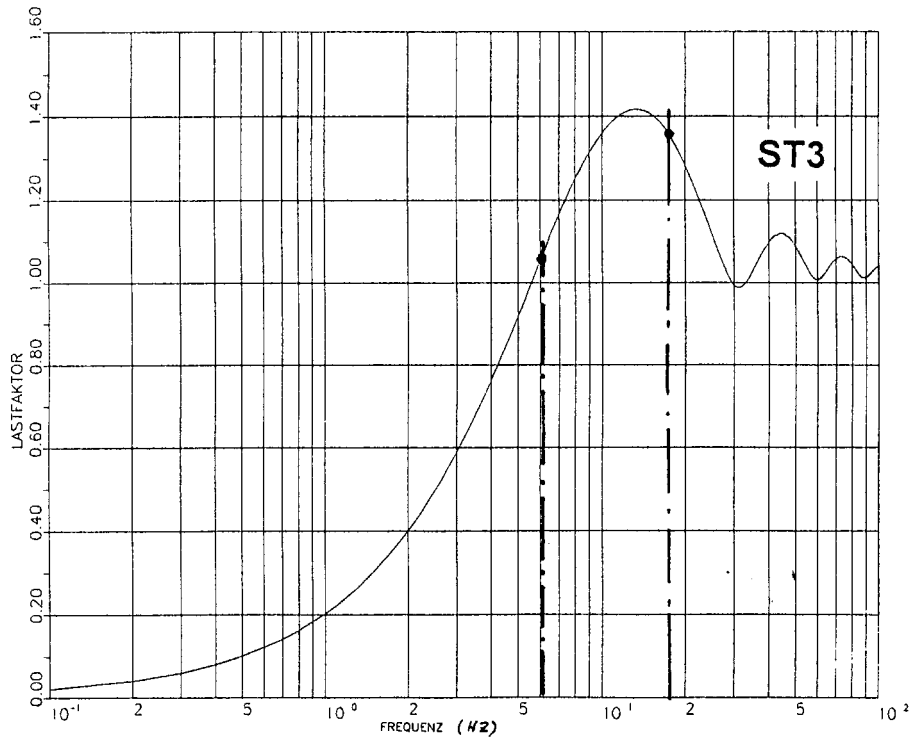
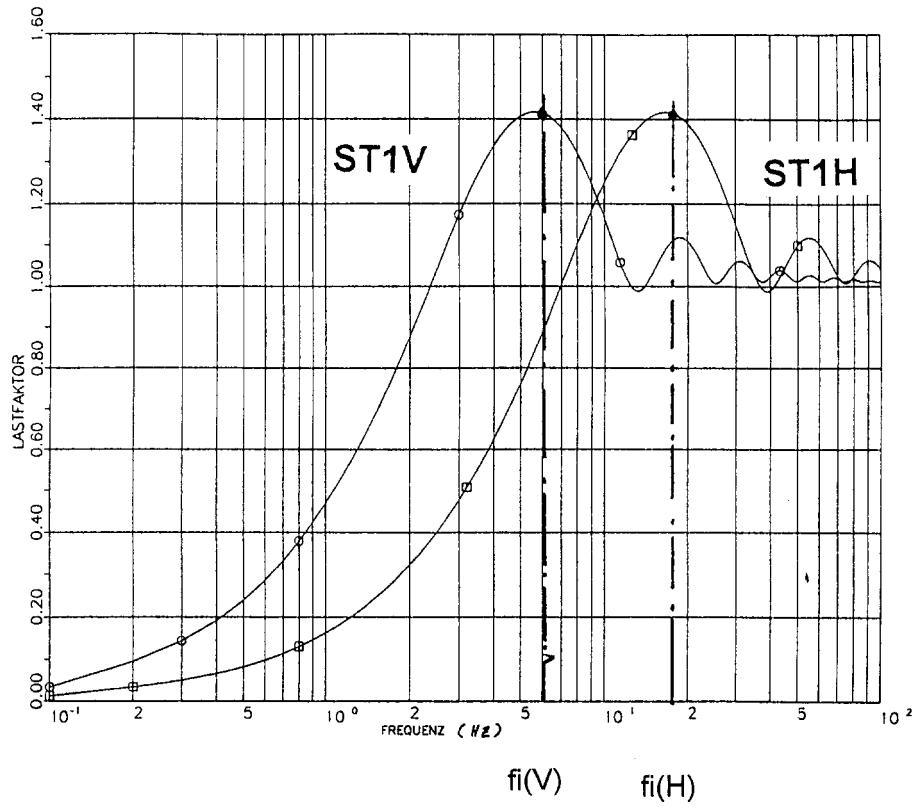


Fig. 1-3 Dynamische Lastfaktoren der Stoß-Lastfunktionen STH,STV und ST3 (für 5% Dämpfung)

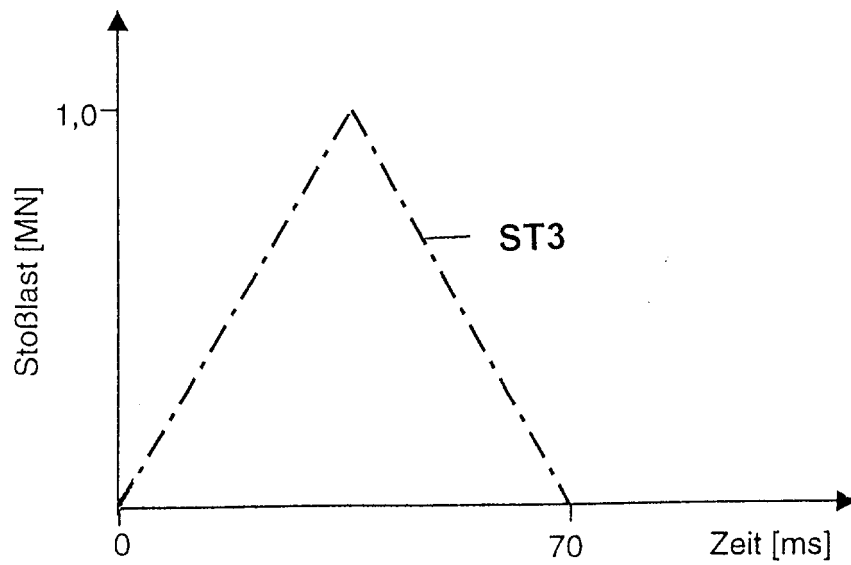
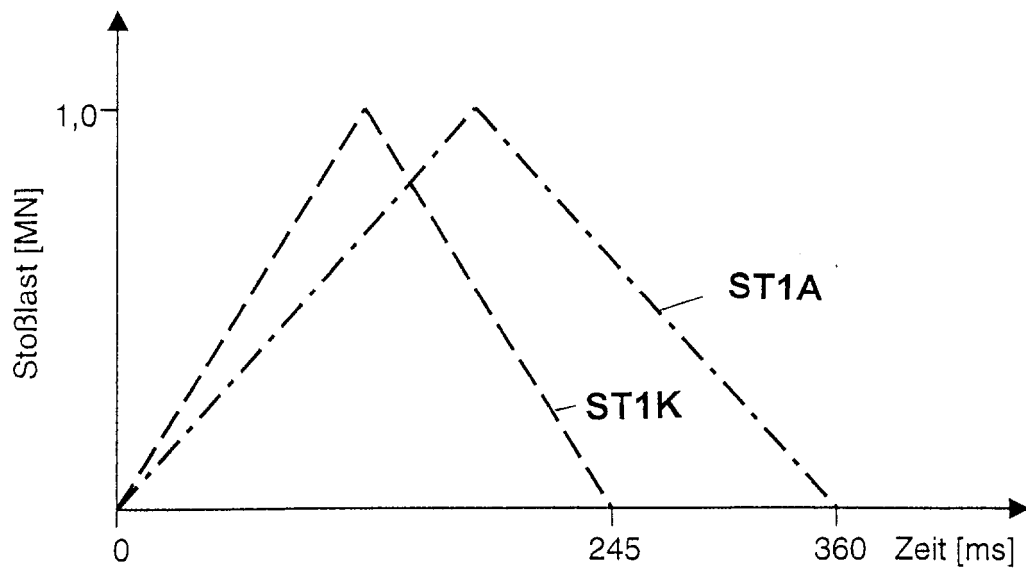
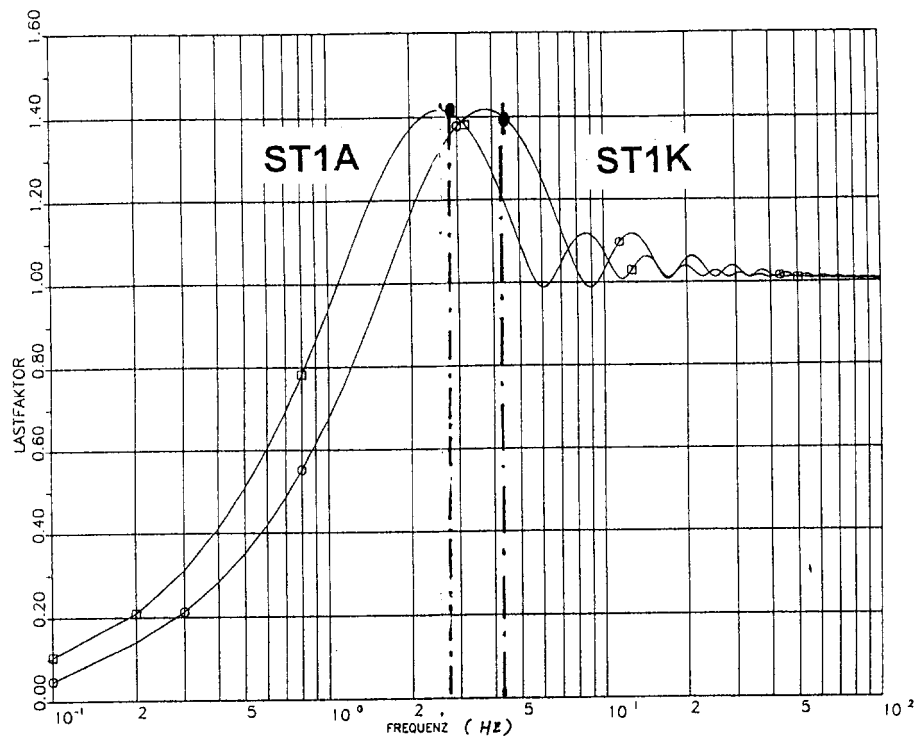


Fig. 1-4 Stoß-Lastfunktionen für Deckenplatten



$f_i(A)$ $f_i(K)$

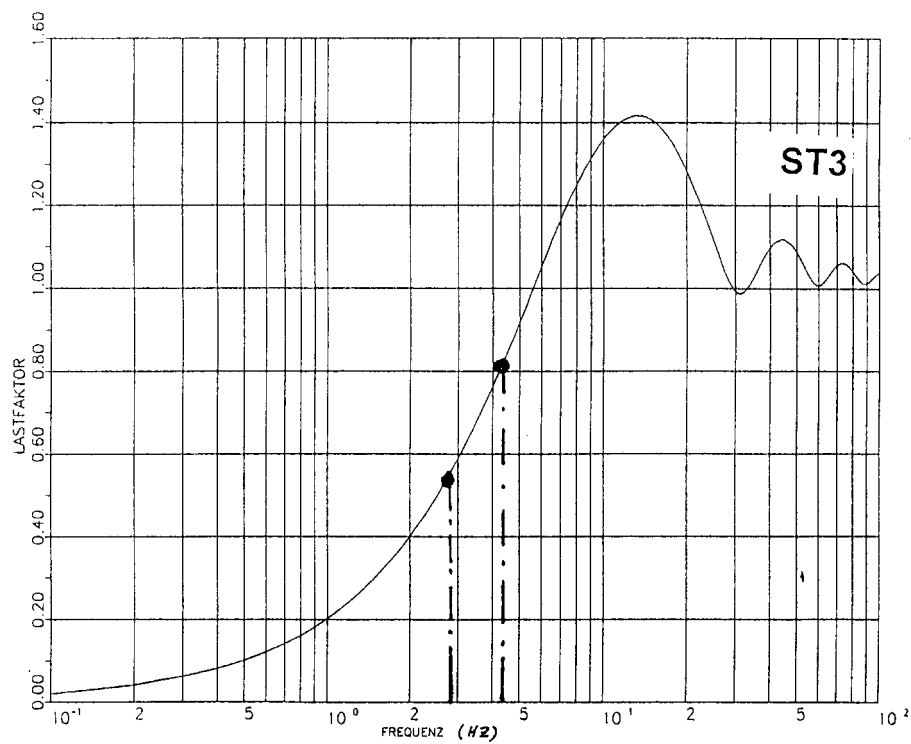


Fig. 1-5 Dynamische Lastfaktoren der Stoß-Lastfunktionen STA, STK und ST3 (für 5% Dämpfung)

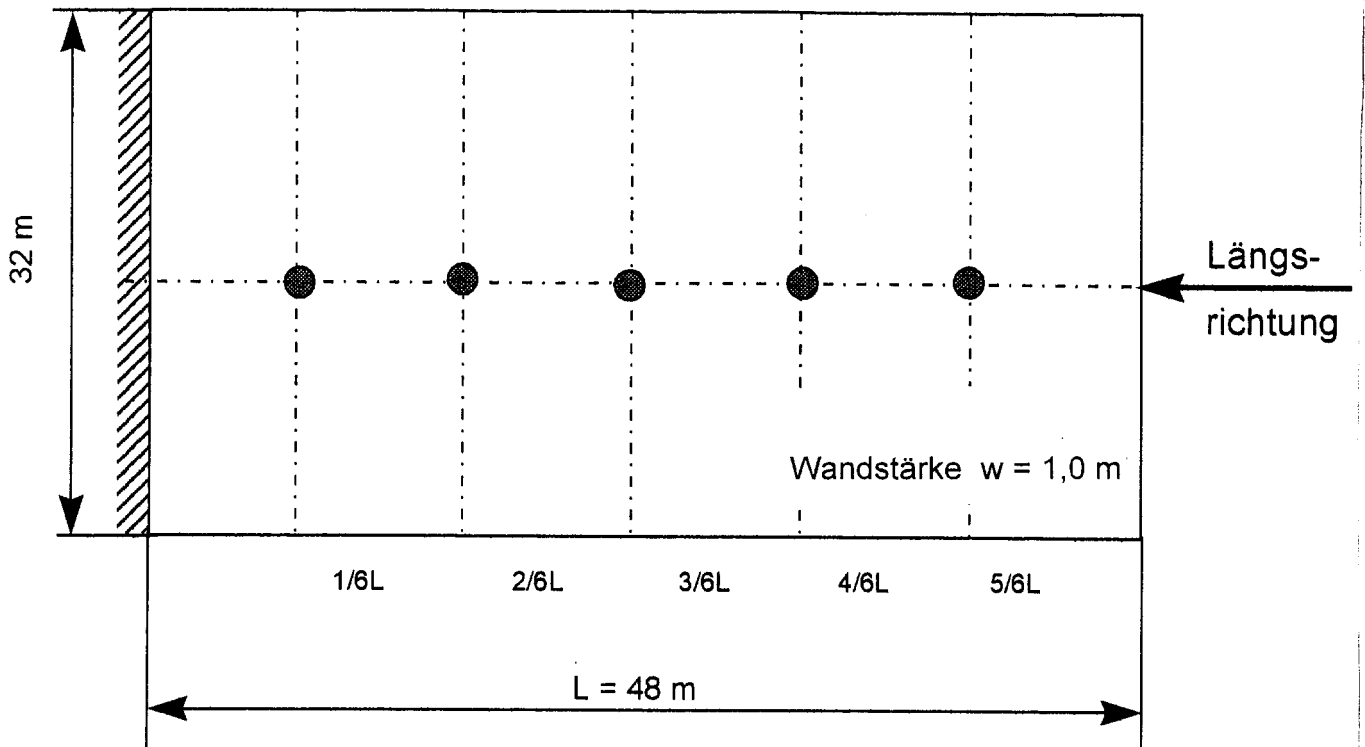


Fig. 1-6 Modellwandscheibe, Belastung in Längsrichtung

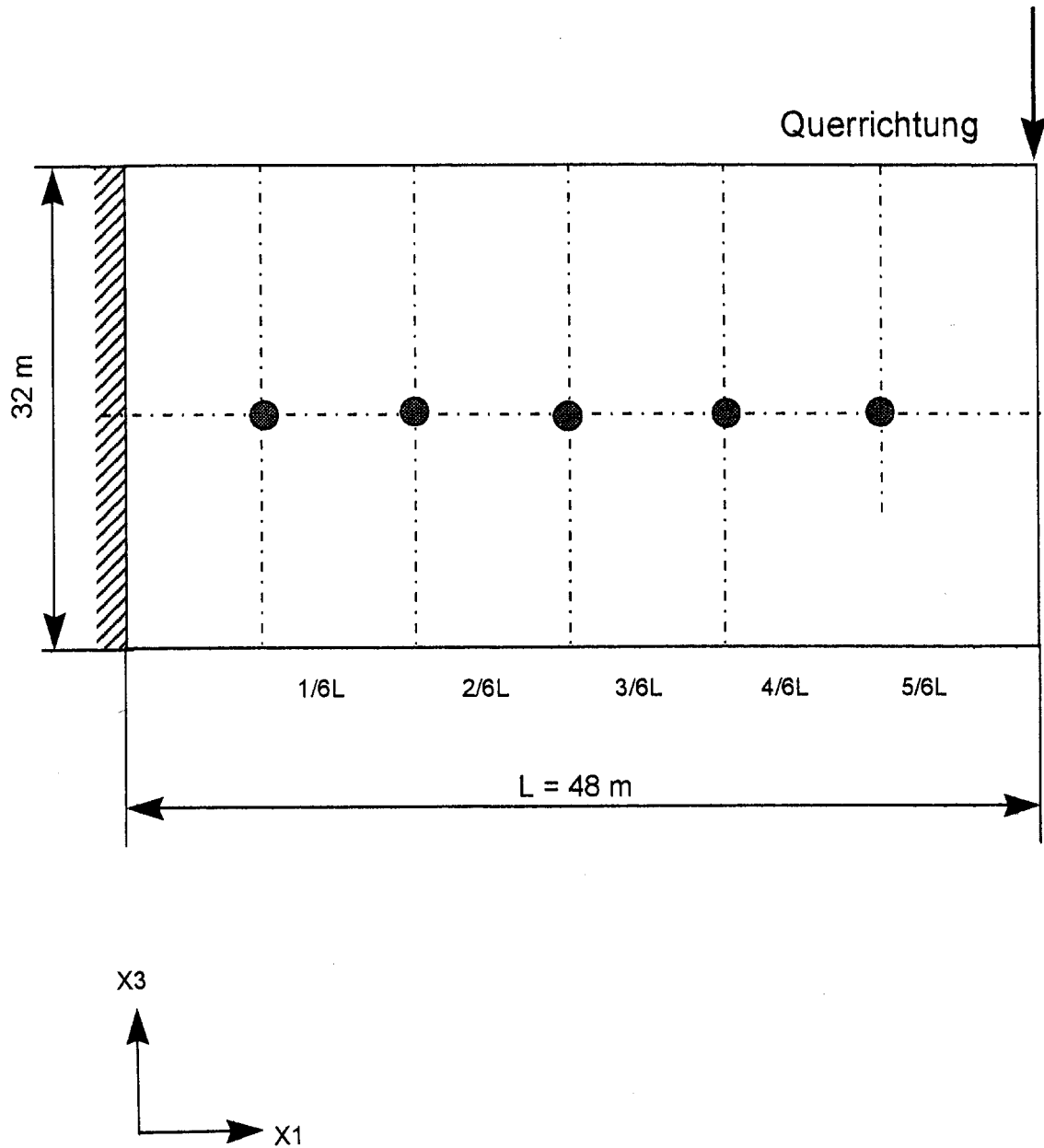


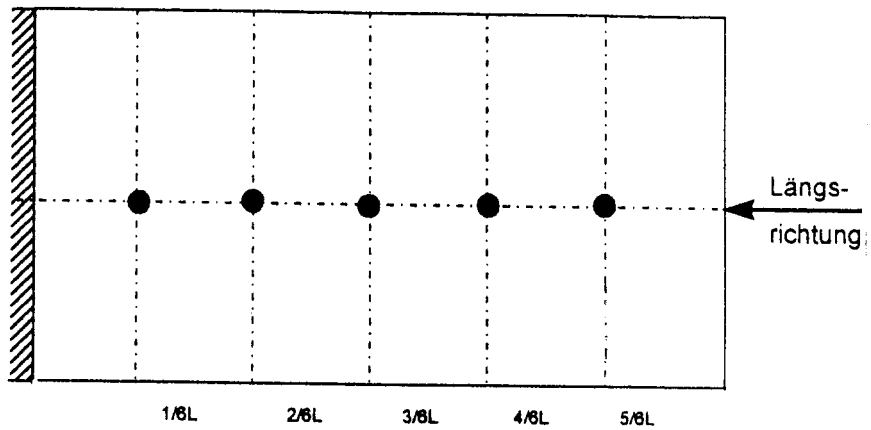
Fig. 1-7 Modellwandscheibe, Belastung in Querrichtung

Zwischenblatt

1.2

**Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in den
charakteristischen Beobachtungspunkten der
Modellwandscheibe bei Anwendung verschiedener
Diskretisierungen und Stoßbelastungen**

1.2.1 Stoßbelastungen und Antworten in Längsrichtung (in der Scheibenebene)

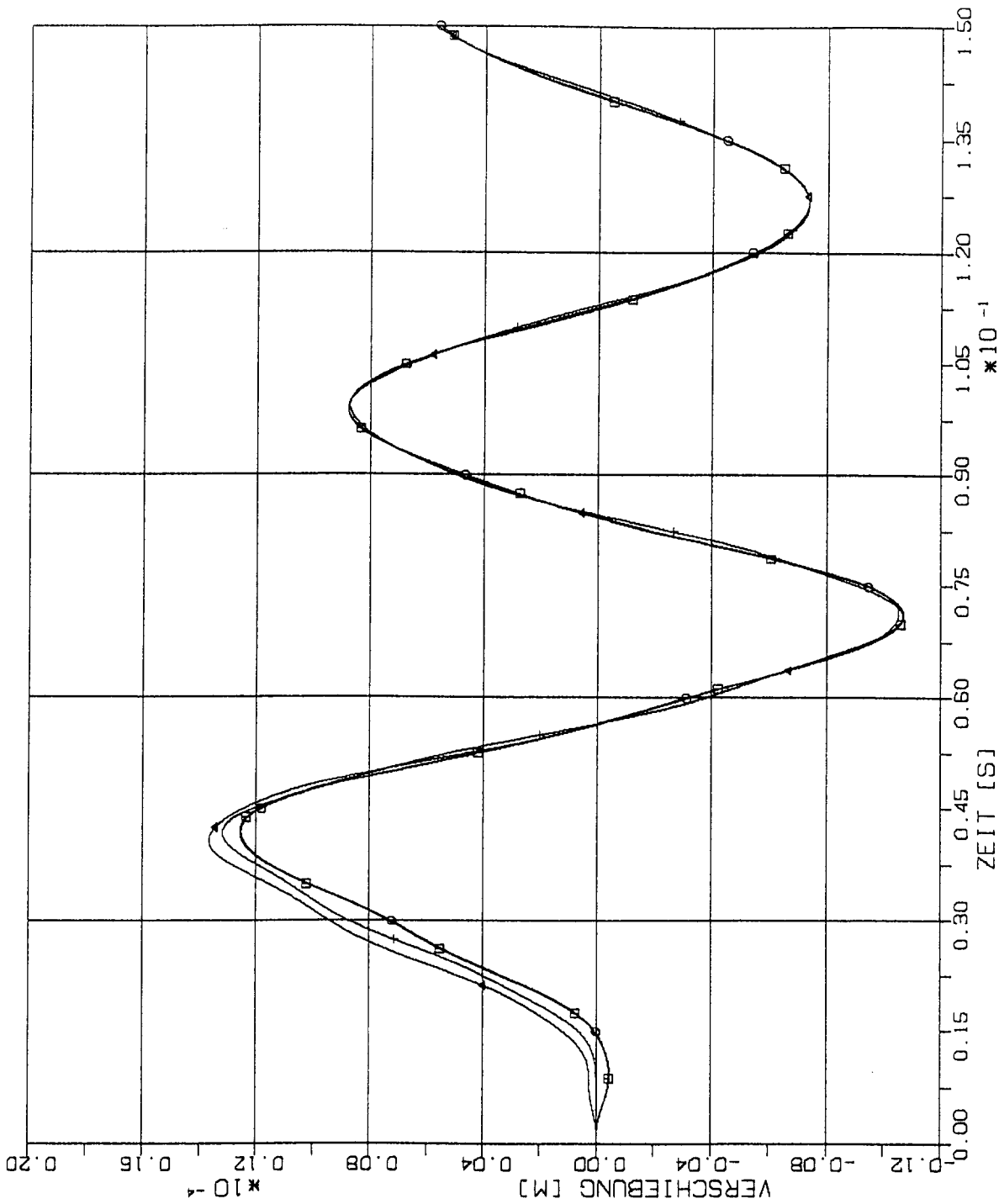
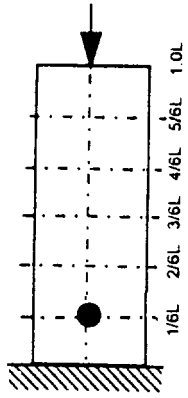


1.2.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1H

(Siehe Fig. 1-2)

ELEMENTGRÖSSE

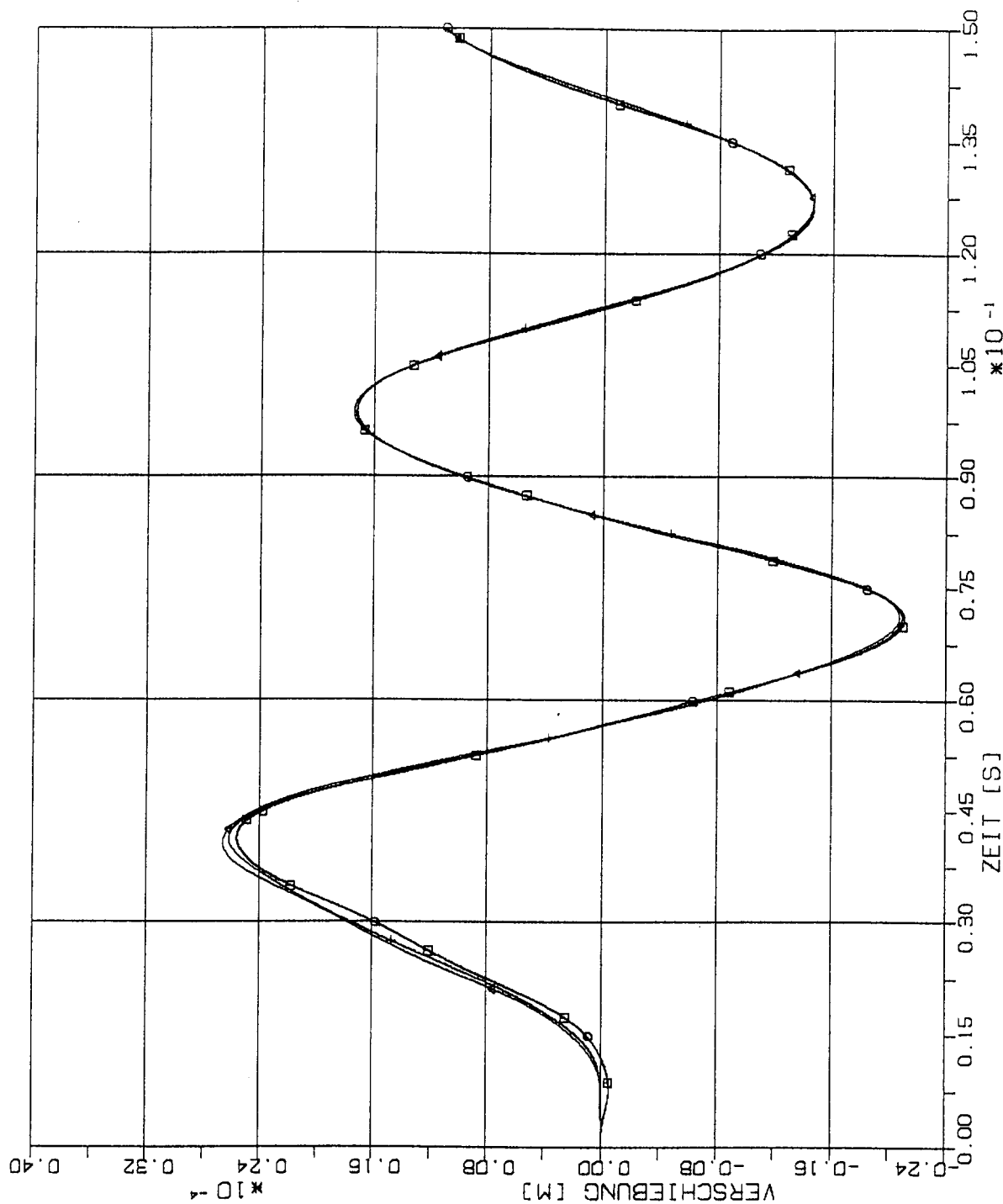
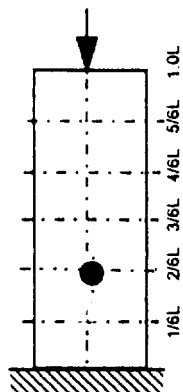
- — □ W x W
- ⊙ — ⊙ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- † — † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG STIH IN LAENGSRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

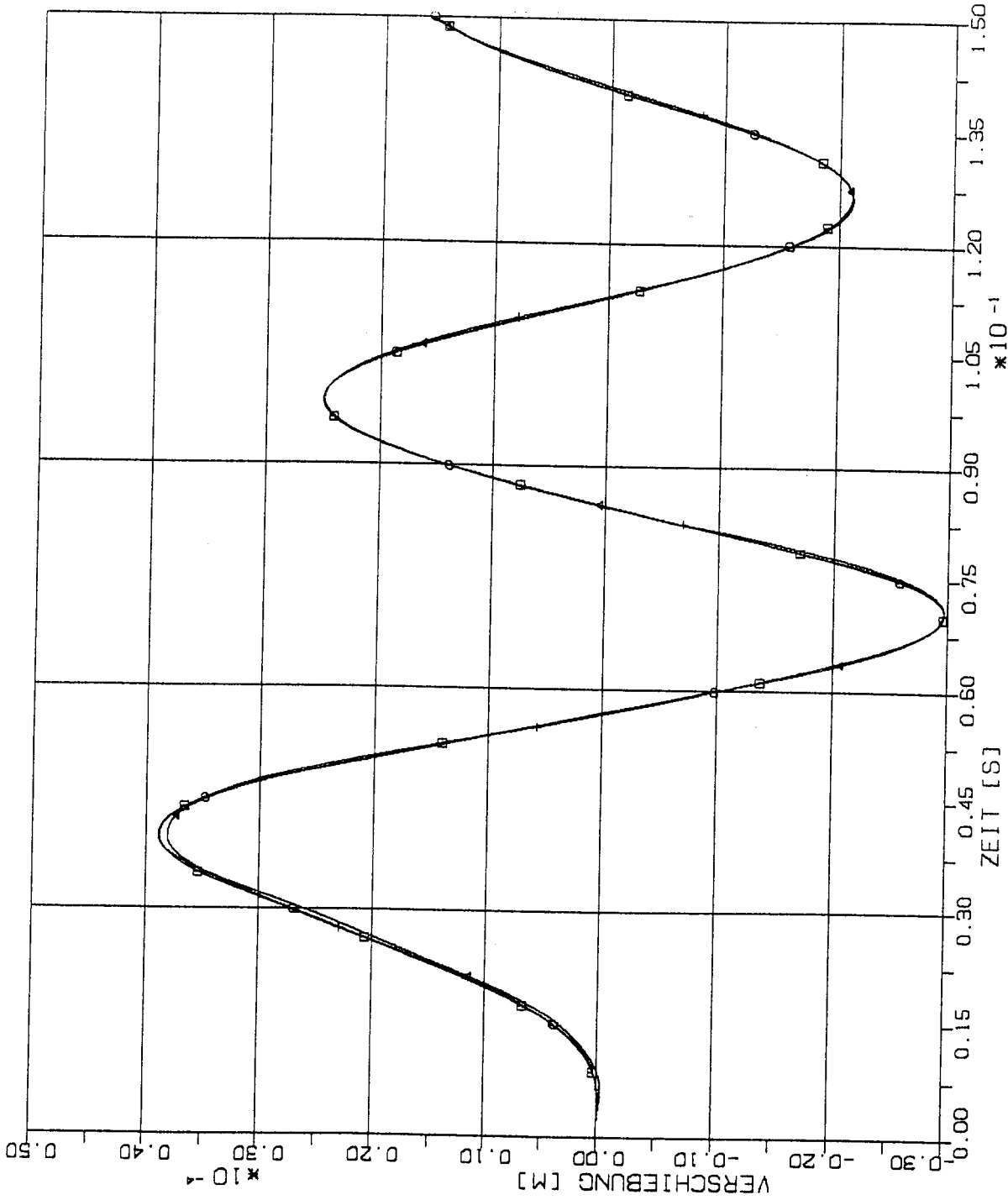
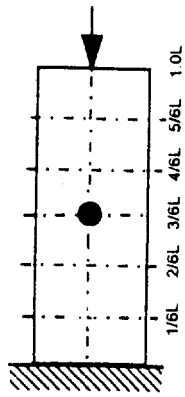
- W x W
- ⊙ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG STIH IN LAENGRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

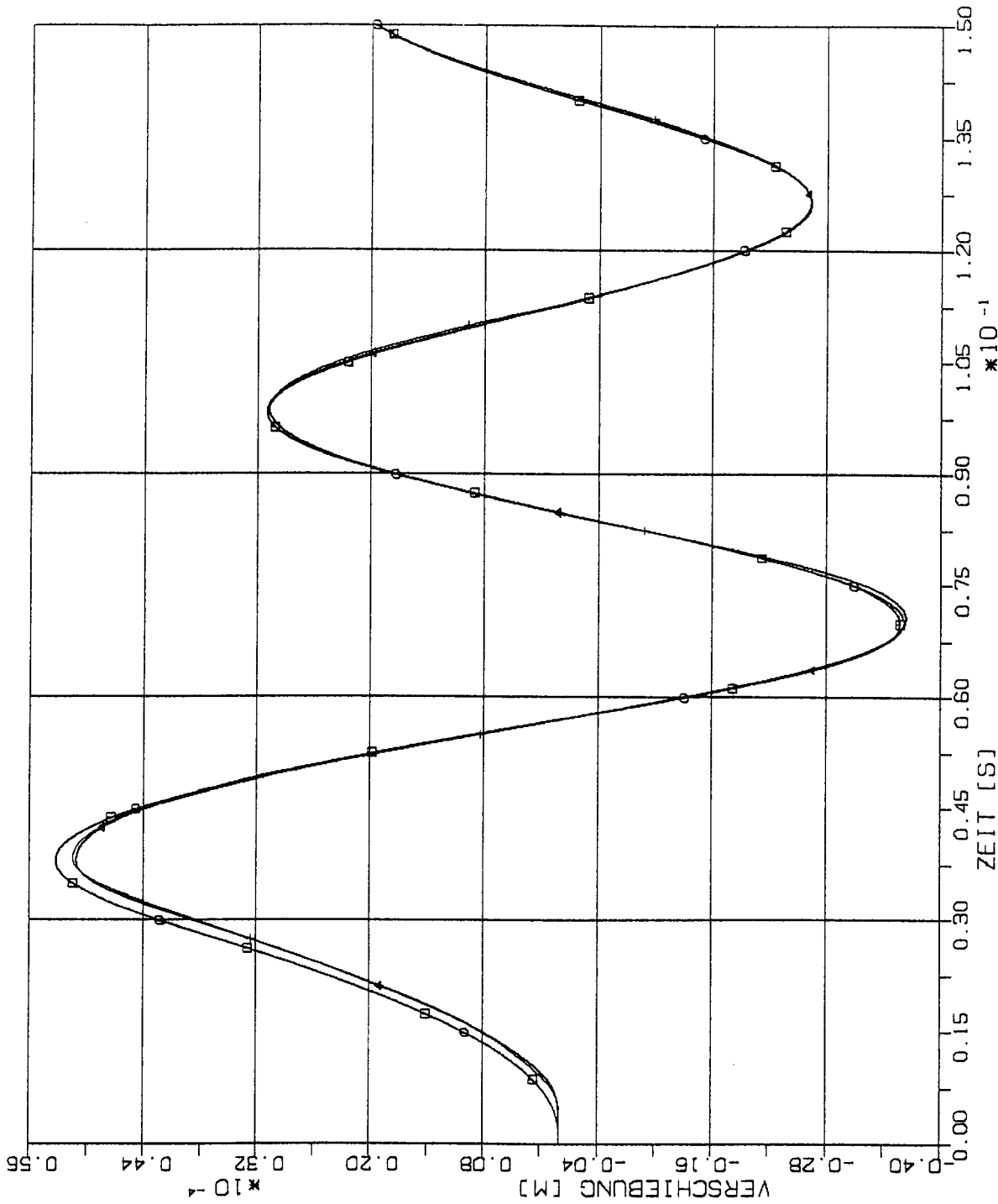
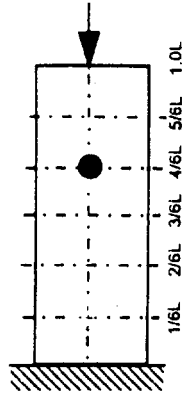
- W x W
- ⊙ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



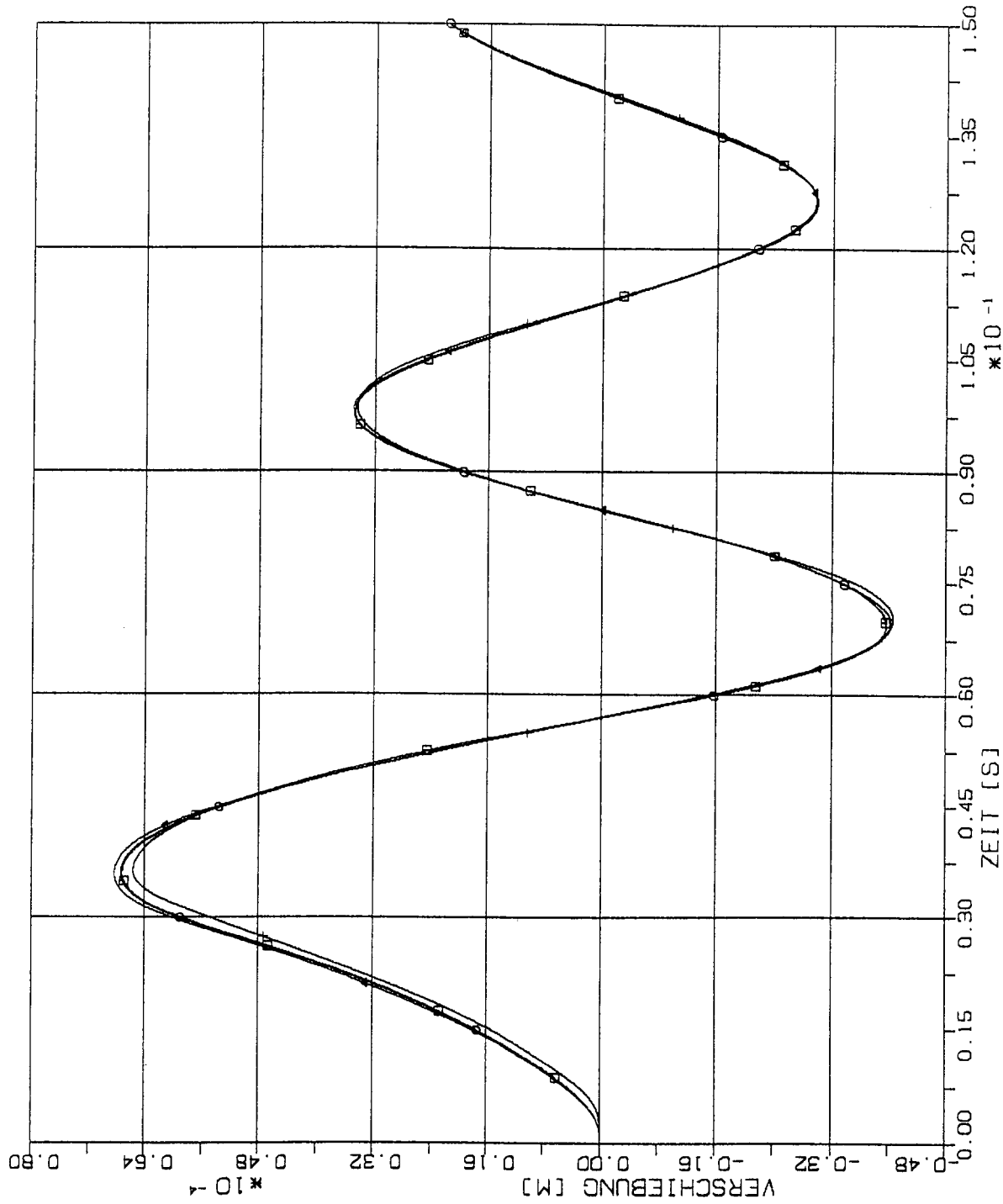
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORRENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1H IN LAENGRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

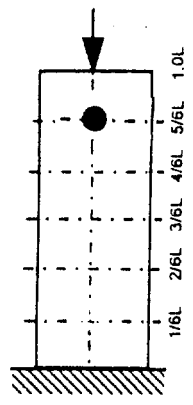
- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



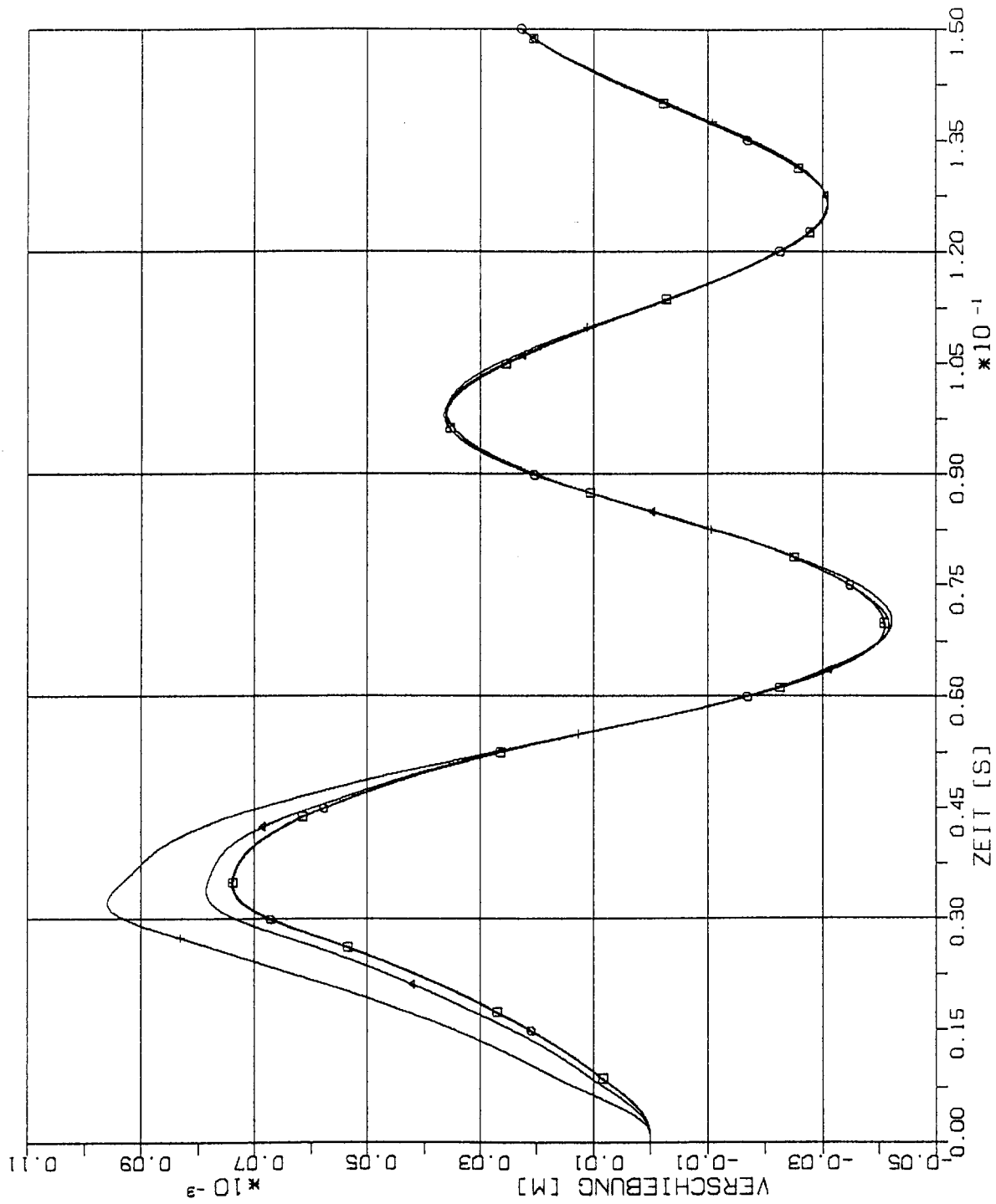
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1H IN LAENGSRICHTUNG (X1)



ELEMENTGRÖSSE
 $W \times W$
 $2W \times 2W$
 $4W \times 4W$
 $8W \times 8W$

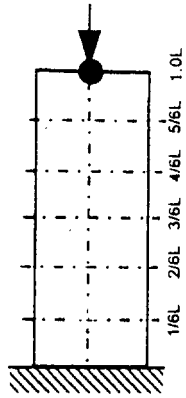


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1H IN LAENGRICHTUNG (X1)



ELEMENTGRÖSSE

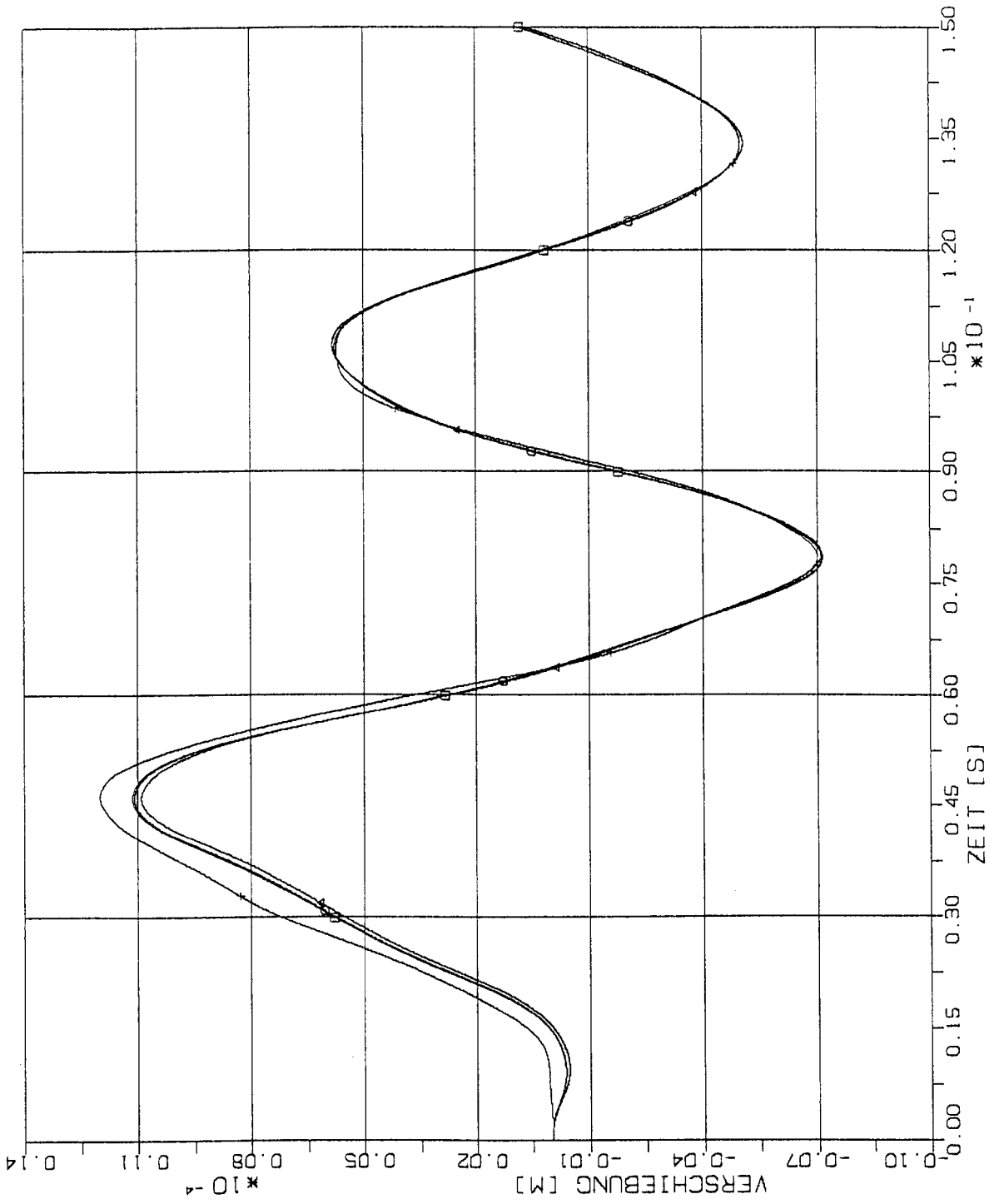
- W x W
- ⊕ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 6/6 L
 STOSSBELASTUNG STI1H IN LAENGSRICHTUNG (X1)

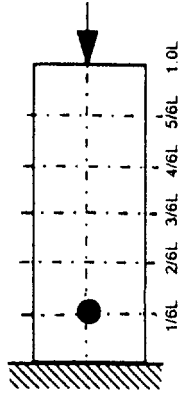
1.2.1.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-2)

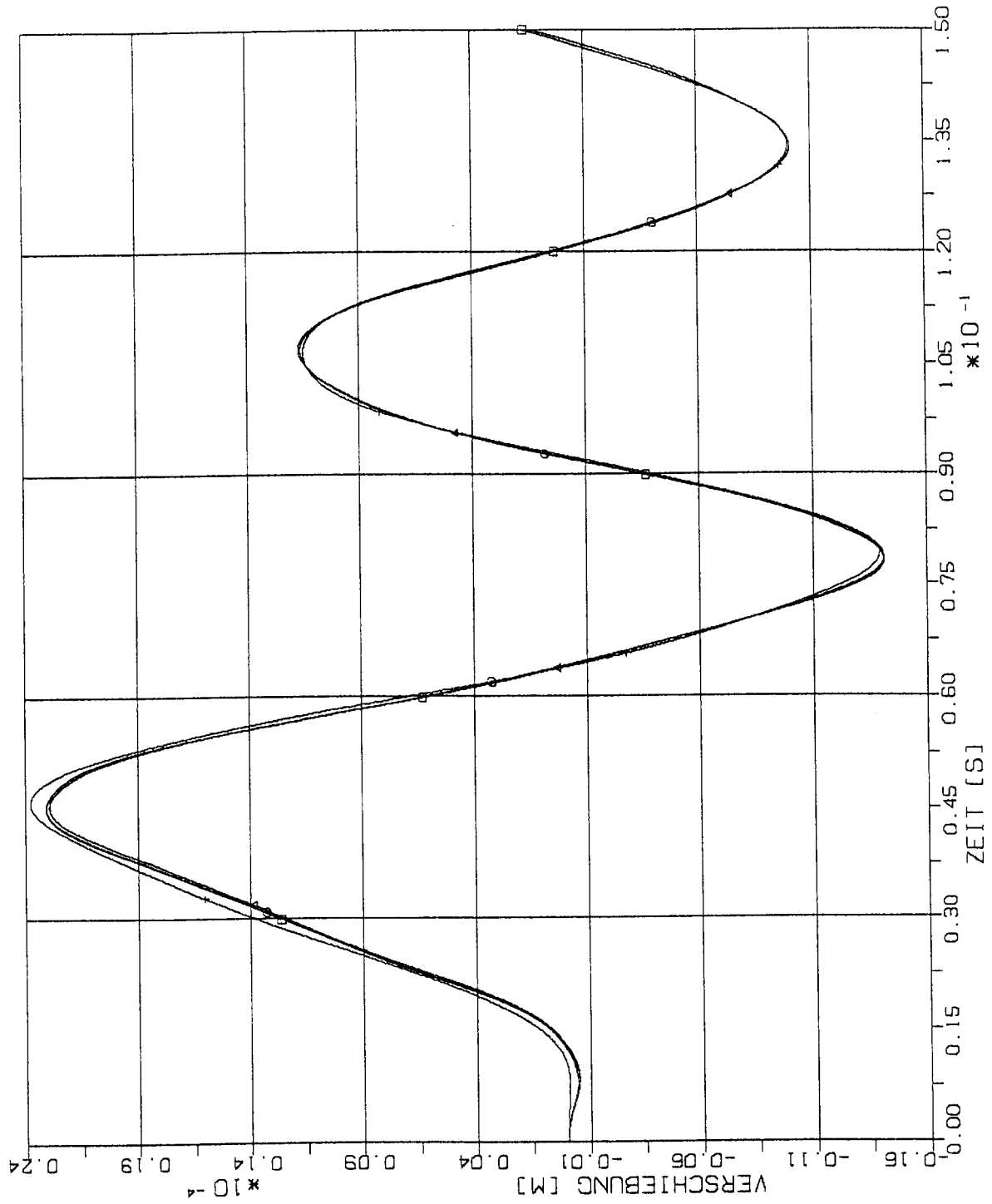


ELEMENTGRÖSSE





- $W \times W$
- $2W \times 2W$
- $4W \times 4W$
- $8W \times 8W$

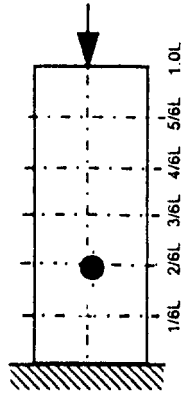


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. $1/6 L$
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



ELEMENTGRÖSSE

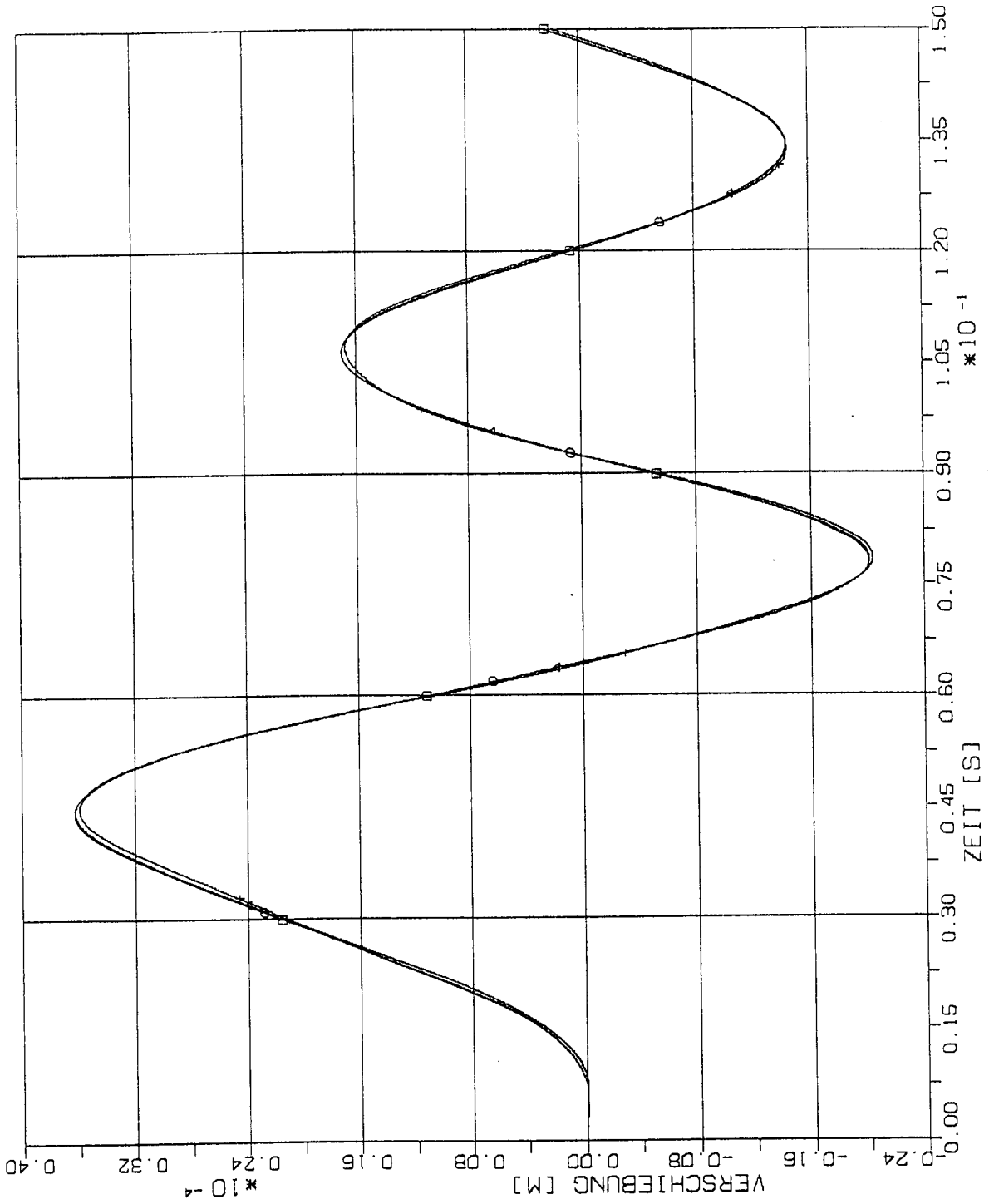
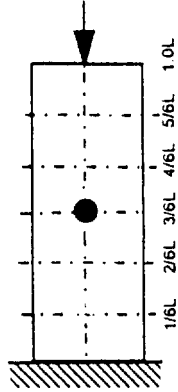
-  w x w
-  2w x 2w
-  4w x 4w
-  8w x 8w



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

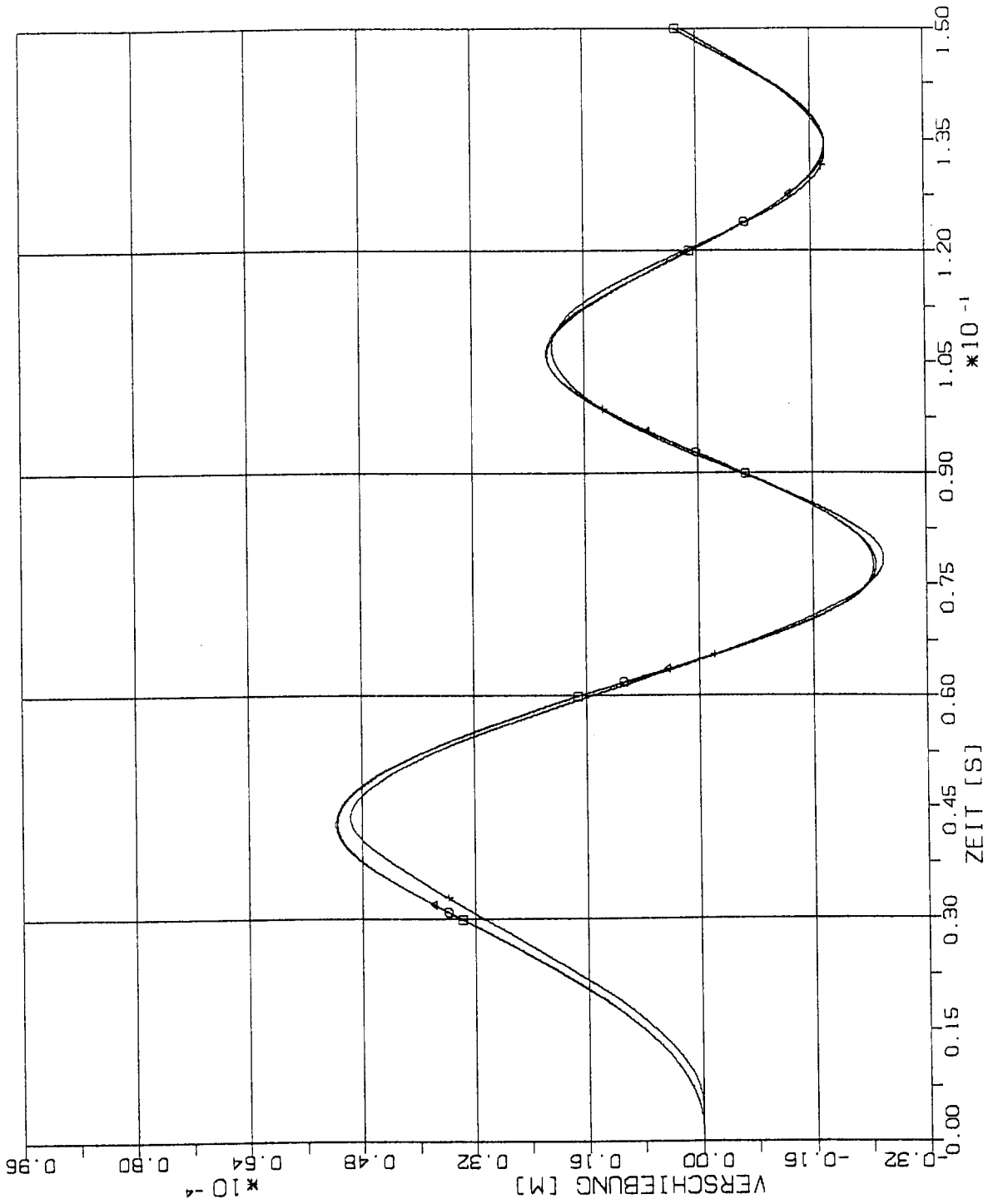
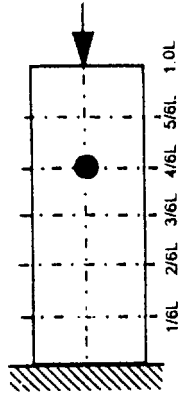
- w x w
- ⊙ 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

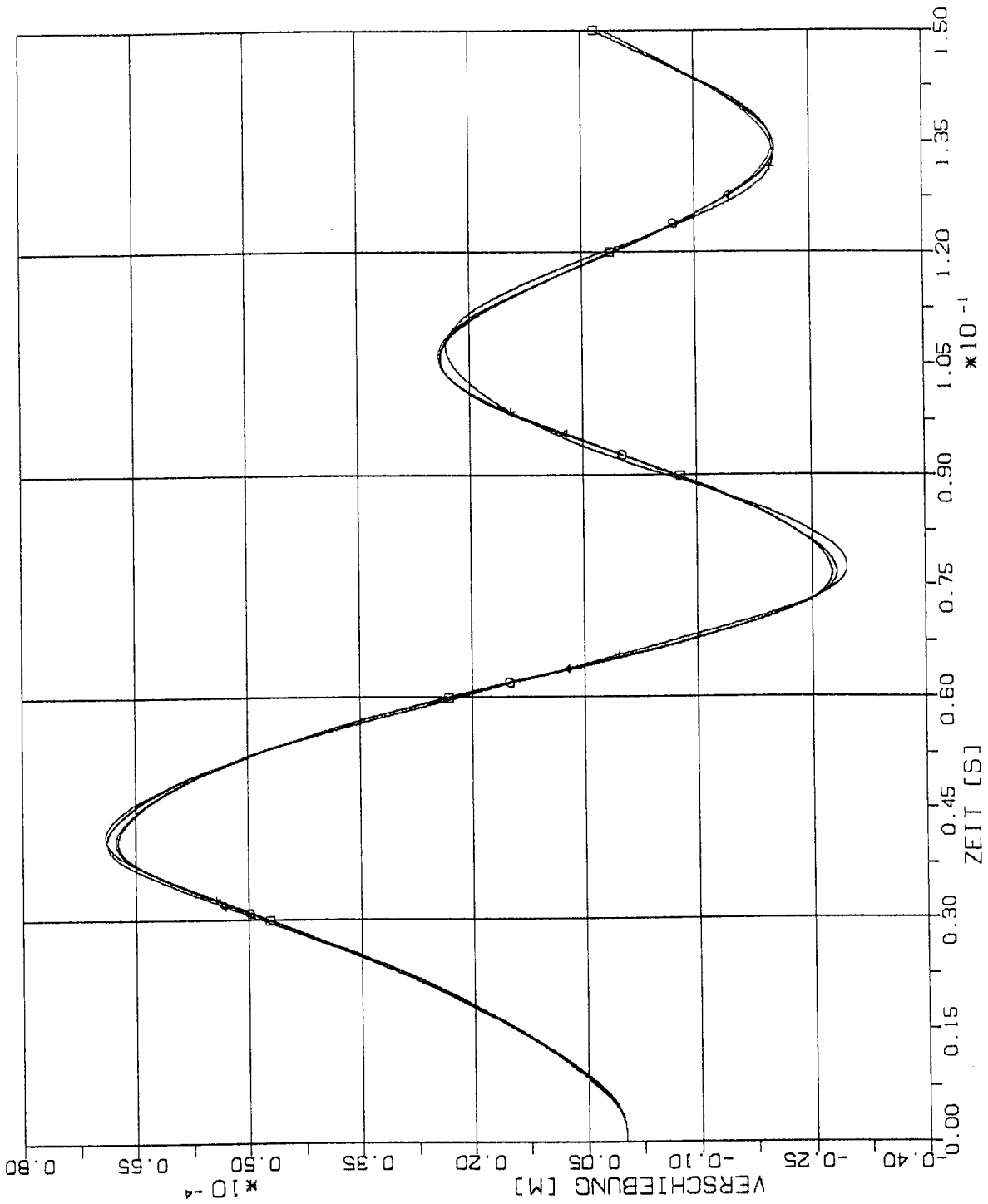
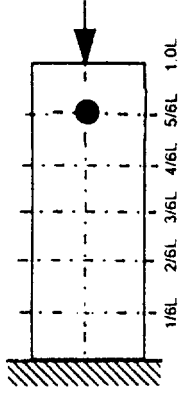
- W x W
- ⊙ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)





ELEMENTGRÖSSE

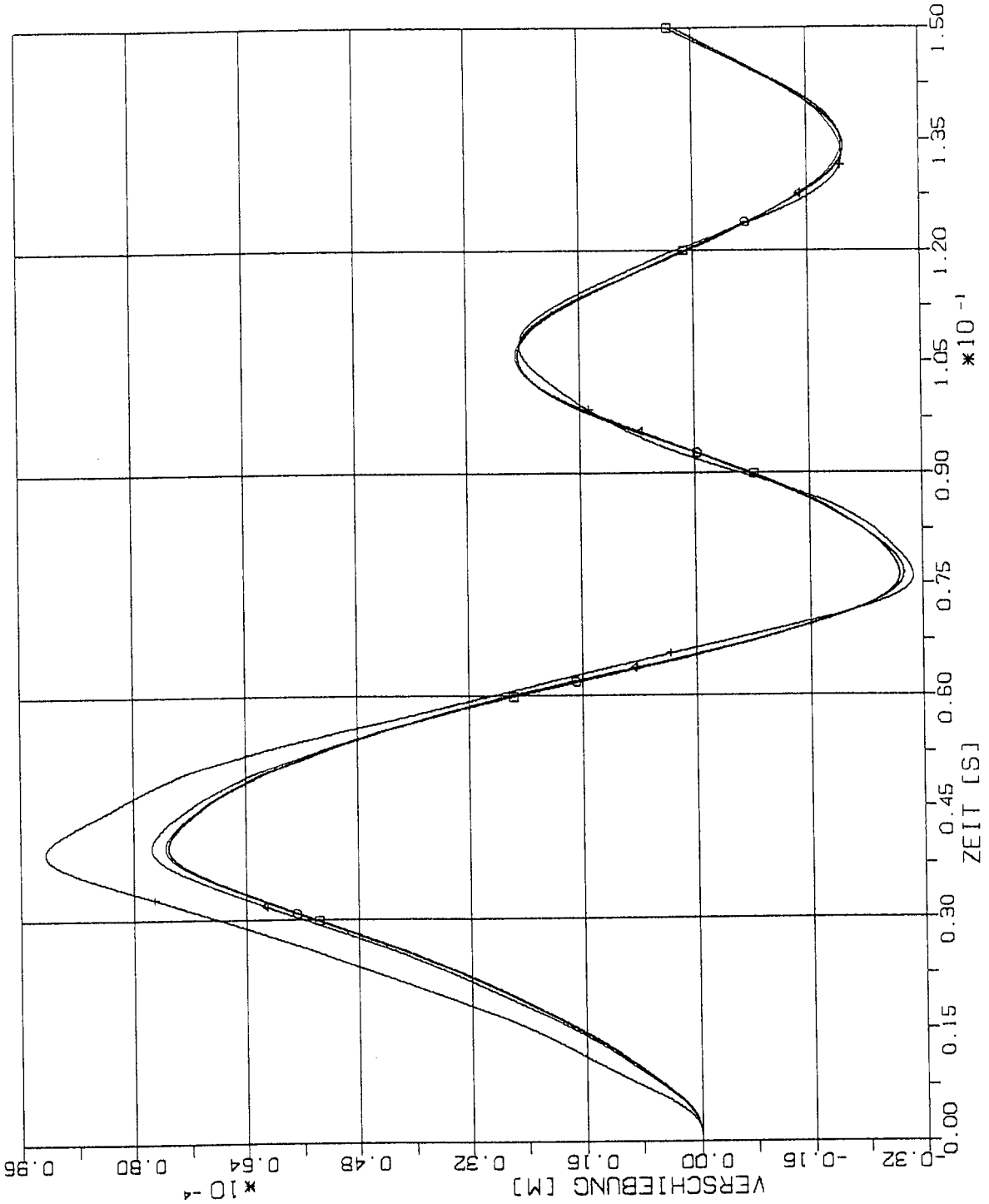
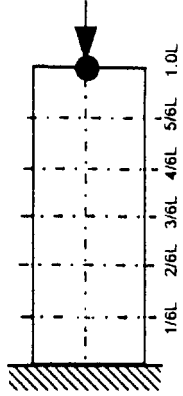
- — □ W x W
- — ○ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- † — † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)

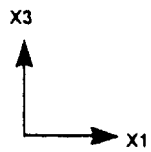
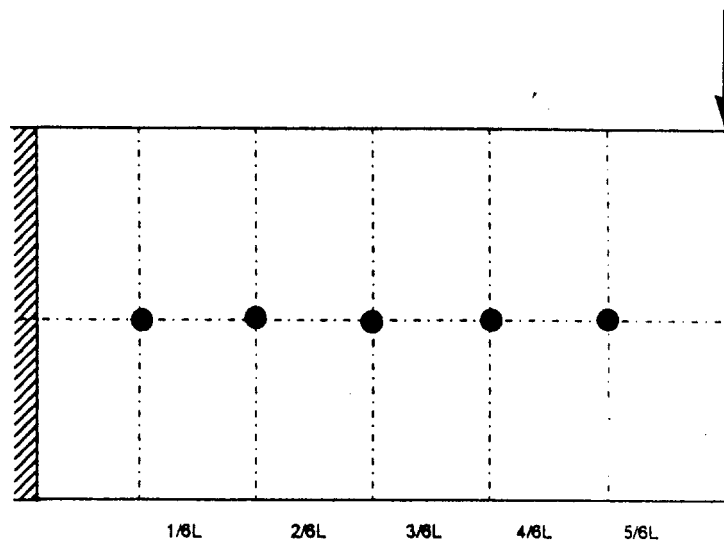
ELEMENTGRÖSSE

-  W x W
-  2W x 2W
-  4W x 4W
-  8W x 8W



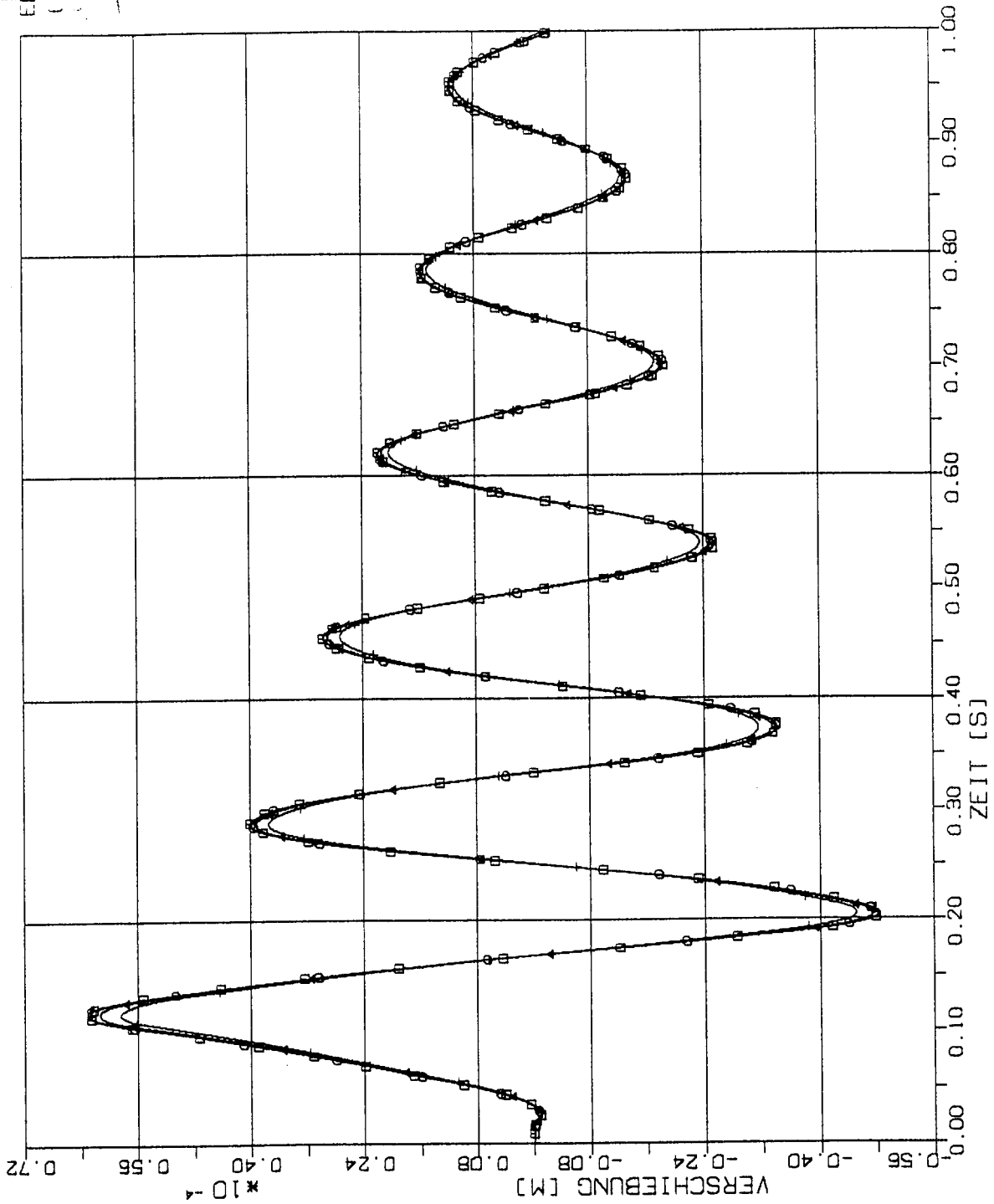
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 6/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

1.2.2 Stoßbelastung und Antworten in Querrichtung (in der Schubebene)



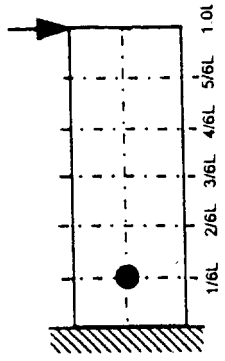
1.2.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1V

(Siehe Fig. 1-2)

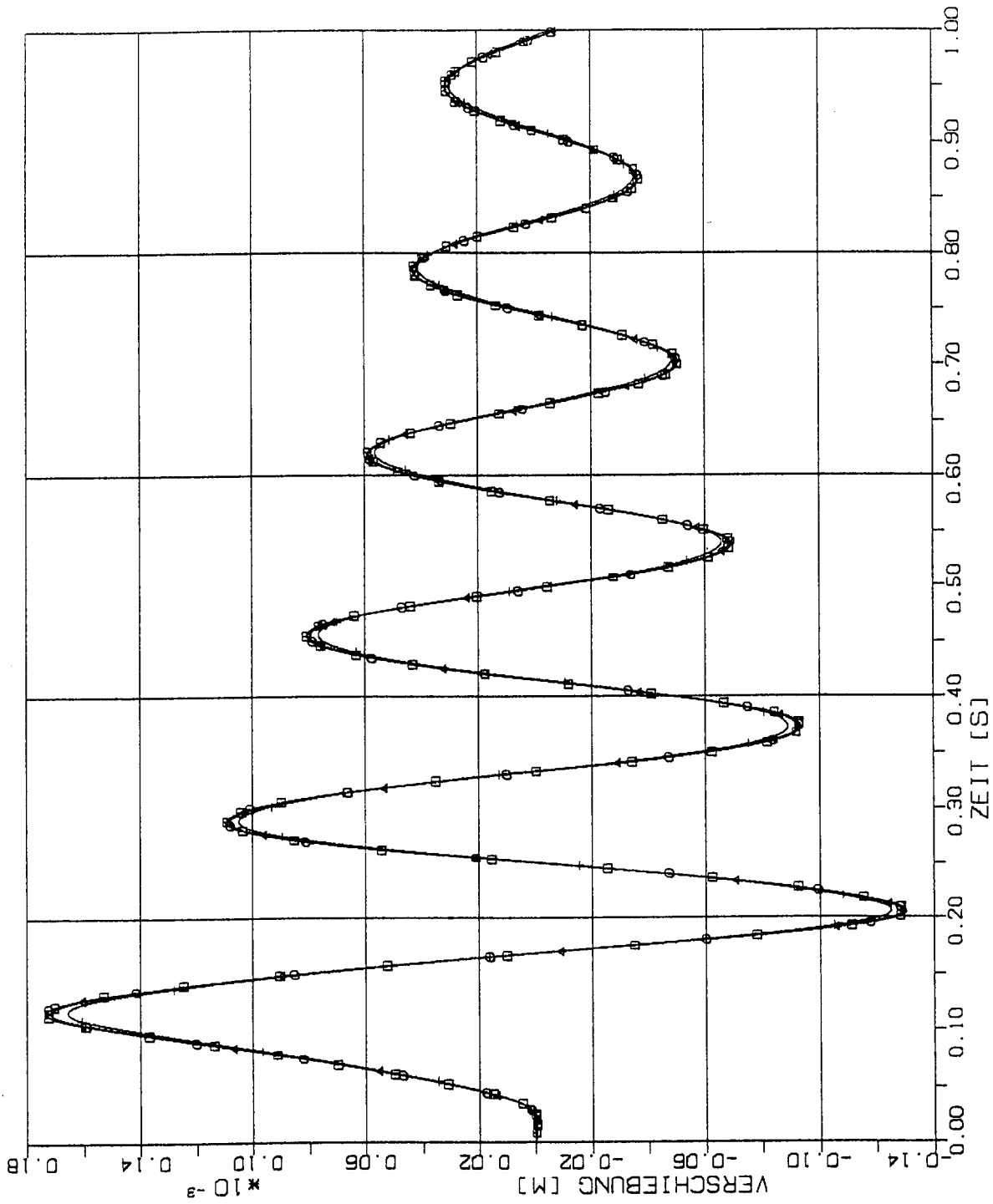


ELEMENTGRÖSSE

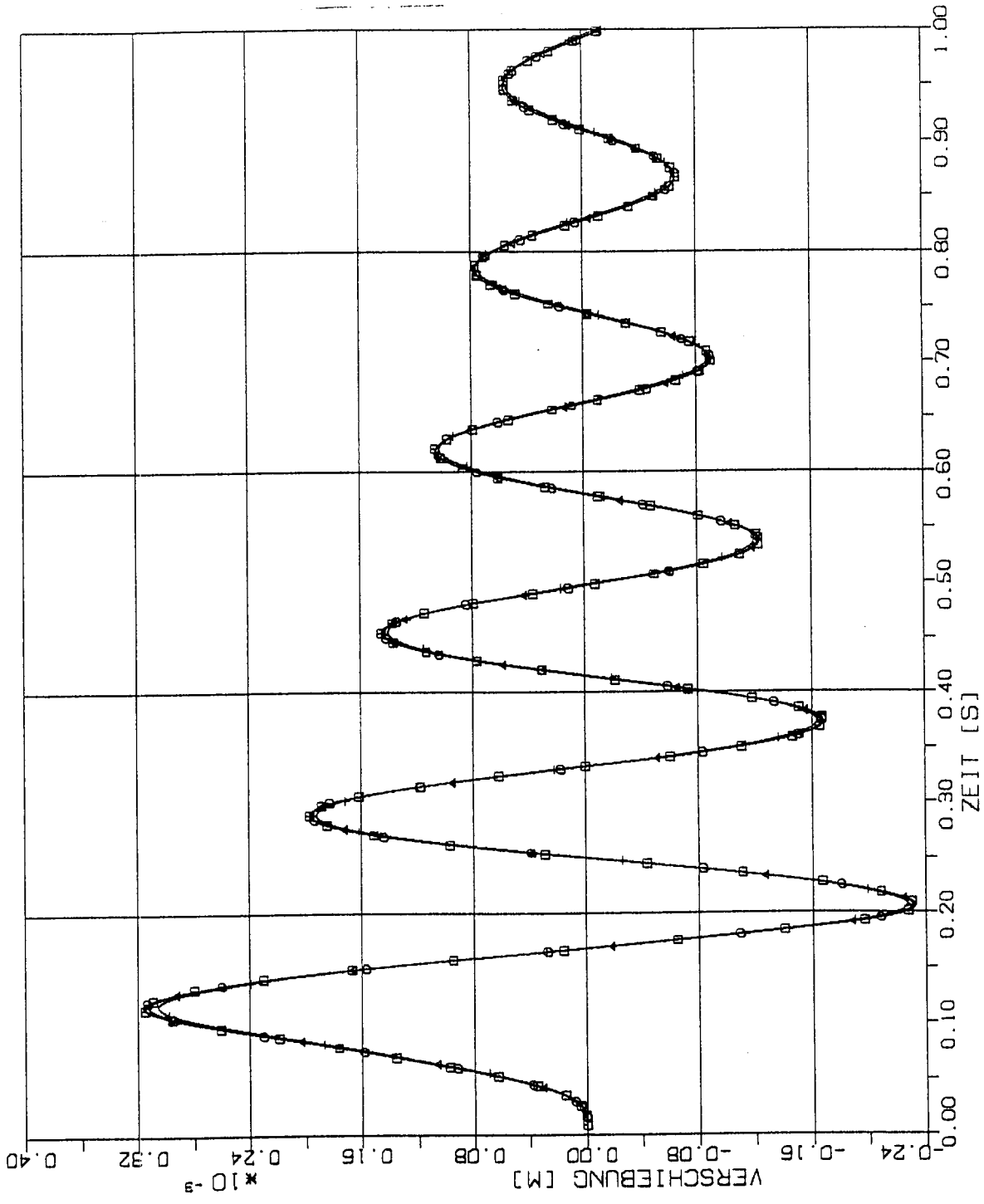
- $w \times w$
- $2w \times 2w$
- $4w \times 4w$
- $8w \times 8w$



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORANGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG STIV IN QUERRICHTUNG (X3)

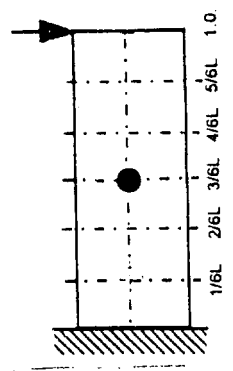


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)

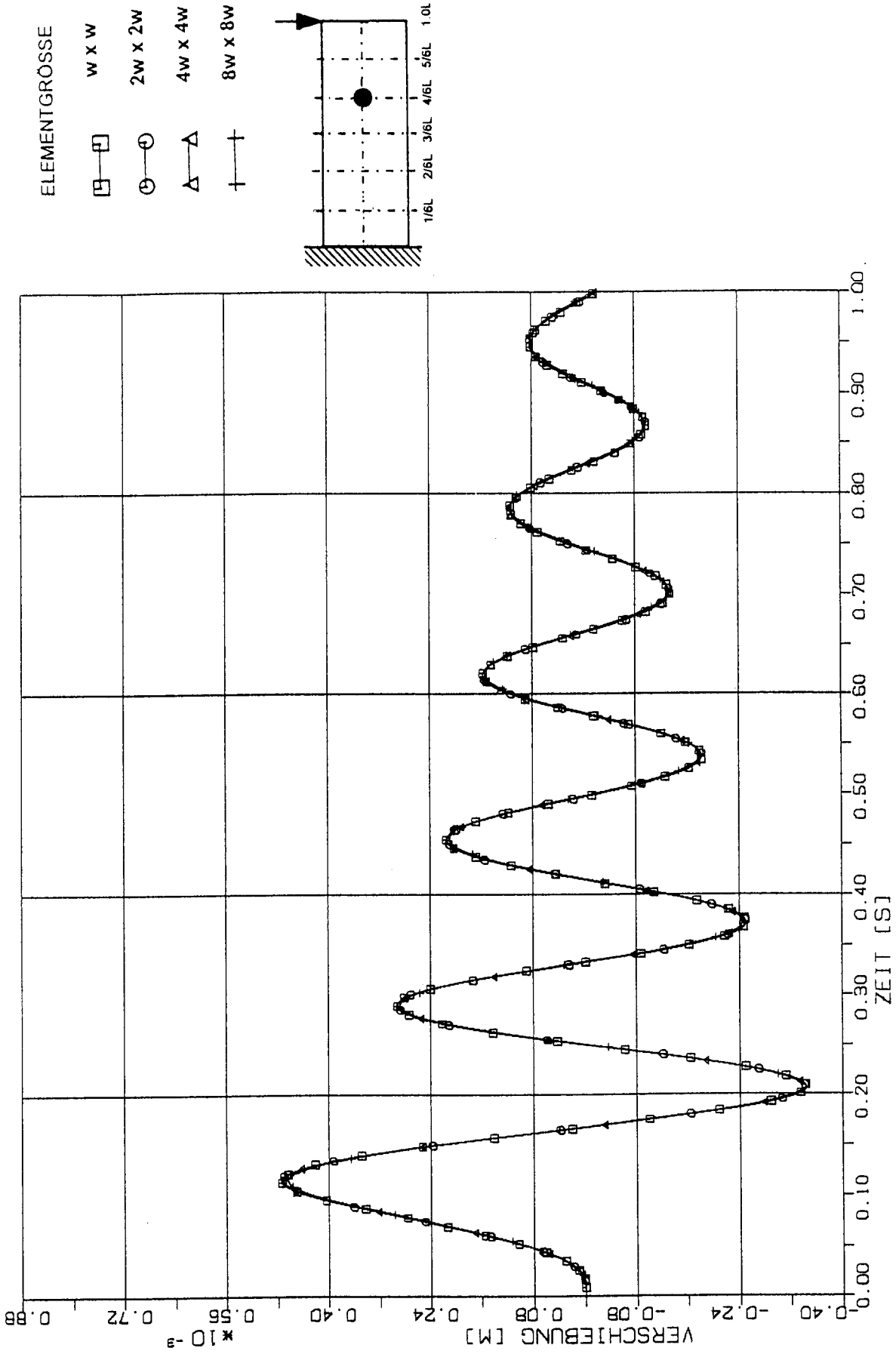


ELEMENTGRÖSSE

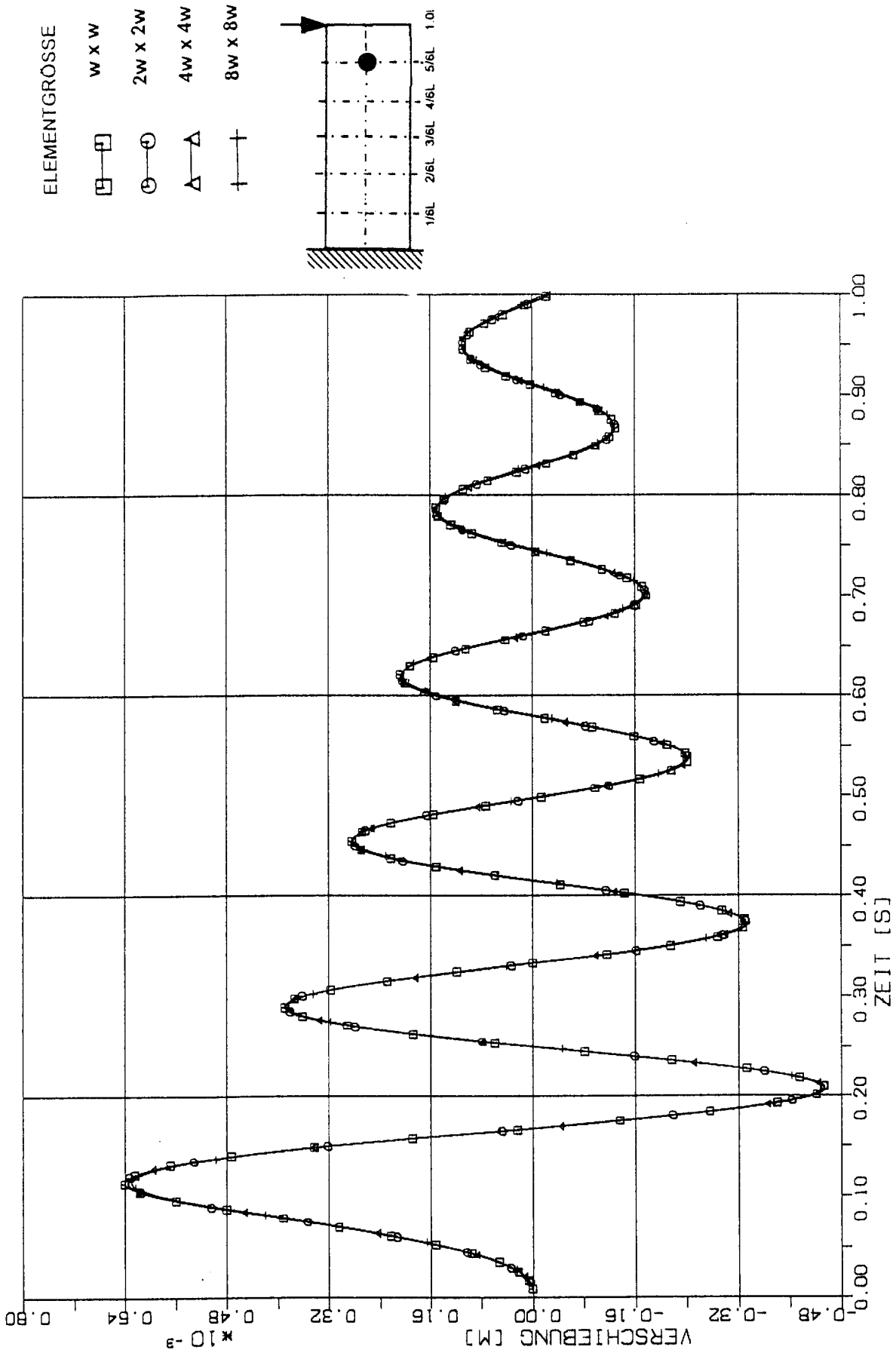
W x W
 2W x 2W
 4W x 4W
 8W x 8W



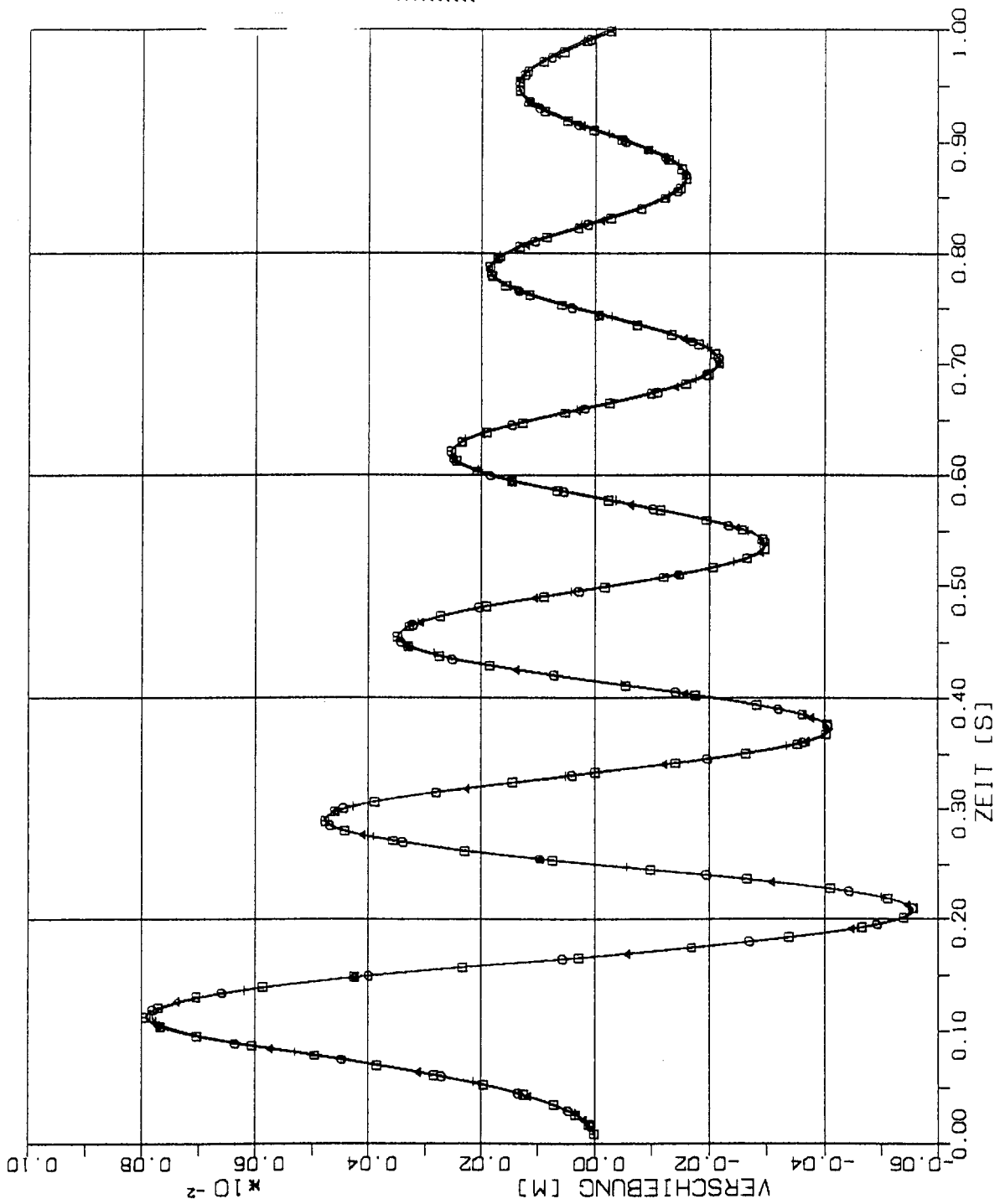
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG STIV IN QUERRICHTUNG (X3)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)

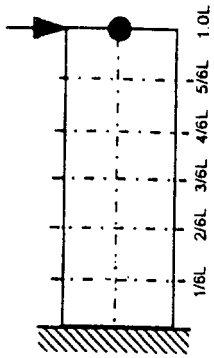


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)



ELEMENTGRÖSSE

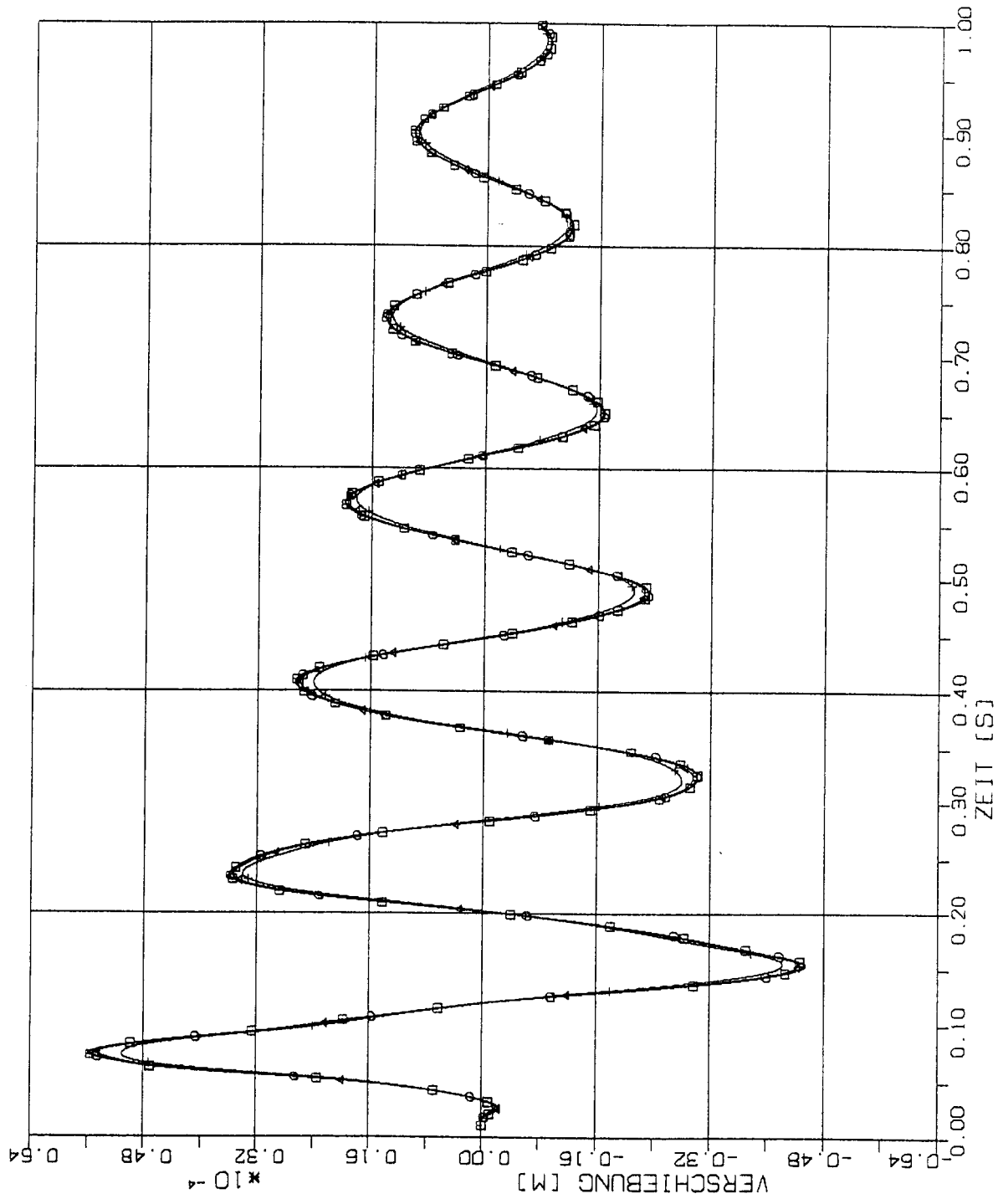
- $w \times w$ □
- $2w \times 2w$ ○
- $4w \times 4w$ △
- $8w \times 8w$ †



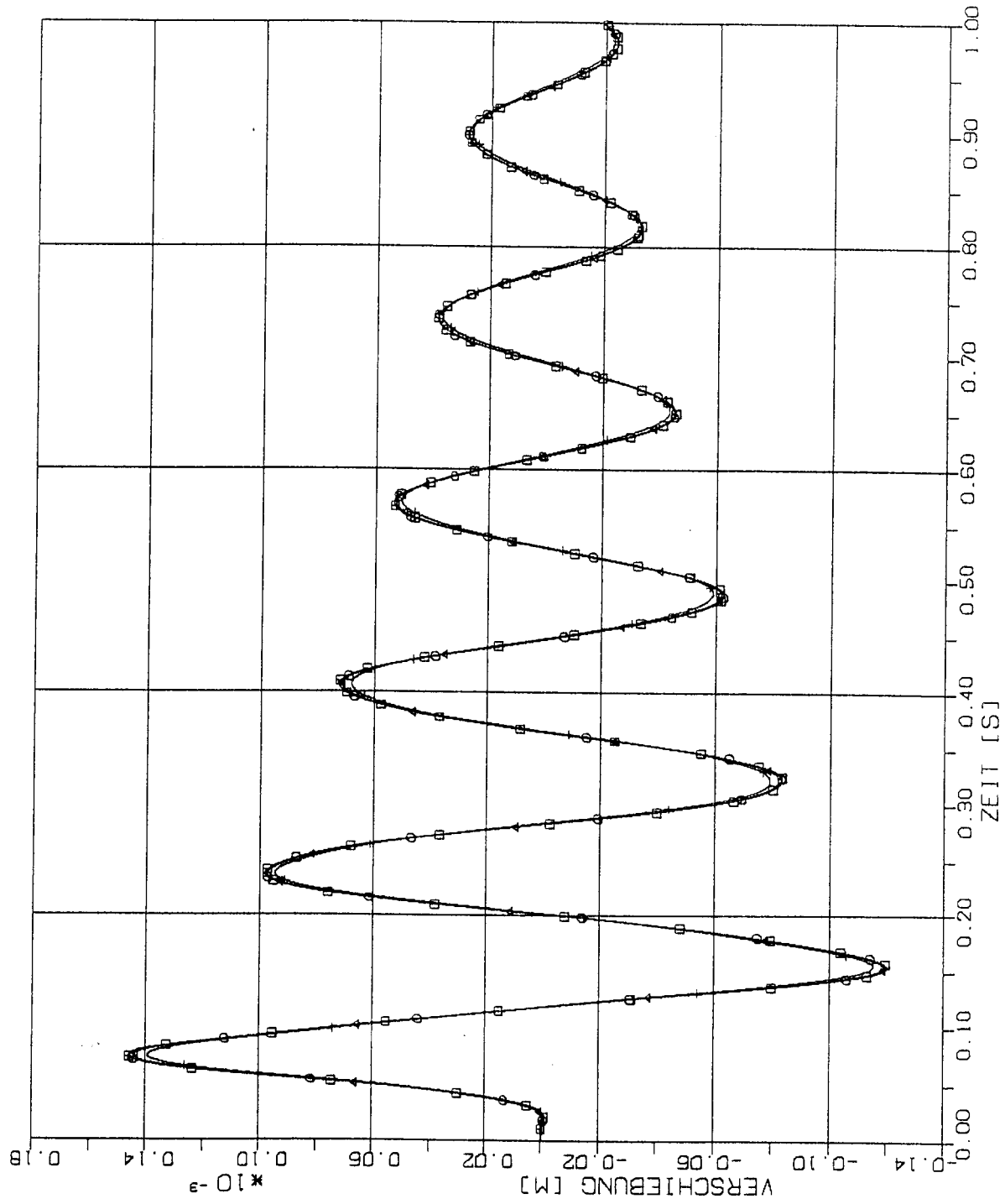
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 6/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)

1.2.2.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-2)

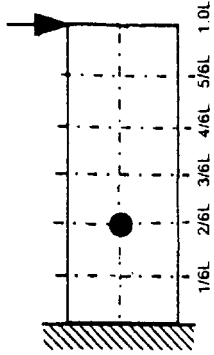


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

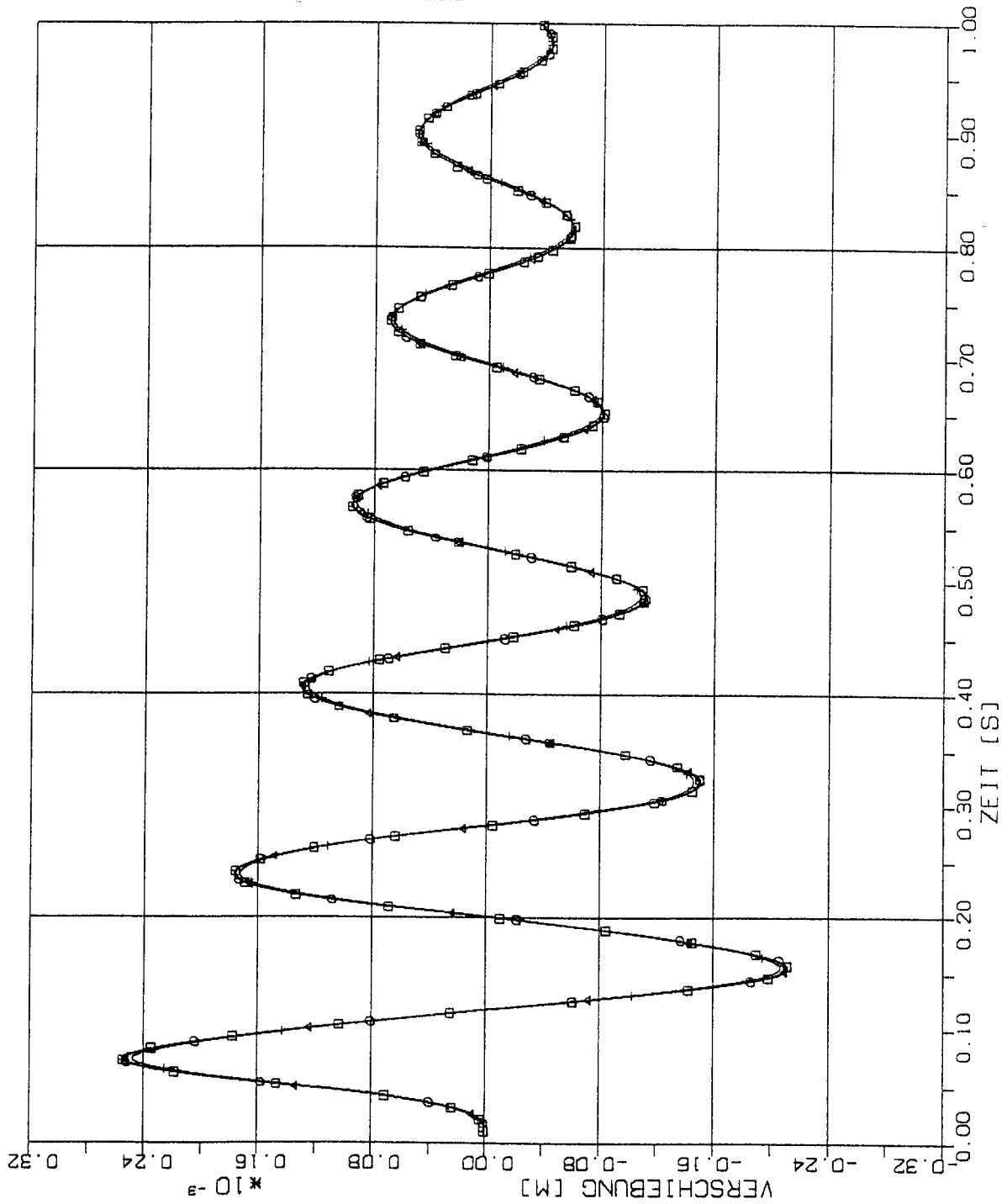


ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- 4w x 4w
- 8w x 8w

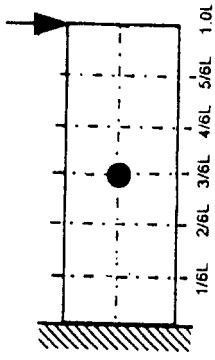


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)







ELEMENTGRÖSSE

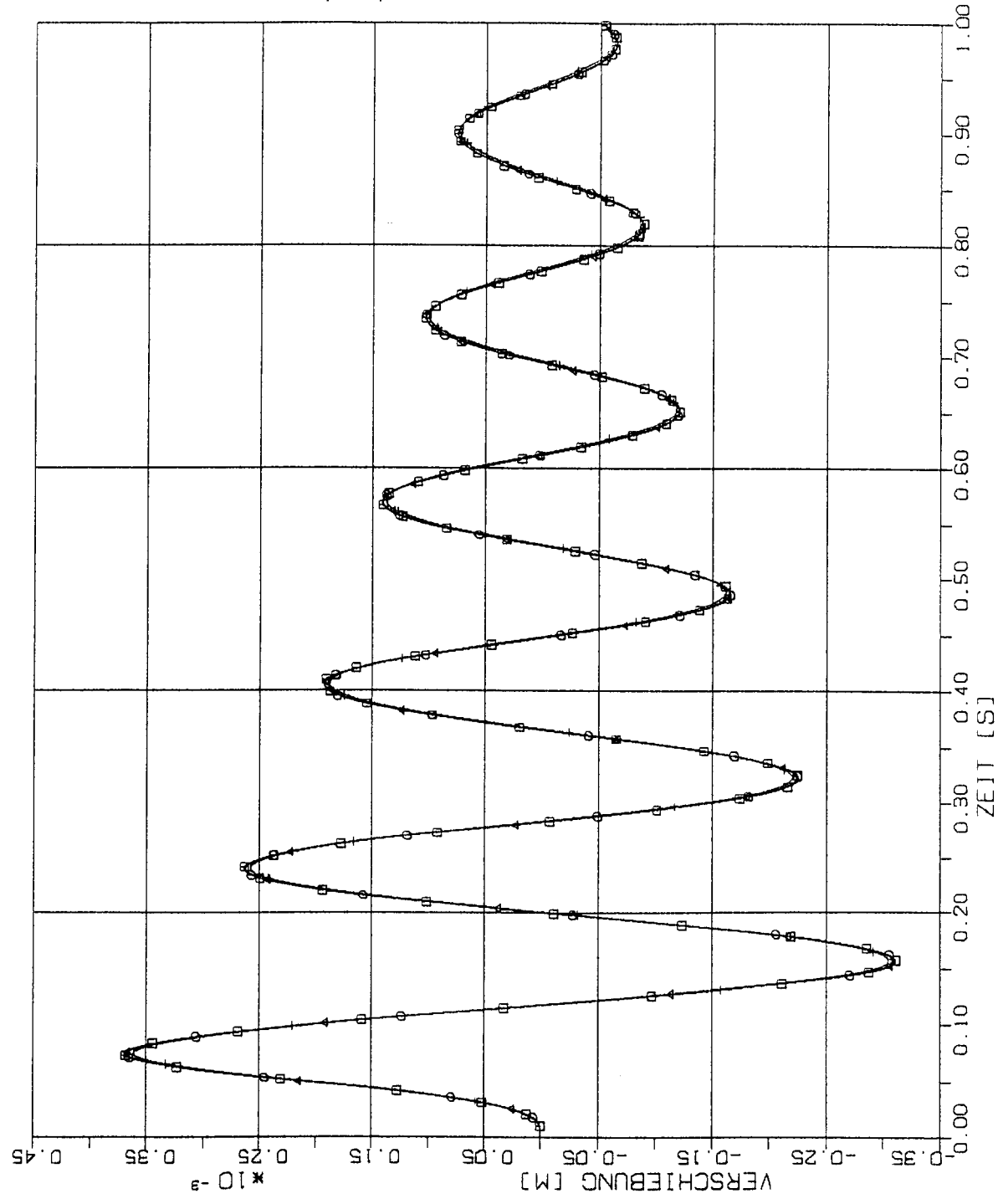
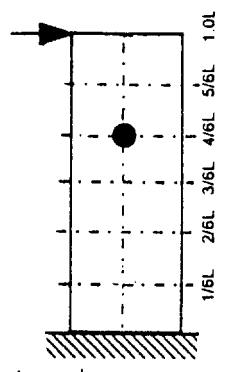
- W x W
- 2W x 2W
- 4W x 4W
- 8W x 8W



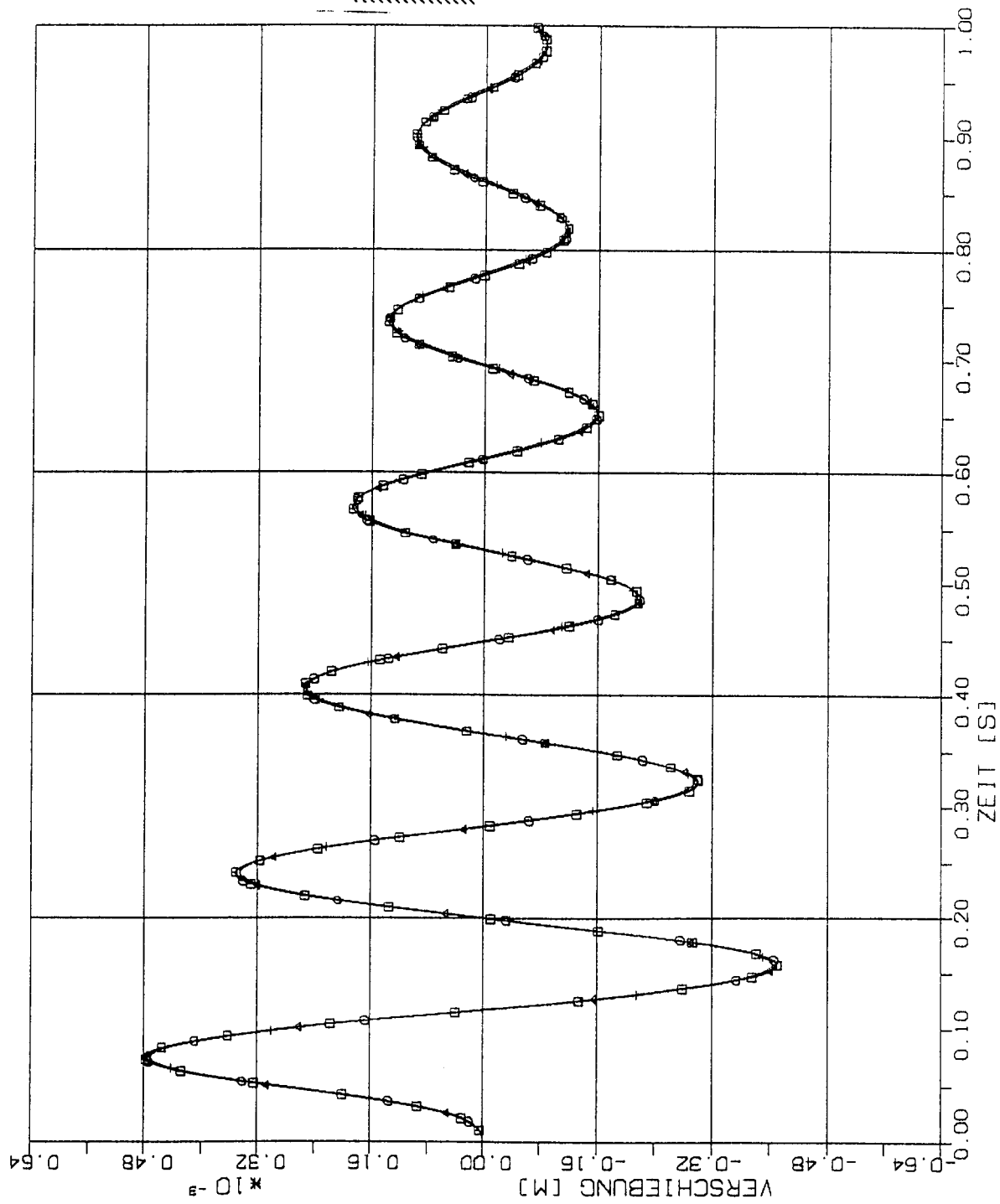
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

ELEMENTGRÖSSE

	W x W
	2W x 2W
	4W x 4W
	8W x 8W



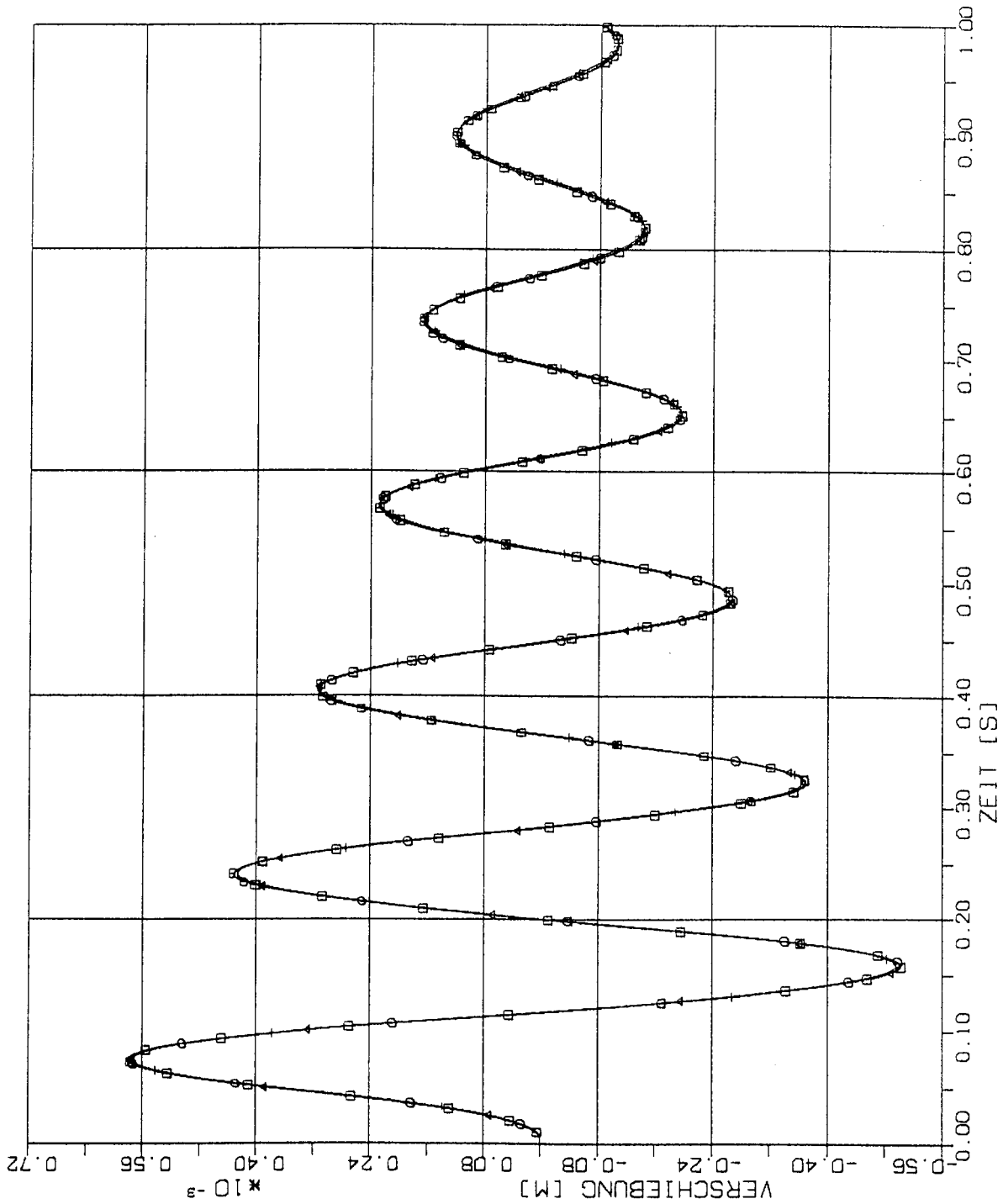
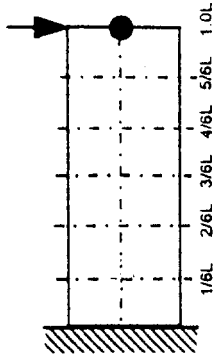
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)



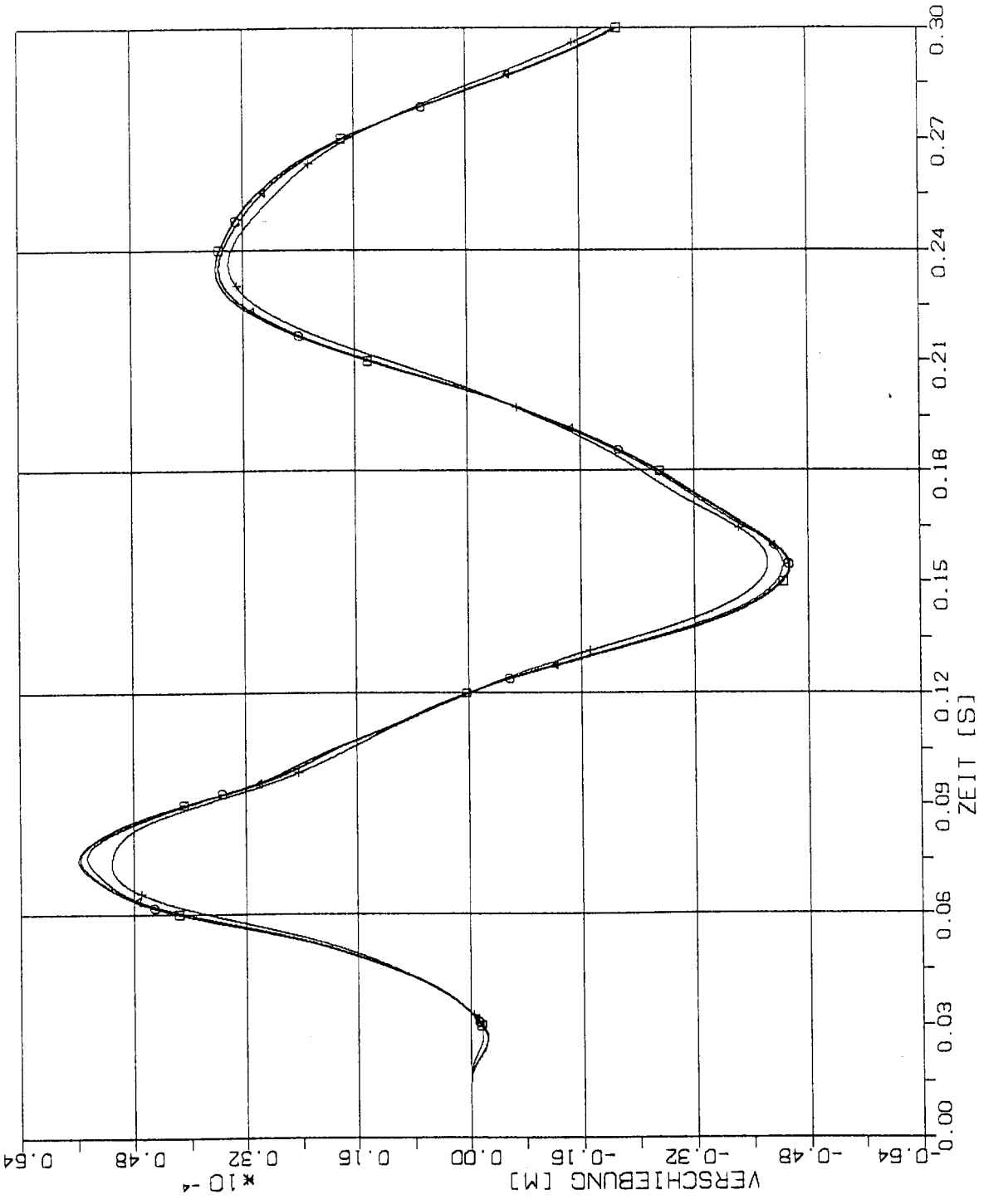
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

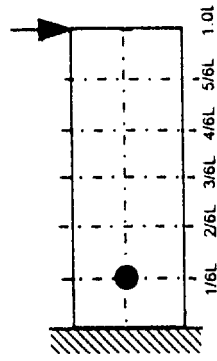


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM B.-PKT. 6/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

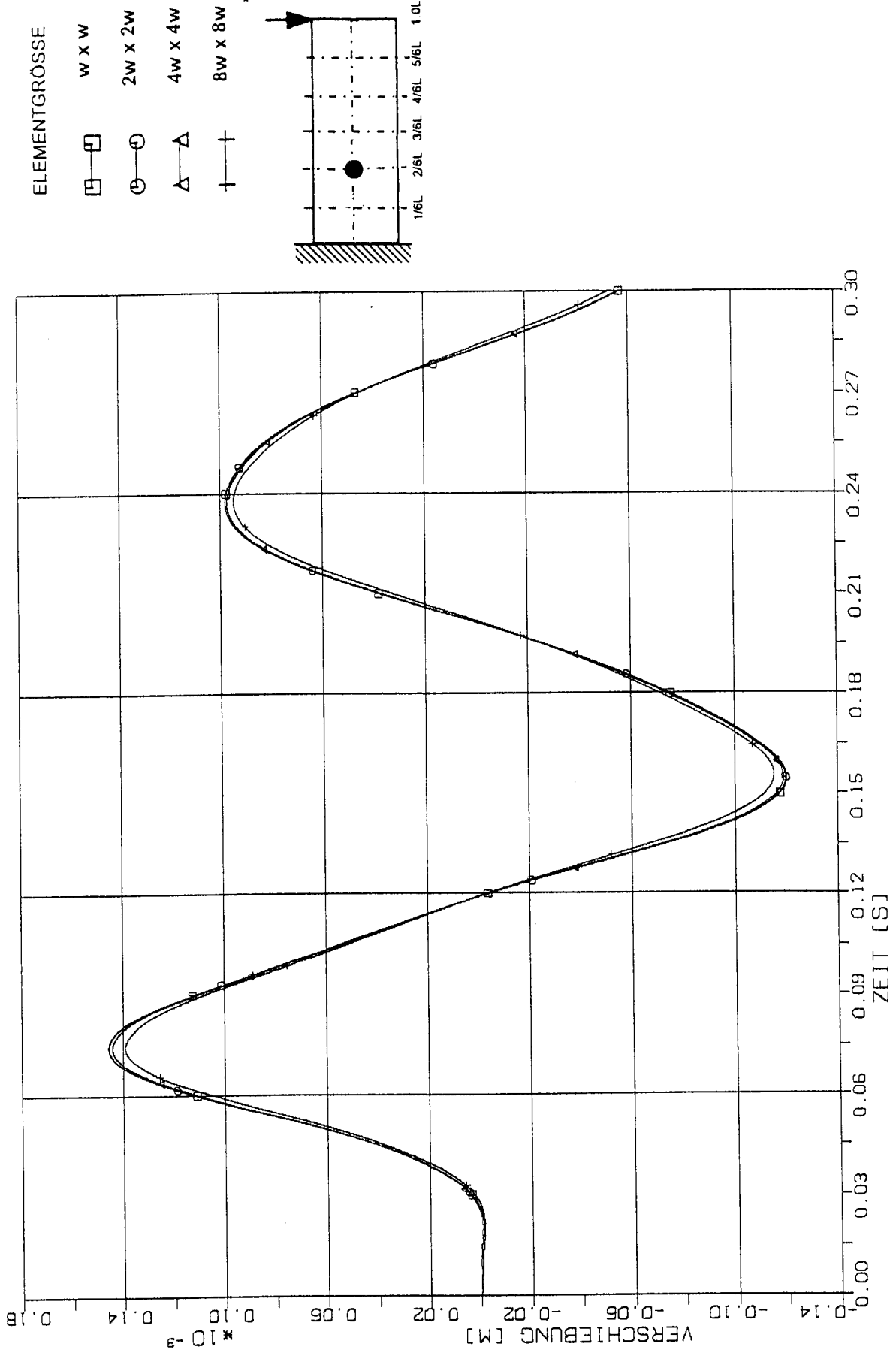


ELEMENTGRÖSSE

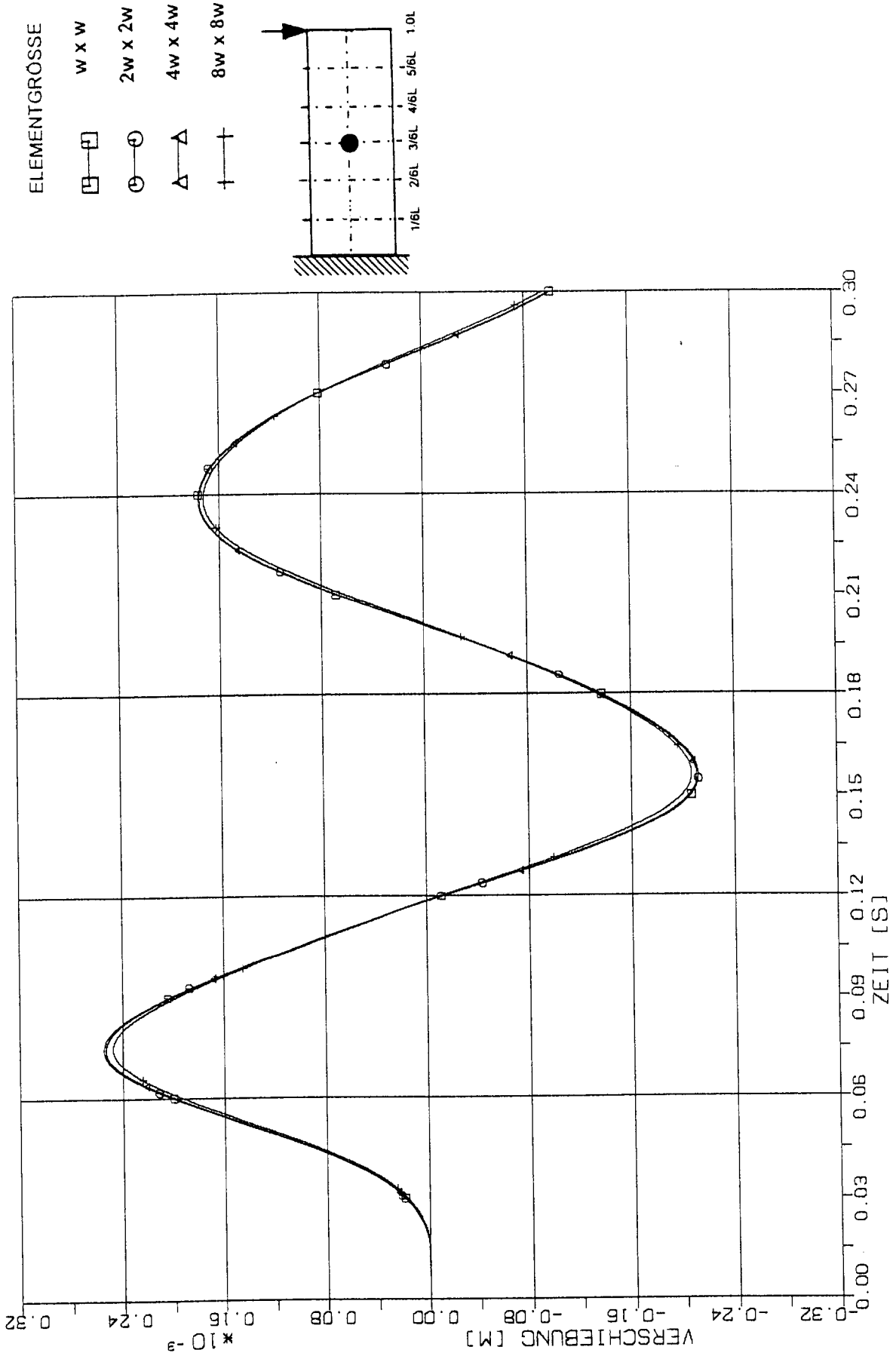
- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- ⊕ 8W x 8W



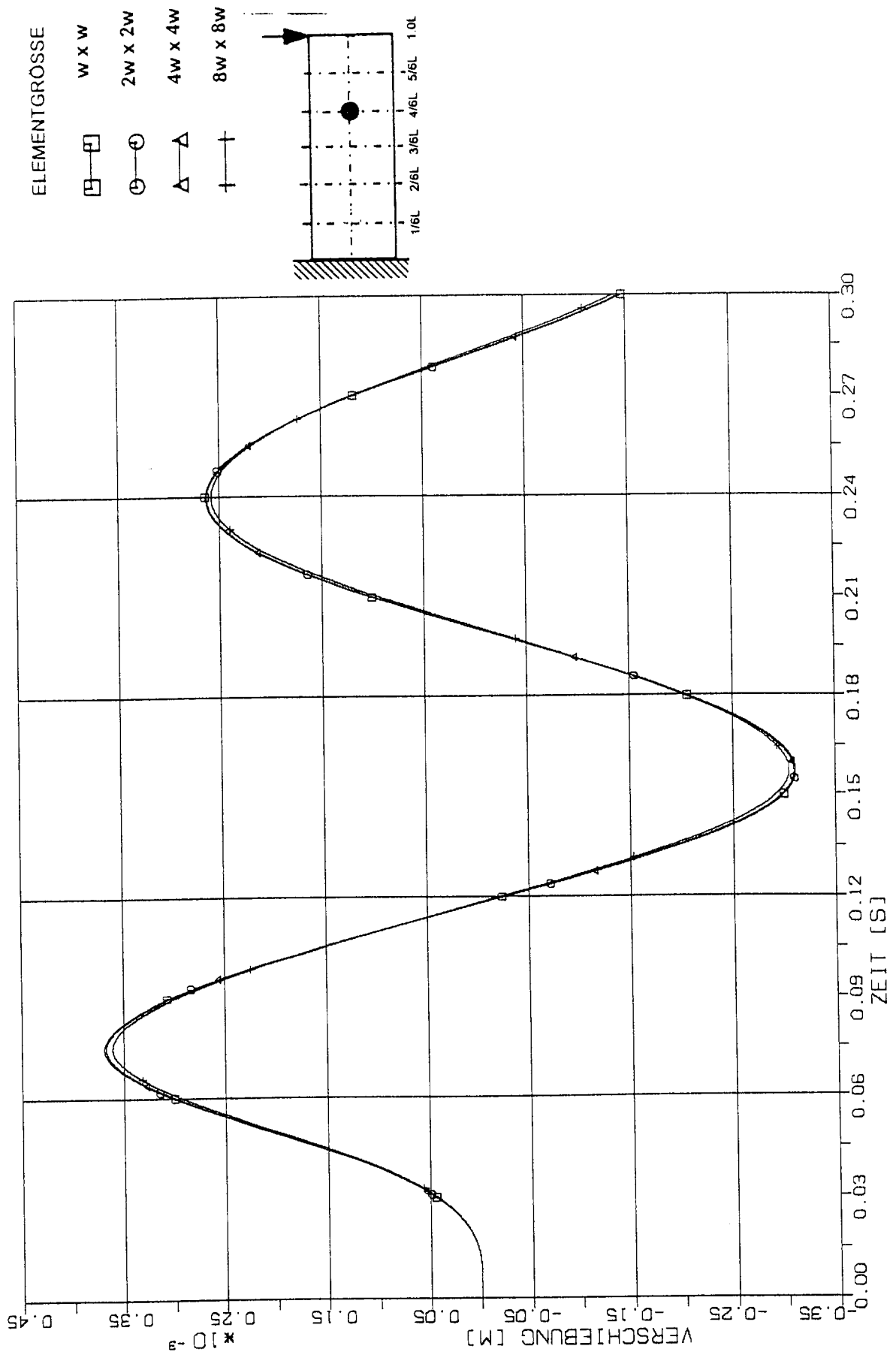
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)



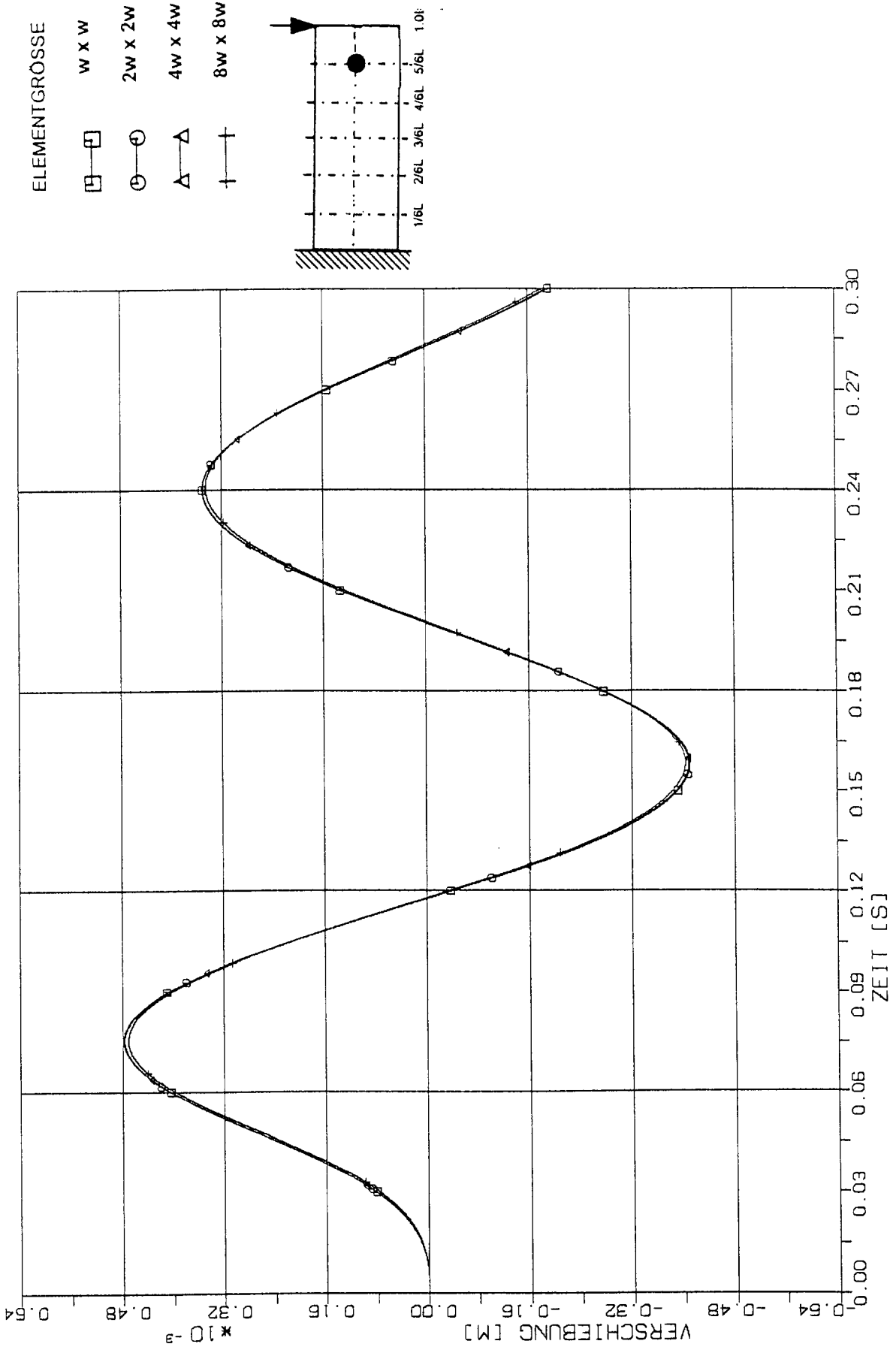
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)



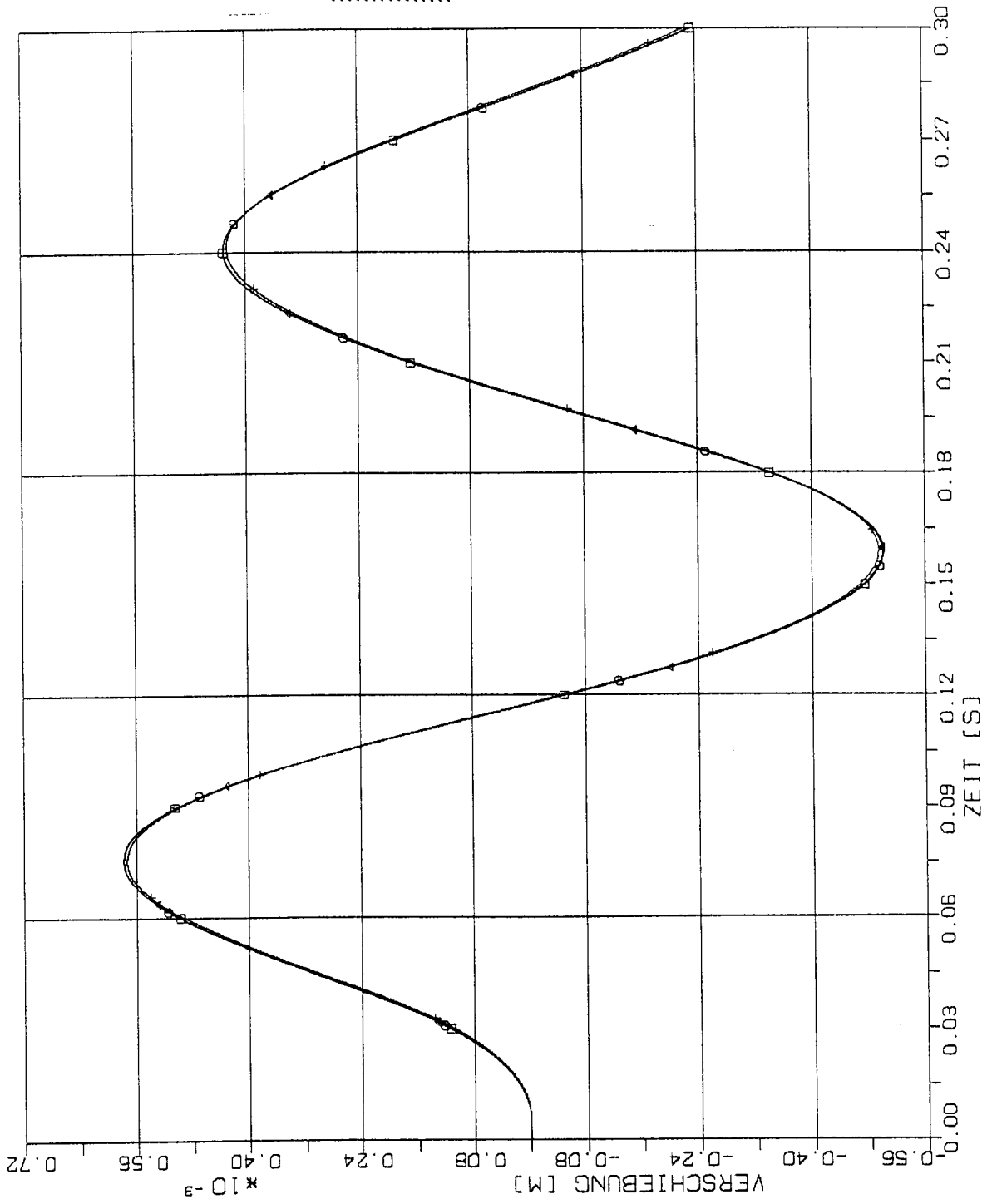
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

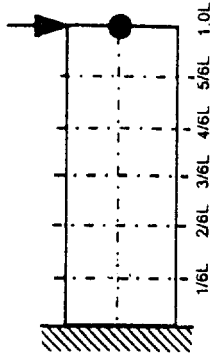


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)



ELEMENTGRÖSSE

- — □ w x w
- ⊖ — ⊖ 2w x 2w
- △ — △ 4w x 4w
- † — † 8w x 8w



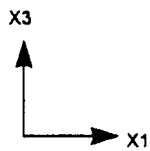
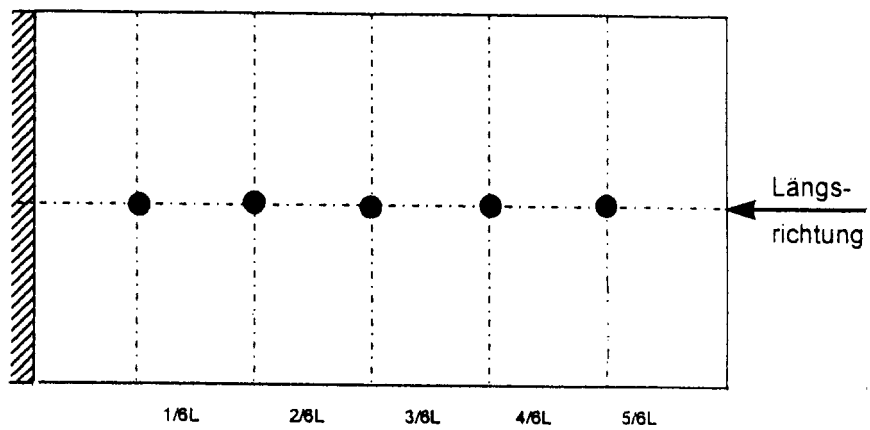
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 6/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

Zwischenblatt

1.3

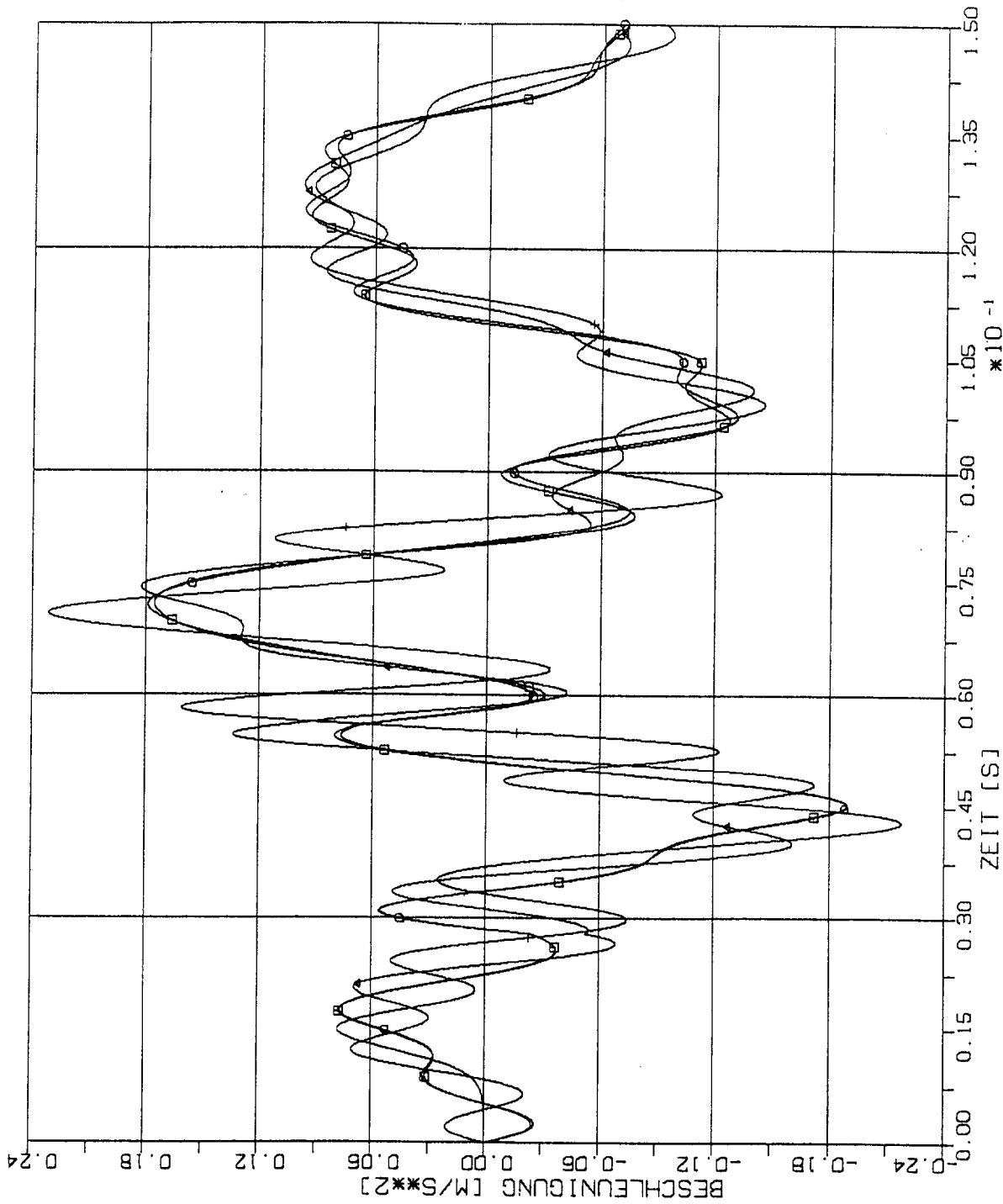
**Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in
charakteristischen Beobachtungspunkten
der Modellwandscheibe bei verschiedenen
Diskretisierungen und Stoßbelastungen**

1.3.1 Stoßbelastungen und Antworten in Längsrichtung (in der Scheibenebene)



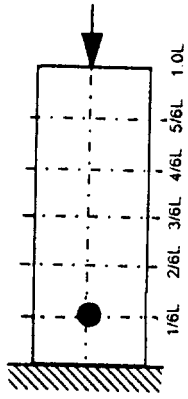
1.3.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1H

(Siehe Fig. 1-2)

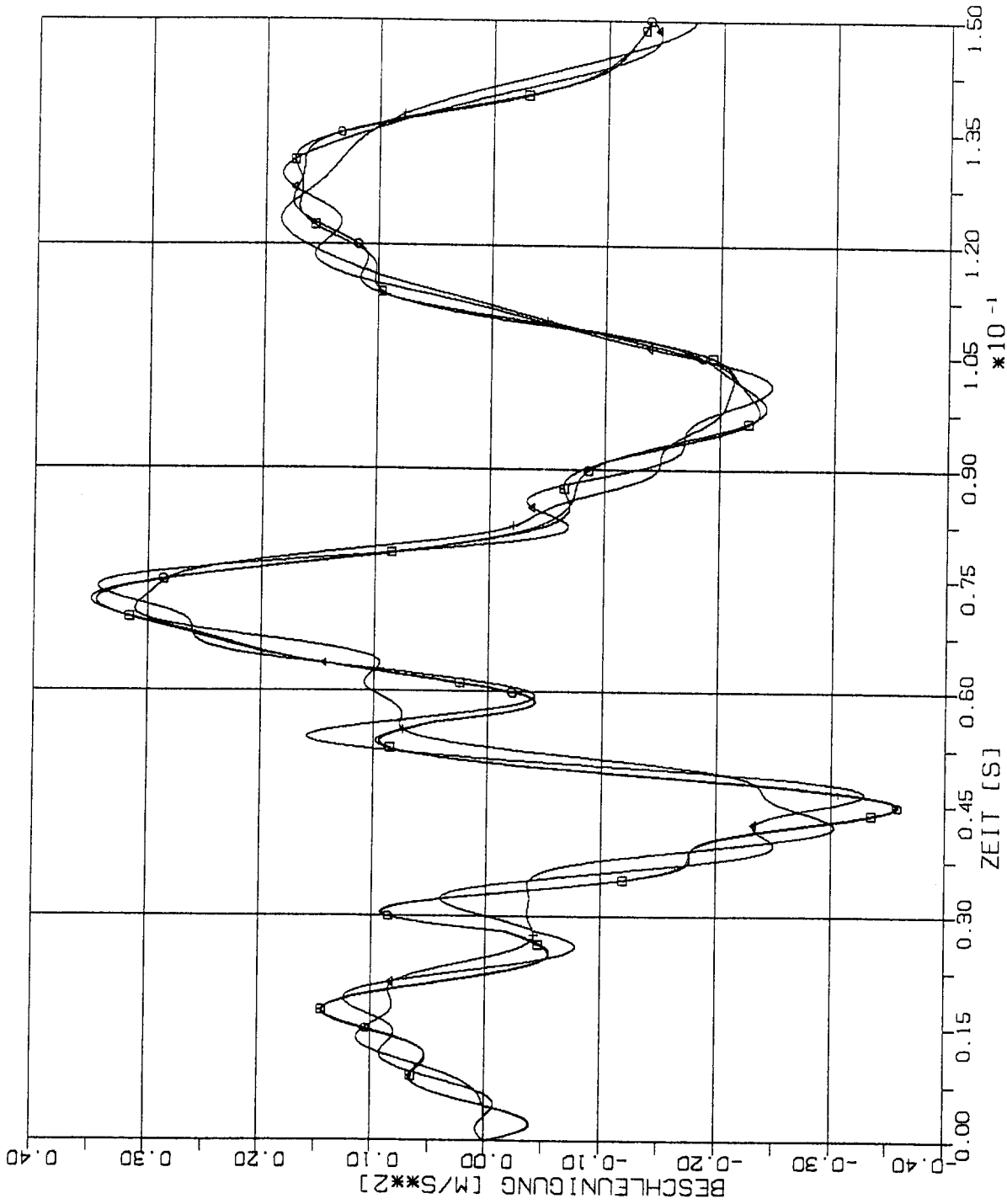


ELEMENTGRÖSSE

- $W \times W$ □
- $2W \times 2W$ ○
- $4W \times 4W$ △
- $8W \times 8W$ †

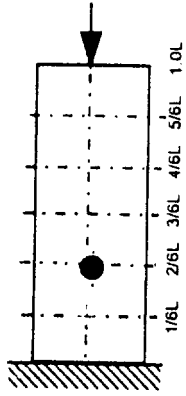


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG STIHK IN LAENGRICHTUNG (X1)

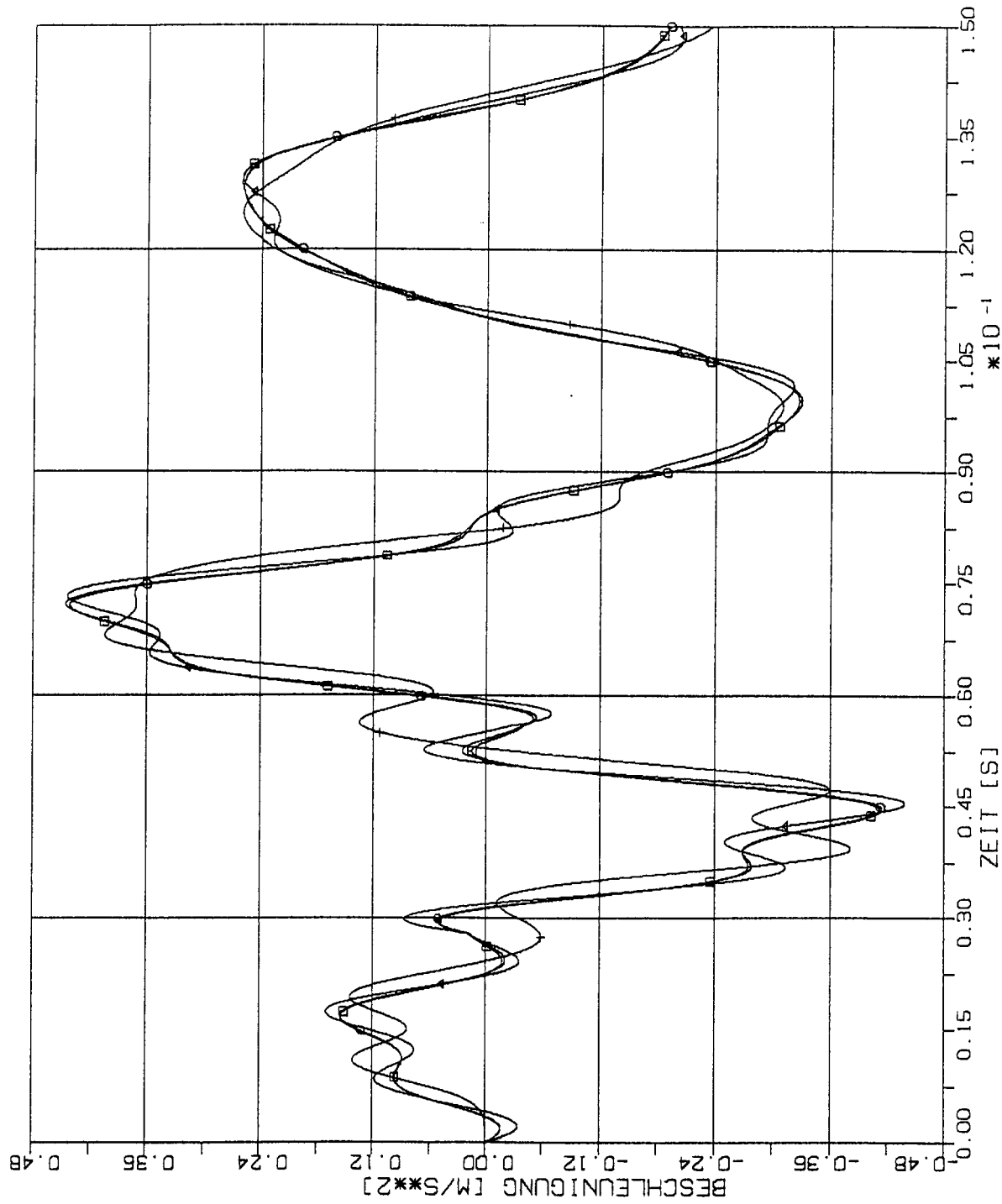


ELEMENTGRÖSSE





- W x W
- ⊙ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

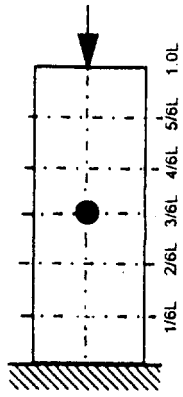


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG STIH IN LAENGSRICHTUNG (X1)

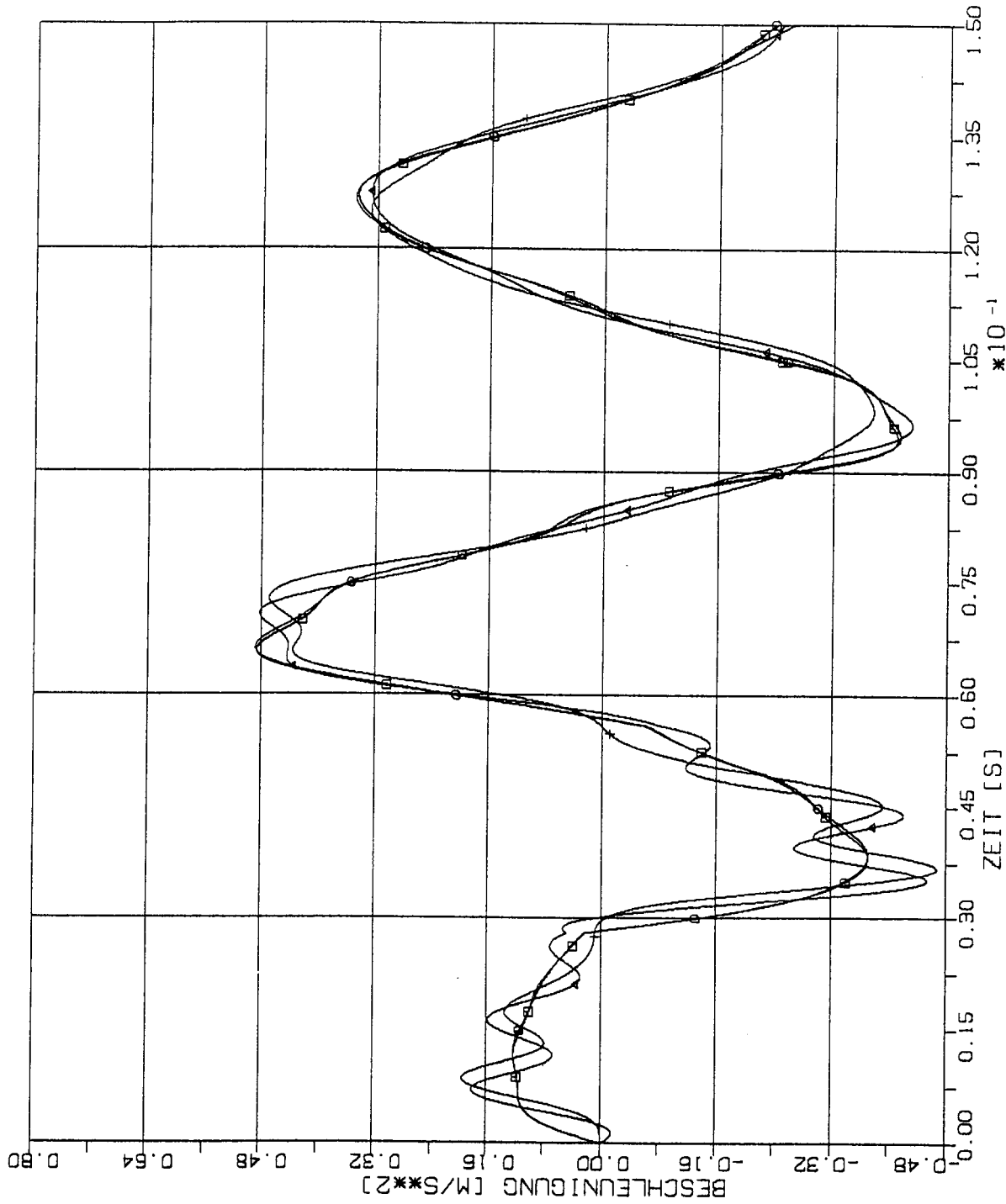


ELEMENTGRÖSSE

- $W \times W$ 
- $2W \times 2W$ 
- $4W \times 4W$ 
- $8W \times 8W$ 



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG STIH IN LAENGRICHTUNG (X1)



ELEMENTGRÖSSE

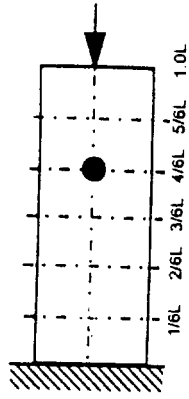
- — 16L
- — 2/6L
- △ — 3/6L
- ⊕ — 4/6L

W x W

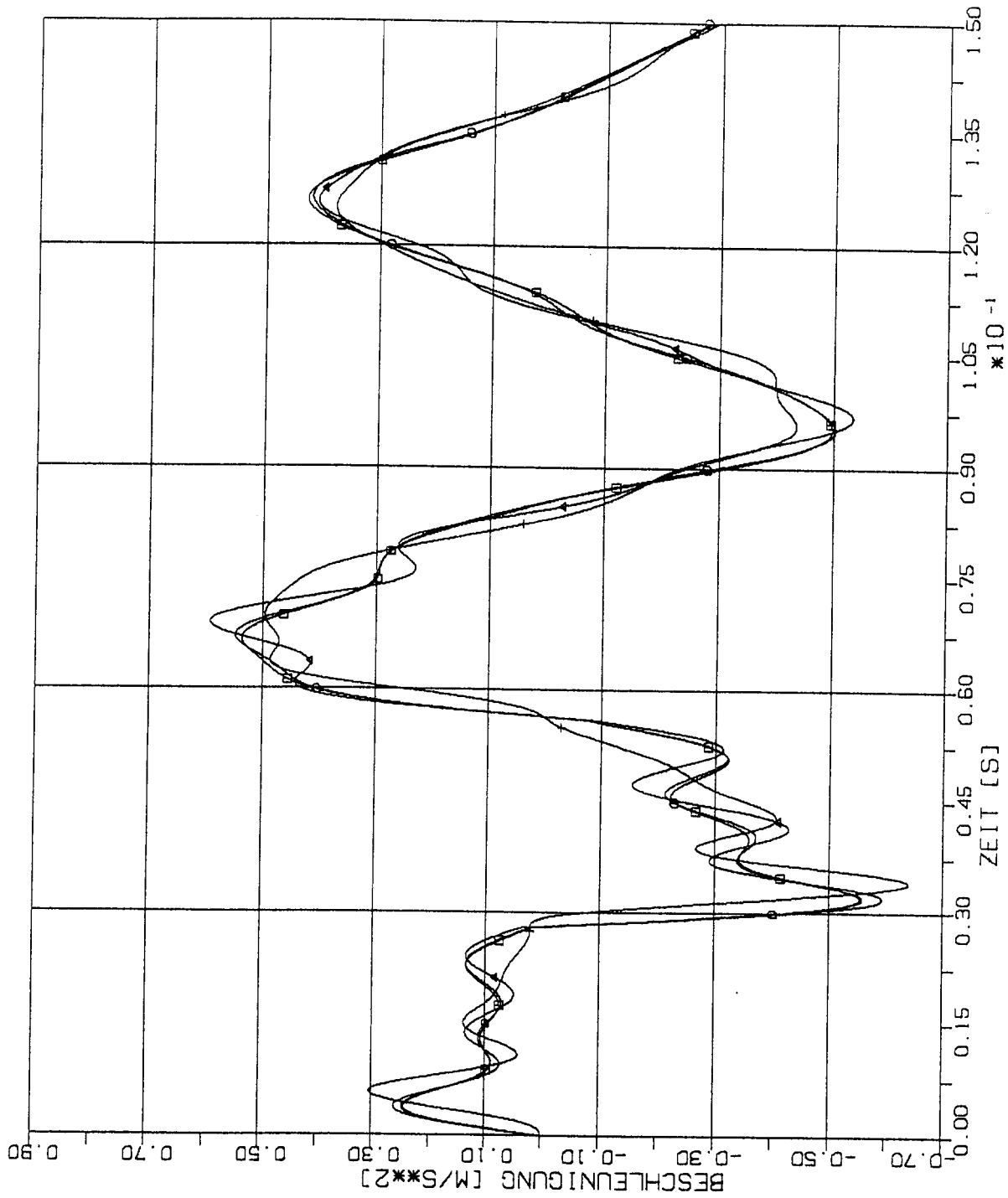
2W x 2W

4W x 4W





8W x 8W

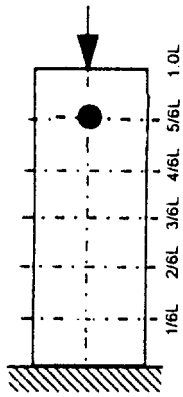


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG STIHK IN LAENGRICHTUNG (X1)

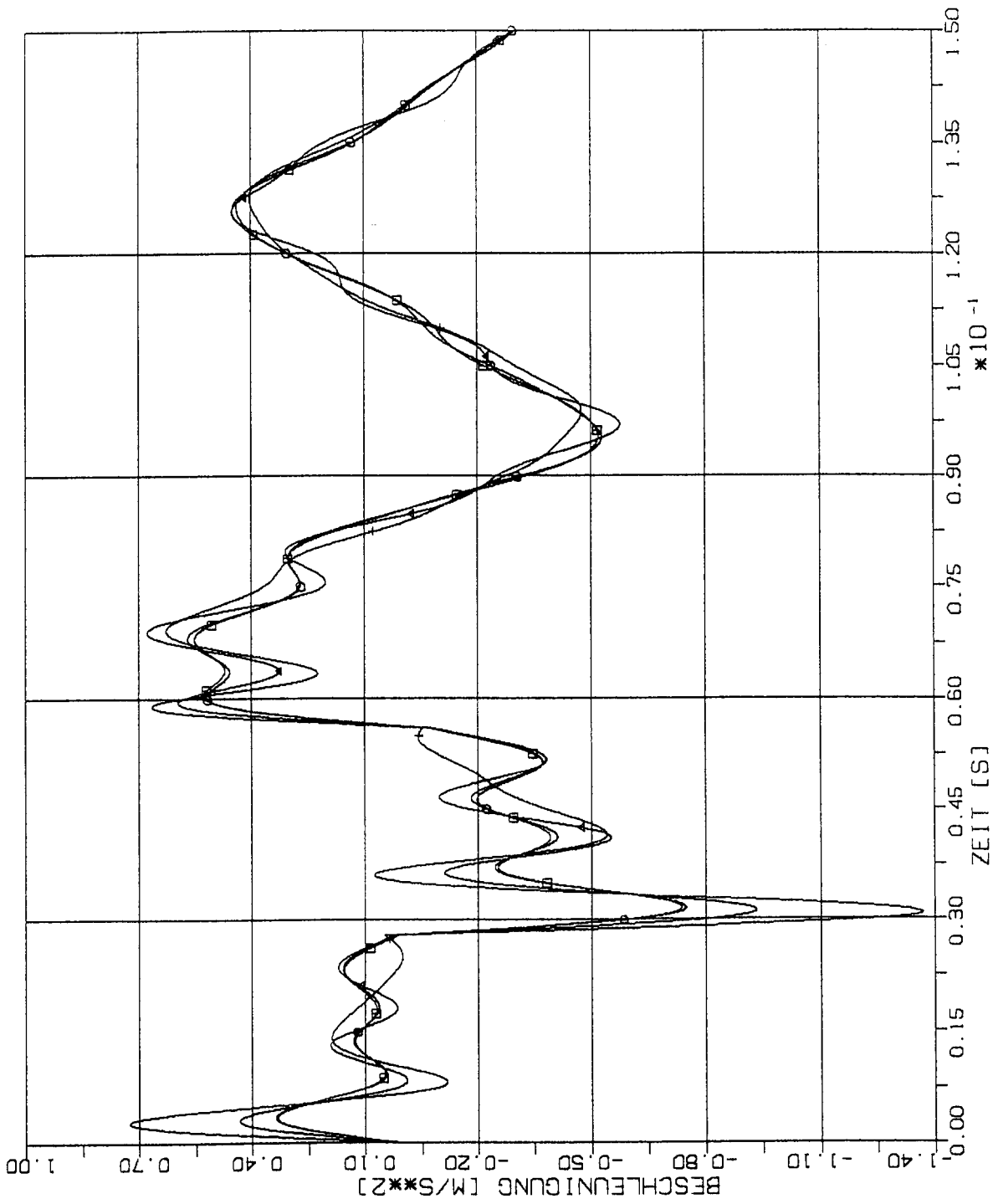


ELEMENTGRÖSSE

- $W \times W$ 
- $2W \times 2W$ 
- $4W \times 4W$ 
- $8W \times 8W$ 

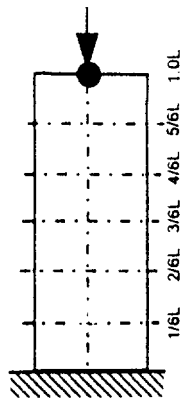


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG STIH IN LAENGRICHTUNG (X1)



ELEMENTGRÖSSE

	W x W
	2W x 2W
	4W x 4W
	8W x 8W



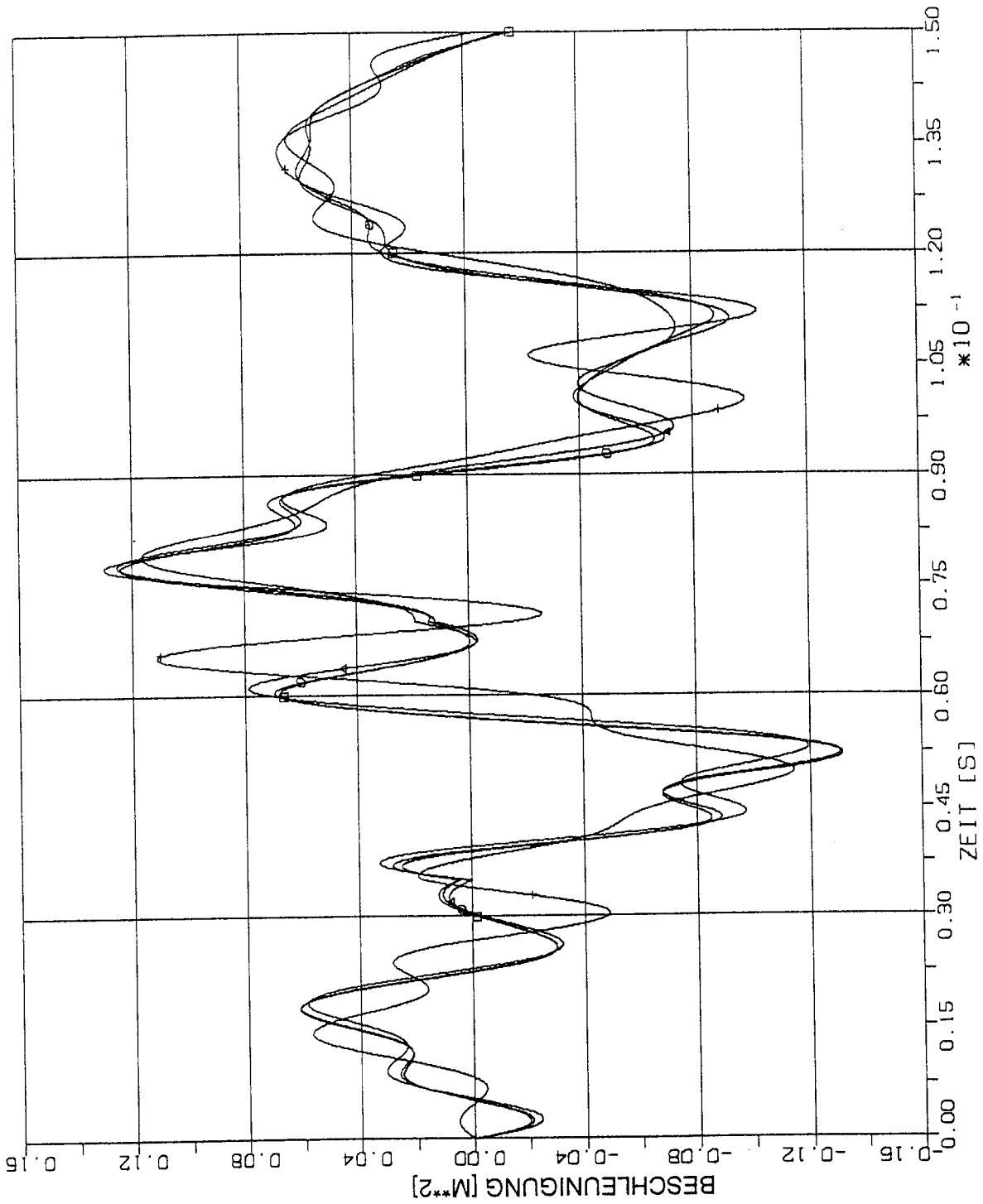
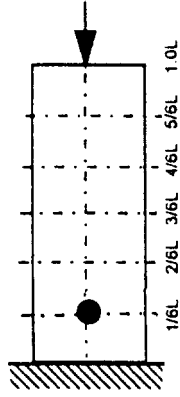
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 6/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1H IN LAENGSRICHTUNG (X1)

1.3.1.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-2)

ELEMENTGRÖSSE

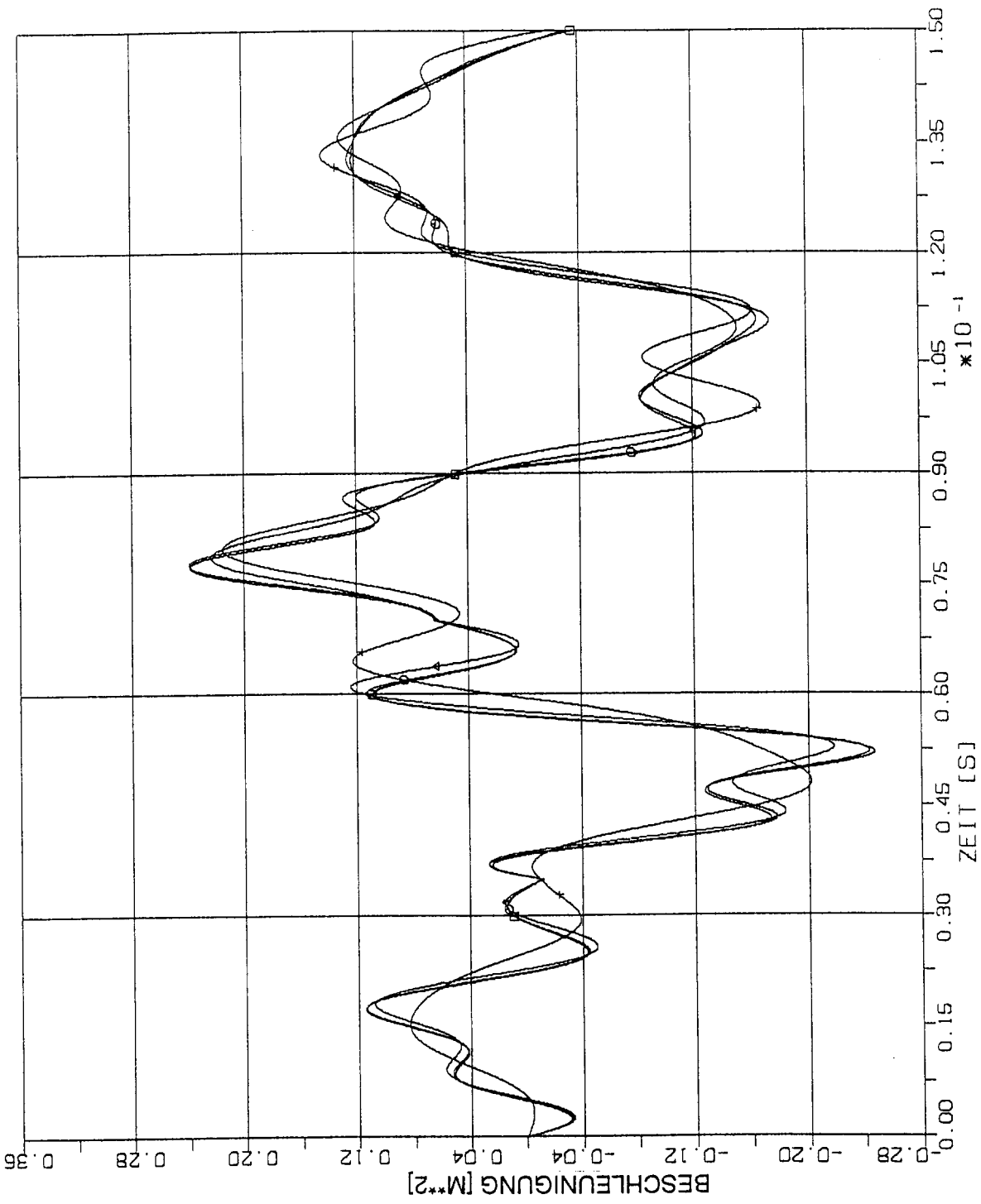
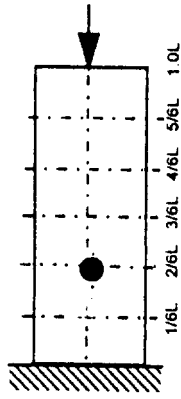
- w x w
- ⊙ 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)





ELEMENTGRÖSSE

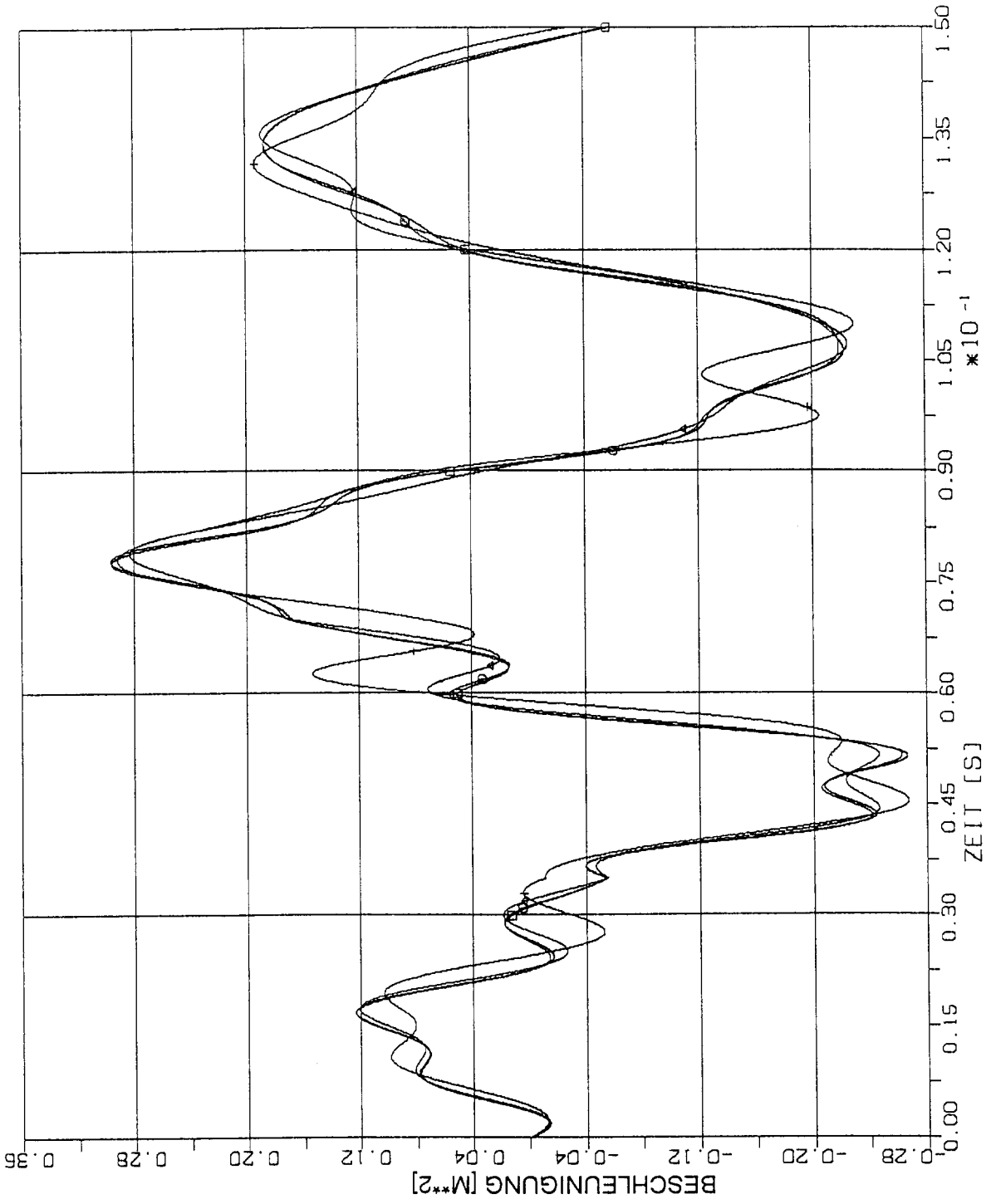
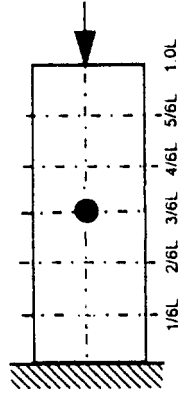
- — □ W x W
- ⊖ — ⊖ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- † — † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

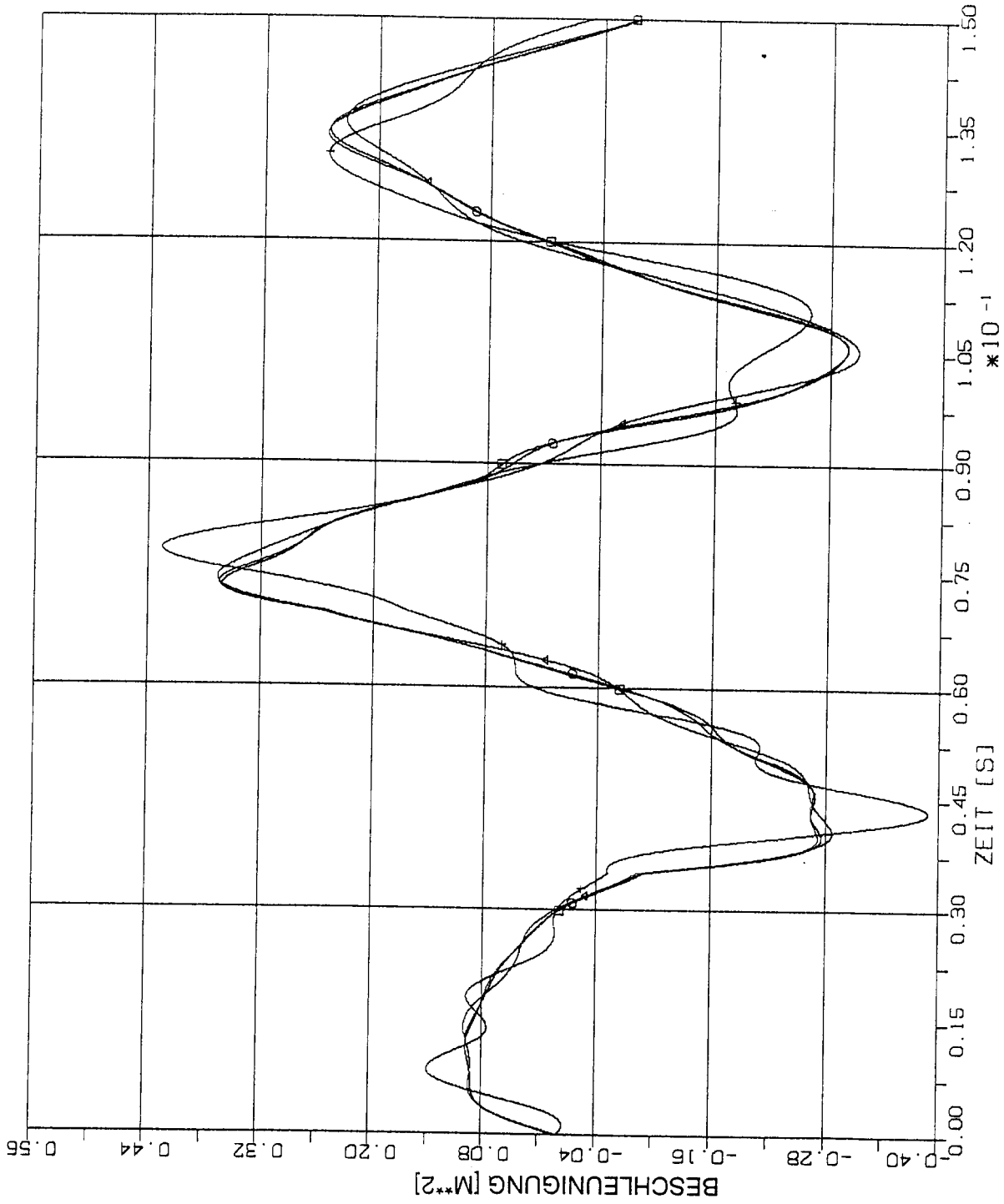
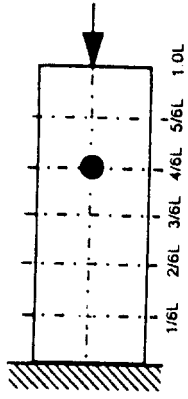
-  W x W
-  2W x 2W
-  4W x 4W
-  8W x 8W



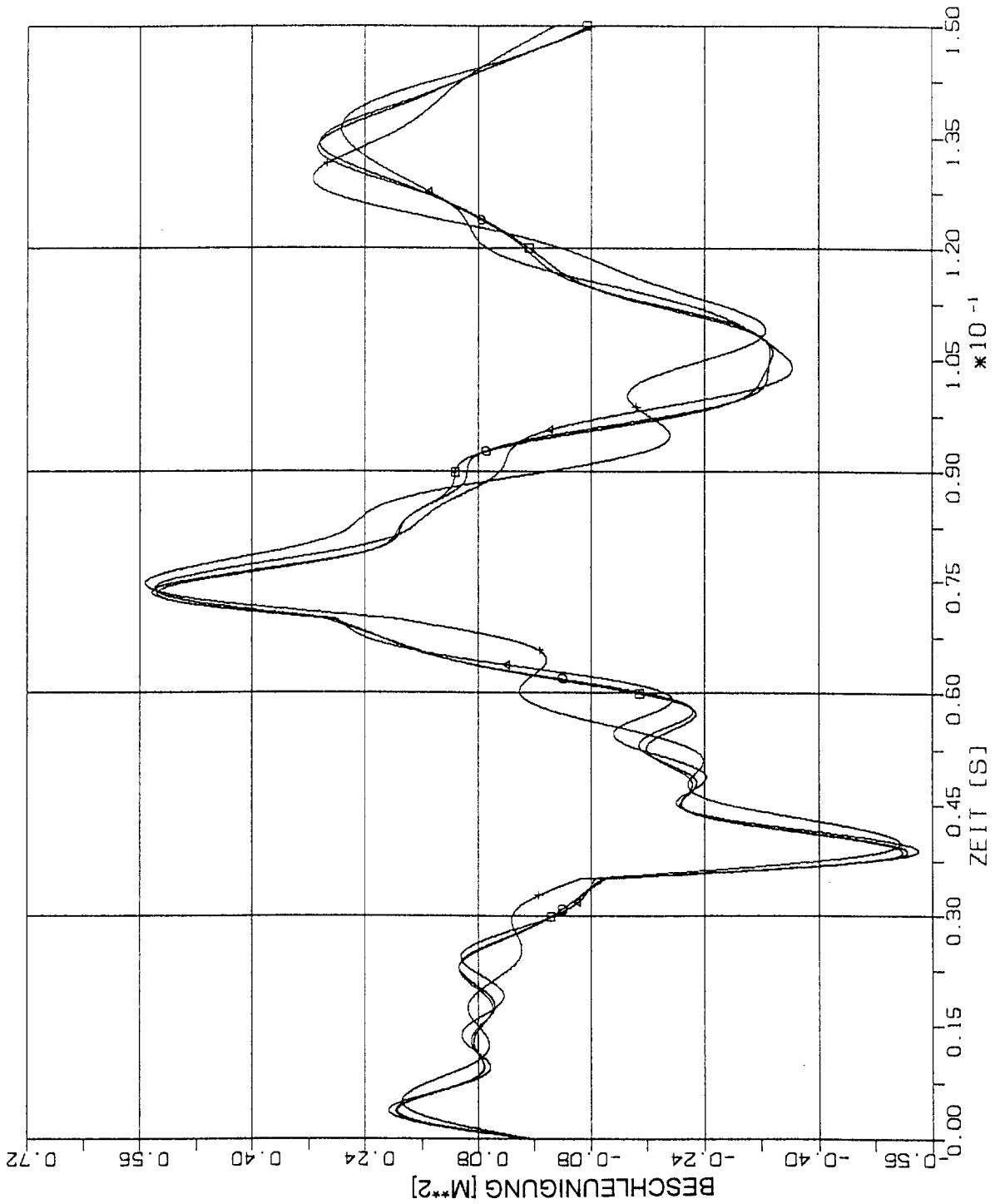
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORREICHUNG IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- ⊙ 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

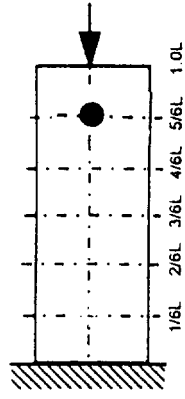


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)

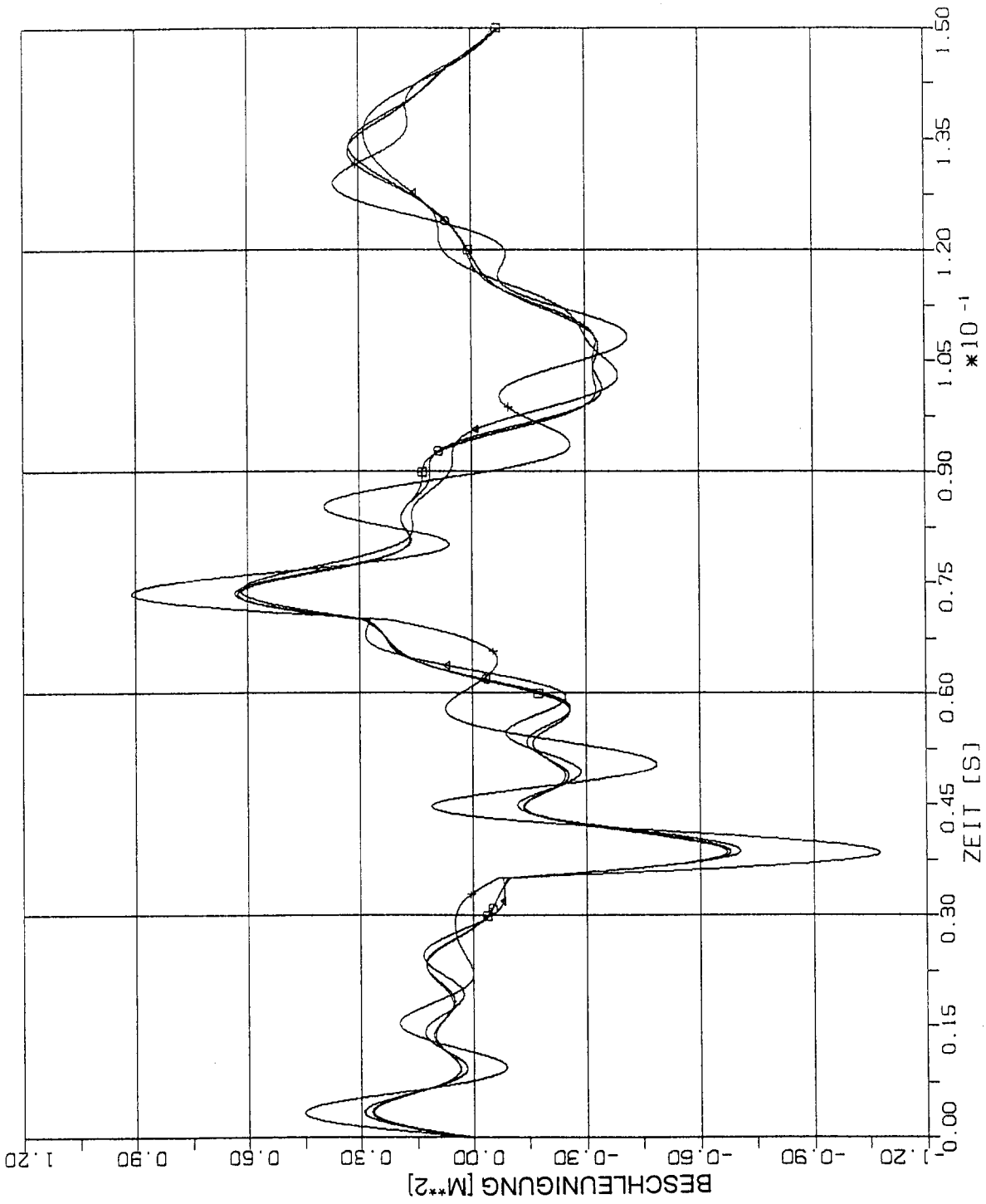


ELEMENTGRÖSSE

- $W \times W$
- $2W \times 2W$
- $4W \times 4W$
- $8W \times 8W$

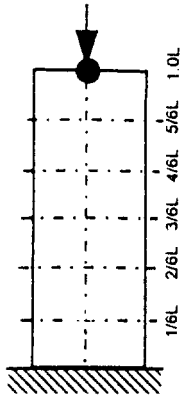


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



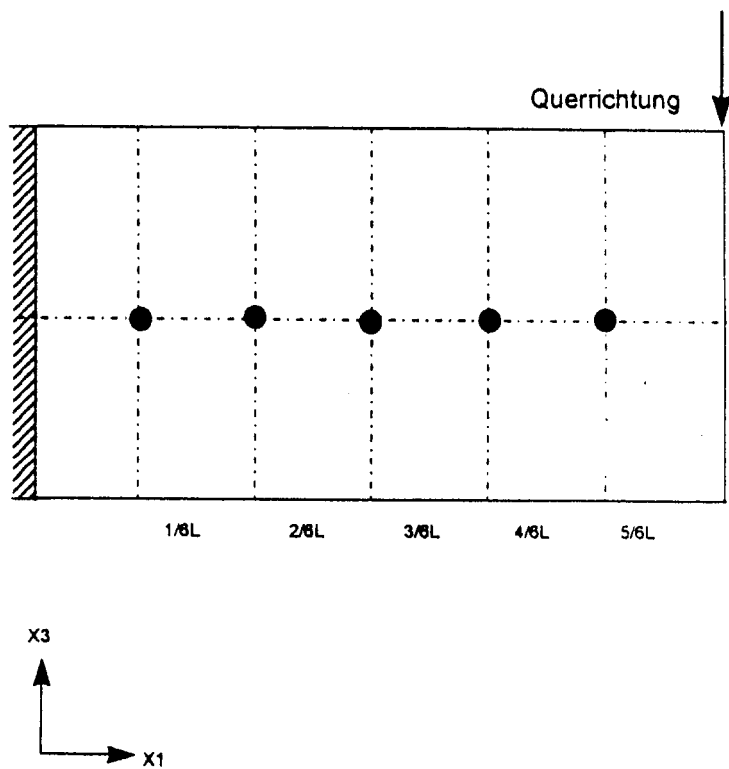
ELEMENTGRÖSSE

- $w \times w$
- $2w \times 2w$
- $4w \times 4w$
- $8w \times 8w$



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLÄUFE IM B.-PKT. 6/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)

1.3.2 Stoßbelastung und Antworten in Querrichtung (in der Schubebene)

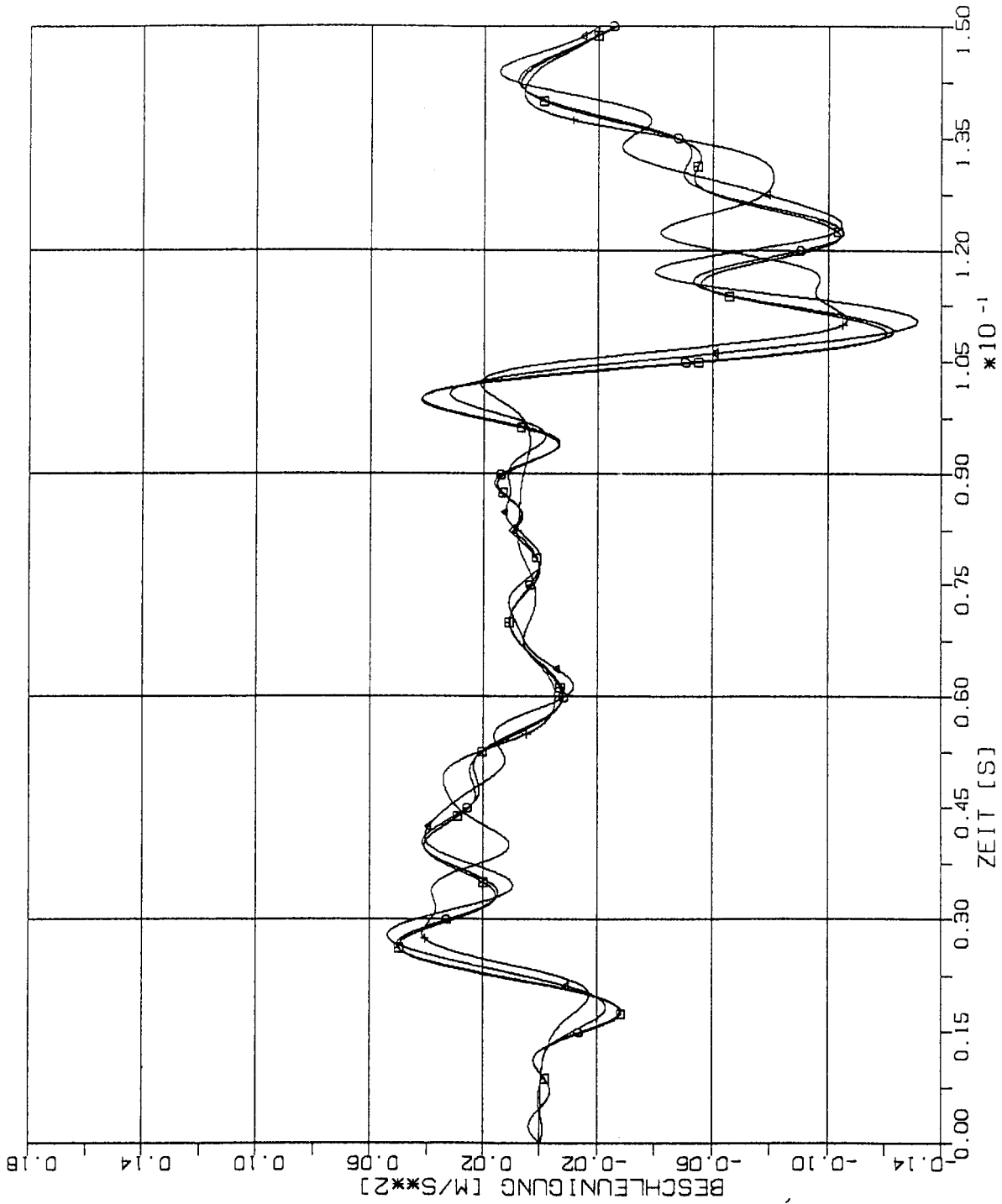
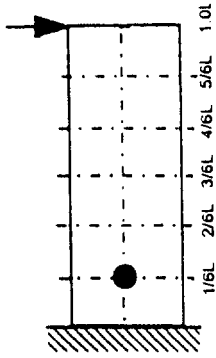


1.3.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1V

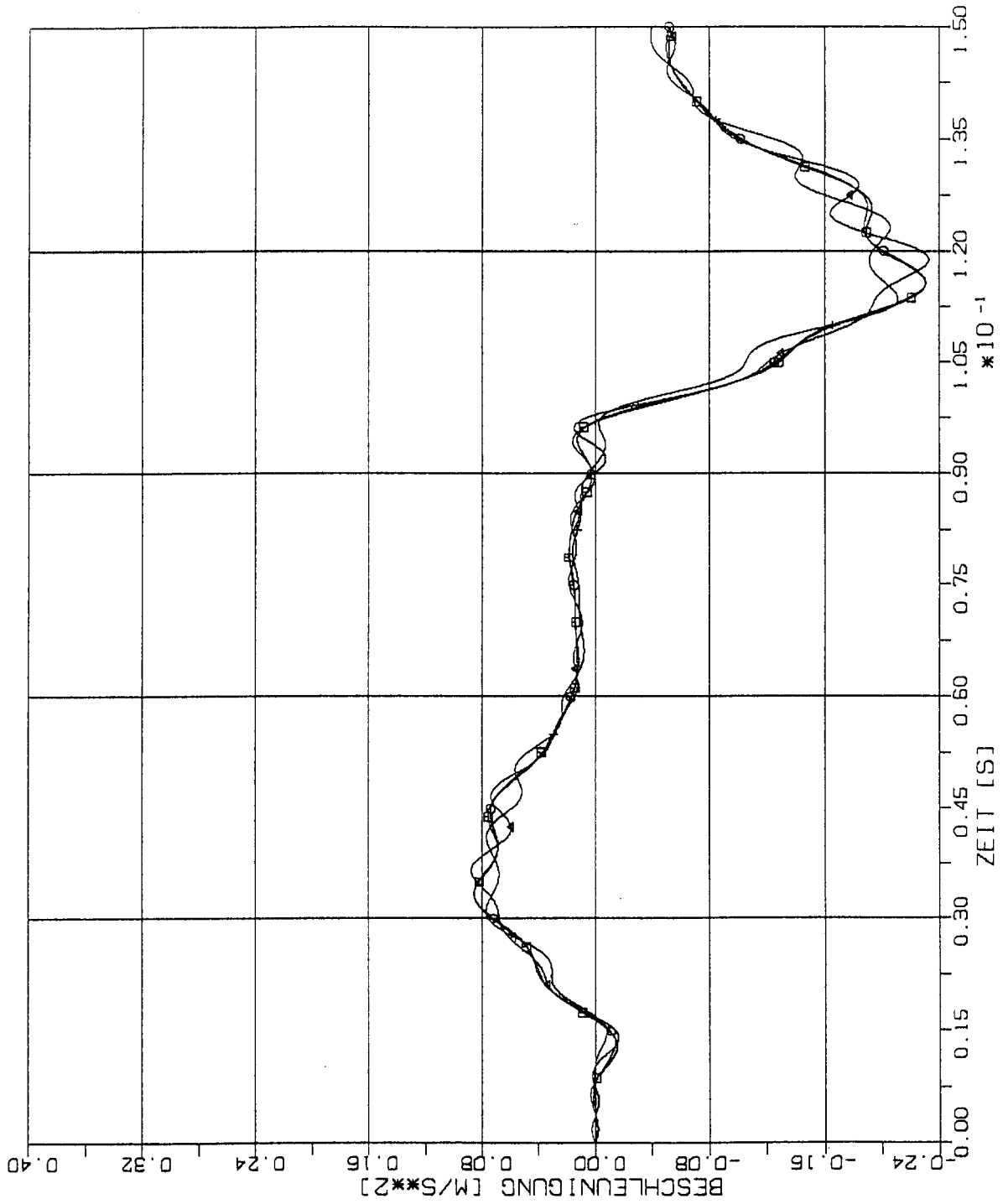
(Siehe Fig. 1-2)

ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- ⊙ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

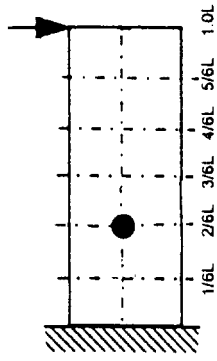


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)

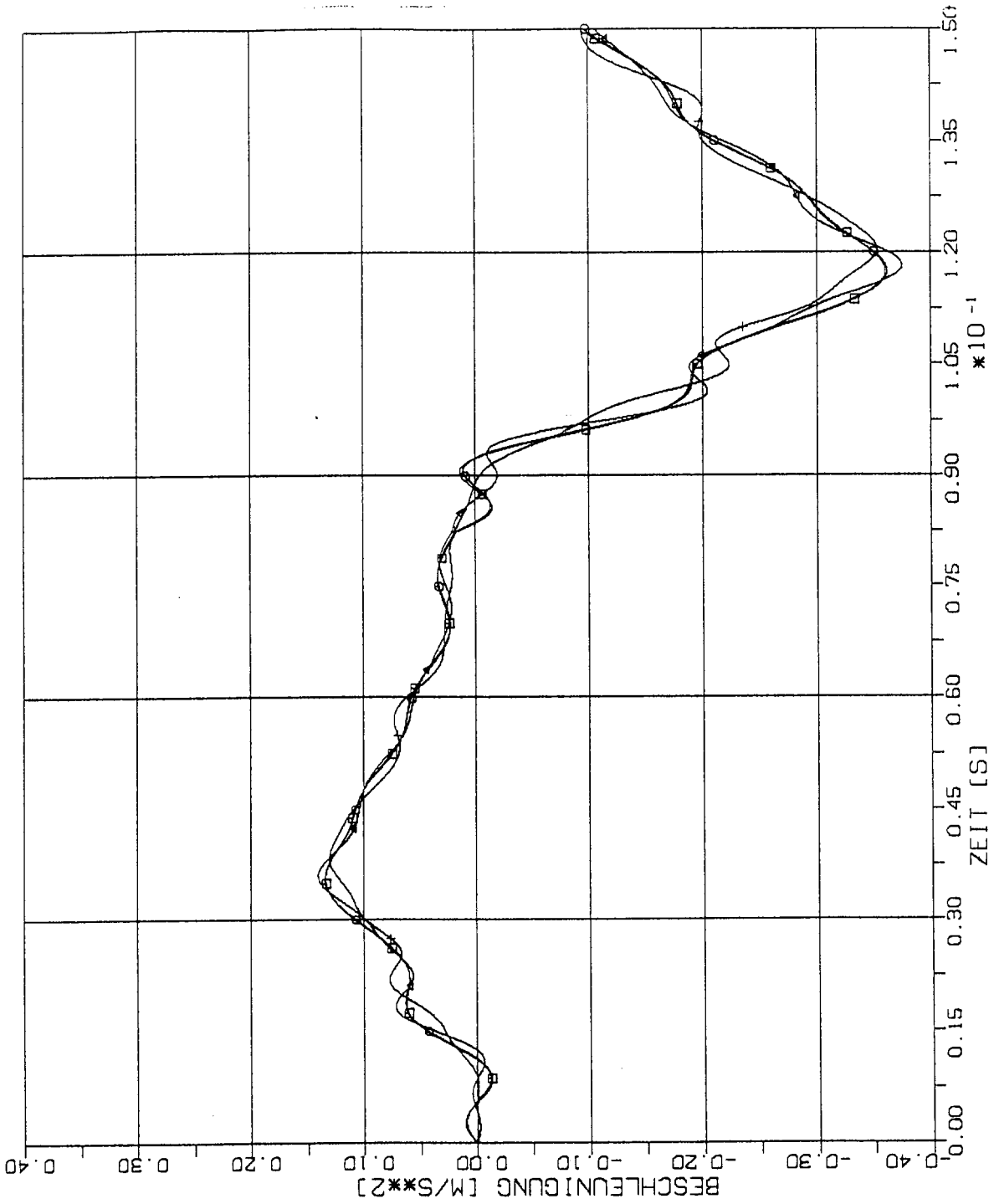


ELEMENTGRÖSSE

- x □ W x W
- ⊙ x ⊙ 2W x 2W
- △ x △ 4W x 4W
- † x † 8W x 8W

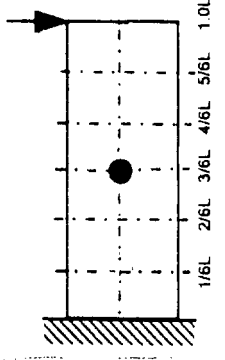


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)

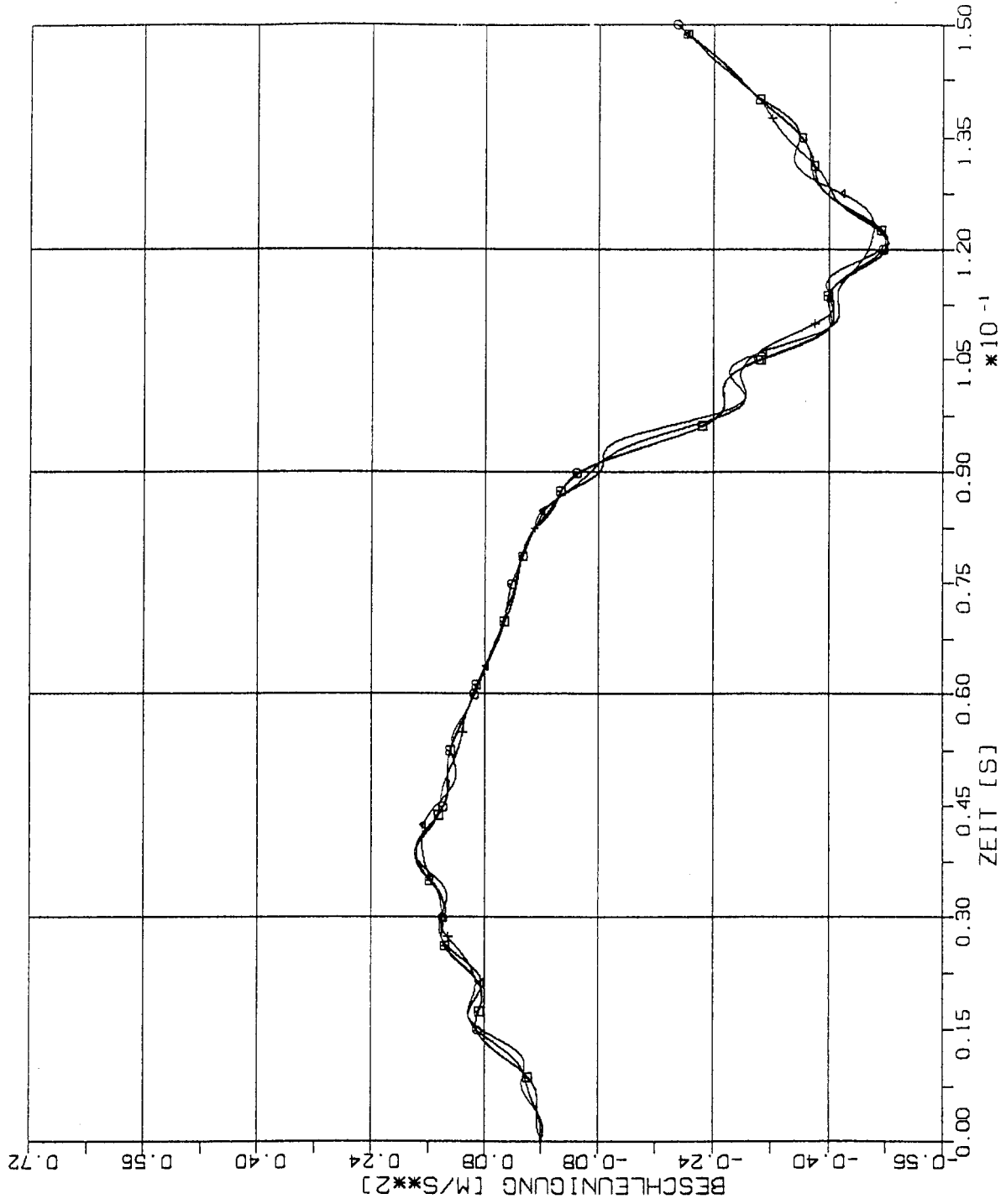


ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

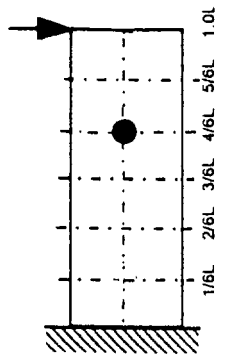


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)

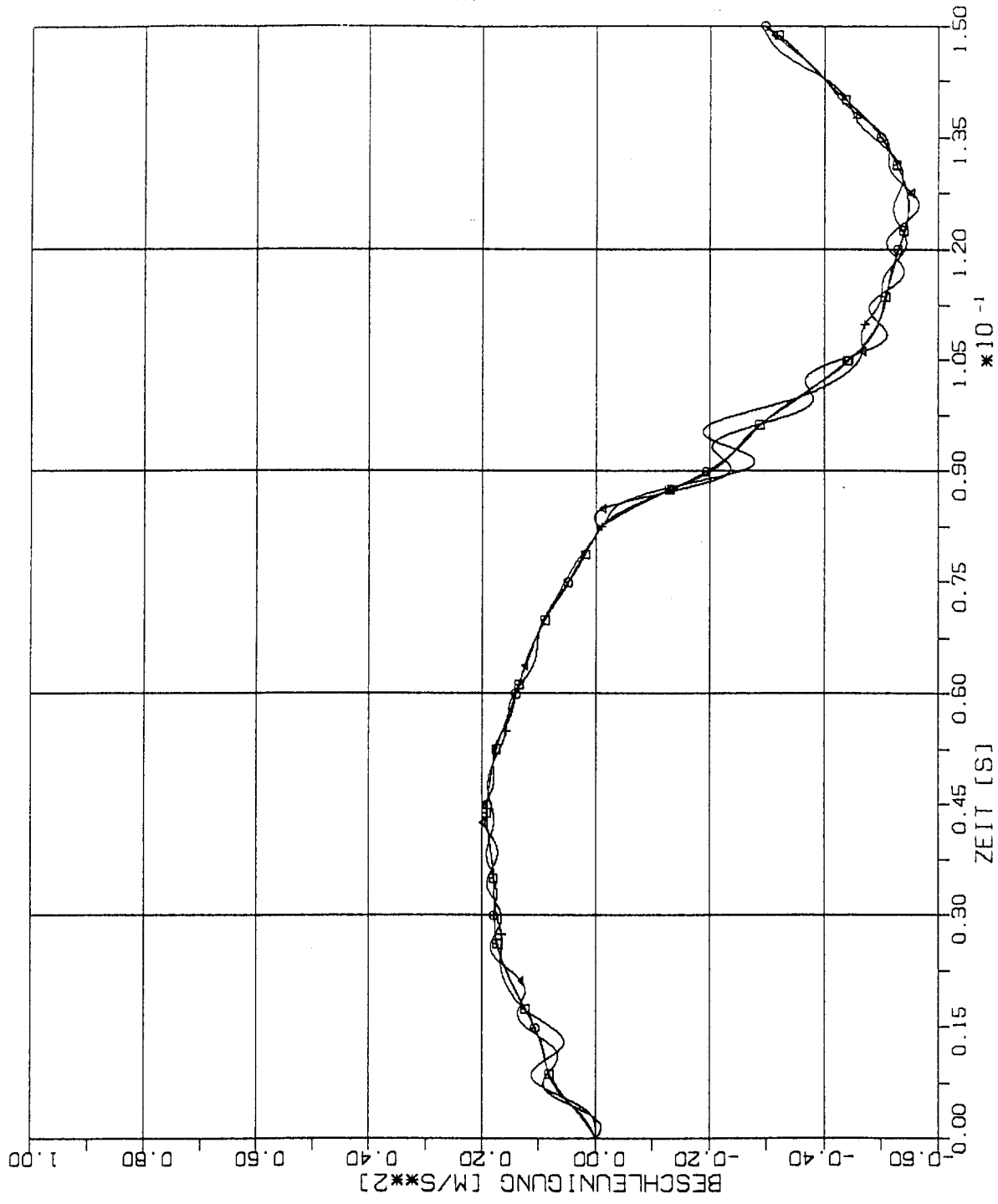


ELEMENTGRÖSSE

W x W
 2W x 2W
 4W x 4W
 8W x 8W

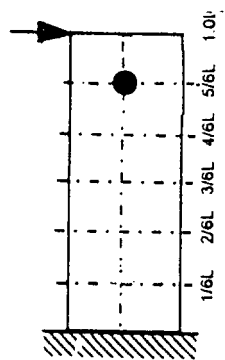


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG STIV IN QUERRICHTUNG (X3)

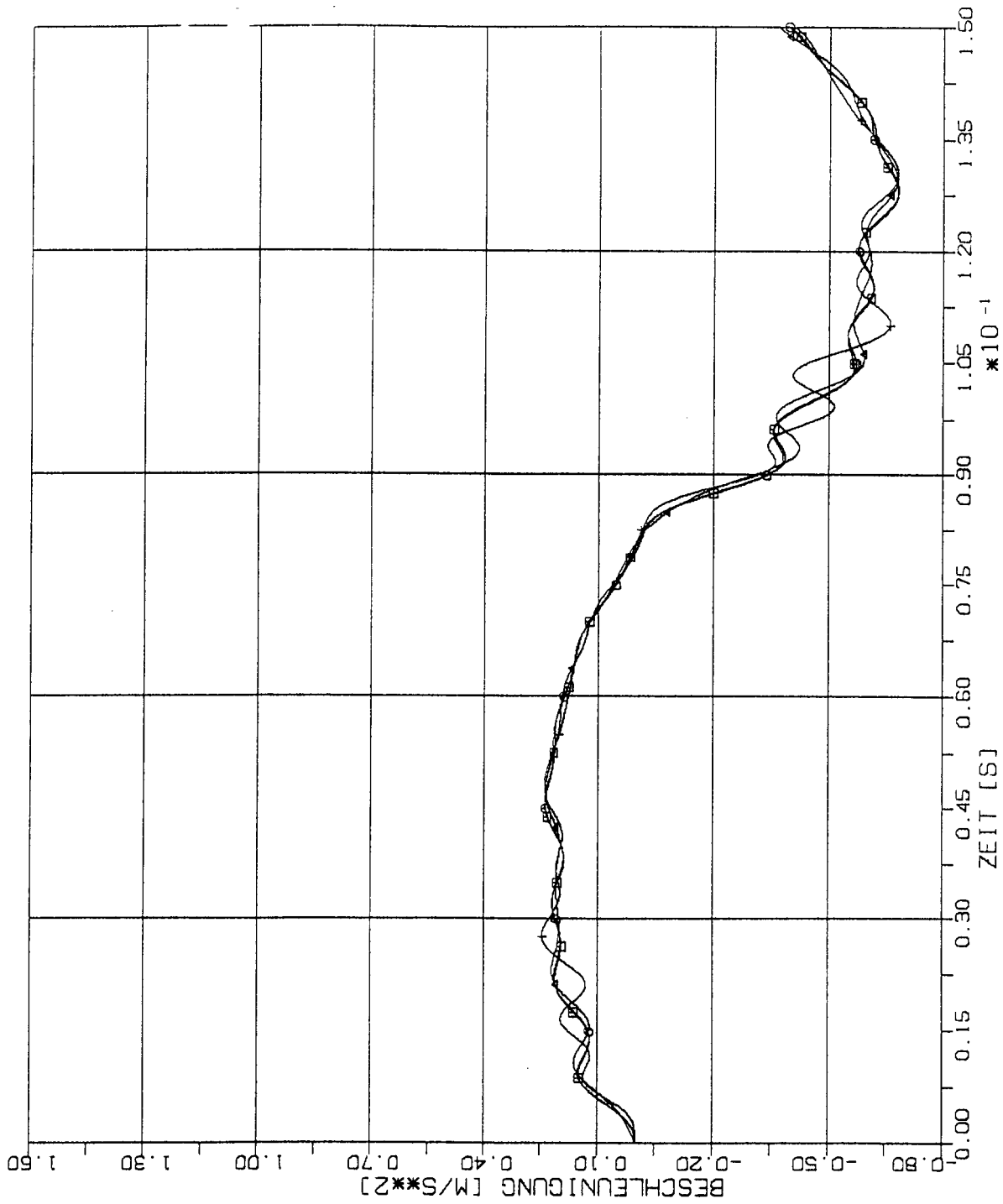


ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

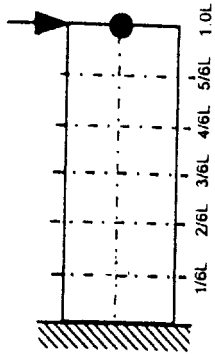


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)



ELEMENTGRÖSSE

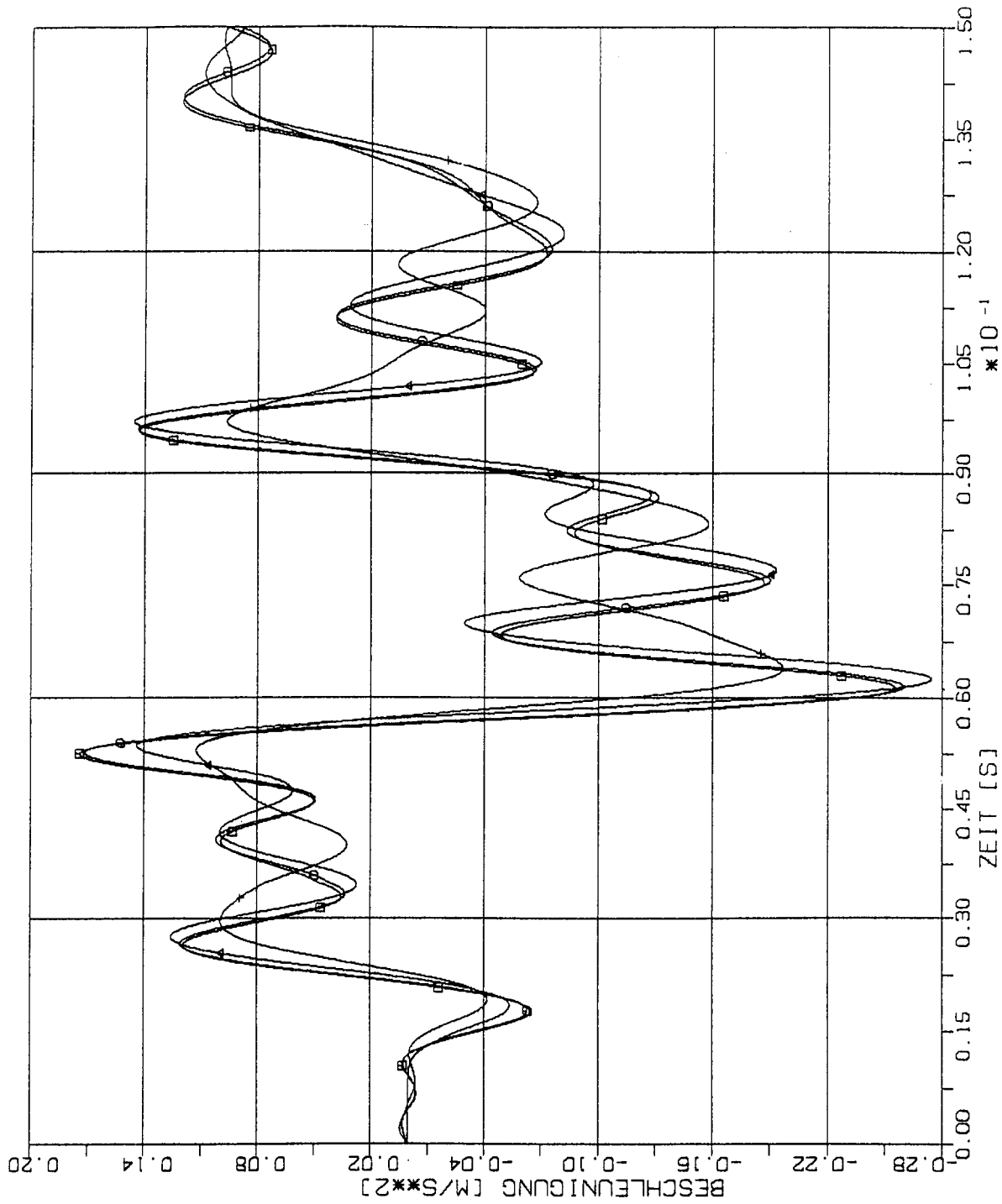
- $W \times W$
- $2W \times 2W$
- $4W \times 4W$
- $8W \times 8W$



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 6/6 L
 STOSSBELASTUNG STIV IN QUERRICHTUNG (X3)

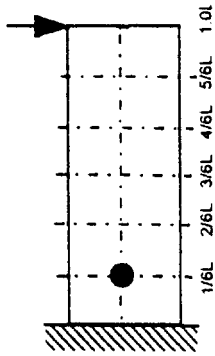
1.3.2.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-2)

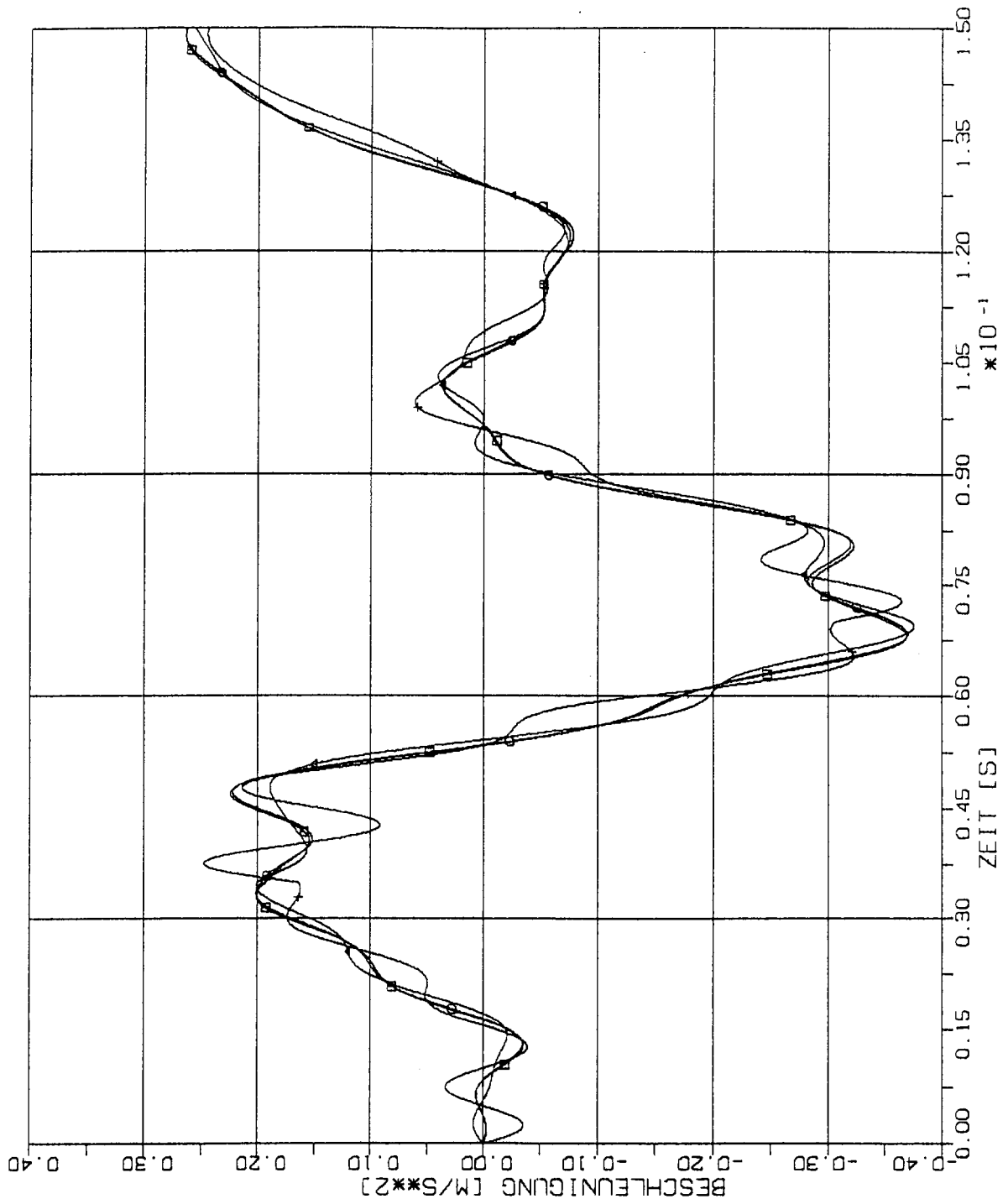


ELEMENTGRÖSSE





- \square w x w
- \circ 2w x 2w
- \triangle 4w x 4w
- \times 8w x 8w

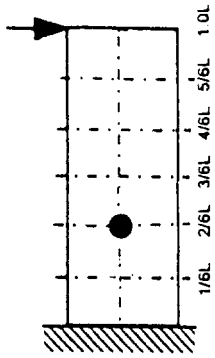


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

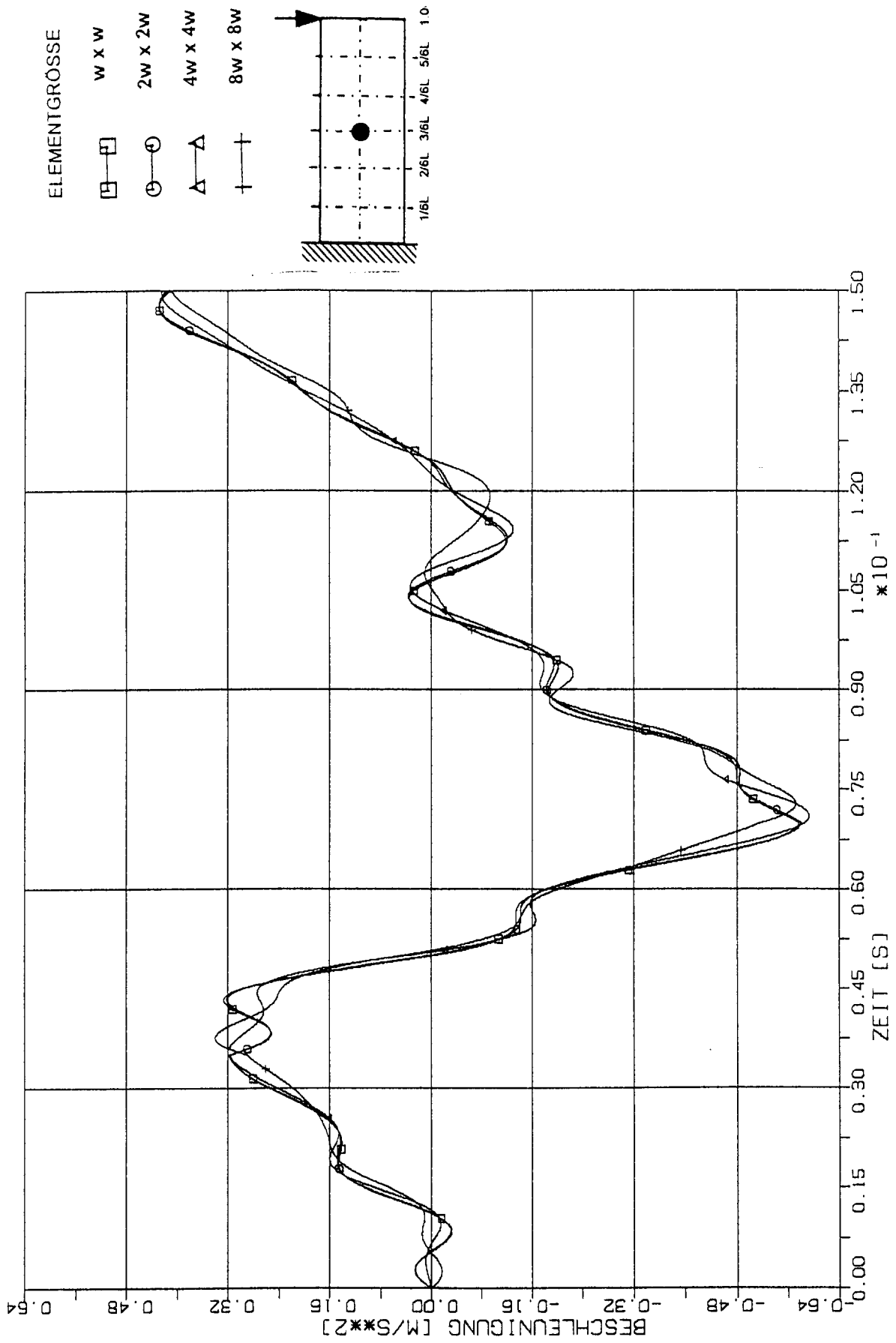


ELEMENTGRÖSSE

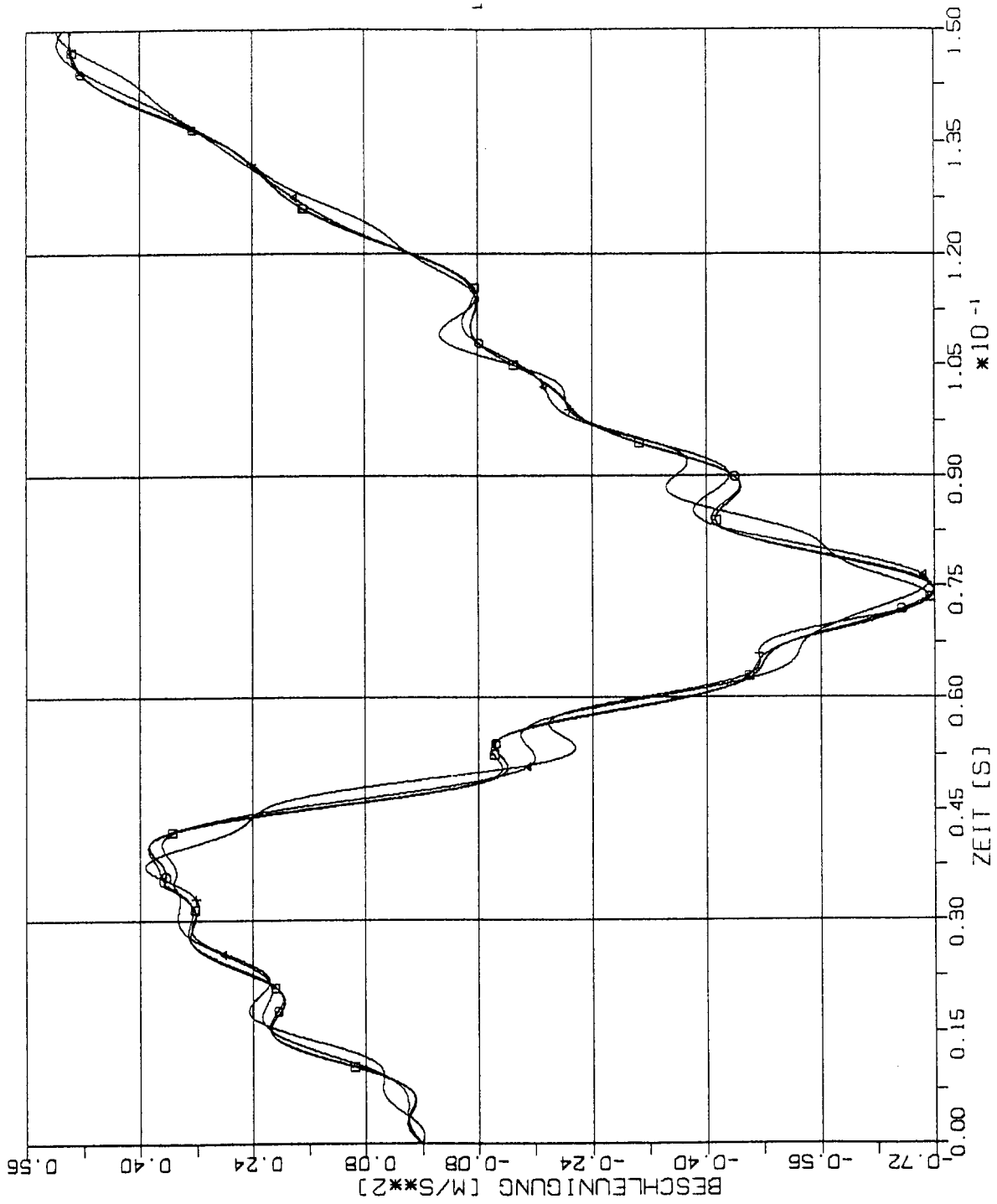
- $w \times w$ 
- $2w \times 2w$ 
- $4w \times 4w$ 
- $8w \times 8w$ 



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

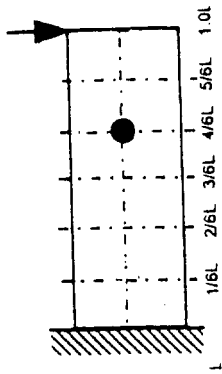


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGANG IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)



ELEMENTGRÖSSE

- $W \times W$ □
- $2W \times 2W$ ○
- $4W \times 4W$ △
- $8W \times 8W$ †

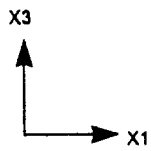
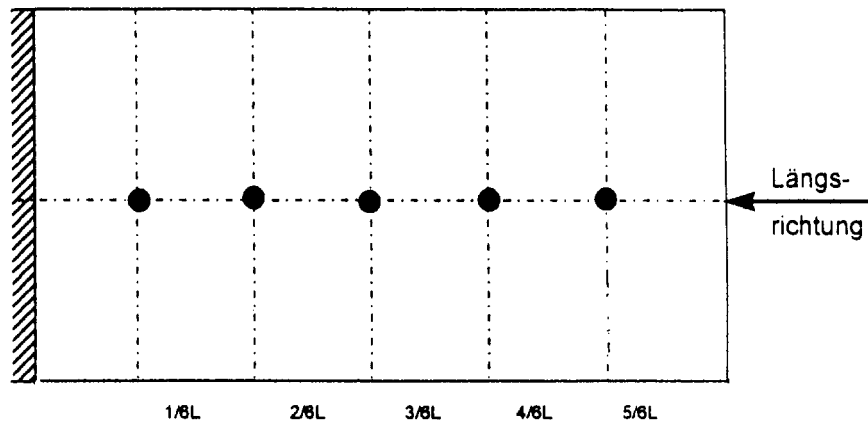


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

1.4

**Vergleich der Beschleunigungsantwortspektren in
charakteristischen Beobachtungspunkten
der Modellwandscheibe bei verschiedenen
Diskretisierungen und Stoßbelastungen**

1.4.1 Stoßbelastungen und Antworten in Längsrichtung (in der Scheibenebene)

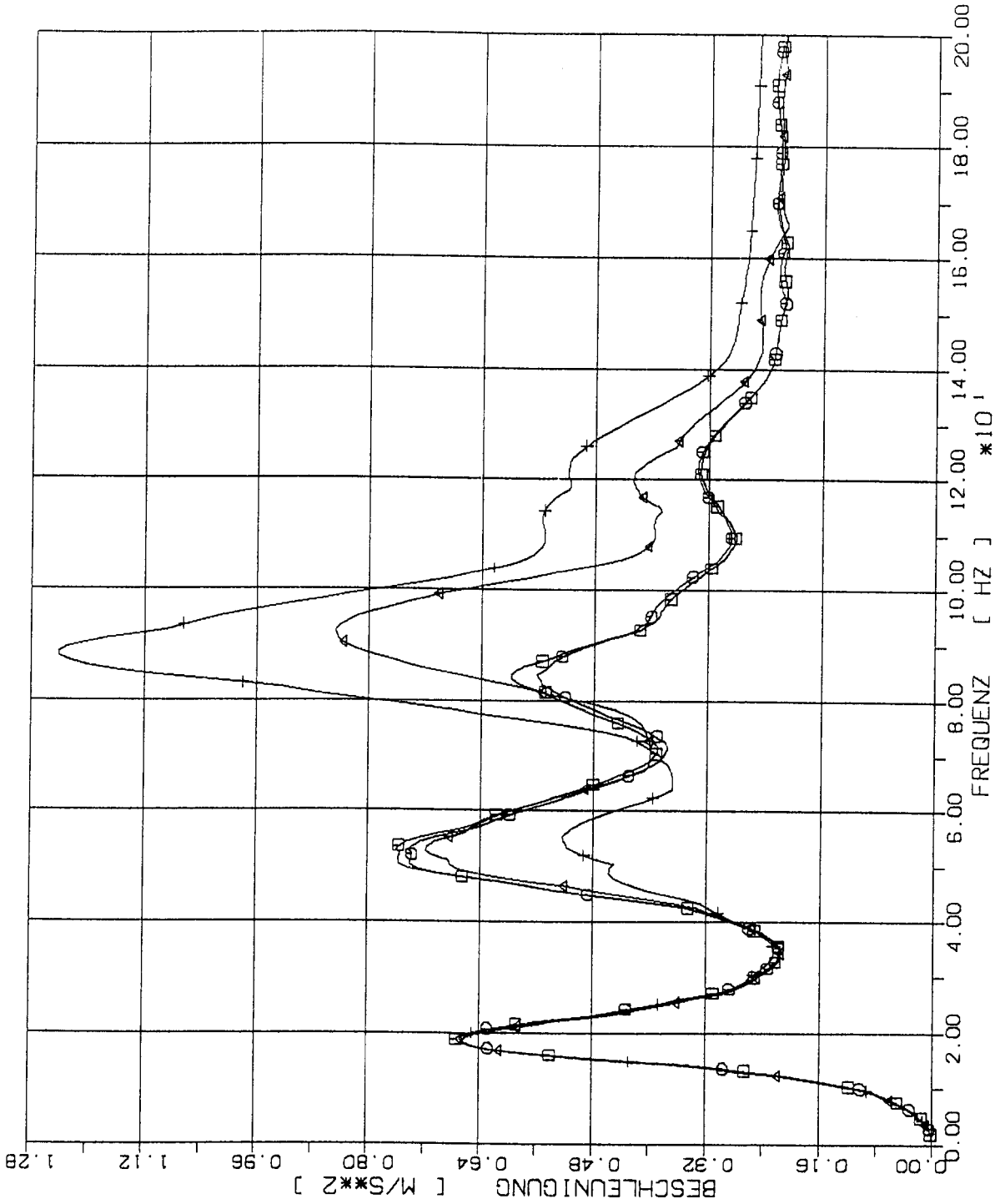
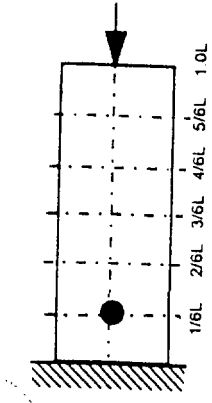


1.4.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1H

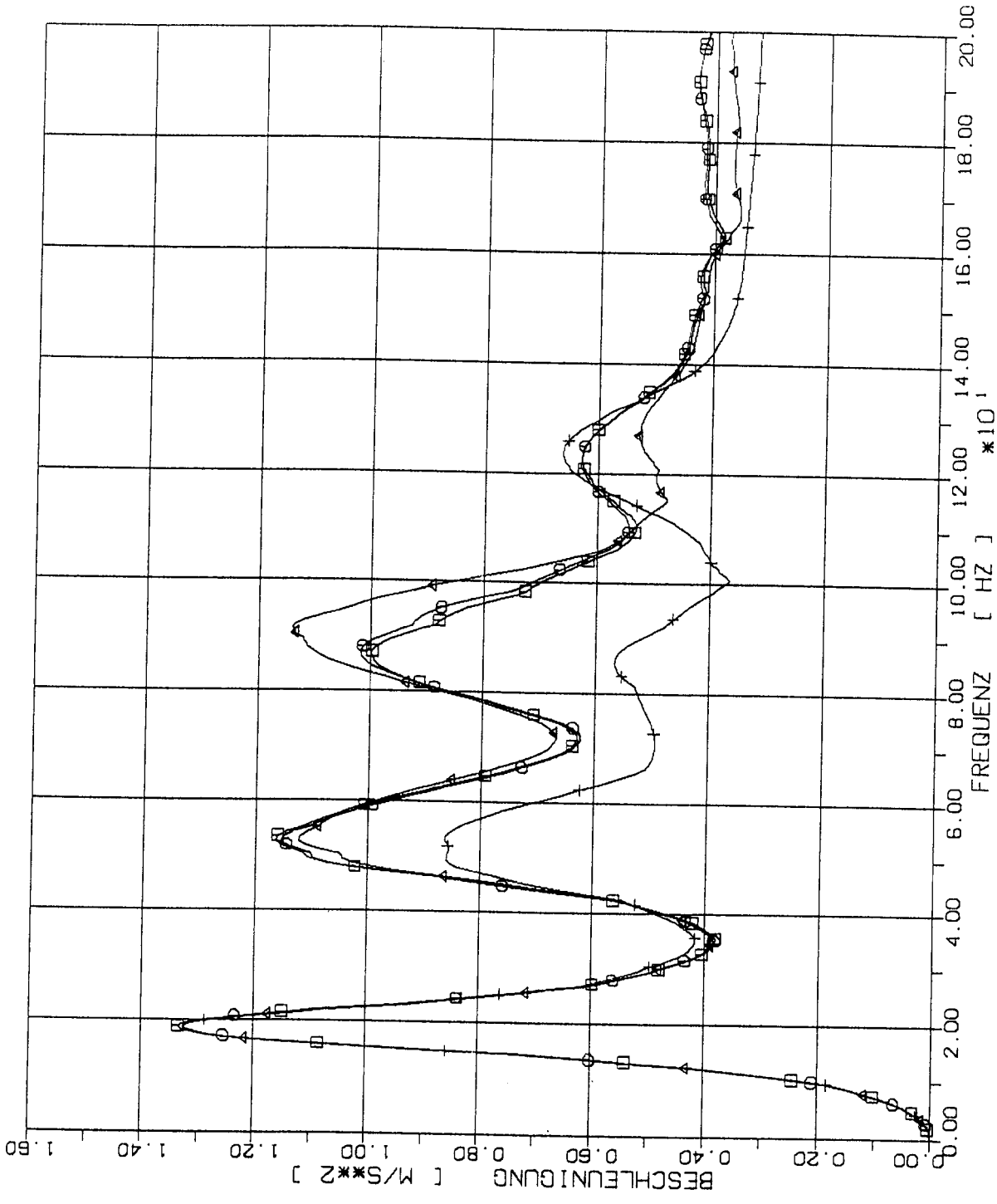
(Siehe Fig. 1-2)

ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

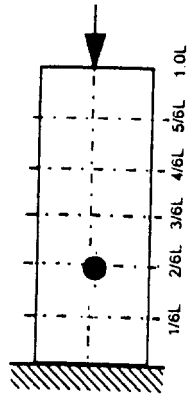


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG STIH IN LAENGRICHTUNG (X1)



ELEMENTGRÖSSE

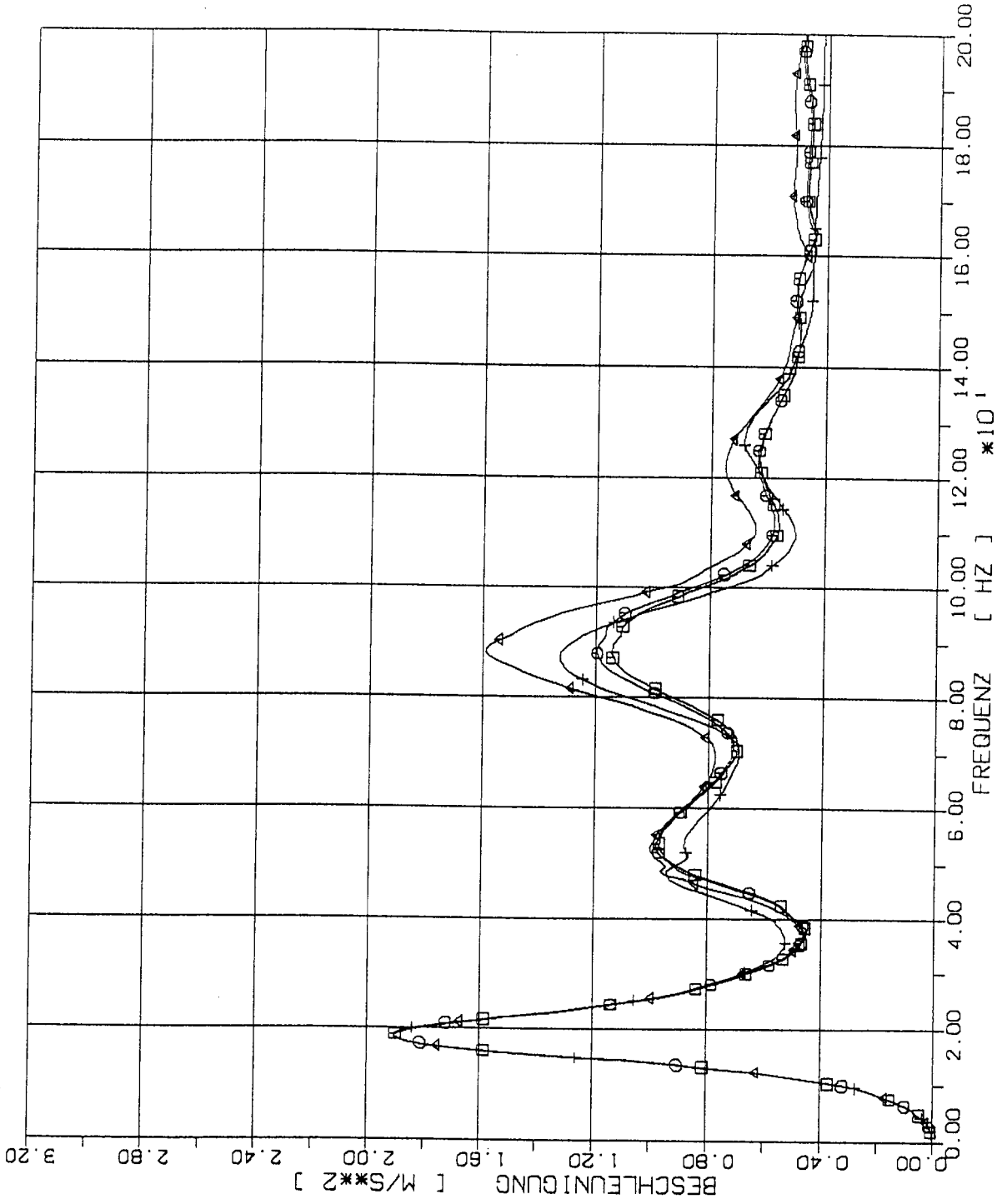
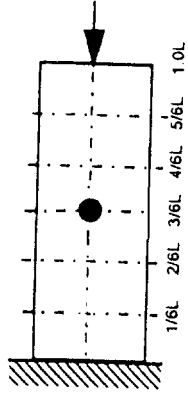
- 1W x 1W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 2/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1H IN LAENGSRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

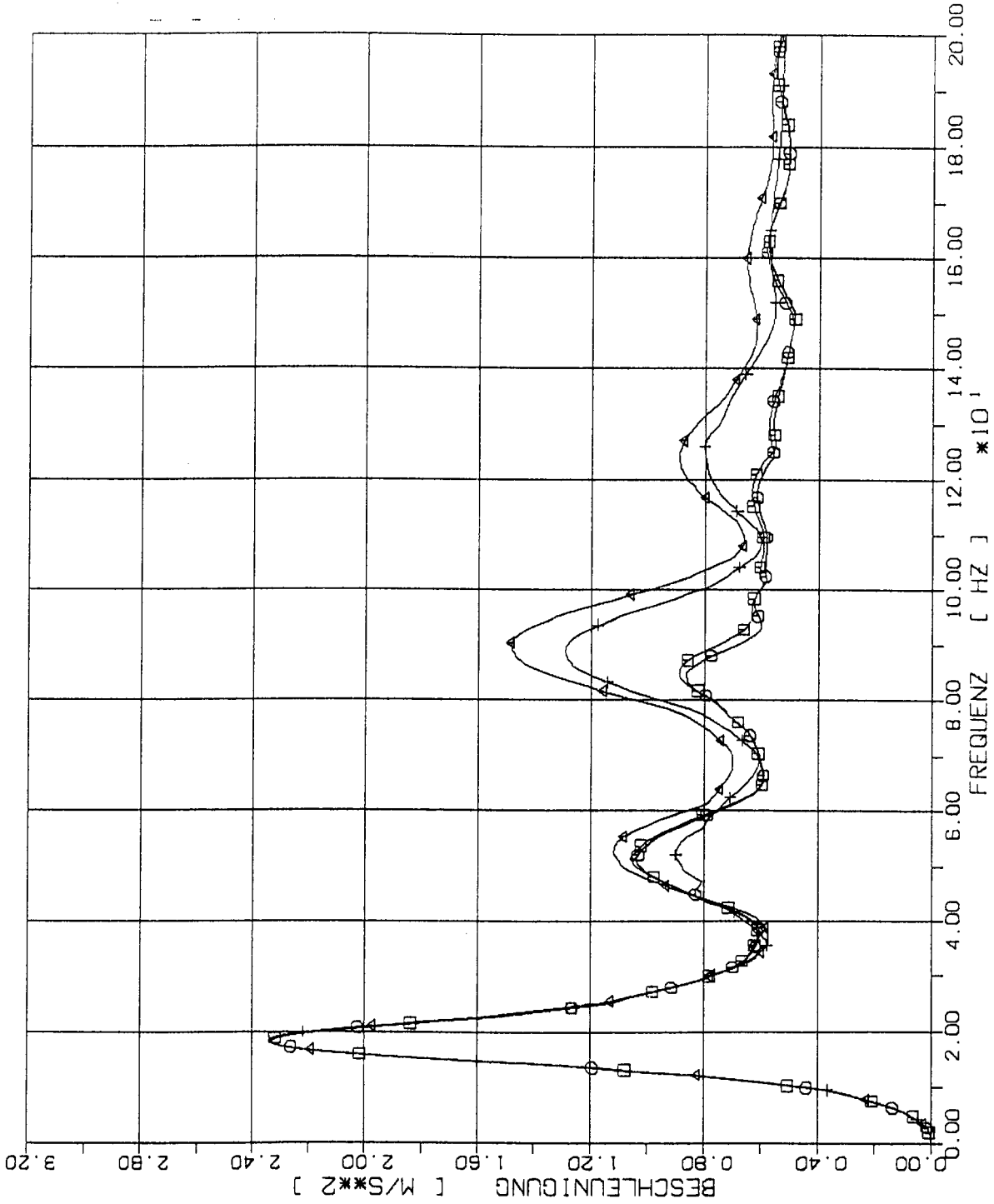
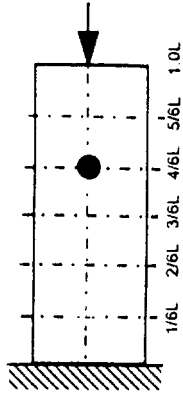
- W x W
- ⊖ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 3/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1H IN LAENGRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

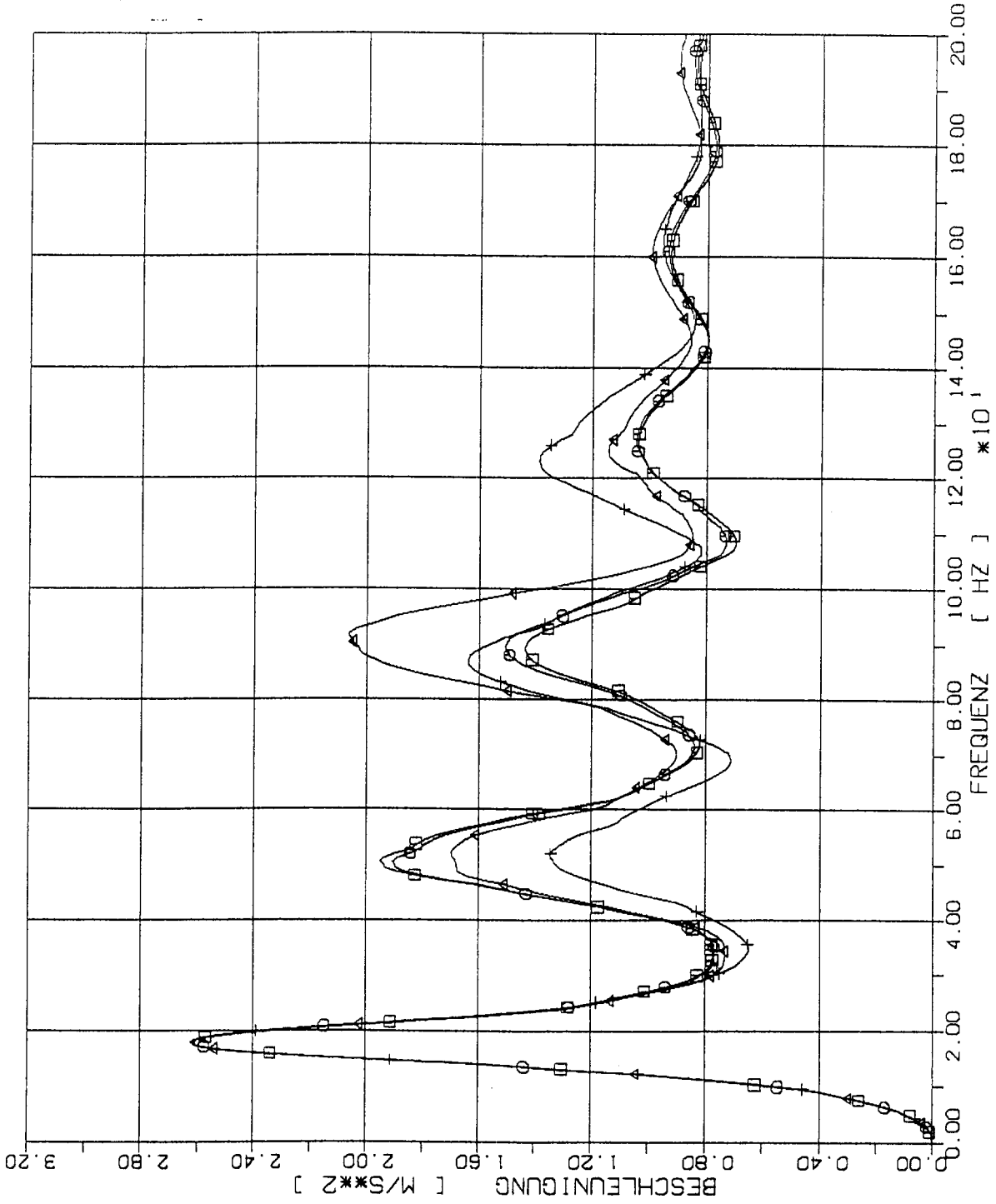
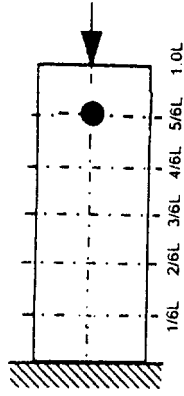
- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 4/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1H IN LAENGSRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

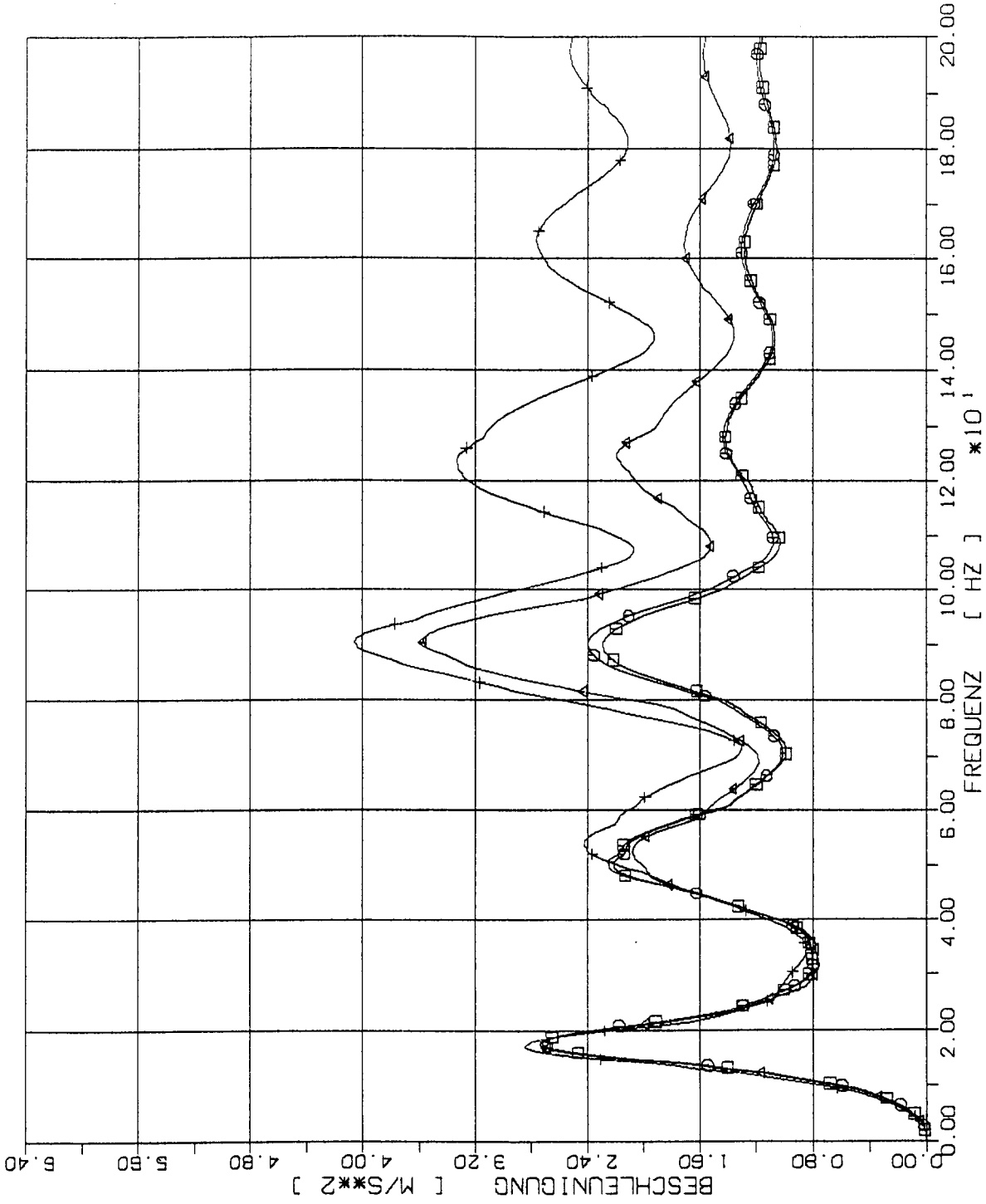
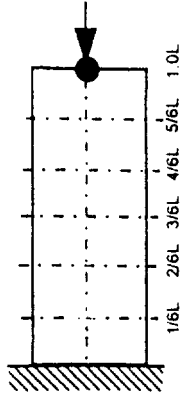
- — □ W x W
- ⊖ — ⊖ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- † — † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBACHTUNGSPUNKT 5/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1H IN LAENGRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

- — □ W x W
- ⊖ — ⊖ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- † — † 8W x 8W



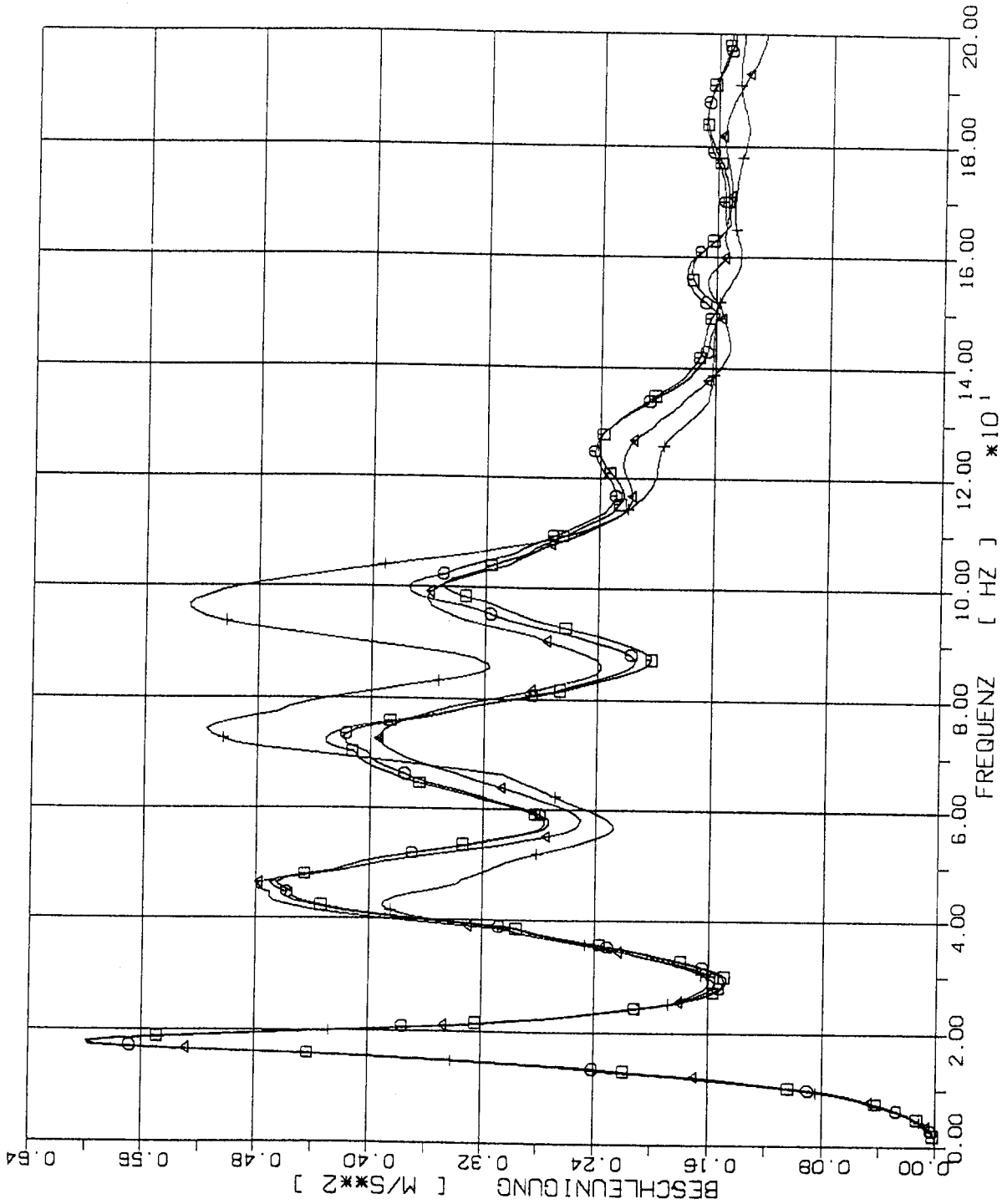
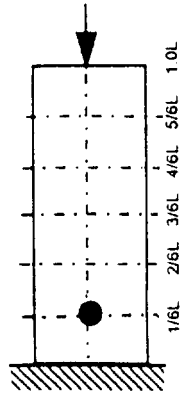
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 6/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG STIHK IN LAENGRICHTUNG (X1)

1.4.1.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-2)

ELEMENTGRÖSSE

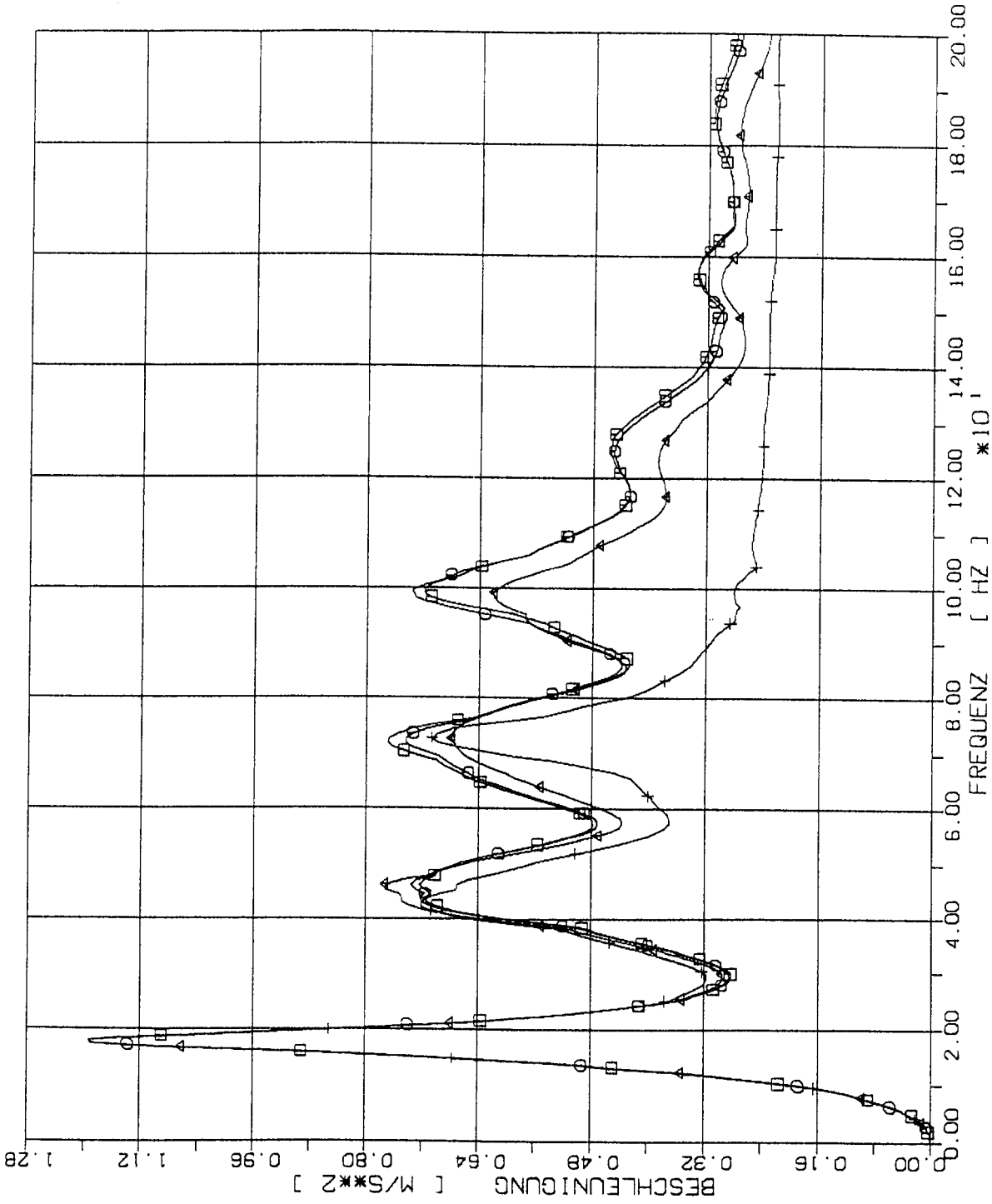
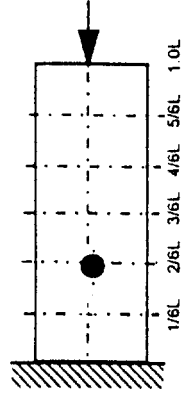
- — □ W x W
- ⊖ — ⊖ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- † — † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

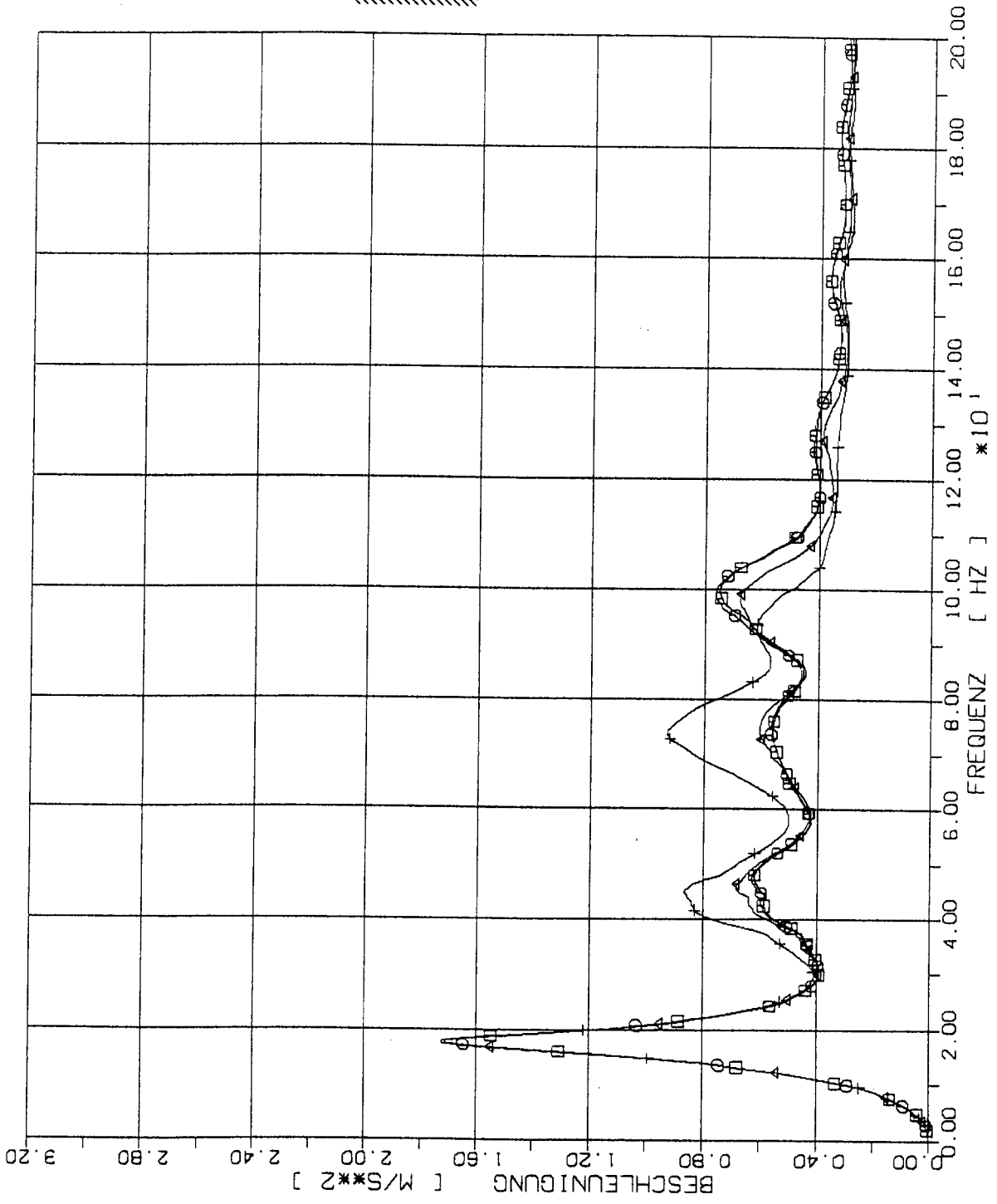
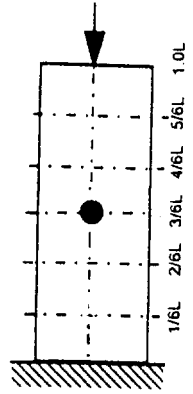
ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVergLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 2/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

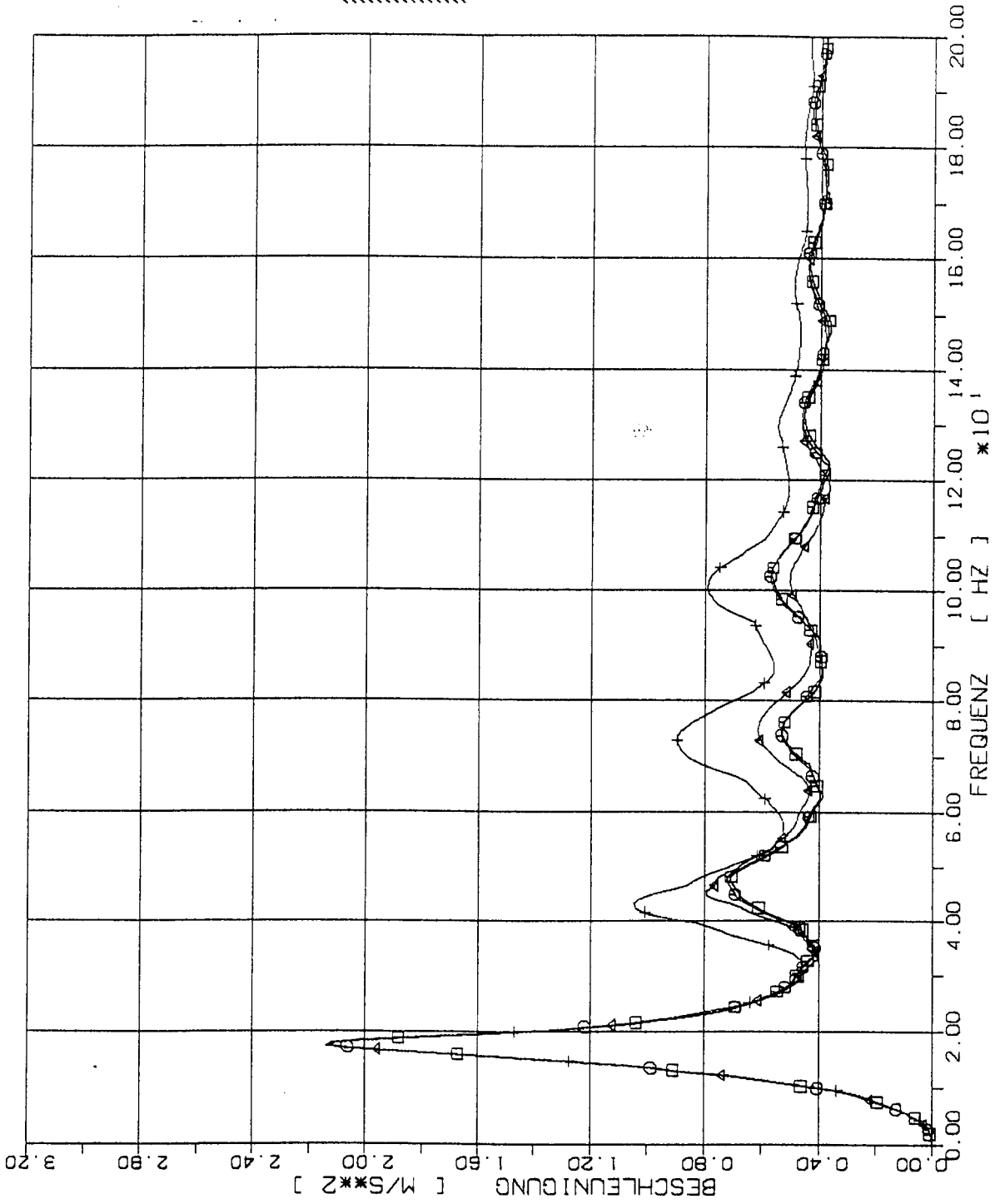
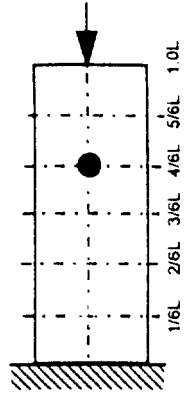
- ELEMENTGRÖSSE
- W x W
 - ⊖ 2W x 2W
 - △ 4W x 4W
 - † 8W x 8W



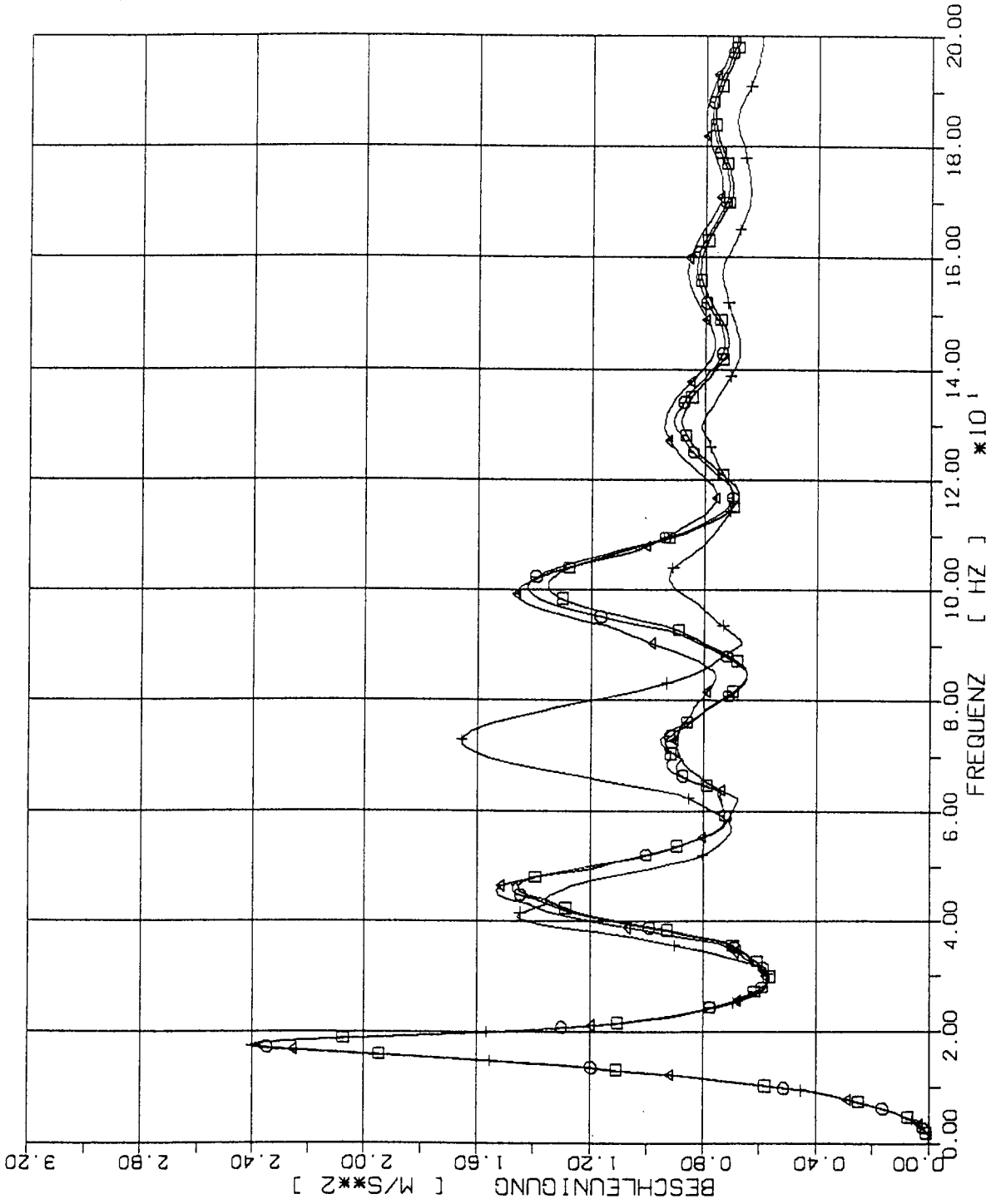
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 3/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)

ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

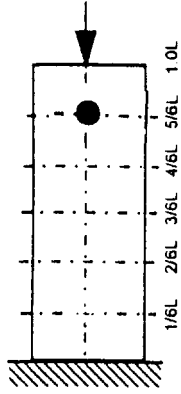


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 4/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)



ELEMENTGRÖSSE

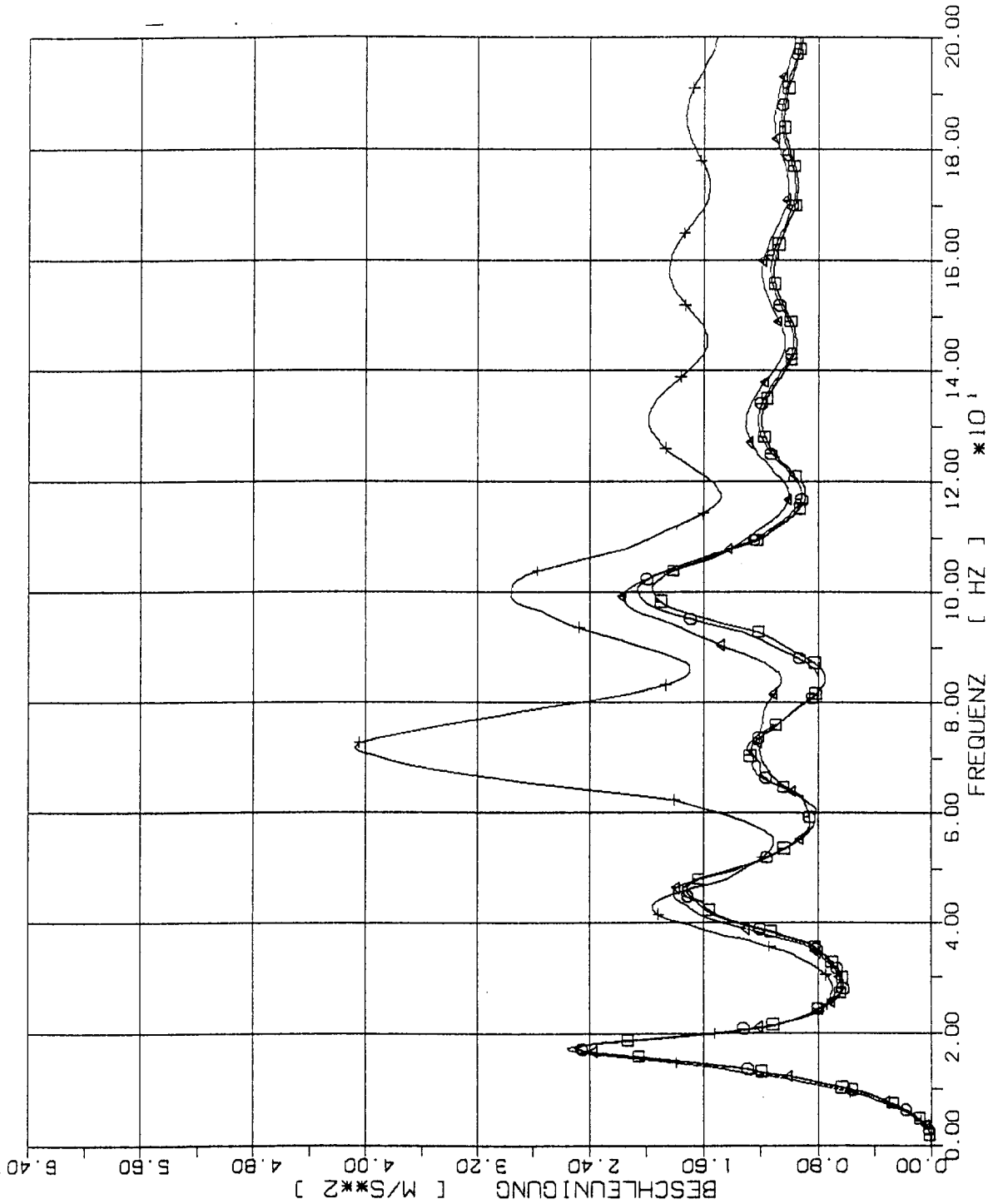
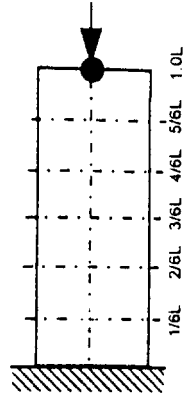
- 1W x 1W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 5/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGSRICHTUNG (X1)

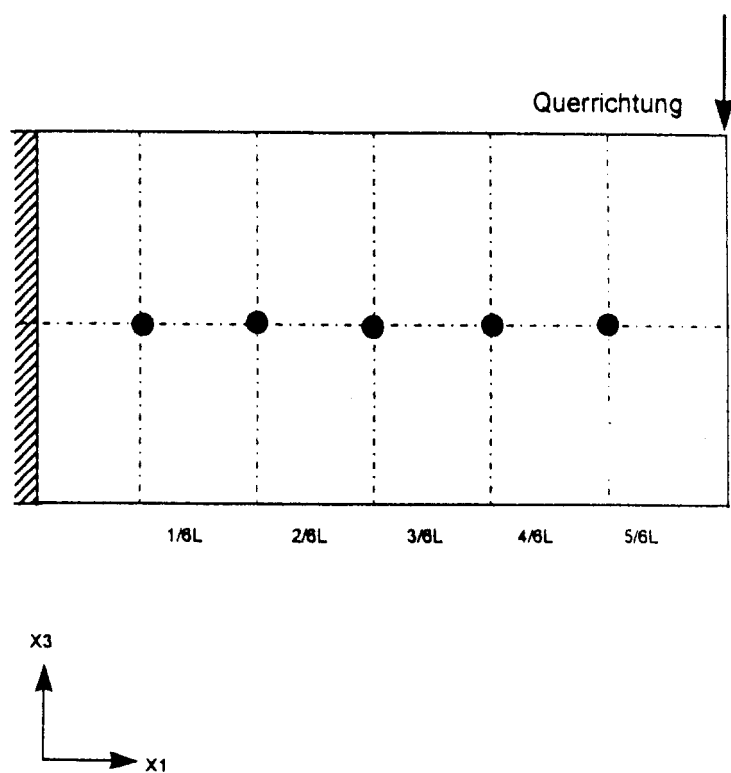
ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBACHTUNGSPUNKT 6/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN LAENGRICHTUNG (X1)

1.4.2 Stoßbelastungen und Antworten in Querrichtung (in der Schubebene)

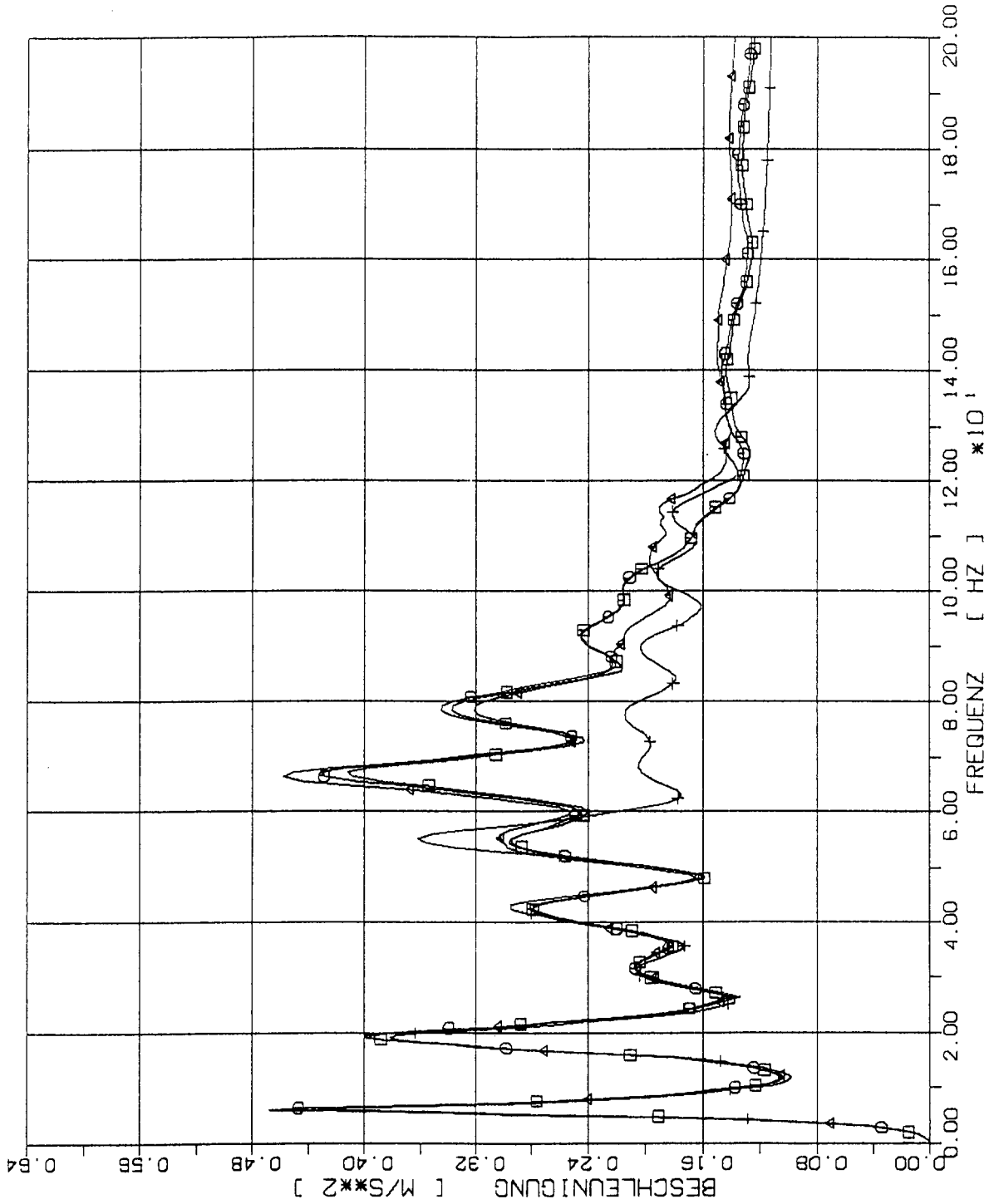
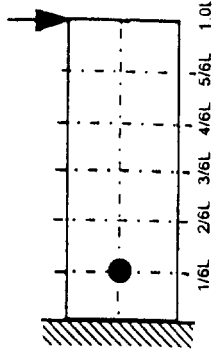


1.4.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1V

(Siehe Fig. 1-2)

ELEMENTGRÖSSE

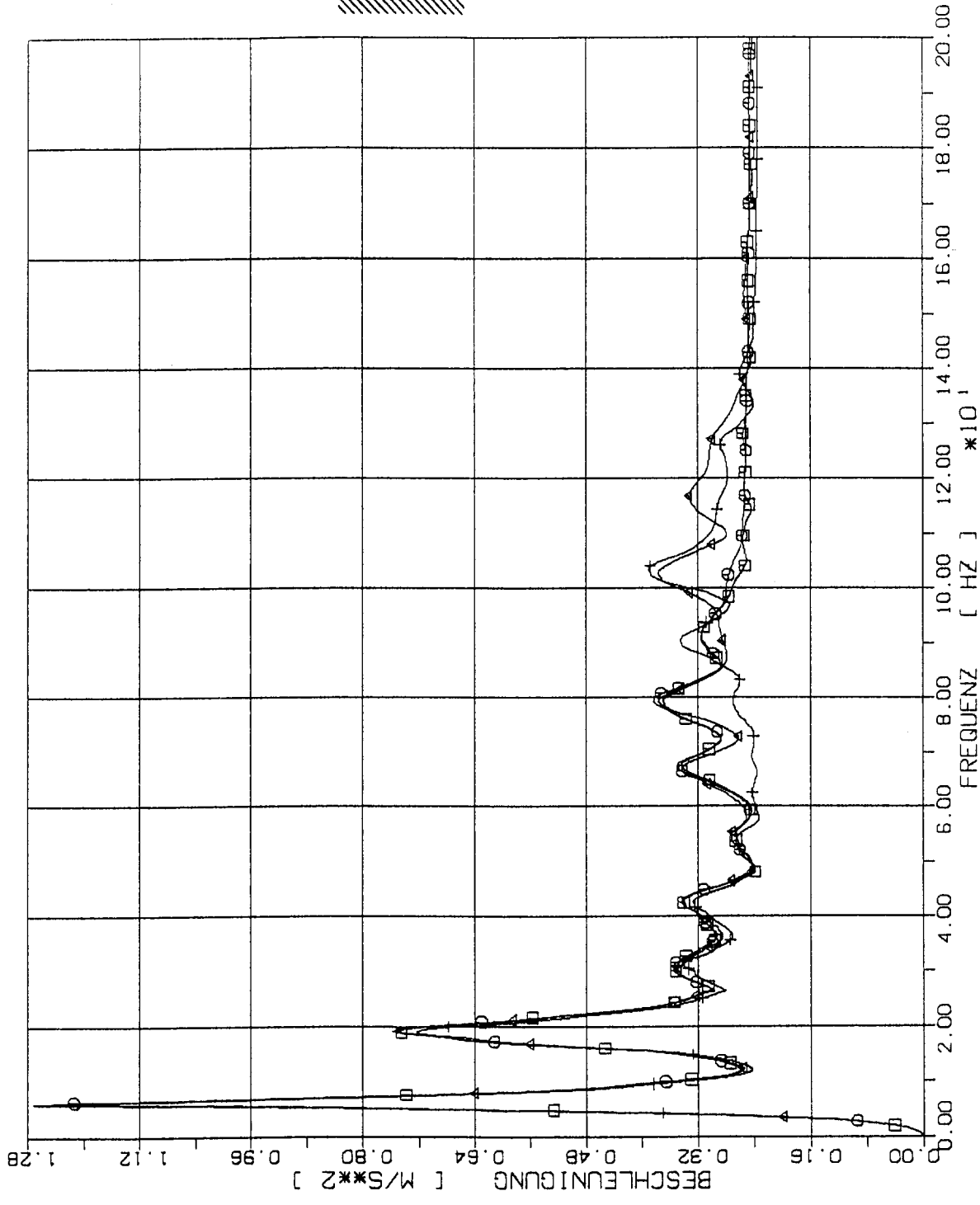
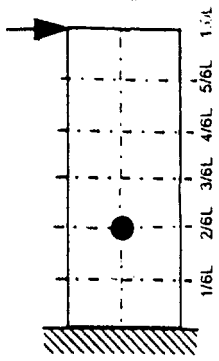
- — □ W x W
- ⊖ — ⊖ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- + — + 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)





ELEMENTGRÖSSE

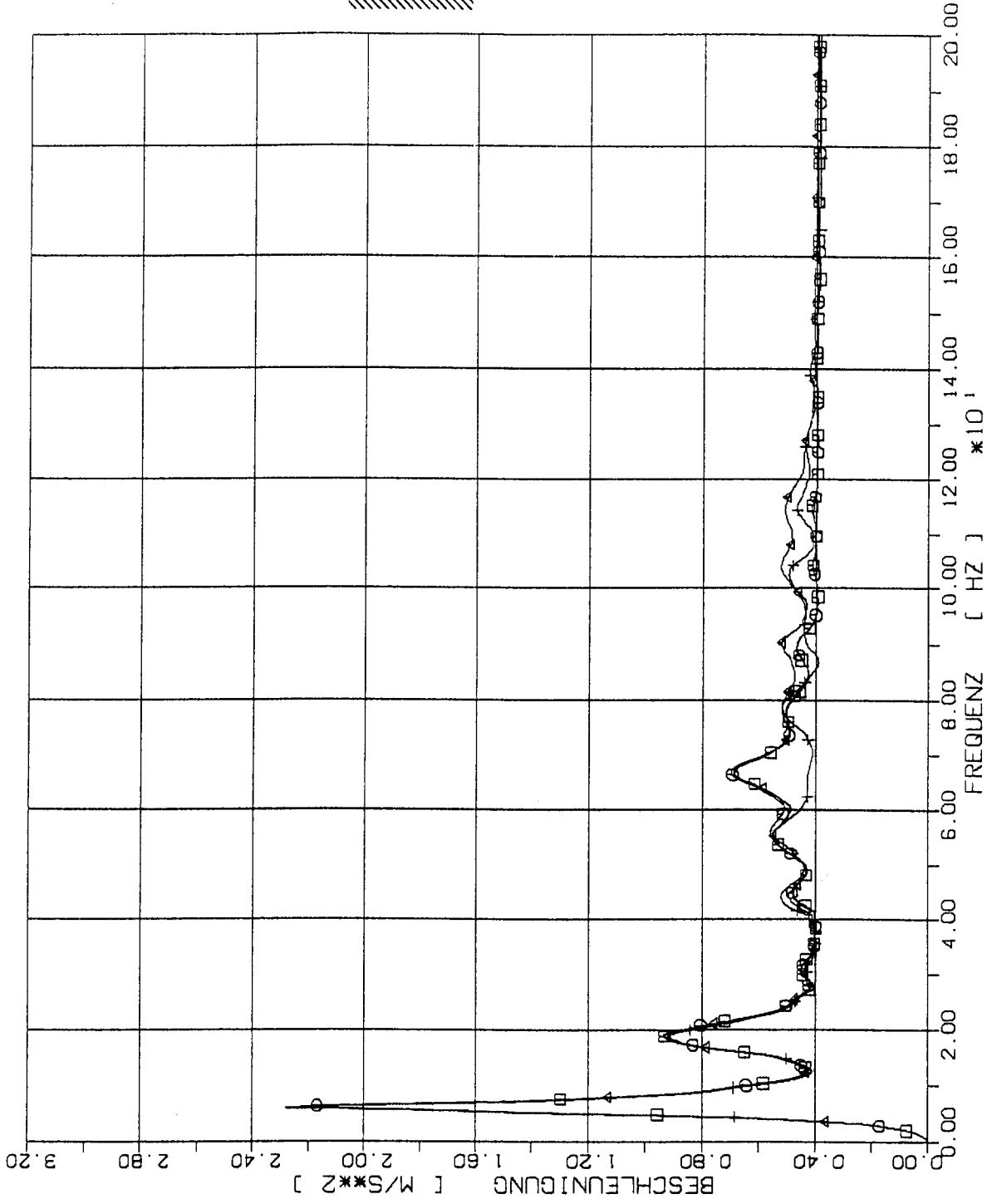
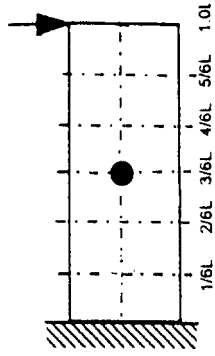
- — □ W x W
- ⊖ — ⊖ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- † — † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 2/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)

ELEMENTGRÖSSE

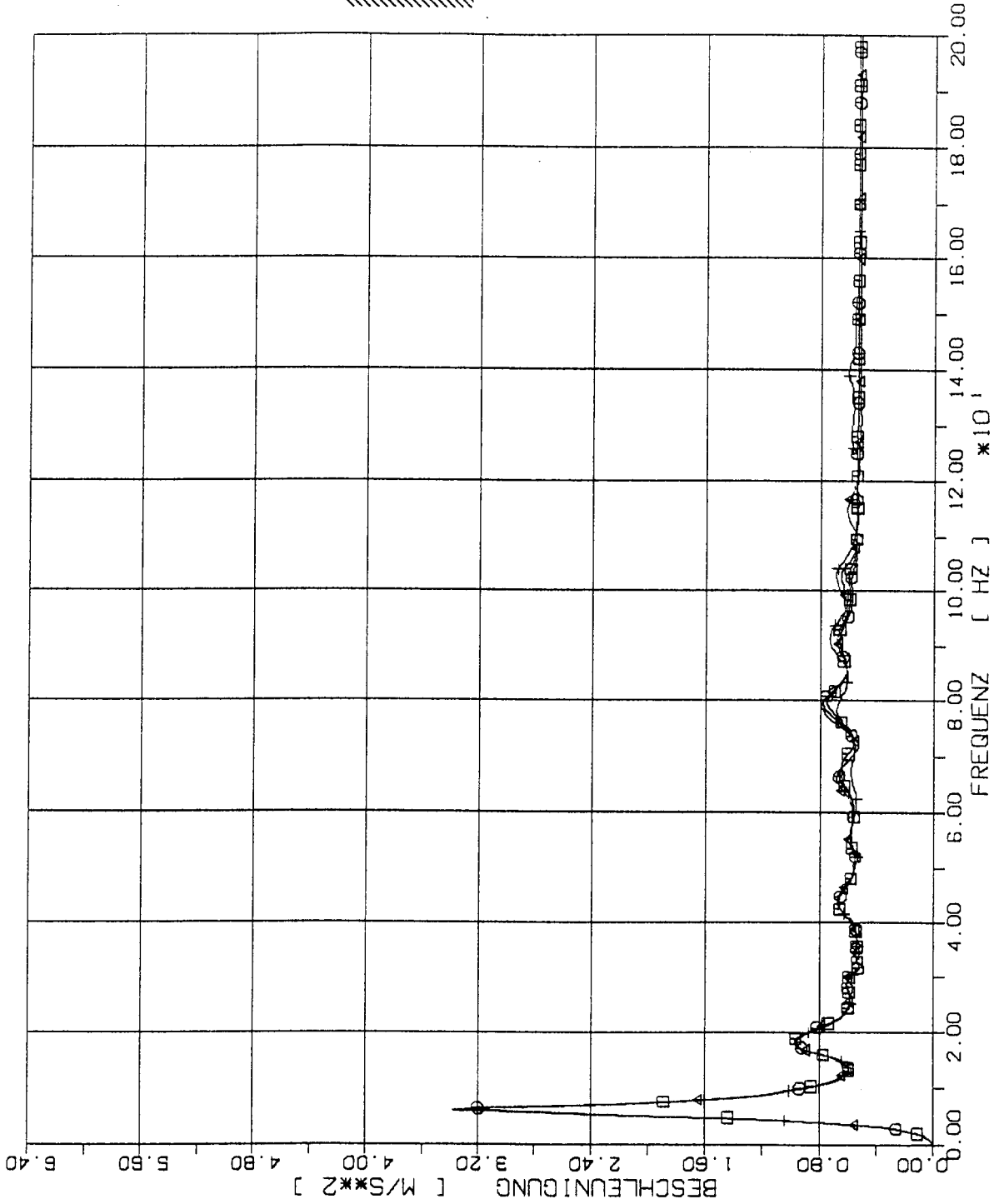
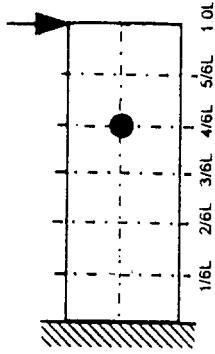
	W x W
	2W x 2W
	4W x 4W
	8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 3/6 L (2% DAEMPUNG)
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)





ELEMENTGRÖSSE

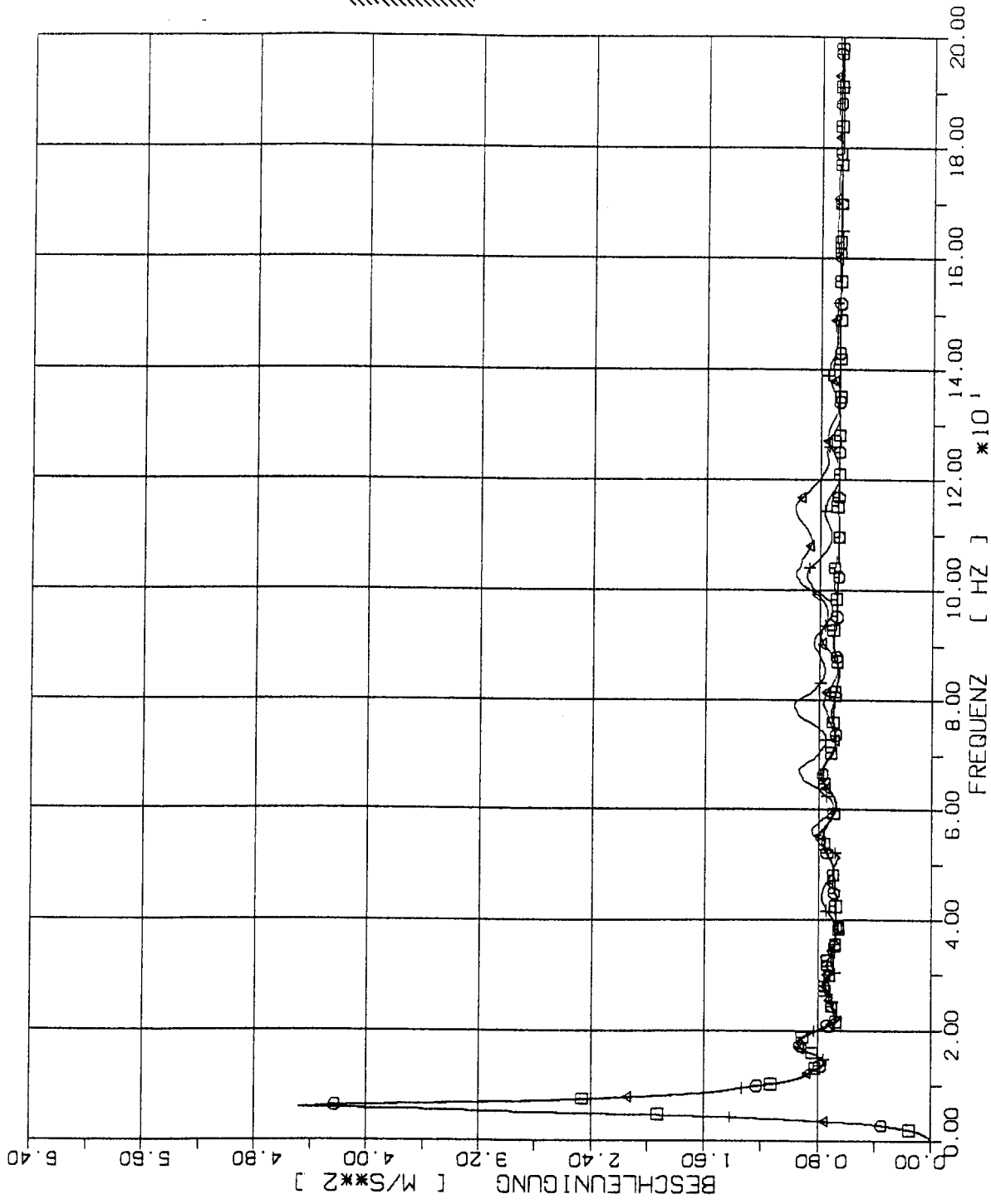
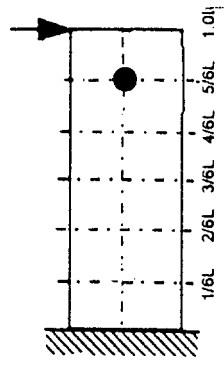
- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBACHTUNGSPUNKT 4/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)





ELEMENTGRÖSSE

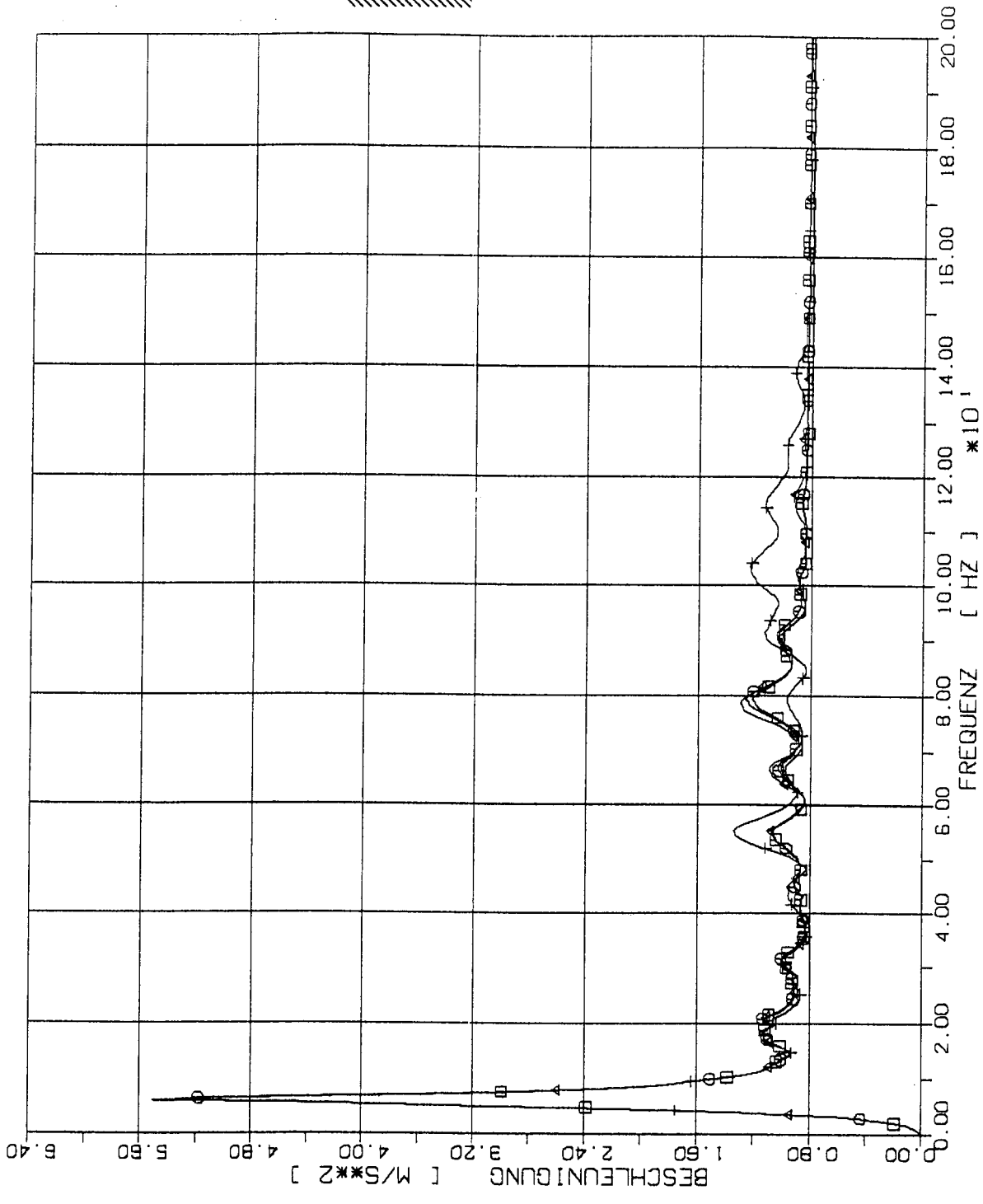
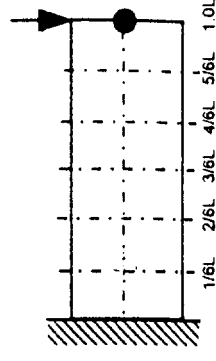
	W x W
	2W x 2W
	4W x 4W
	8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 5/6 L (2% DAEMPUNG)
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)

ELEMENTGRÖSSE

	W x W
	2W x 2W
	4W x 4W
	8W x 8W

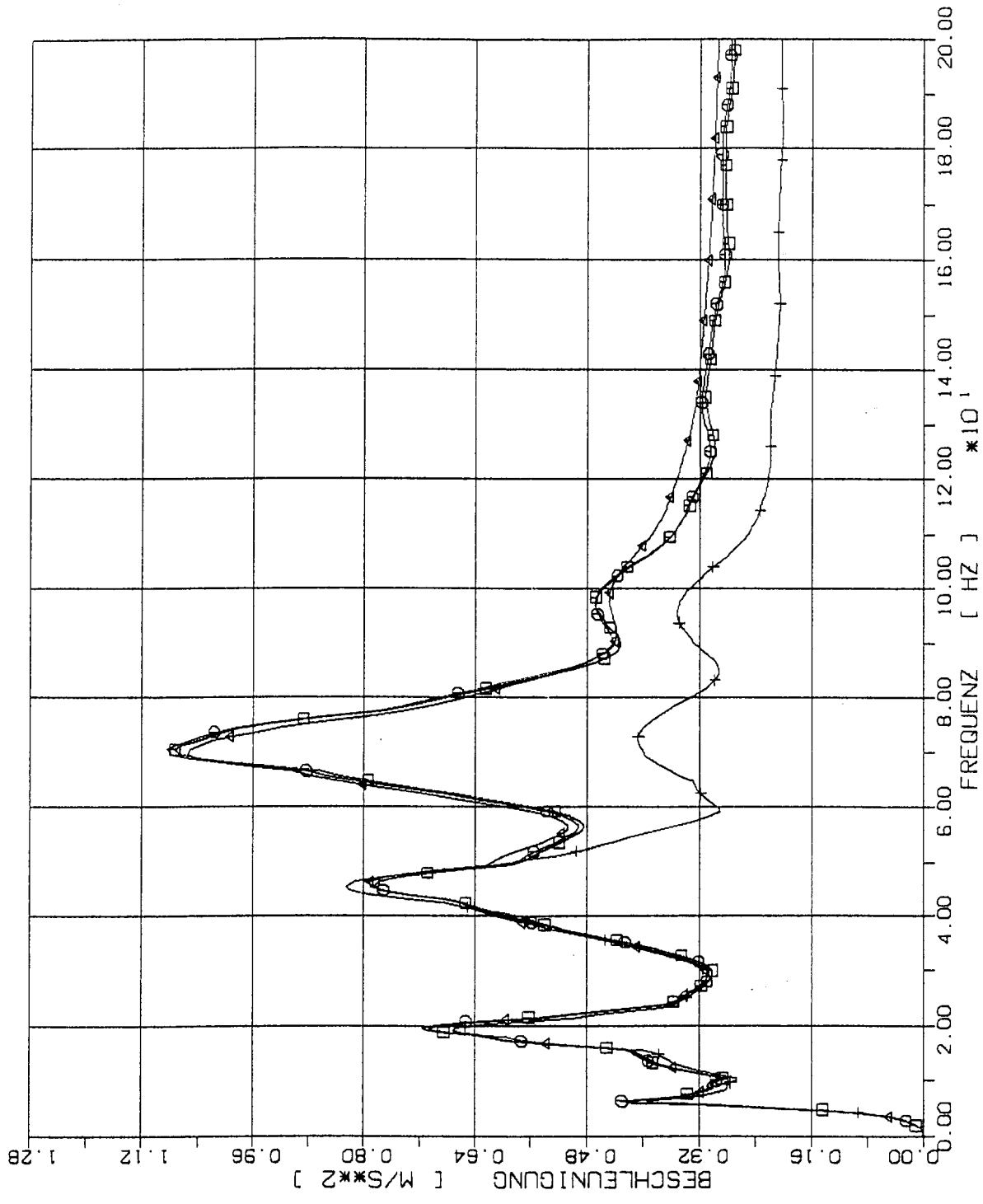
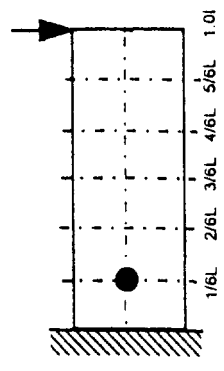


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEIN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 6/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1V IN QUERRICHTUNG (X3)

1.4.2.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-2)

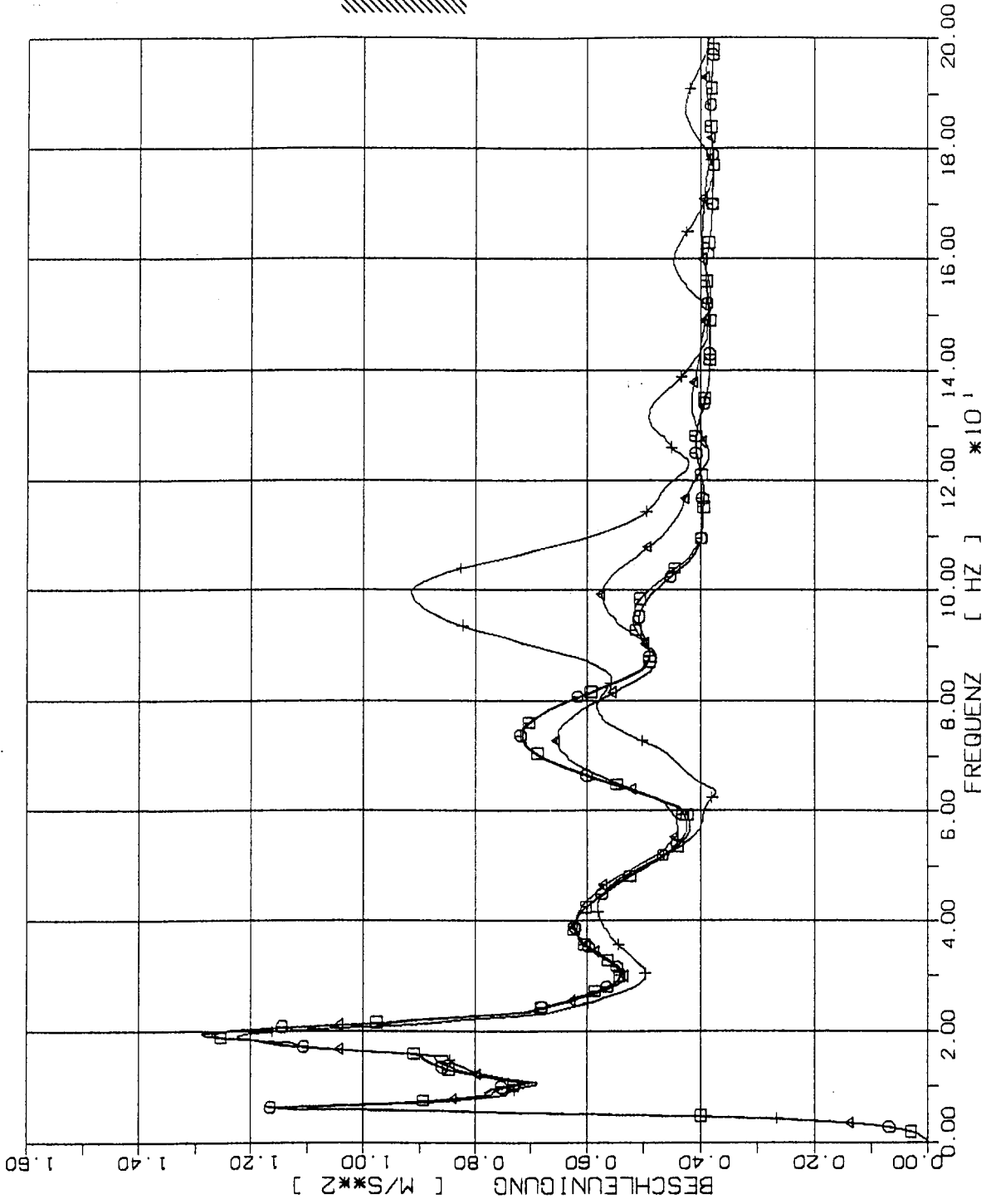
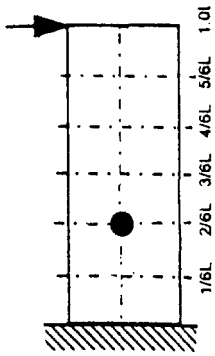
- ELEMENTGRÖSSE
- — □ W x W
 - ⊙ — ⊙ 2W x 2W
 - △ — △ 4W x 4W
 - † — † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

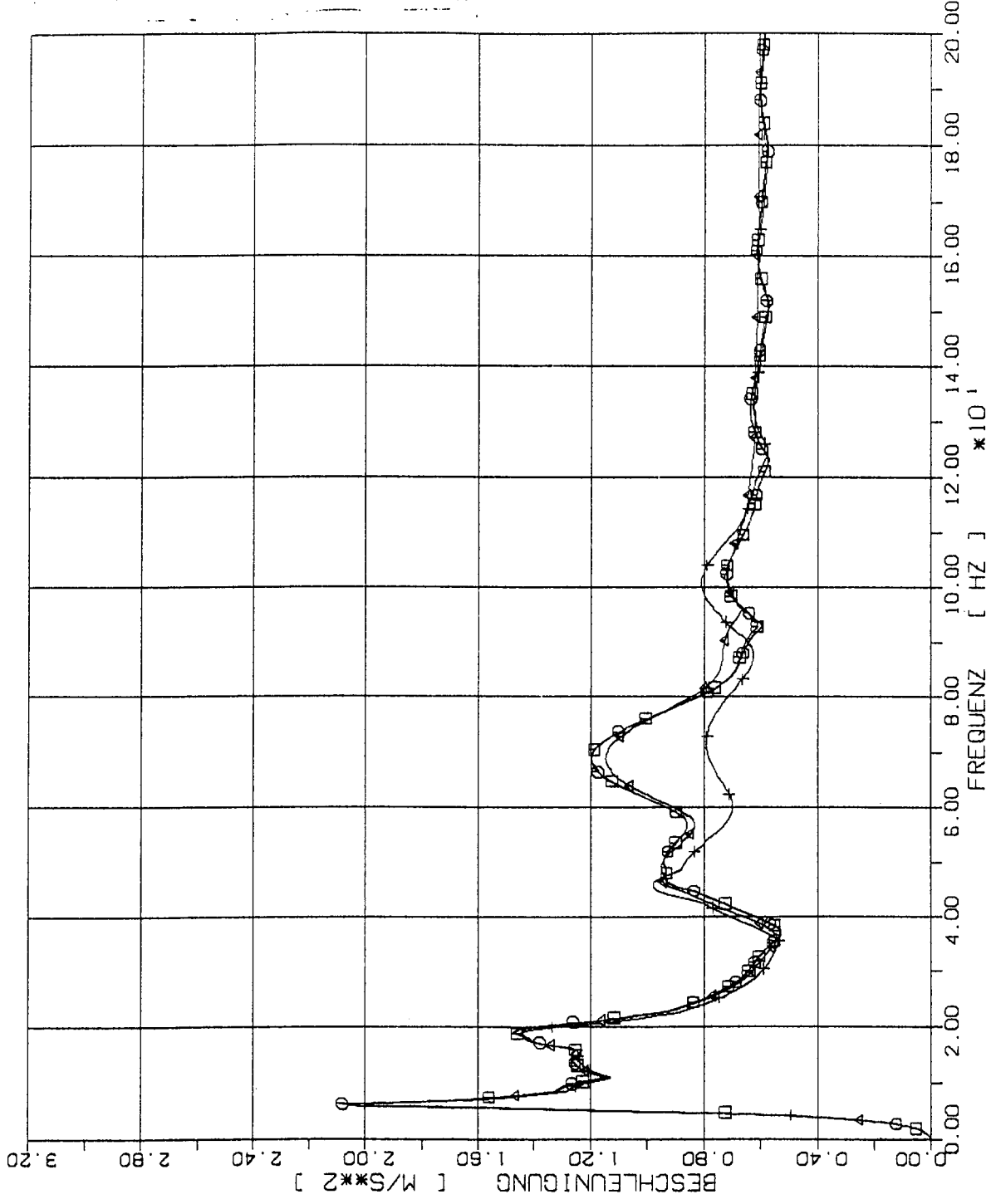
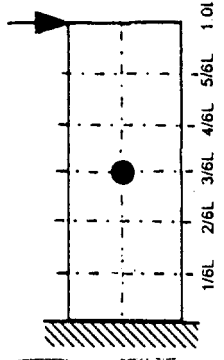
ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w







STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBAECHTUNGSPUNKT 2/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

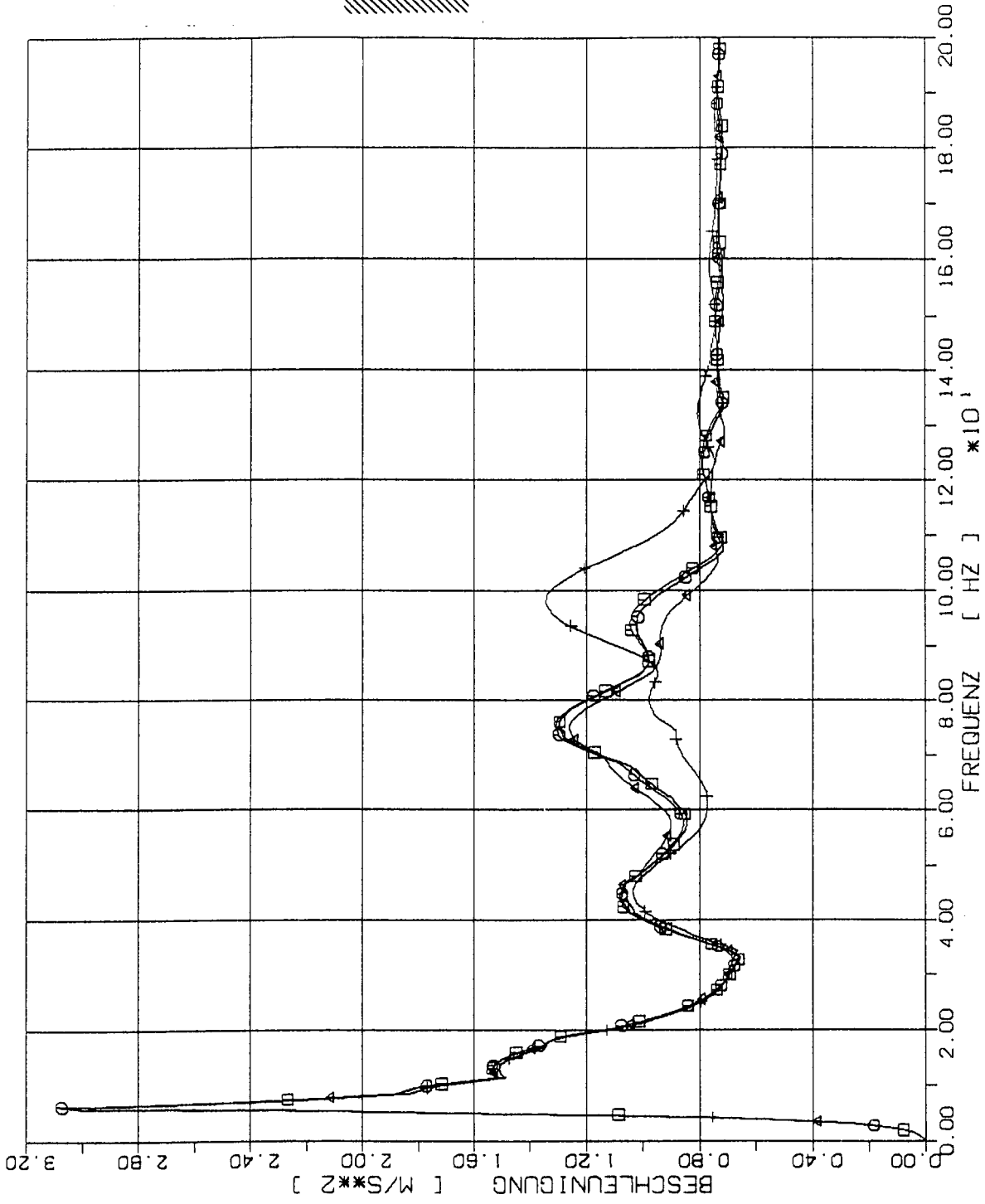
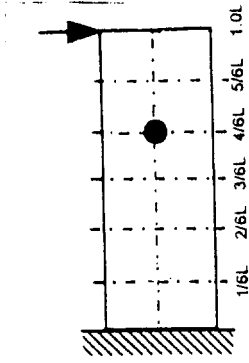
- ELEMENTGRÖSSE
- w x w
 - 2w x 2w
 - △ 4w x 4w
 - † 8w x 8w



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBACHTUNGSPUNKT 3/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

ELEMENTGRÖSSE

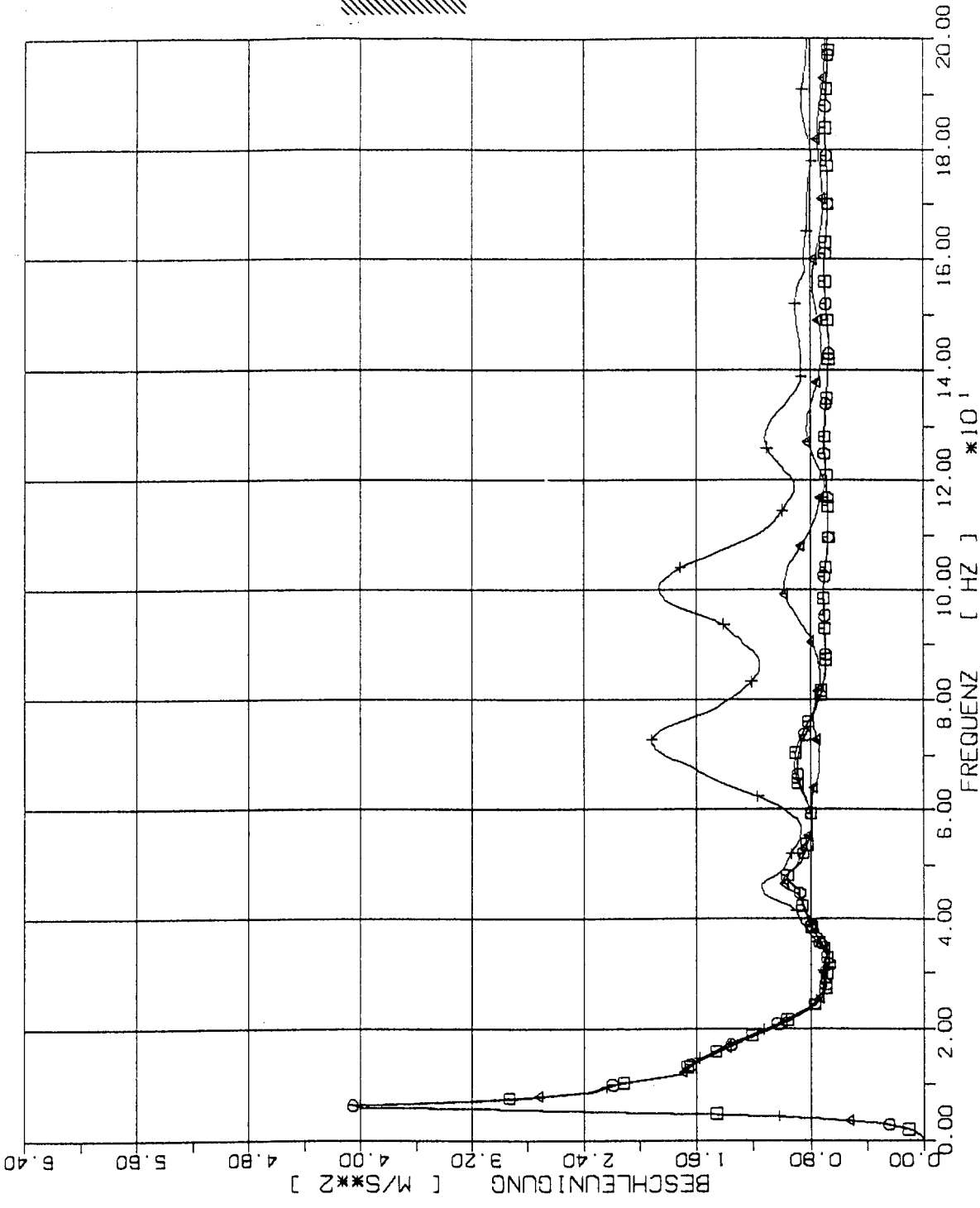
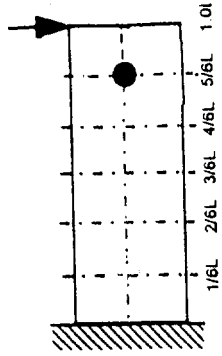
	w x w
	2w x 2w
	4w x 4w
	8w x 8w



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 4/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

ELEMENTGRÖSSE

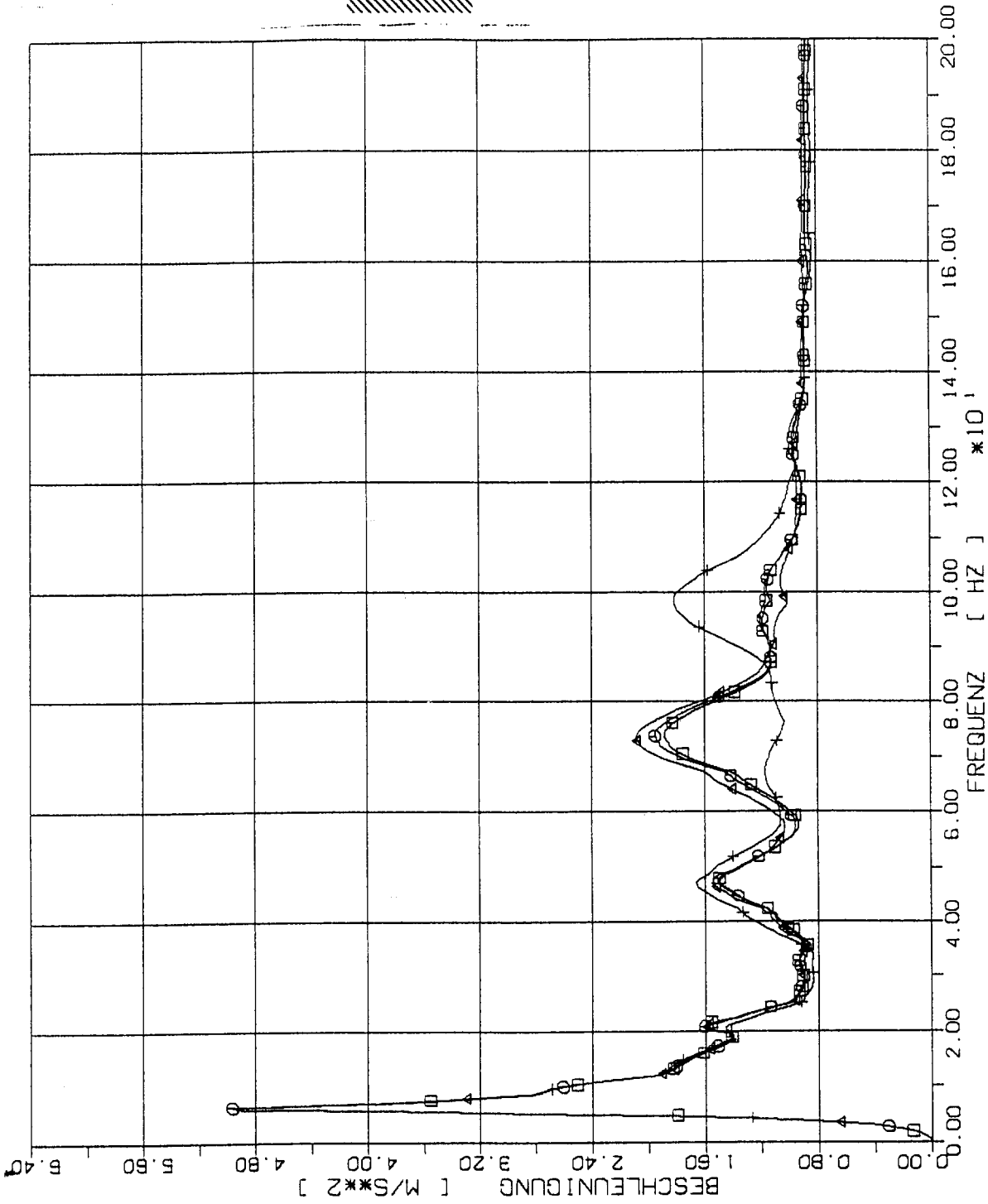
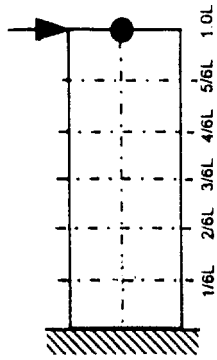
- W x W
- ⊖ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 5/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

ELEMENTGRÖSSE

- — □ W x W
- ⊙ — ⊙ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- † — † 8W x 8W



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN WANDSCHEIBEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 6/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 IN QUERRICHTUNG (X3)

Zwischenblatt

2

Modelldeckenplatte

2.1

Modellabbildungen, Eigenwerte und Lastfunktionen

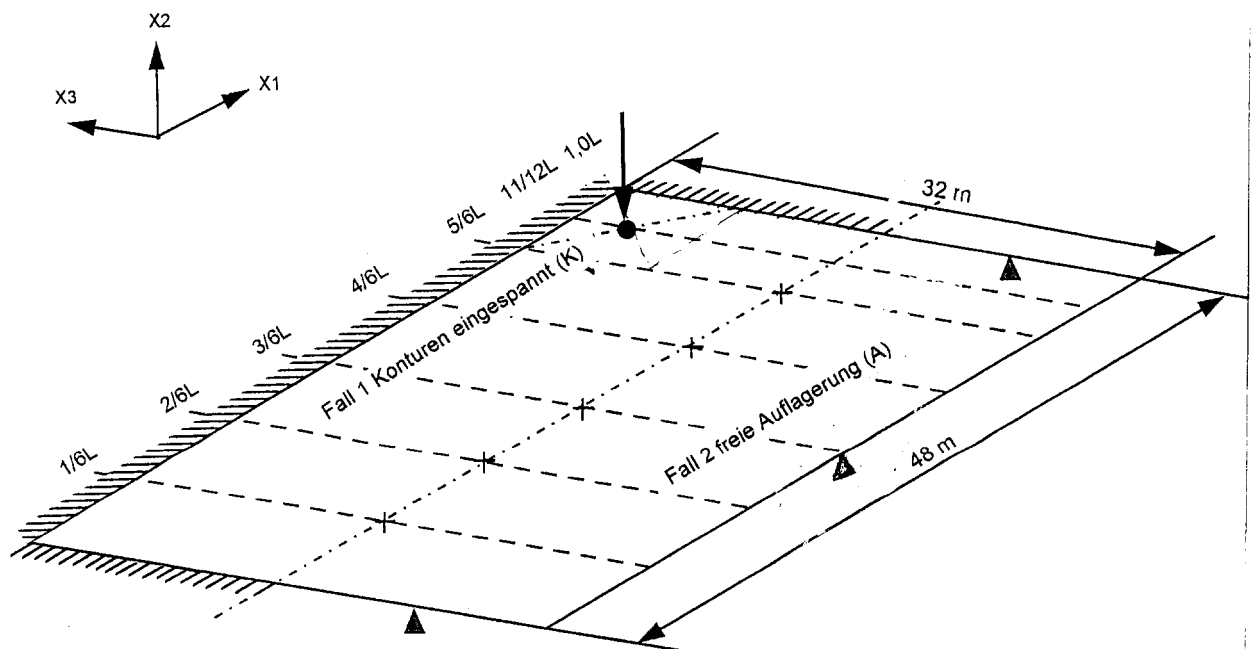
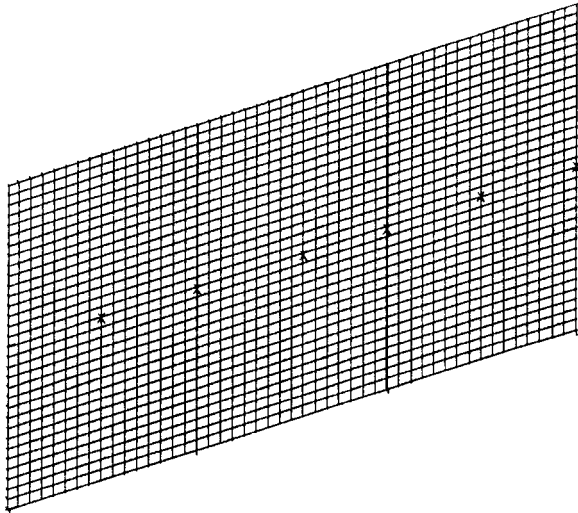
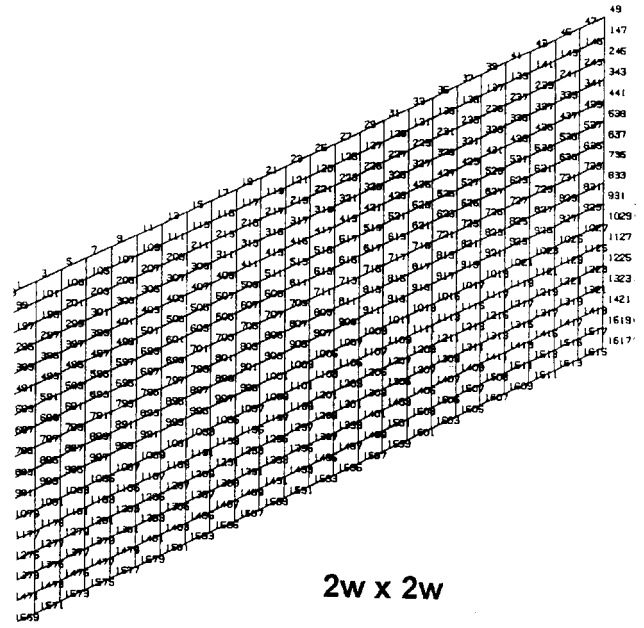


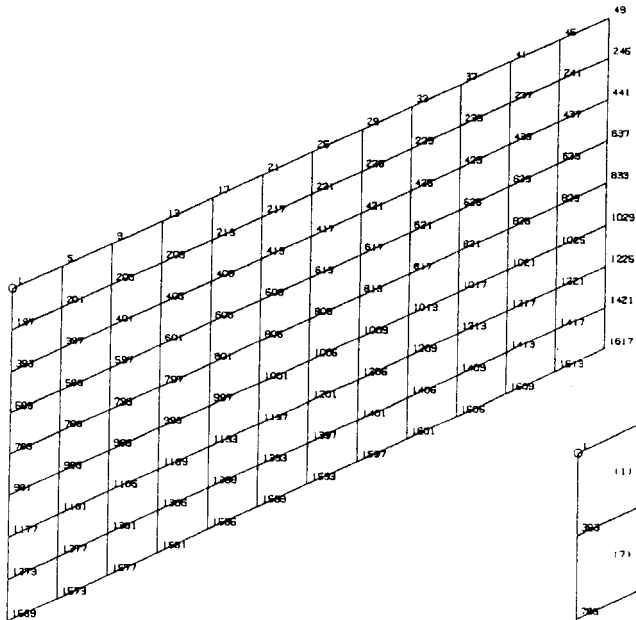
Fig. 2-1 Abmessungen und Belastung der Modell-Deckenplatte (Wandstärke $w = 1,0\text{m}$),



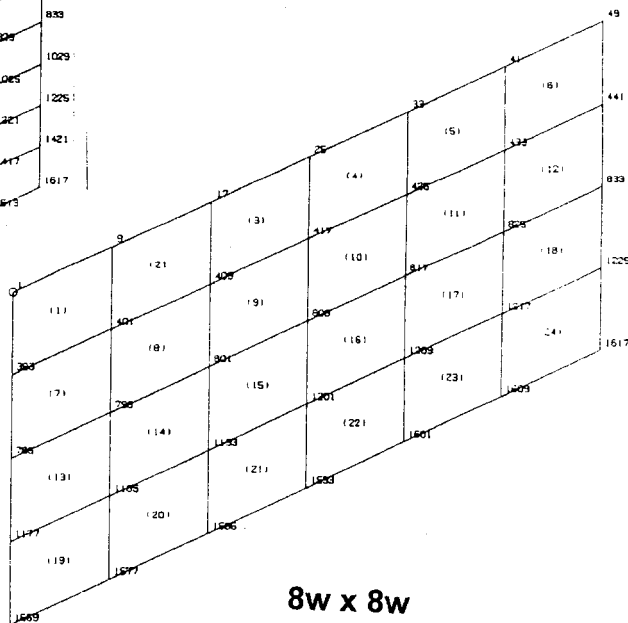
W x W



2W x 2W



4W x 4W



8W x 8W

2.1-1 Diskretisierungsvarianten der Modeldeckenplatten

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	2.78	809-2	0.000	19730.191	0.000	5.00	5.00
2	5.66	817-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	7.20	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
4	9.68	809-2	0.000	3140.337	0.000	5.00	5.00
5	9.98	1209-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
6	13.71	1217-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
7	13.87	809-2	0.000	626.584	0.000	5.00	5.00
8	14.02	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
9	15.96	817-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
10	17.29	809-2	0.000	443.181	0.000	5.00	5.00
11	17.38	433-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
12	18.65	825-2	0.000	55.352	0.000	5.00	5.00
13	20.02	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	21.17	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	22.93	809-2	0.000	4.355	0.000	5.00	5.00
16	46.67	809-1	21309.737	0.000	0.000	5.00	5.00
17	55.06	809-3	0.000	0.000	19614.918	5.00	5.00
18	59.21	817-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	67.86	825-3	0.000	0.000	3437.261	5.00	5.00
20	68.88	1193-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
21	69.84	817-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
22	77.66	825-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
23	79.05	1193-4	141.540	0.000	0.000	5.00	5.00
24	80.20	1193-4	0.000	0.000	43.645	5.00	5.00
25	80.68	1193-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
26	81.05	1193-4	816.323	0.000	0.000	5.00	5.00
27	81.85	1193-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
28	84.06	1193-4	0.000	0.000	17.375	5.00	5.00
29	84.81	1193-4	0.000	0.000	136.120	5.00	5.00
30	87.48	1193-4	58.950	0.000	0.000	5.00	5.00
31	88.55	1193-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
32	89.71	1193-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
33	91.58	1193-4	491.761	0.000	0.000	5.00	5.00
34	94.38	1193-4	593.167	0.000	0.000	5.00	5.00
35	95.49	1193-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
36	97.59	1193-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
37	98.96	1193-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			23411.478	24000.001	23249.319		
GESAMT-GEWICHTE:			24000.001	24000.001	24000.001		
(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)							

Tab.2.1-1 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (frei aufgelagert)
Diskretisierungsvariante 8w x 8w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	2.74	809-2	0.000	21420.659	0.000	5.00	5.00
2	5.59	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	7.17	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
4	9.81	809-2	0.000	3651.247	0.000	5.00	5.00
5	9.92	405-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
6	14.22	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
7	14.85	809-2	0.000	2010.813	0.000	5.00	5.00
8	15.39	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
9	17.53	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
10	19.94	433-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
11	21.87	809-2	0.000	263.308	0.000	5.00	5.00
12	22.26	809-2	0.000	1520.403	0.000	5.00	5.00
13	25.53	1005-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	26.96	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	27.68	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
16	28.20	209-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
17	30.31	813-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	32.53	221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	34.78	809-2	0.000	109.193	0.000	5.00	5.00
20	35.08	421-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
21	38.31	1413-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
22	38.74	809-2	0.000	415.218	0.000	5.00	5.00
23	39.25	789-2	0.000	783.780	0.000	5.00	5.00
24	41.32	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
25	42.85	813-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
26	43.95	1181-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
27	45.24	613-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
28	45.44	809-2	0.000	48.683	0.000	5.00	5.00
29	48.54	789-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
30	48.75	809-1	23844.998	0.000	0.000	5.00	5.00
31	50.85	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
32	51.41	789-2	0.000	55.110	0.000	5.00	5.00
33	52.90	225-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
34	52.96	1221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
35	53.06	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
36	55.31	1189-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
37	57.17	809-2	0.000	17.473	0.000	5.00	5.00
38	57.32	829-2	0.000	369.386	0.000	5.00	5.00
39	57.39	809-3	0.000	0.000	22659.198	5.00	5.00
40	58.85	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00

Tab.2.1-2 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (frei aufgelagert)
Diskretisierungsvariante 4w x 4w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
41	59.82	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
42	60.76	201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
43	61.28	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
44	63.42	1217-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
45	63.95	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
46	64.46	797-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
47	64.51	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
48	65.19	809-2	0.000	37.625	0.000	5.00	5.00
49	66.92	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
50	67.35	809-2	0.000	22.579	0.000	5.00	5.00
51	67.98	1189-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
52	68.21	633-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
53	68.66	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
54	69.14	809-2	0.000	56.083	0.000	5.00	5.00
55	69.64	809-2	0.000	4.009	0.000	5.00	5.00
56	70.69	789-2	0.000	7.201	0.000	5.00	5.00
57	72.28	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
58	73.16	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
59	73.28	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
60	74.17	1221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
61	74.68	1397-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
62	75.89	797-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
63	76.90	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
64	77.07	421-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
65	77.07	809-2	0.000	2.809	0.000	5.00	5.00
66	77.20	809-2	0.000	1.261	0.000	5.00	5.00
67	77.87	825-3	0.000	0.000	3865.515	5.00	5.00
68	79.55	1181-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
69	79.67	209-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
70	81.47	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
71	82.16	809-2	0.000	2.296	0.000	5.00	5.00
72	82.82	613-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
73	84.44	437-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
74	85.68	809-2	0.000	0.469	0.000	5.00	5.00
75	86.15	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
76	88.56	605-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
77	88.63	605-4	0.000	0.238	0.000	5.00	5.00
78	89.55	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
79	91.65	605-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
80	92.83	605-4	0.000	0.144	0.000	5.00	5.00
81	93.57	605-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
82	94.64	605-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
83	95.32	605-4	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
84	95.56	605-4	0.000	0.000	3.998	5.00	5.00
85	96.80	605-4	2966.947	0.000	0.000	5.00	5.00
86	96.88	605-4	0.000	0.015	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			26811.945	30800.000	26528.710		
GESAMT-GEWICHTE:			30800.000	30800.000	30800.000		
(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)							

Tab.2.1-2 Eigenwerte der Modelldeckenplatte
Diskretisierungsvariante 4w x 4w (Fortsetzung)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	2.73	809-2	0.000	21848.140	0.000	5.00	5.00
2	5.56	819-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	7.15	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
4	9.77	823-2	0.000	3729.096	0.000	5.00	5.00
5	9.82	427-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
6	14.02	431-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
7	14.82	809-2	0.000	2440.600	0.000	5.00	5.00
8	15.33	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
9	17.36	819-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
10	19.64	1217-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
11	21.48	809-2	0.000	317.177	0.000	5.00	5.00
12	22.27	827-2	0.000	1572.658	0.000	5.00	5.00
13	25.64	221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	26.65	1219-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	27.10	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
16	28.11	1409-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
17	30.57	827-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	32.18	1397-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	34.17	827-2	0.000	134.487	0.000	5.00	5.00
20	35.04	435-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
21	37.80	227-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
22	39.56	809-2	0.000	806.582	0.000	5.00	5.00
23	40.23	789-2	0.000	861.425	0.000	5.00	5.00
24	42.01	821-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
25	42.64	813-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
26	44.79	1181-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
27	44.91	239-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
28	46.07	809-2	0.000	96.181	0.000	5.00	5.00
29	49.29	809-1	24508.584	0.000	0.000	5.00	5.00
30	51.25	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
31	51.71	815-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
32	52.52	789-2	0.000	77.149	0.000	5.00	5.00
33	53.48	225-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
34	55.91	437-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
35	56.54	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00

Tab. 2.1-3 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (frei aufgelagert)
Diskretisierungsvariante 2w x 2w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE			DAEMPfung (%)	
			X1	GEWICHTE X2	X3	MODAL	KTA
36	57.98	809-3	0.000	0.000	23405.766	5.00	5.00
37	58.88	827-2	0.000	38.410	0.000	5.00	5.00
38	59.00	429-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
39	63.09	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
40	63.48	201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
41	63.61	829-2	0.000	540.142	0.000	5.00	5.00
42	63.76	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
43	65.84	821-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
44	67.55	813-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
45	68.36	1221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
46	68.77	423-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
47	74.87	633-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
48	76.02	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
49	76.35	829-2	0.000	50.332	0.000	5.00	5.00
50	76.52	809-2	0.000	346.903	0.000	5.00	5.00
51	77.27	793-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
52	77.43	821-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
53	77.68	789-2	0.000	21.686	0.000	5.00	5.00
54	79.00	821-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
55	79.22	417-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
56	80.64	793-3	0.000	0.000	4044.695	5.00	5.00
57	82.11	1185-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
58	83.12	809-2	0.000	40.162	0.000	5.00	5.00
59	84.80	1205-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
60	87.61	1397-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
61	88.86	815-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
62	89.23	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
63	90.23	793-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
64	92.18	809-2	0.000	367.233	0.000	5.00	5.00
65	95.06	1181-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
66	96.19	809-2	0.000	15.467	0.000	5.00	5.00
67	97.10	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
68	99.36	1495-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
69	99.53	791-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
70	99.77	1215-1	0.000	0.000	1.536	5.00	5.00
SUMMEN:			24508.584	33303.830	27451.997		
GESAMT-GEWICHTE:			34500.001	34500.001	34500.001		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 2.1-3 Eigenwerte der Modelldeckenplatte
Diskretisierungsvariante 2w x 2w (Fortsetzung)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	2.73	809-2	0.000	21954.886	0.000	5.00	5.00
2	5.56	819-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	7.14	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
4	9.75	823-2	0.000	3747.309	0.000	5.00	5.00
5	9.80	1190-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
6	13.97	431-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
7	14.81	809-2	0.000	2552.955	0.000	5.00	5.00
8	15.31	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
9	17.31	798-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
10	19.55	1184-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
11	21.37	824-2	0.000	331.221	0.000	5.00	5.00
12	22.24	791-2	0.000	1581.366	0.000	5.00	5.00
13	25.62	613-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	26.52	399-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	26.91	792-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
16	28.03	624-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
17	30.54	790-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	32.00	236-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	33.88	791-2	0.000	140.393	0.000	5.00	5.00
20	34.87	398-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
21	37.47	204-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
22	39.55	809-2	0.000	919.039	0.000	5.00	5.00
23	40.21	828-2	0.000	867.776	0.000	5.00	5.00
24	41.91	820-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
25	42.25	790-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
26	44.41	203-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
27	44.58	436-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
28	45.82	794-2	0.000	109.210	0.000	5.00	5.00
29	49.42	809-1	24676.588	0.000	0.000	5.00	5.00
30	51.23	826-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
31	51.25	789-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
32	52.00	829-2	0.000	80.662	0.000	5.00	5.00
33	52.77	1416-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
34	55.67	1181-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
35	56.60	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00

Tab. 2.1-4 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (frei aufgelagert)
Diskretisierungsvariante w x w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
36	58.13	809-3	0.000	0.000	23592.875	5.00	5.00
37	58.13	791-2	0.000	43.461	0.000	5.00	5.00
38	58.92	1212-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
39	62.54	241-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
40	62.79	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
41	63.14	789-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
42	63.67	829-2	0.000	546.465	0.000	5.00	5.00
43	66.19	797-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
44	66.48	828-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
45	68.14	1221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
46	68.16	1218-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
47	73.72	985-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
48	75.03	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
49	75.65	829-2	0.000	52.861	0.000	5.00	5.00
50	76.26	829-2	0.000	24.525	0.000	5.00	5.00
51	76.74	809-2	0.000	456.406	0.000	5.00	5.00
52	77.47	788-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
53	77.82	797-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
54	79.05	820-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
55	79.77	417-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
56	81.35	793-3	0.000	0.000	4093.140	5.00	5.00
57	81.97	396-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
58	82.89	809-2	0.000	52.596	0.000	5.00	5.00
59	83.37	436-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
60	86.28	613-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
61	87.47	789-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
62	88.25	803-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
63	89.55	788-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
64	92.63	788-2	0.000	375.011	0.000	5.00	5.00
65	93.17	437-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
66	95.11	809-2	0.000	20.146	0.000	5.00	5.00
67	97.18	1180-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
68	99.98	907-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			24676.588	33856.289	27686.016		
GESAMT-GEWICHTE:			36425.000	36425.000	36425.000		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 2.1-4 Eigenwerte der Modelldeckenplatte
Diskretisierungsvariante w x w (Fortsetzung)

Diskretisierung	Mode Nr.	Eigenfrequenzen (Hz) in Schwingungsrichtung		
		X1	X2	X3
8w x 8w	1	46,67	2,78	55,06
	2	> 81,05	9,68	67,86
	3	> 91,00	13,71	84,81
4w x 4w	1	48,75	2,74	57,39
	2	> 96,00	9,81	77,87
	3		14,85	> 100,00
	66		77,07	
2w x 2w	1	49,29	2,73	57,98
	2	> 100,00	9,77	80,64
	3		14,82	> 100,00
	66		96,19	
w x w	1	49,42	2,73	58,13
	2	> 100,00	9,79	81,35
	3		14,81	> 100,00
	66		95,11	

Tab. 2.1-5 Eigenfrequenzen der Modelldeckenplatte bei verschiedener Diskretisierung (freie Auflagerung)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	4.13	809-2	0.000	20251.723	0.000	5.00	5.00
2	6.42	817-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	9.67	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
4	9.93	809-2	0.000	3138.675	0.000	5.00	5.00
5	11.66	1209-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
6	13.85	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
7	14.51	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
8	15.25	809-2	0.000	1919.962	0.000	5.00	5.00
9	16.71	817-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
10	16.81	809-2	0.000	470.363	0.000	5.00	5.00
11	17.45	1217-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
12	18.72	809-2	0.000	122.903	0.000	5.00	5.00
13	19.59	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	20.75	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	22.21	809-2	0.000	6.776	0.000	5.00	5.00
16	44.91	809-1	23005.992	0.000	0.000	5.00	5.00
17	52.99	809-3	0.000	0.000	21176.265	5.00	5.00
18	56.98	817-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	65.31	825-3	0.000	0.000	3710.867	5.00	5.00
20	66.29	409-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
21	67.22	817-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
22	74.74	825-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
23	76.08	809-1	152.807	0.000	0.000	5.00	5.00
24	77.18	809-3	0.000	0.000	47.119	5.00	5.00
25	77.65	1201-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
26	78.00	801-1	881.303	0.000	0.000	5.00	5.00
27	78.77	825-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
28	80.90	801-3	0.000	0.000	18.758	5.00	5.00
29	81.62	417-3	0.000	0.000	146.955	5.00	5.00
30	84.19	825-1	63.642	0.000	0.000	5.00	5.00
31	85.22	793-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
32	86.34	409-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
33	88.14	1201-1	530.905	0.000	0.000	5.00	5.00
34	90.83	433-3	640.383	0.000	0.000	5.00	5.00
35	91.90	401-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
36	93.92	825-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
37	95.24	417-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
38	97.98	401-1	0.000	0.000	136.312	5.00	5.00
39	98.21	809-1	523.673	0.000	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			25798.704	25910.401	25236.277		
GESAMT-GEWICHTE:			25910.401	25910.401	25910.401		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 2.1-6 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (Kontureinspannung)
Diskretisierungsvariante 8w x 8w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	4.26	809-2	0.000	18883.394	0.000	5.00	5.00
2	6.62	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	10.43	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
4	10.56	809-2	0.000	3222.774	0.000	5.00	5.00
5	12.71	1189-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
6	15.97	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
7	16.55	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
8	19.67	809-2	0.000	3657.621	0.000	5.00	5.00
9	21.89	1217-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
10	21.98	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
11	22.74	809-2	0.000	1405.840	0.000	5.00	5.00
12	25.83	809-2	0.000	421.403	0.000	5.00	5.00
13	28.58	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	30.69	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	31.12	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
16	31.60	1005-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
17	33.91	993-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	36.41	421-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	37.68	809-2	0.000	137.469	0.000	5.00	5.00
20	37.69	1005-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
21	39.55	789-2	0.000	746.115	0.000	5.00	5.00
22	42.80	629-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
23	45.00	1181-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
24	45.21	1397-2	0.000	1366.830	0.000	5.00	5.00
25	45.21	805-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
26	47.36	209-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
27	48.75	809-1	23844.998	0.000	0.000	5.00	5.00
28	48.77	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
29	49.00	613-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
30	50.83	237-2	0.000	134.735	0.000	5.00	5.00
31	53.26	789-2	0.000	68.599	0.000	5.00	5.00
32	53.76	1221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
33	55.43	1413-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
34	55.91	1009-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
35	57.39	809-3	0.000	0.000	22659.198	5.00	5.00

Tab. 2.1-7 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (Kontureinspannung)
Diskretisierungsvariante 4w x 4w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
36	57.49	829-2	0.000	358.380	0.000	5.00	5.00
37	58.14	221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
38	59.96	1385-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
39	60.88	1397-2	0.000	41.339	0.000	5.00	5.00
40	61.21	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
41	61.86	437-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
42	62.87	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
43	63.06	221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
44	64.46	797-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
45	64.63	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
46	66.70	433-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
47	66.81	233-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
48	67.10	809-2	0.000	225.200	0.000	5.00	5.00
49	68.34	809-2	0.000	26.317	0.000	5.00	5.00
50	68.38	1189-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
51	68.63	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
52	69.22	809-2	0.000	55.897	0.000	5.00	5.00
53	69.88	1417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
54	71.08	809-2	0.000	20.140	0.000	5.00	5.00
55	71.19	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
56	72.54	1201-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
57	72.78	1377-2	0.000	14.403	0.000	5.00	5.00
58	73.94	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
59	74.28	817-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
60	75.83	1397-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
61	75.89	797-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
62	76.03	397-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
63	77.07	421-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
64	77.49	809-2	0.000	3.254	0.000	5.00	5.00
65	77.87	825-3	0.000	0.000	3865.515	5.00	5.00
66	78.03	809-2	0.000	4.704	0.000	5.00	5.00
67	78.35	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
68	80.41	209-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
69	80.85	1181-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
70	82.06	813-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
71	83.12	809-2	0.000	3.799	0.000	5.00	5.00
72	83.28	221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
73	85.31	1221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
74	86.08	809-2	0.000	1.160	0.000	5.00	5.00
75	86.74	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
76	88.99	809-2	0.000	0.362	0.000	5.00	5.00
77	89.10	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
78	89.80	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
79	91.98	405-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
80	92.99	809-2	0.000	0.246	0.000	5.00	5.00
81	93.77	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
82	94.64	825-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
83	95.41	797-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
84	95.56	405-1	0.000	0.000	3.998	5.00	5.00
85	96.80	809-1	2966.947	0.000	0.000	5.00	5.00
86	96.93	809-2	0.000	0.020	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			26811.945	30800.000	26528.710		
GESAMT-GEWICHTE:			30800.000	30800.000	30800.000		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 2.1-7 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (Kontureinspannung)
Diskretisierungsvariante 4w x 4w (Fortsetzung)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPFUNG (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	4.25	809-2	0.000	18885.151	0.000	5.00	5.00
2	6.57	819-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	10.40	515-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
4	10.48	823-2	0.000	3226.596	0.000	5.00	5.00
5	12.59	525-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
6	15.88	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
7	16.30	1117-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
8	19.71	1299-2	0.000	3693.659	0.000	5.00	5.00
9	21.54	433-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
10	21.87	1309-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
11	22.71	827-2	0.000	1424.624	0.000	5.00	5.00
12	25.52	1285-2	0.000	436.694	0.000	5.00	5.00
13	28.27	1219-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	30.69	827-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	30.95	813-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
16	32.11	1299-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
17	34.29	1311-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	36.45	1205-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	37.36	827-2	0.000	149.994	0.000	5.00	5.00
20	37.96	613-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
21	40.57	789-2	0.000	801.659	0.000	5.00	5.00
22	43.13	1011-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
23	45.51	323-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
24	46.05	397-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
25	47.58	1397-2	0.000	1560.112	0.000	5.00	5.00
26	49.29	809-1	24508.584	0.000	0.000	5.00	5.00
27	49.80	1409-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
28	49.81	613-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
29	51.55	829-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
30	53.52	207-2	0.000	164.914	0.000	5.00	5.00
31	55.10	319-2	0.000	91.348	0.000	5.00	5.00
32	57.03	1221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
33	57.98	809-3	0.000	0.000	23405.766	5.00	5.00
34	57.98	617-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
35	58.74	227-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00

Tab. 2.1-8 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (Kontureinspannung)
Diskretisierungsvariante 2w x 2w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
36	63.87	829-2	0.000	506.099	0.000	5.00	5.00
37	65.49	239-2	0.000	65.192	0.000	5.00	5.00
38	65.84	821-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
39	66.06	1397-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
40	66.11	339-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
41	67.62	593-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
42	68.33	233-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
43	69.38	1221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
44	72.11	1397-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
45	73.73	225-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
46	77.41	227-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
47	77.43	821-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
48	77.51	793-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
49	78.50	829-2	0.000	53.360	0.000	5.00	5.00
50	78.68	633-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
51	79.22	1201-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
52	80.64	793-3	0.000	0.000	4044.695	5.00	5.00
53	83.04	401-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
54	83.44	1377-2	0.000	30.643	0.000	5.00	5.00
55	84.24	239-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
56	87.44	809-2	0.000	843.974	0.000	5.00	5.00
57	89.75	821-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
58	91.13	1005-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
59	92.20	793-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
60	92.40	809-2	0.000	348.094	0.000	5.00	5.00
61	92.57	217-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
62	93.59	825-2	0.000	95.169	0.000	5.00	5.00
63	94.58	241-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
64	97.95	417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
65	98.97	815-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
66	99.53	791-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
67	99.77	403-1	0.000	0.000	1.536	5.00	5.00
SUMMEN:			24508.584	32377.281	27451.997		
GESAMT-GEWICHTE:			34500.001	34500.001	34500.001		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 2.1-8 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (Kontureinspannung)
Diskretisierungsvariante 2w x 2w (Fortsetzung)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	4.24	809-2	0.000	18884.864	0.000	5.00	5.00
2	6.56	819-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
3	10.39	466-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
4	10.46	823-2	0.000	3227.083	0.000	5.00	5.00
5	12.55	455-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
6	15.85	825-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
7	16.23	1166-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
8	19.69	368-2	0.000	3695.422	0.000	5.00	5.00
9	21.42	1135-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
10	21.80	1261-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
11	22.67	791-2	0.000	1425.463	0.000	5.00	5.00
12	25.38	1314-2	0.000	437.996	0.000	5.00	5.00
13	28.09	1134-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
14	30.44	826-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
15	30.90	805-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
16	32.10	270-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
17	34.20	1359-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
18	36.22	1133-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
19	36.99	791-2	0.000	148.870	0.000	5.00	5.00
20	37.74	1333-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
21	40.52	828-2	0.000	803.628	0.000	5.00	5.00
22	42.74	253-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
23	45.00	790-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
24	45.77	1171-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
25	47.60	221-2	0.000	1566.701	0.000	5.00	5.00
26	49.21	1330-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
27	49.42	809-1	24676.588	0.000	0.000	5.00	5.00
28	49.71	232-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
29	51.53	789-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
30	53.24	206-2	0.000	161.702	0.000	5.00	5.00
31	54.47	796-2	0.000	94.352	0.000	5.00	5.00
32	56.72	446-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
33	57.15	1367-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
34	58.13	809-3	0.000	0.000	23592.875	5.00	5.00
35	58.22	1414-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00

Tab. 2.1-9 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (Kontureinspannung)
Diskretisierungsvariante w x w

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
36	63.92	819-2	0.000	502.365	0.000	5.00	5.00
37	64.66	809-2	0.000	72.412	0.000	5.00	5.00
38	65.37	1279-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
39	66.19	797-3	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
40	66.21	221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
41	66.54	1342-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
42	68.33	232-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
43	69.09	1221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
44	71.87	221-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
45	72.56	240-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
46	76.85	204-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
47	77.40	1328-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
48	77.68	789-2	0.000	52.983	0.000	5.00	5.00
49	77.69	830-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
50	77.82	797-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
51	79.77	1201-1	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
52	81.35	793-3	0.000	0.000	4093.140	5.00	5.00
53	81.92	241-2	0.000	30.919	0.000	5.00	5.00
54	82.84	396-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
55	83.29	163-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
56	87.91	172-2	0.000	856.343	0.000	5.00	5.00
57	89.68	1348-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
58	90.04	160-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
59	91.19	191-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
60	91.41	788-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
61	92.74	1417-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
62	92.84	788-2	0.000	350.724	0.000	5.00	5.00
63	93.61	172-2	0.000	99.359	0.000	5.00	5.00
64	97.98	396-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
65	98.61	1440-2	0.000	0.000	0.000	5.00	5.00
SUMMEN:			24676.588	32411.188	27686.016		
GESAMT-GEWICHTE:			36425.000	36425.000	36425.000		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 2.1-9 Eigenwerte der Modelldeckenplatte (Kontureinspannung)
Diskretisierungsvariante w x w (Fortsetzung)

Diskretisierung	Mode Nr.	Eigenfrequenzen (Hz) in Schwingungsrichtung		
		X1	X2	X3
8w x 8w	1	44,21	4,13	52,99
	2	78,00	9,93	65,31
	3	88,14	15,25	81,62
	12		187,2	
4w x 4w	1	48,75	4,26	57,39
	2	96,80	10,56	77,87
	3	> 100,00	19,67	7,00
	??		72,78	
2w x 2w	1	49,24	4,24	57,98
	2	21,00	10,48	80,64
	3		19,71	> 100,00
	62		93,59	
W x w	1	49,42	4,24	58,13
	2	> 100,00	10,46	81,35
	3		19,69	> 100,00
	62		92,84	

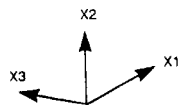
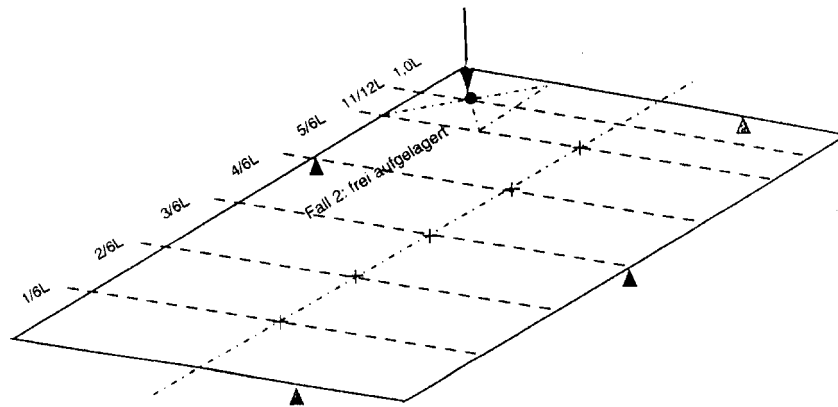
Tab. 2.1-10 Eigenfrequenzen der Modelldeckenplatte bei verschiedener Diskretisierung (Kontureinspannung)

Zwischenblatt

2.2

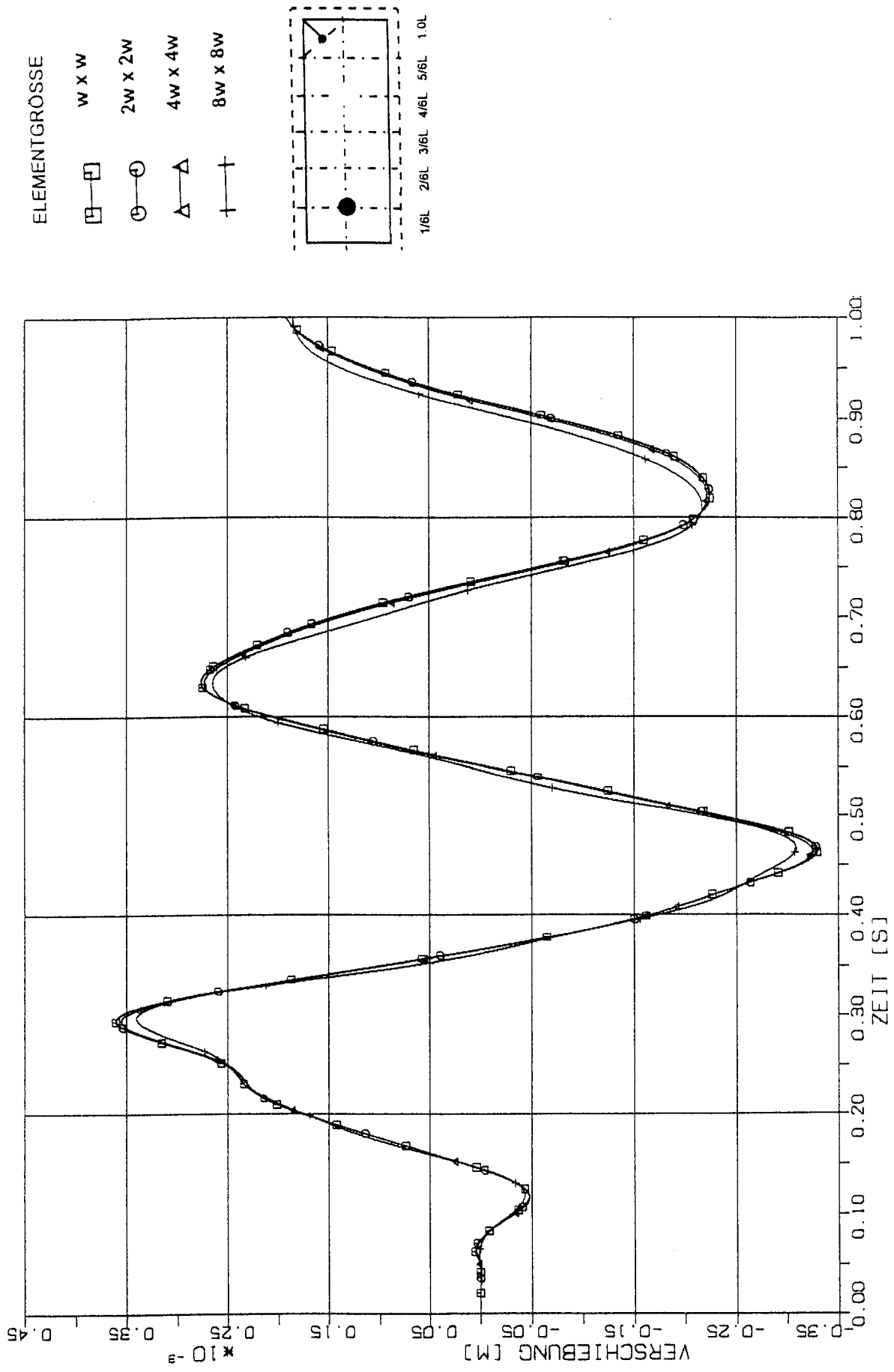
**Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen
in den charakteristischen Beobachtungspunkten
der Modeldeckenplatte bei Anwendung
verschiedener Diskretisierungen und Stoßbelastungen
senkrecht zur Plattenebene**

2.2.1 Frei aufgelagerte Platte (Strukturantworten senkrecht zur Plattenebene)

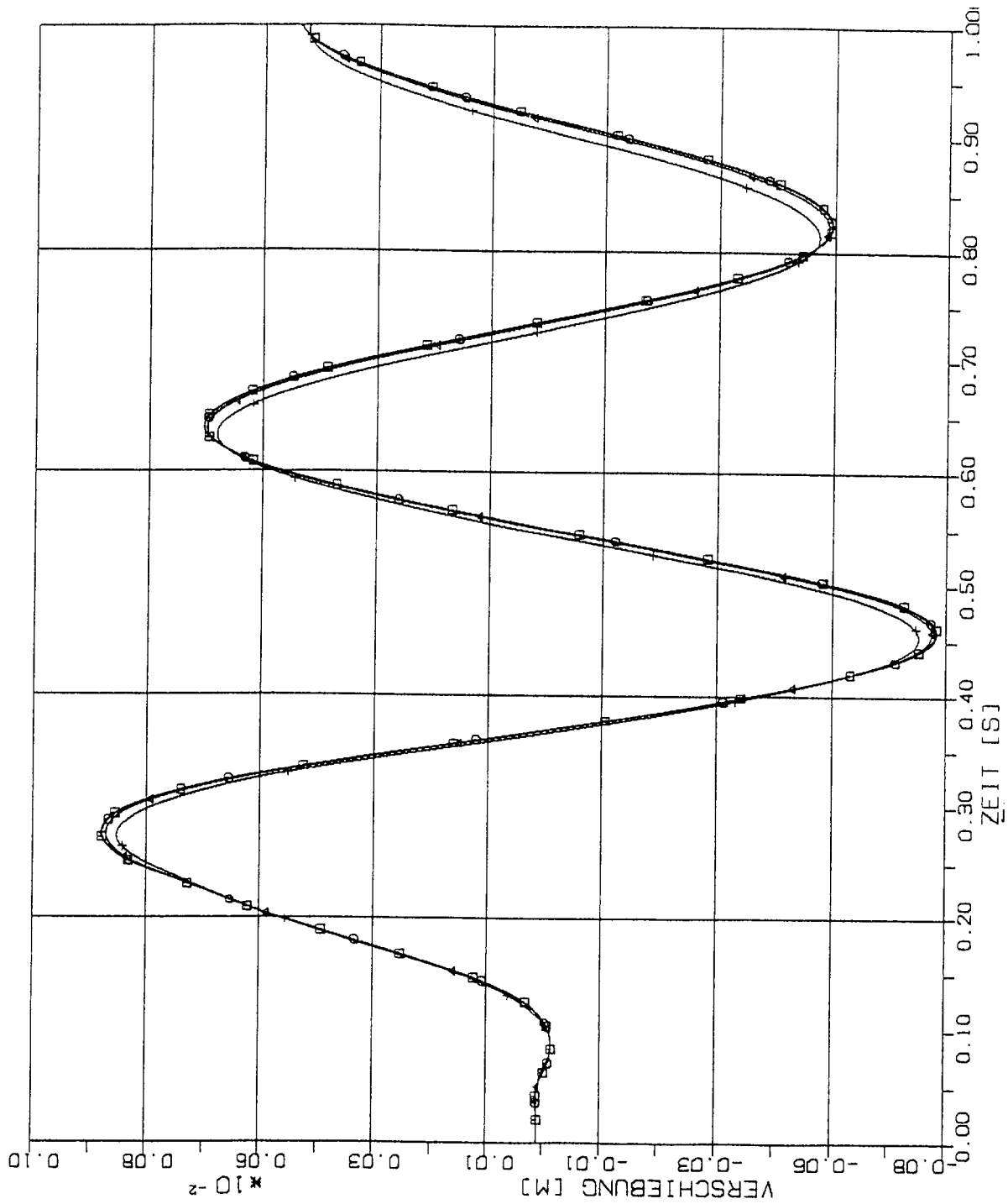


2.2.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1A

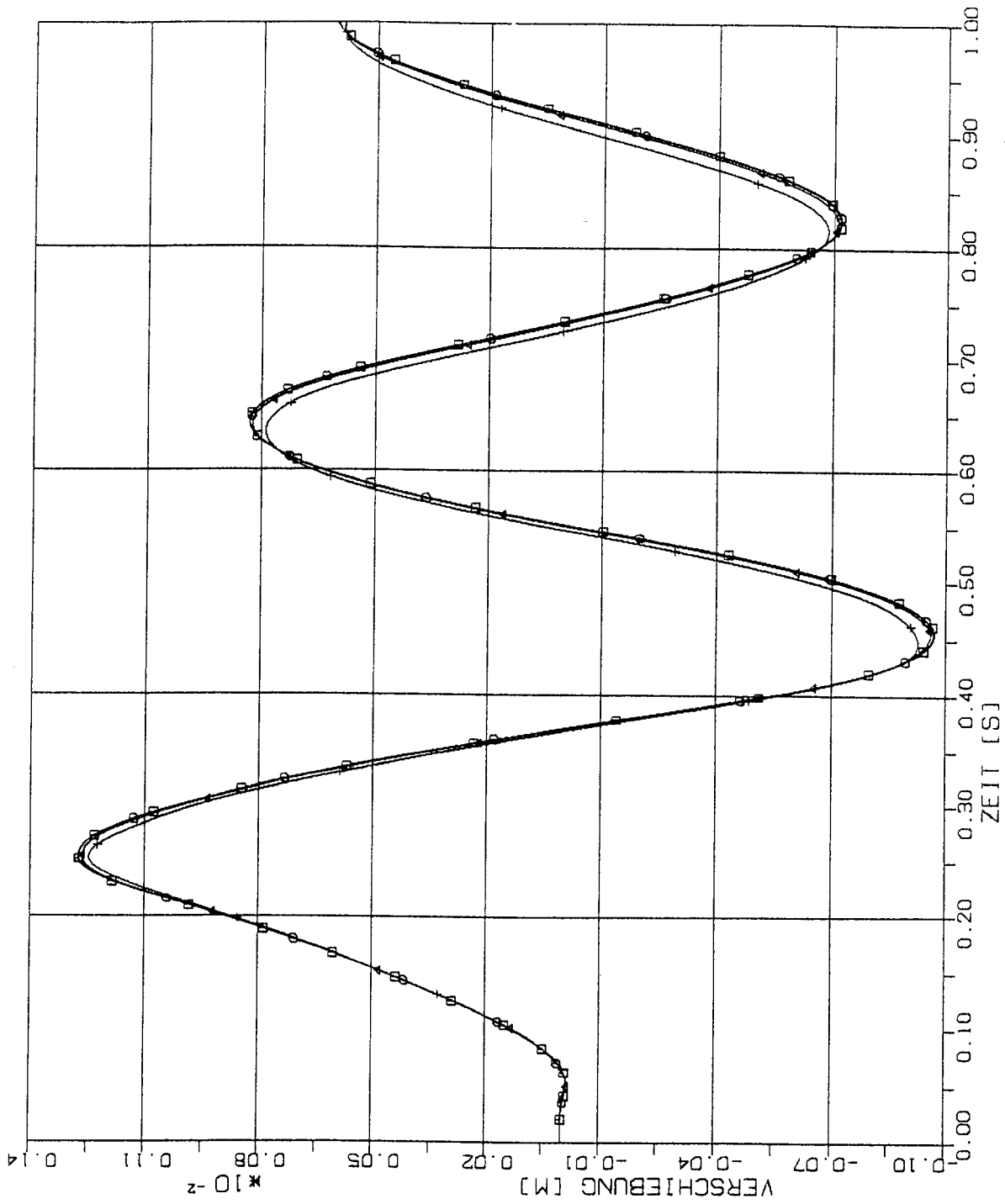
(Siehe Fig 1-4)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

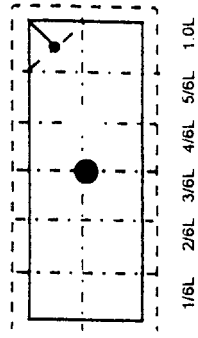


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

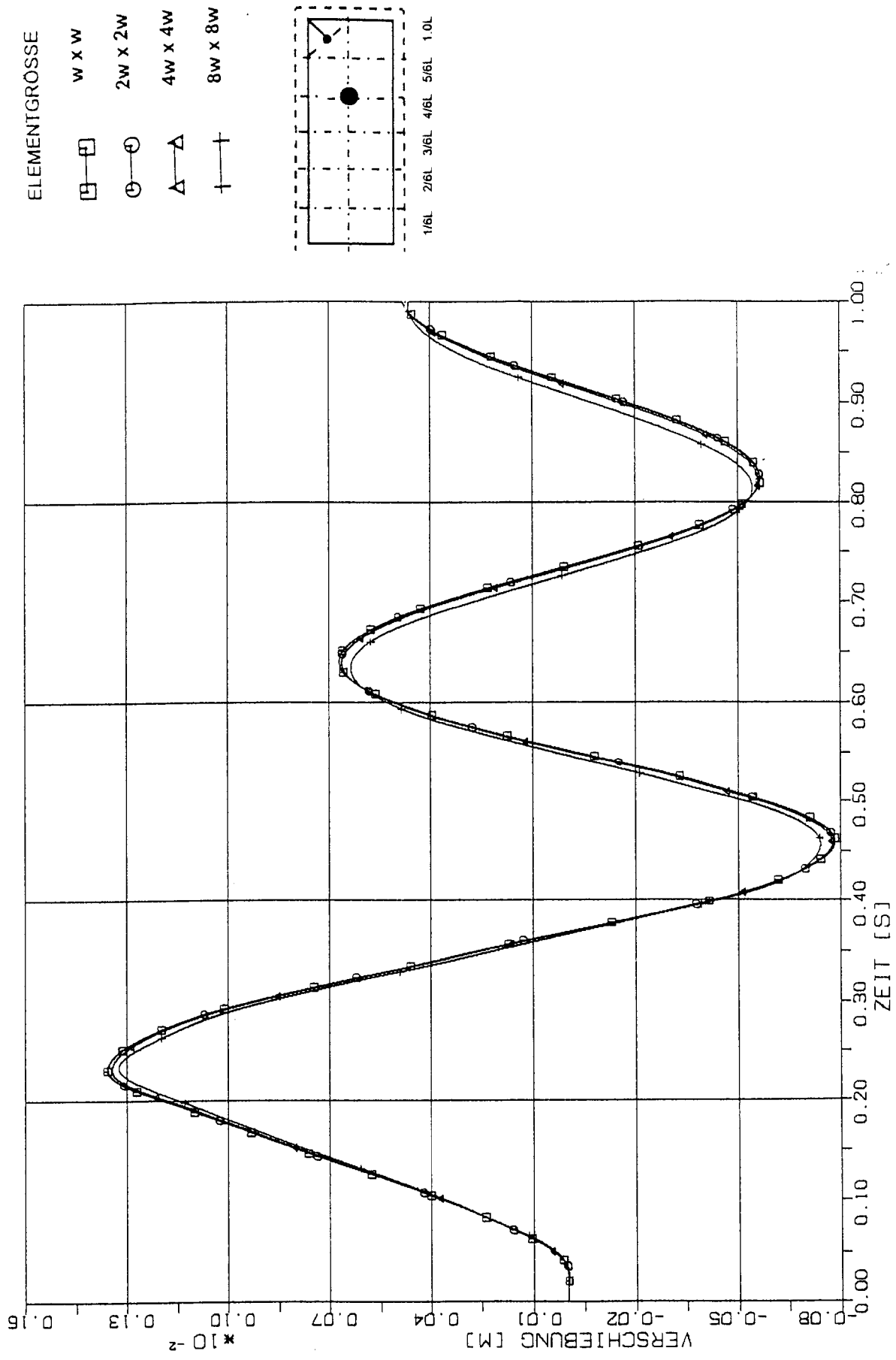


ELEMENTGRÖSSE

- — 1/6L
- — 3/6L
- △ — 4/6L
- † — 5/6L
- 1.0L







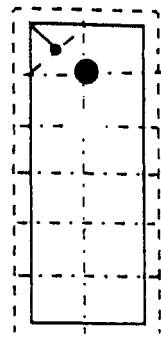
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE



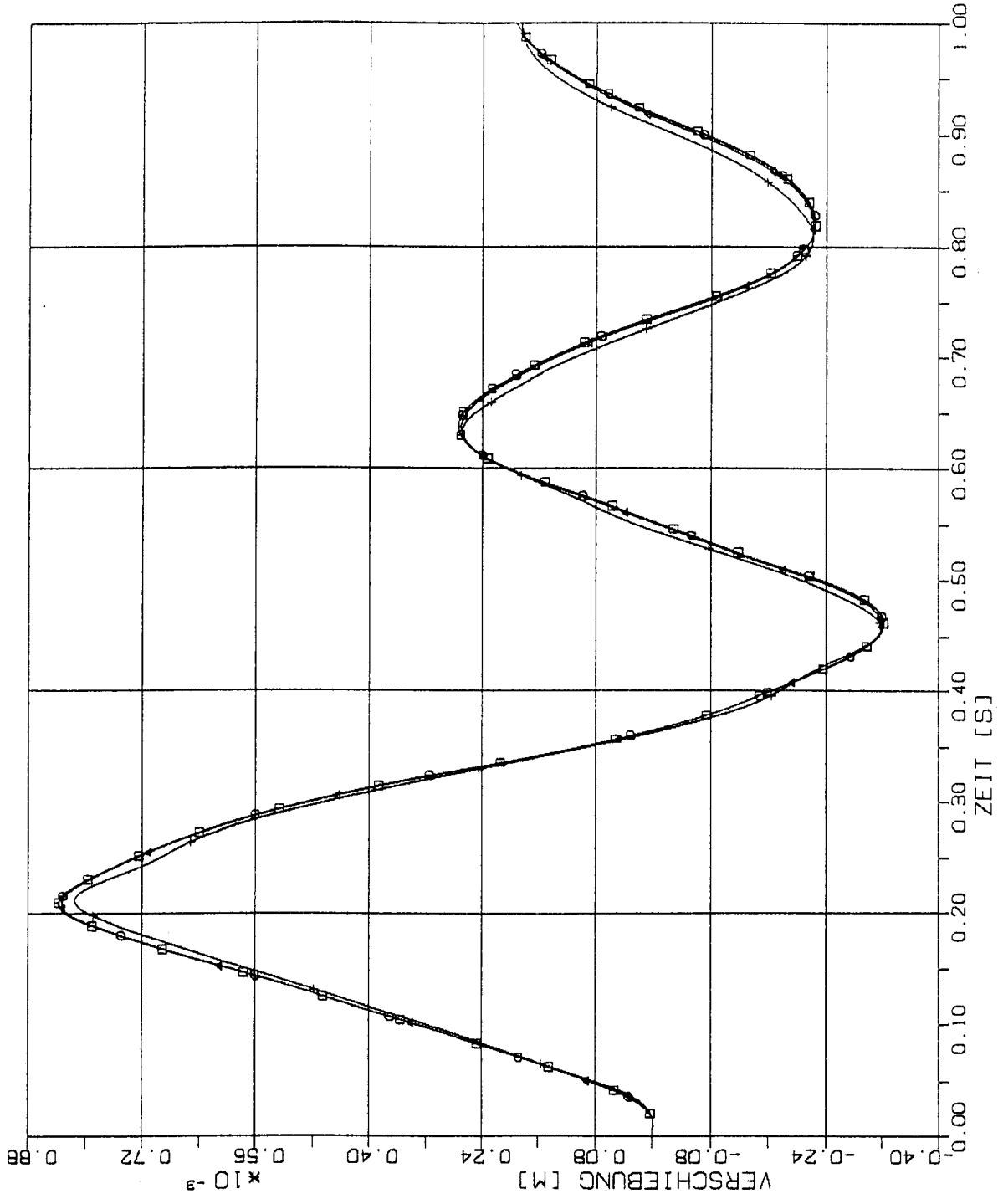
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG STJA SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

ELEMENTGRÖSSE

	W x W
	2W x 2W
	4W x 4W
	8W x 8W



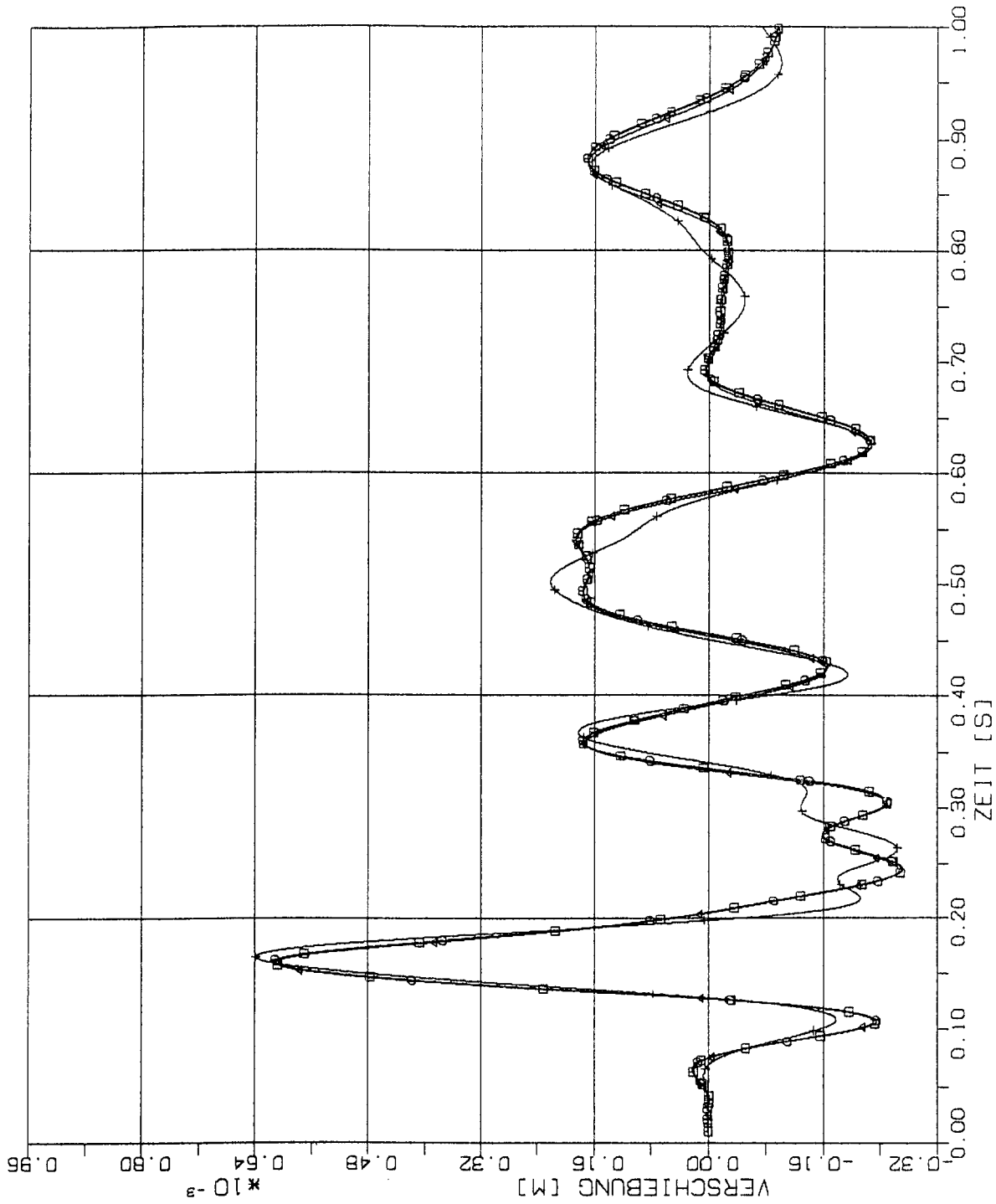
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 10L



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6.L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

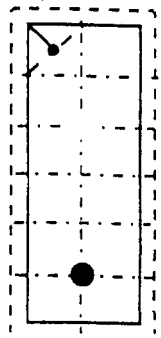
2.2.1.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-4)



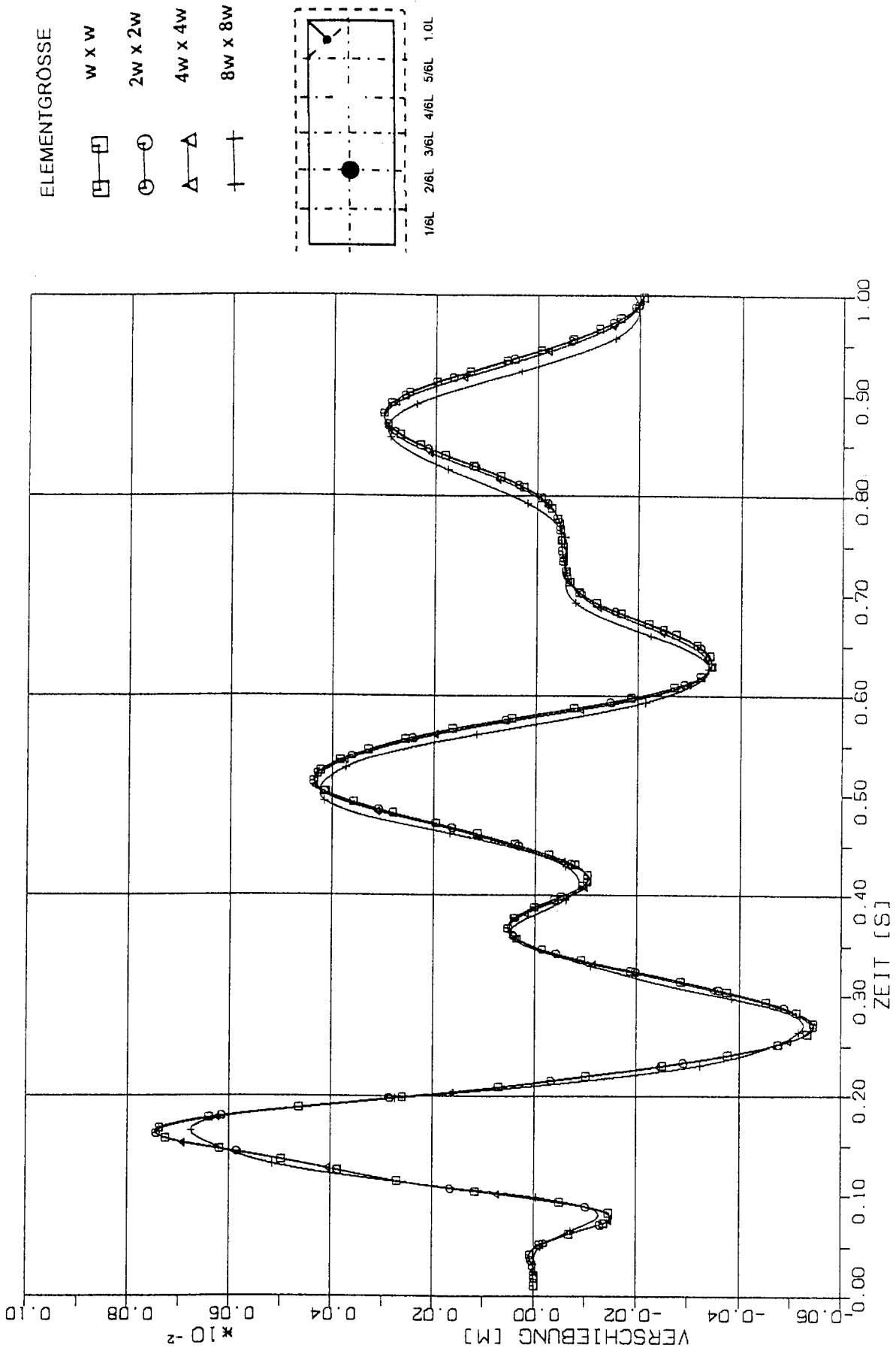
ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- 4W x 4W
- 8W x 8W

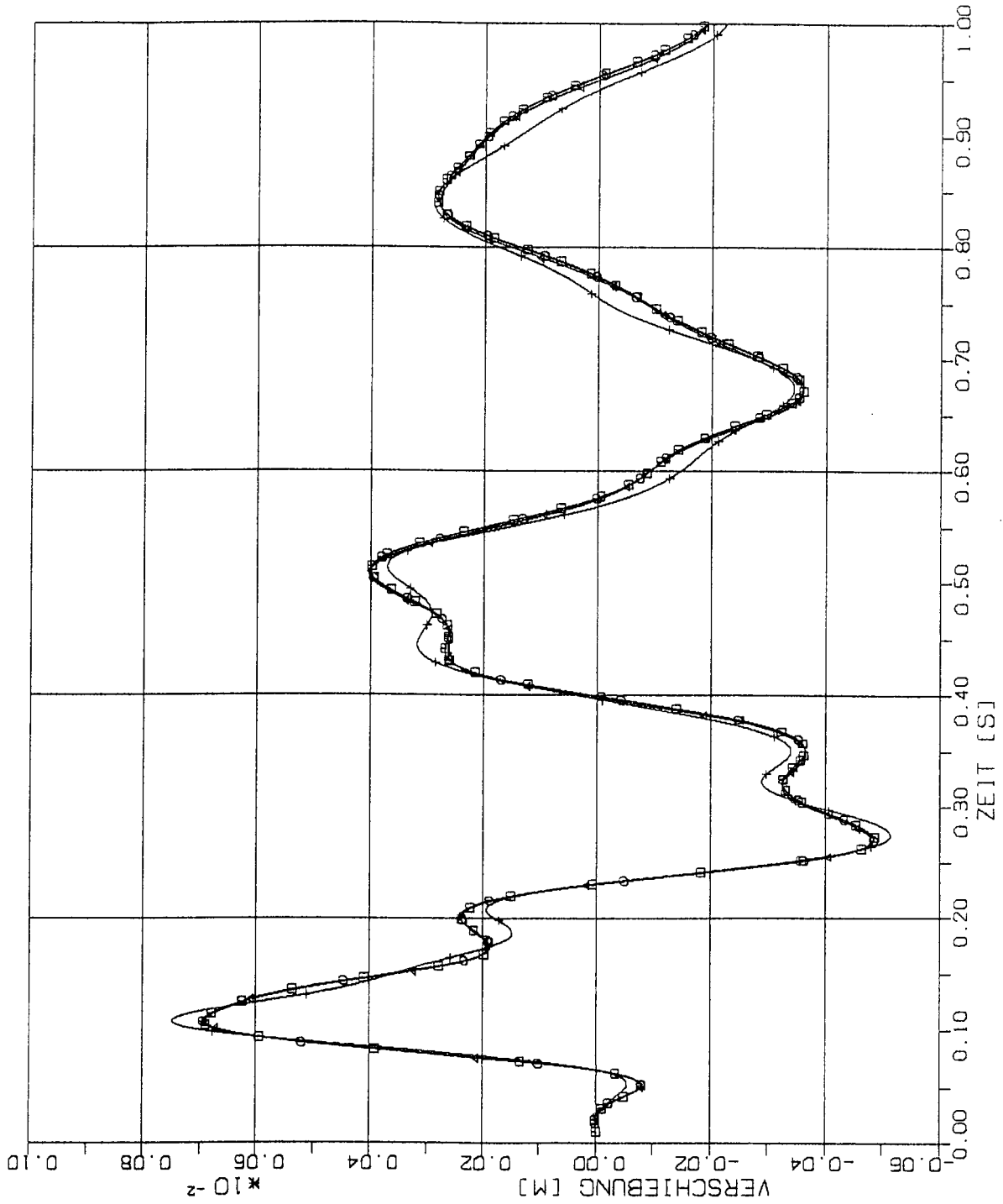


1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFCELAG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

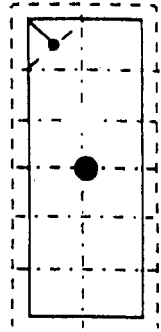


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



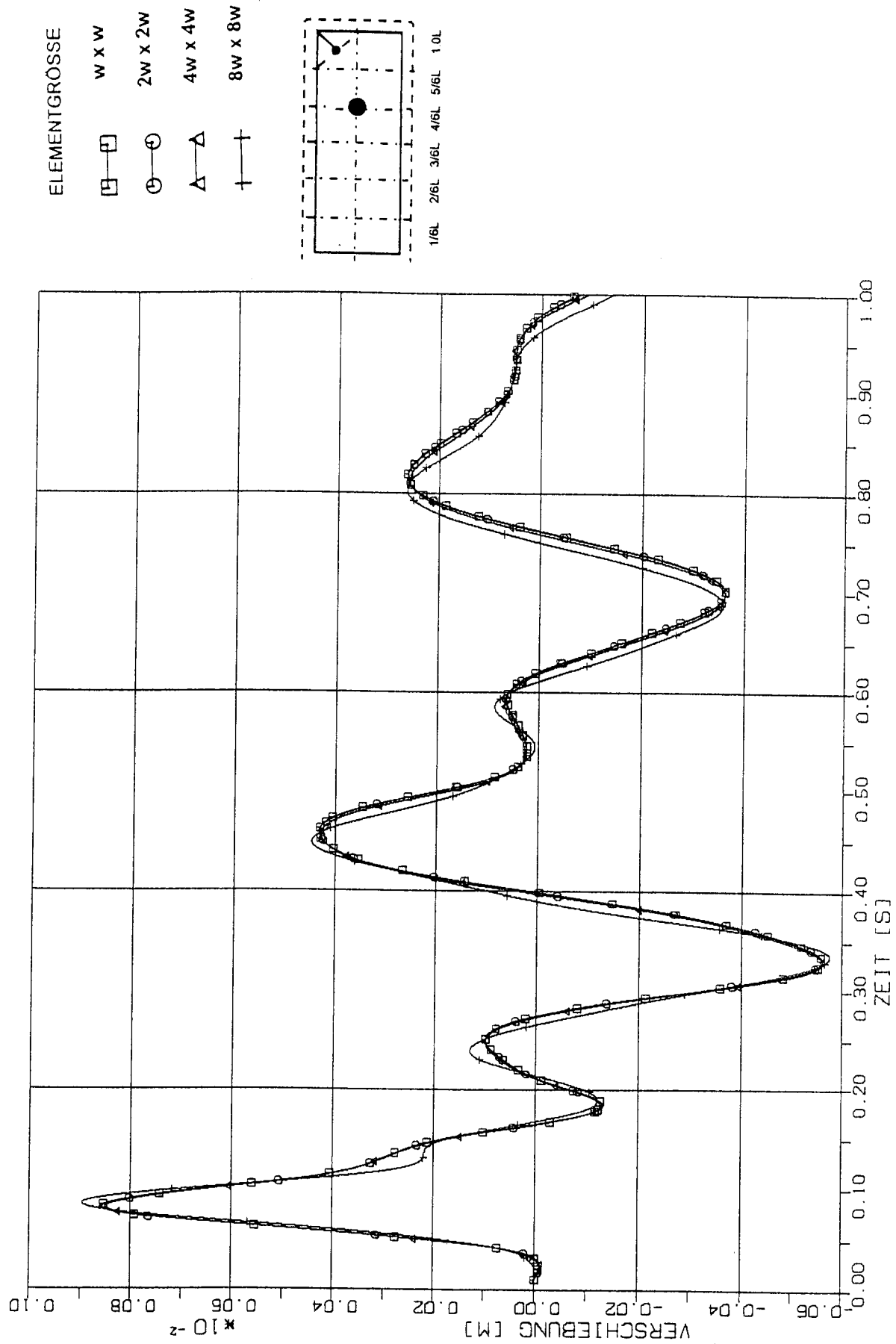
ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- + 8w x 8w

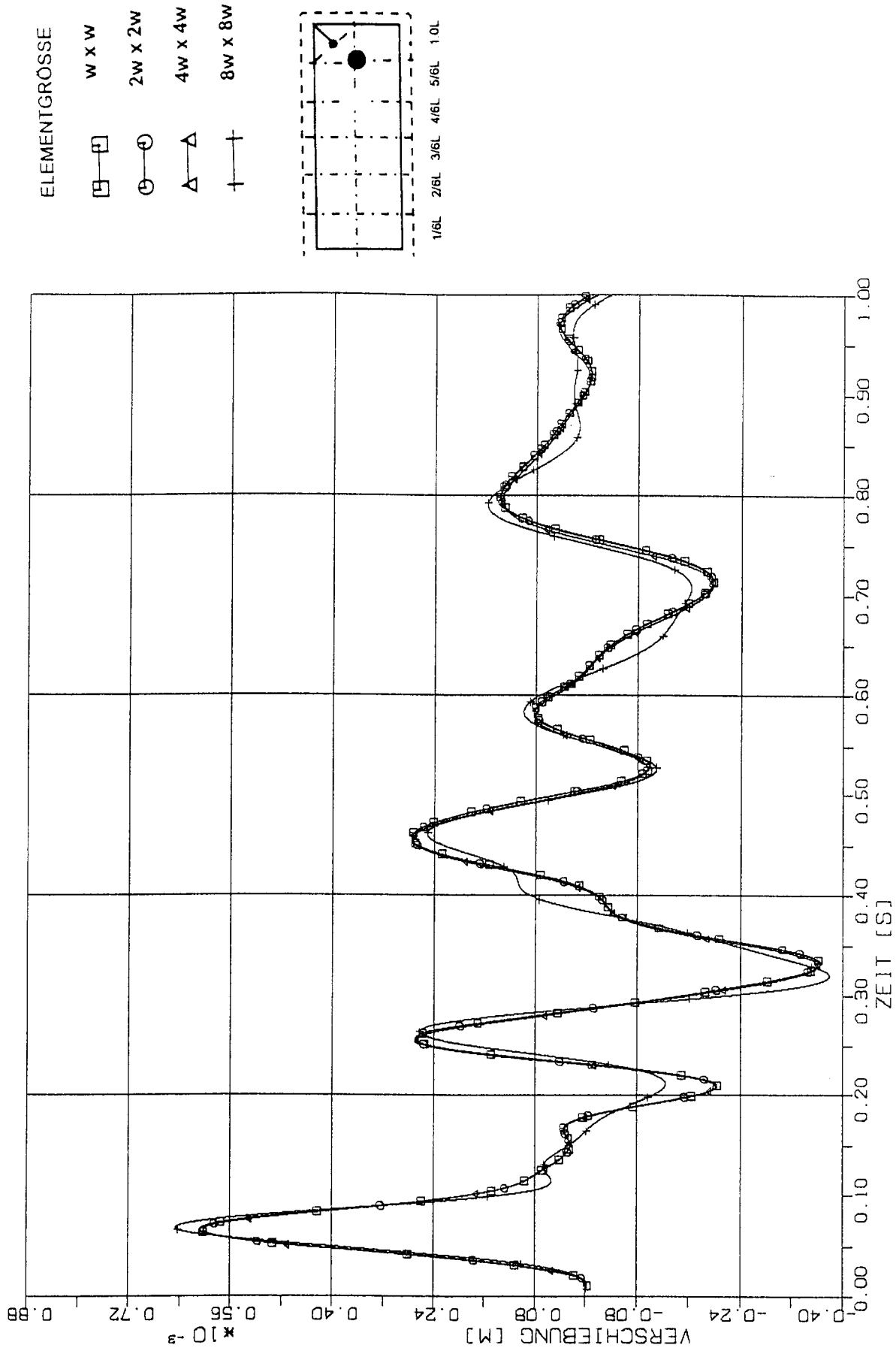


1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

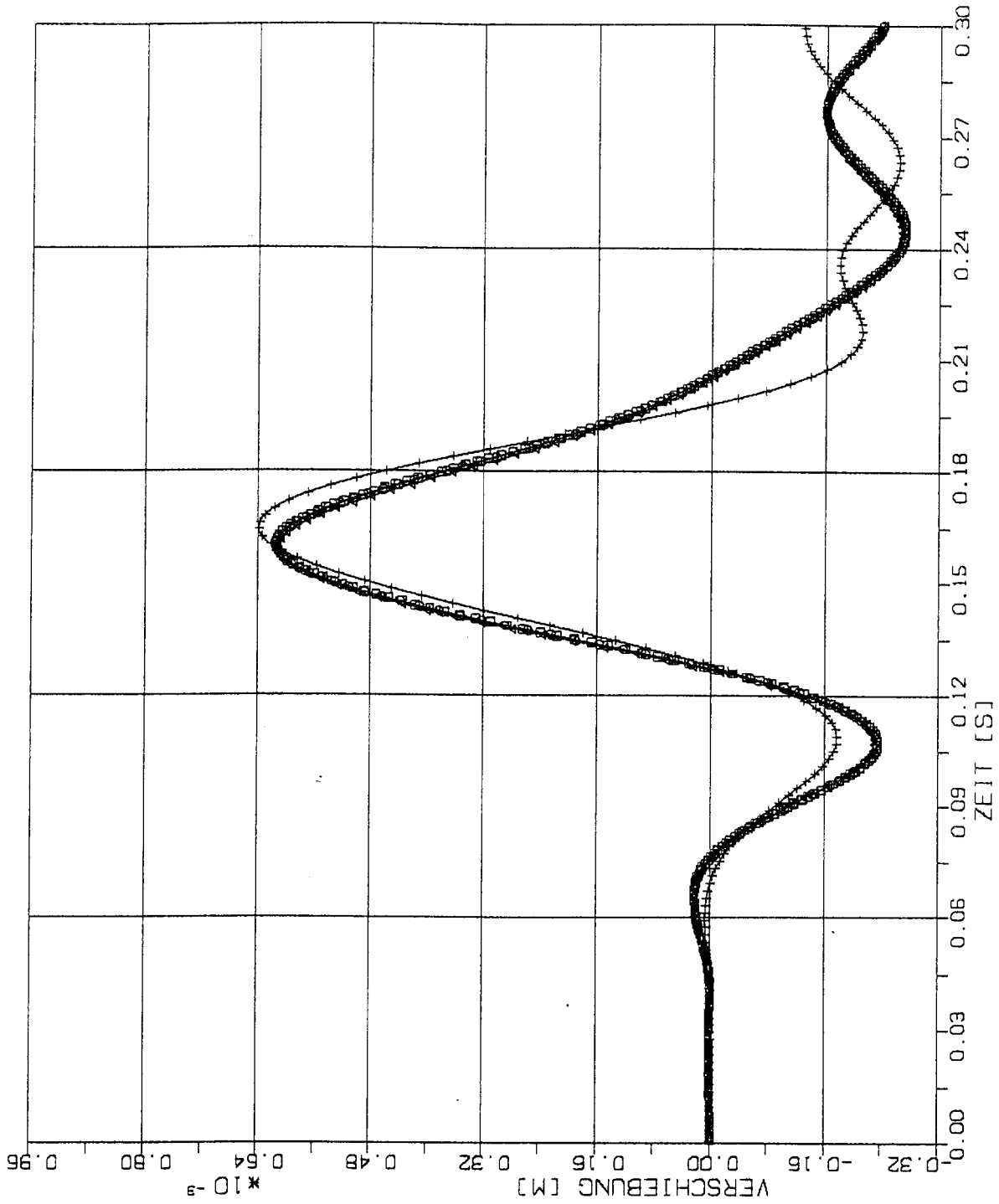
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



ELEMENTGRÖSSE



W x W



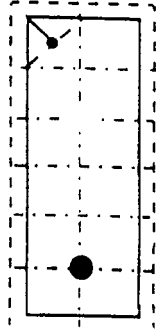
2W x 2W



4W x 4W

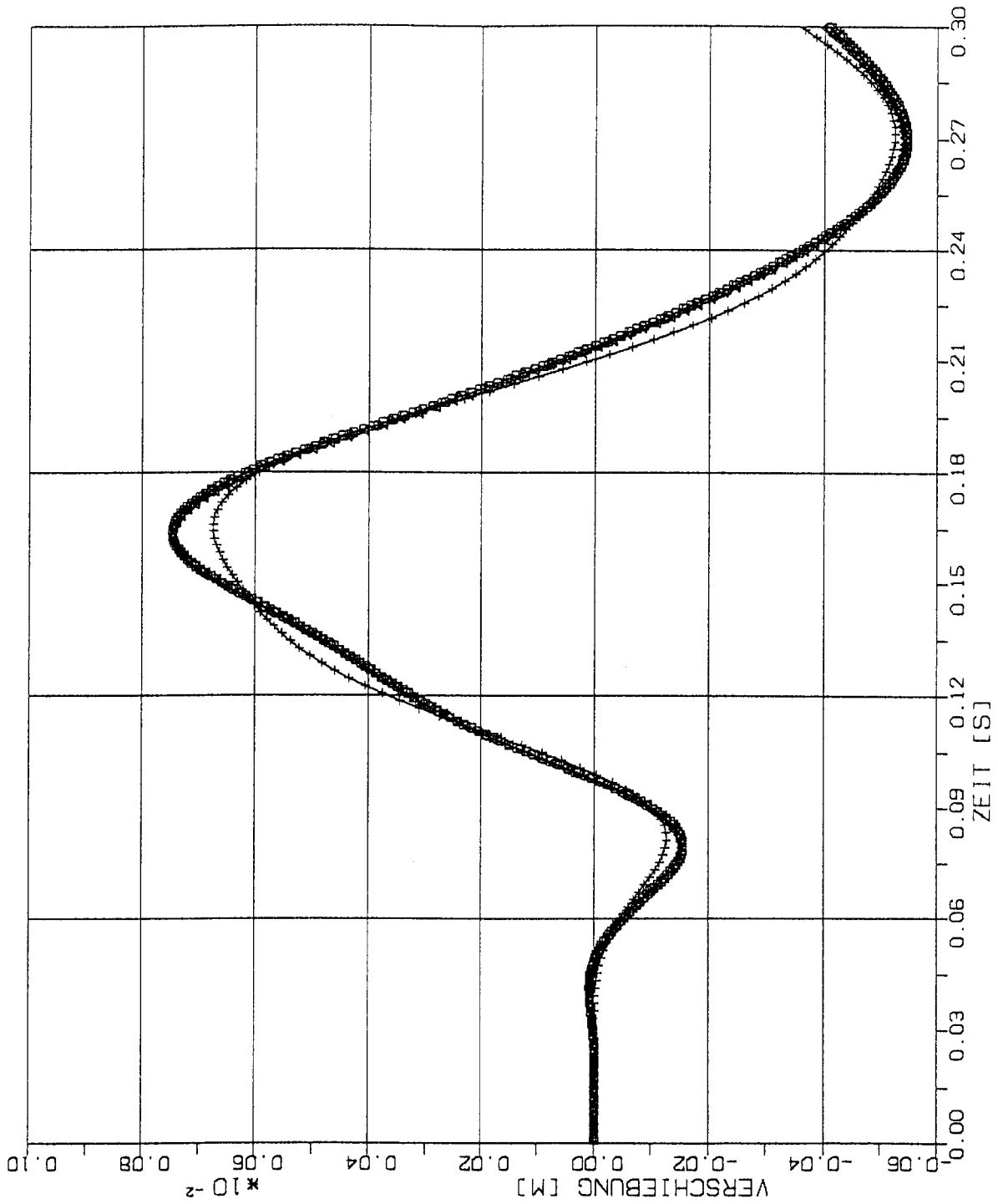


8W x 8W



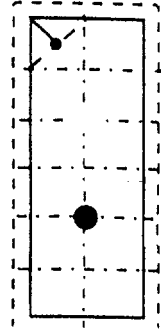
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 10L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



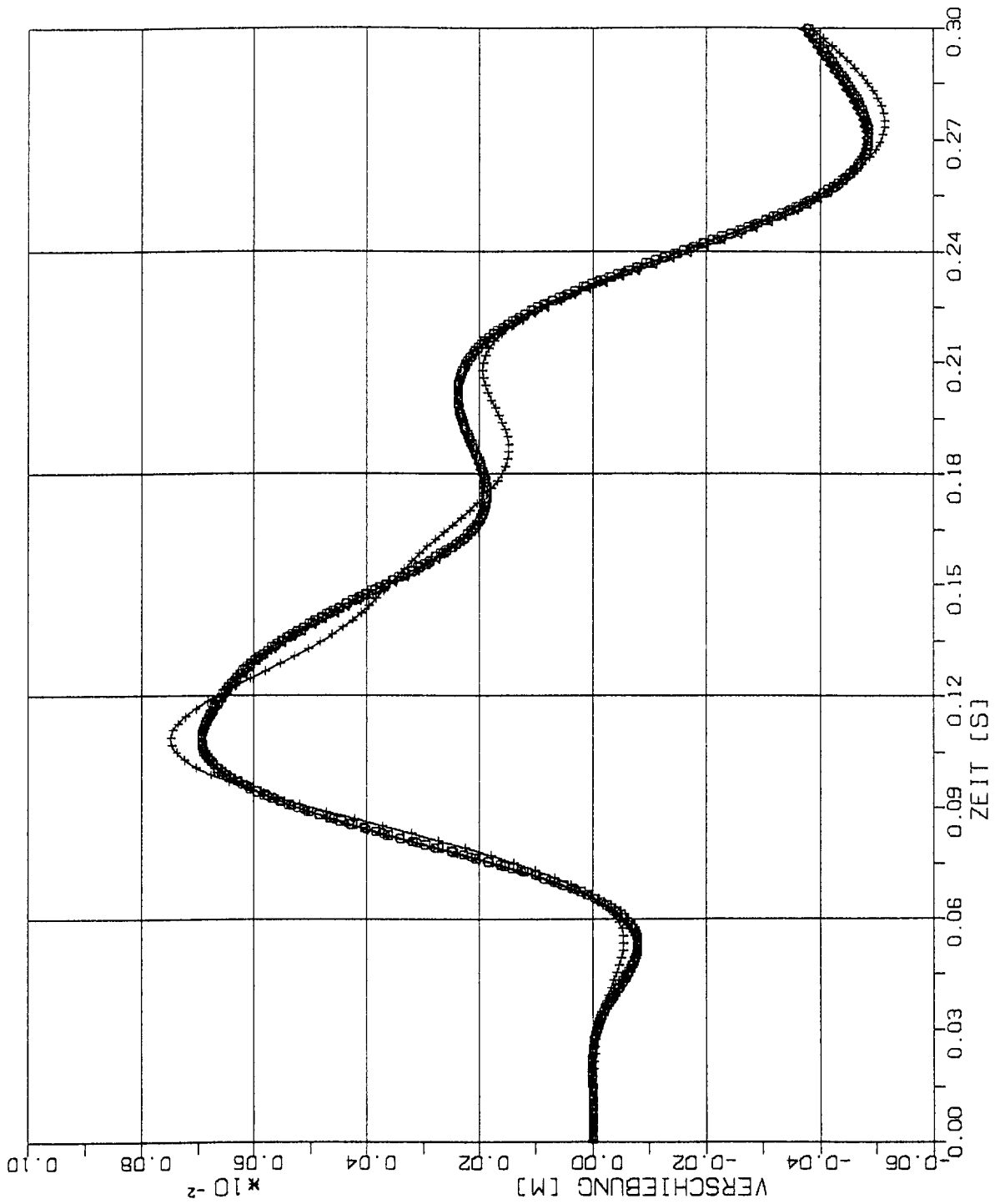
ELEMENTGRÖSSE

- 1 x 1
- 2 x 2
- △ 4 x 4
- +



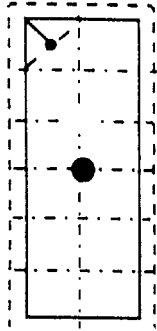
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



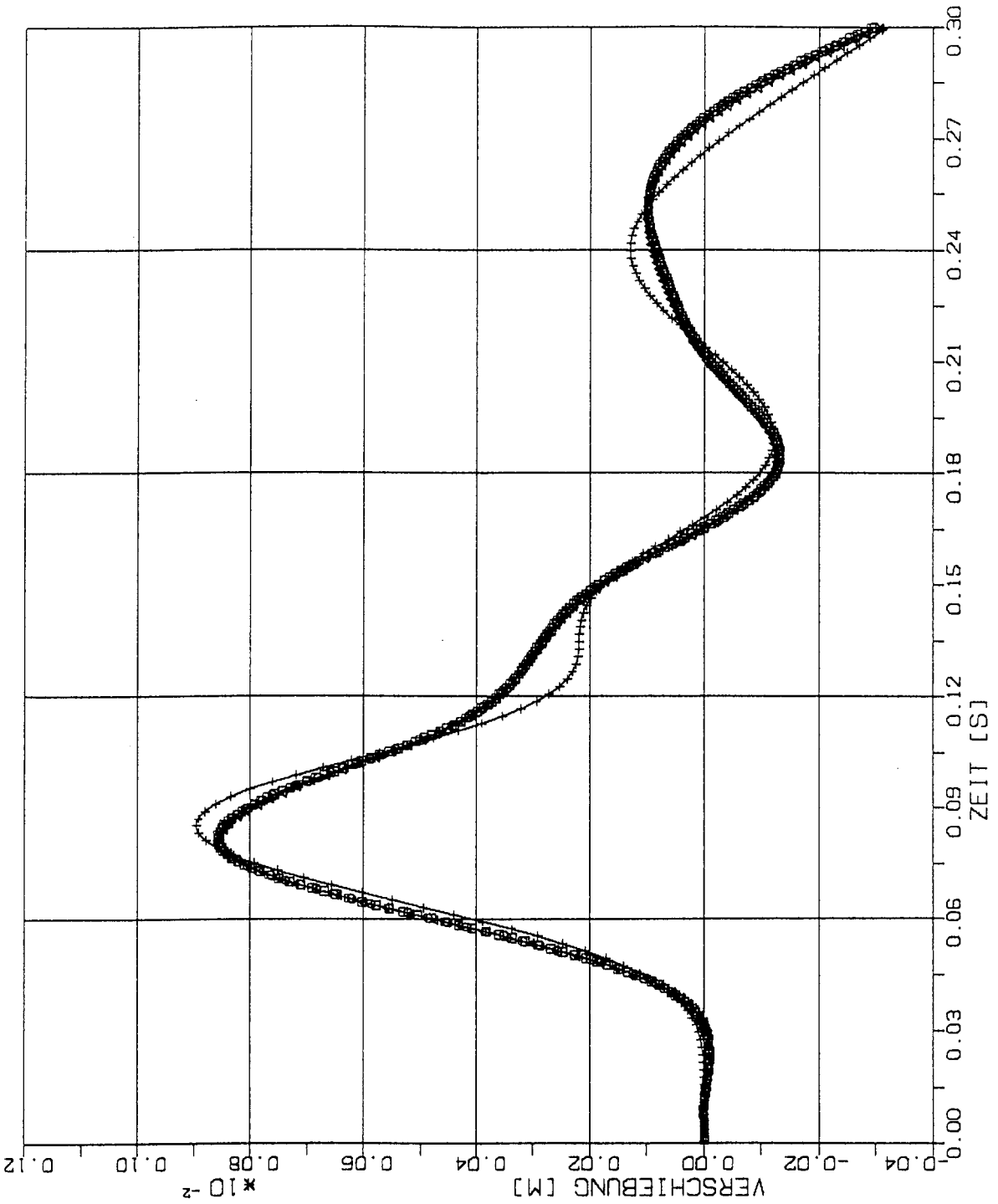
ELEMENTGRÖSSE

- $W \times W$
- $2W \times 2W$
- $4W \times 4W$
- $8W \times 8W$



1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

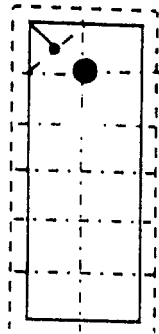
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE



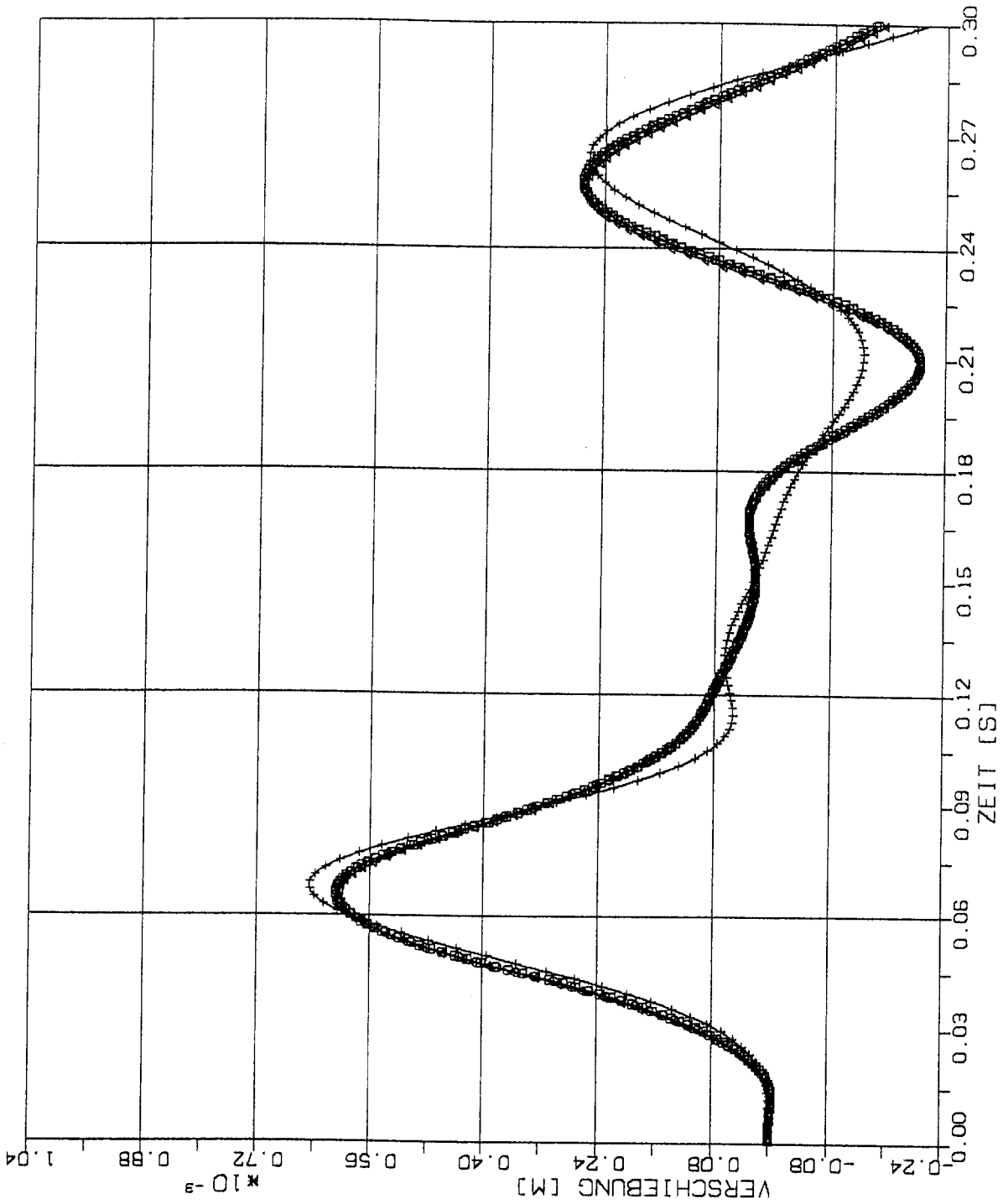
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- ⊖ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W
- ⊥ 81 x 81

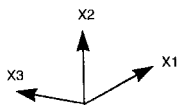
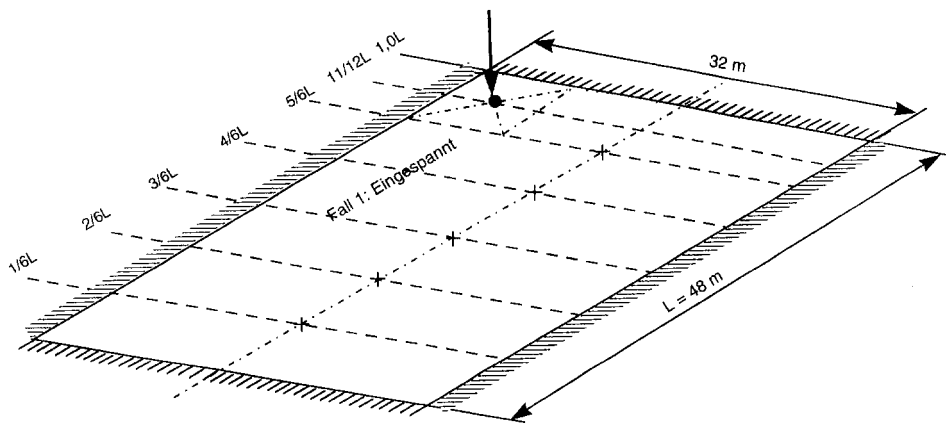


1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L



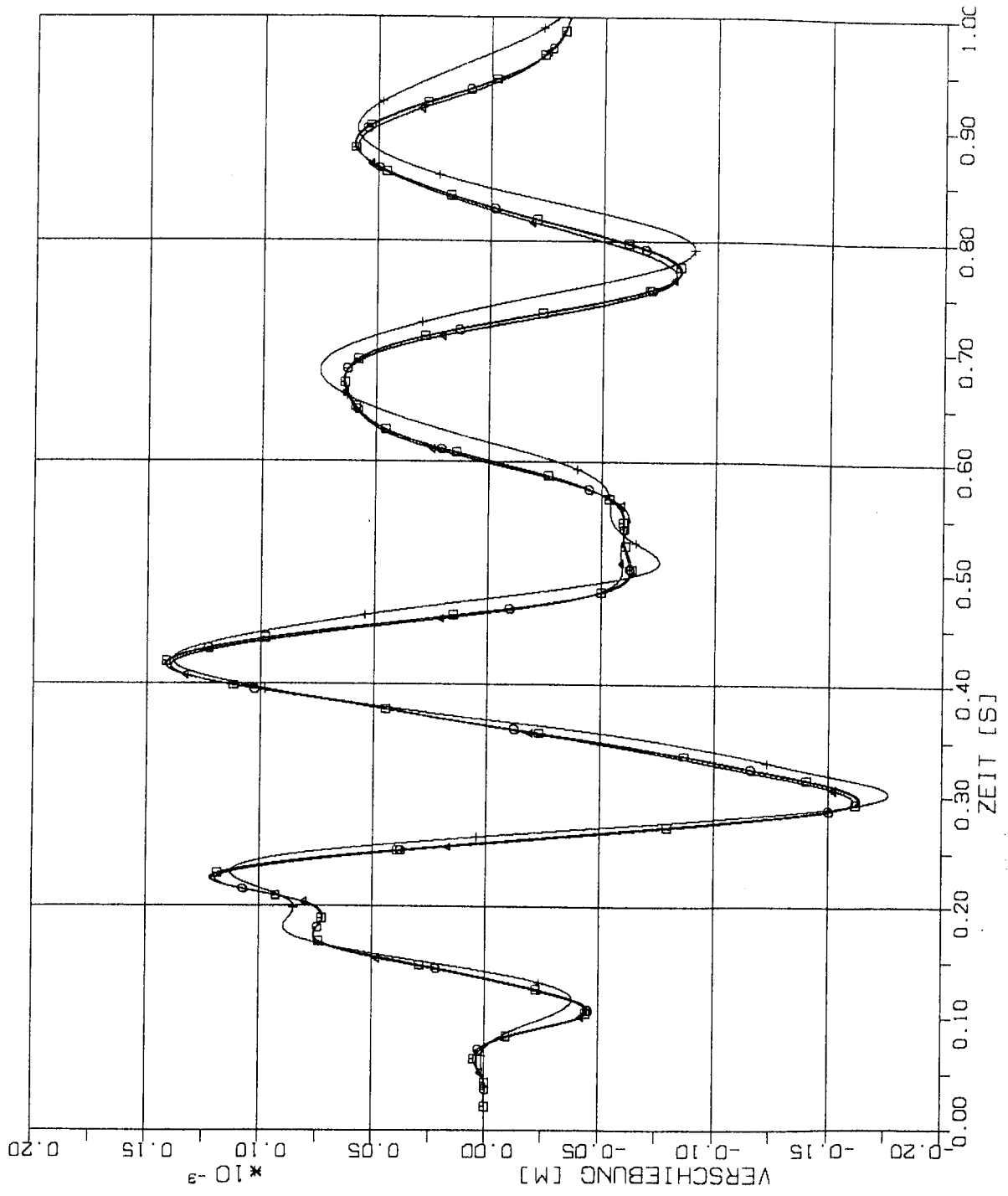
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

2.2.2 Platte mit Kontureinspannung (Strukturantworten senkrecht zur Plattenebene)







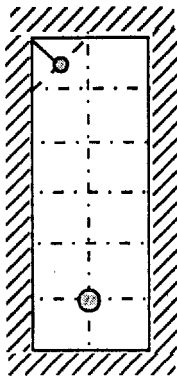
2.2.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1K

(Siehe Fig 1-4)



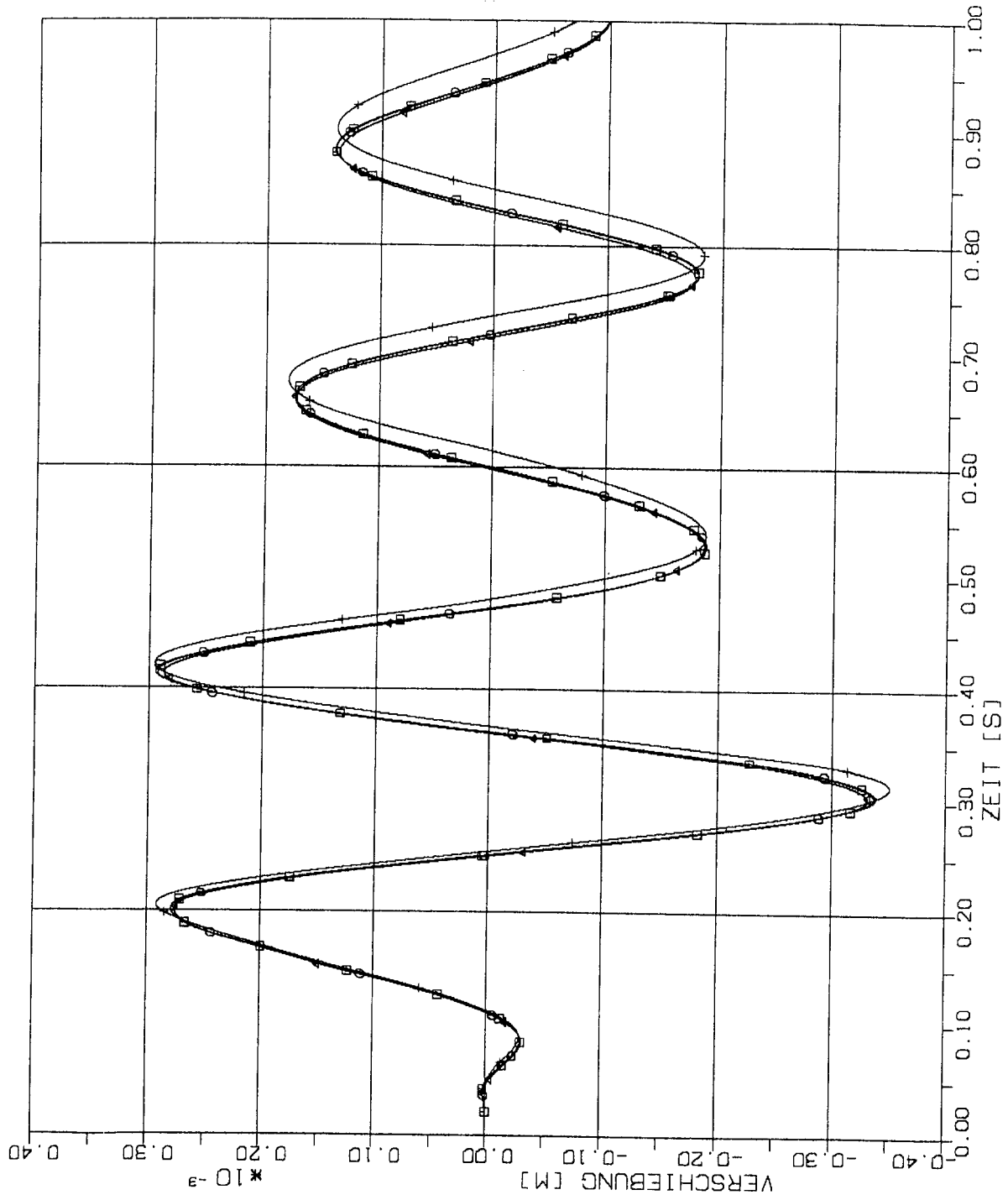
ELEMENTGRÖSSE

-  w x w
-  2w x 2w
-  4w x 4w
-  8w x 8w



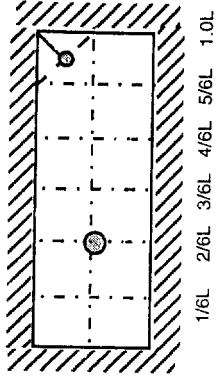
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



ELEMENTGRÖSSE

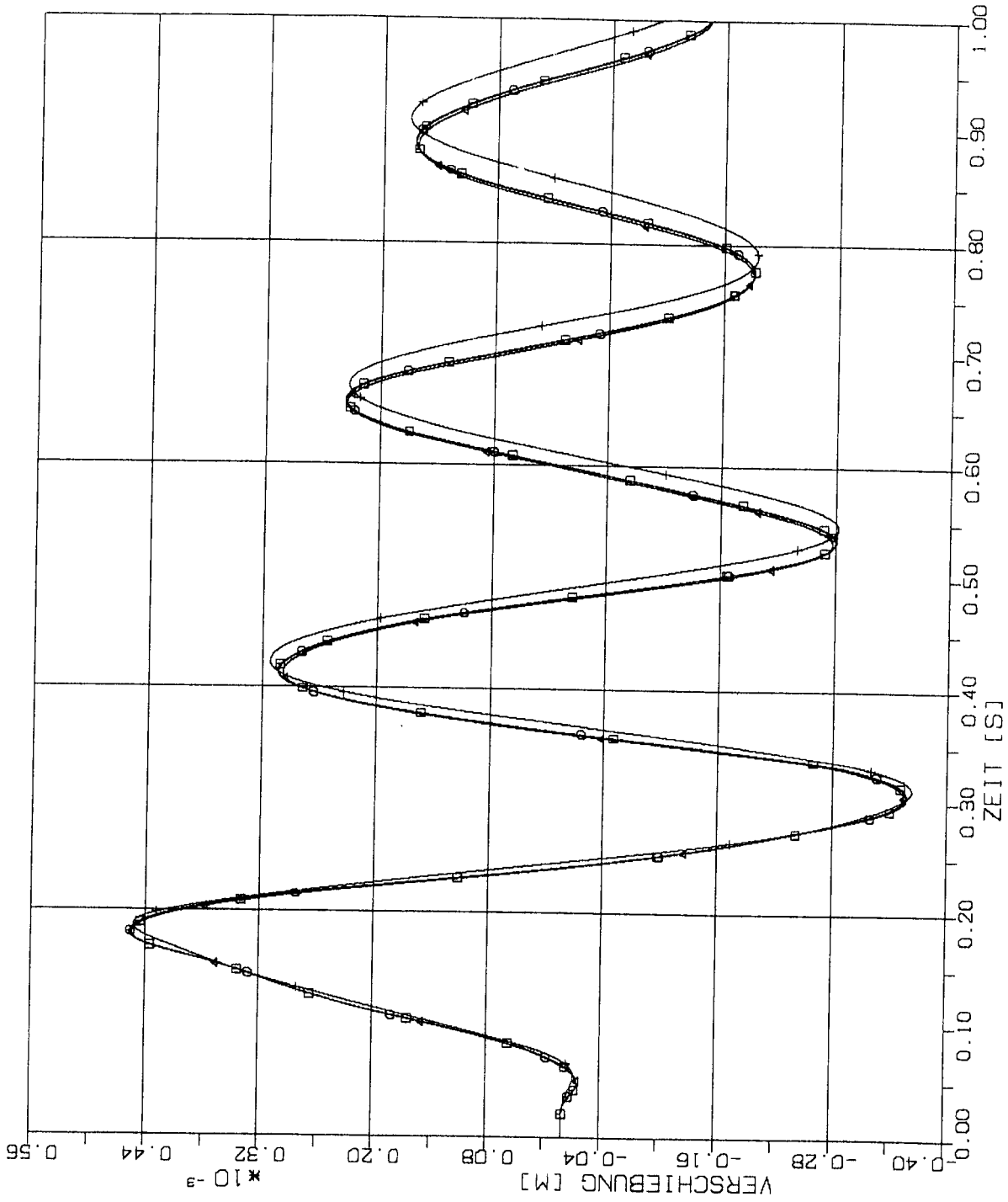
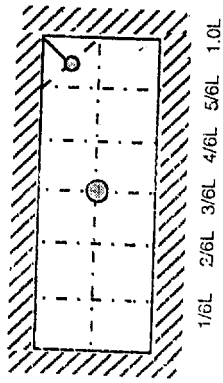
- w x w
- 2w x 2w
- 4w x 4w
- 8w x 8w



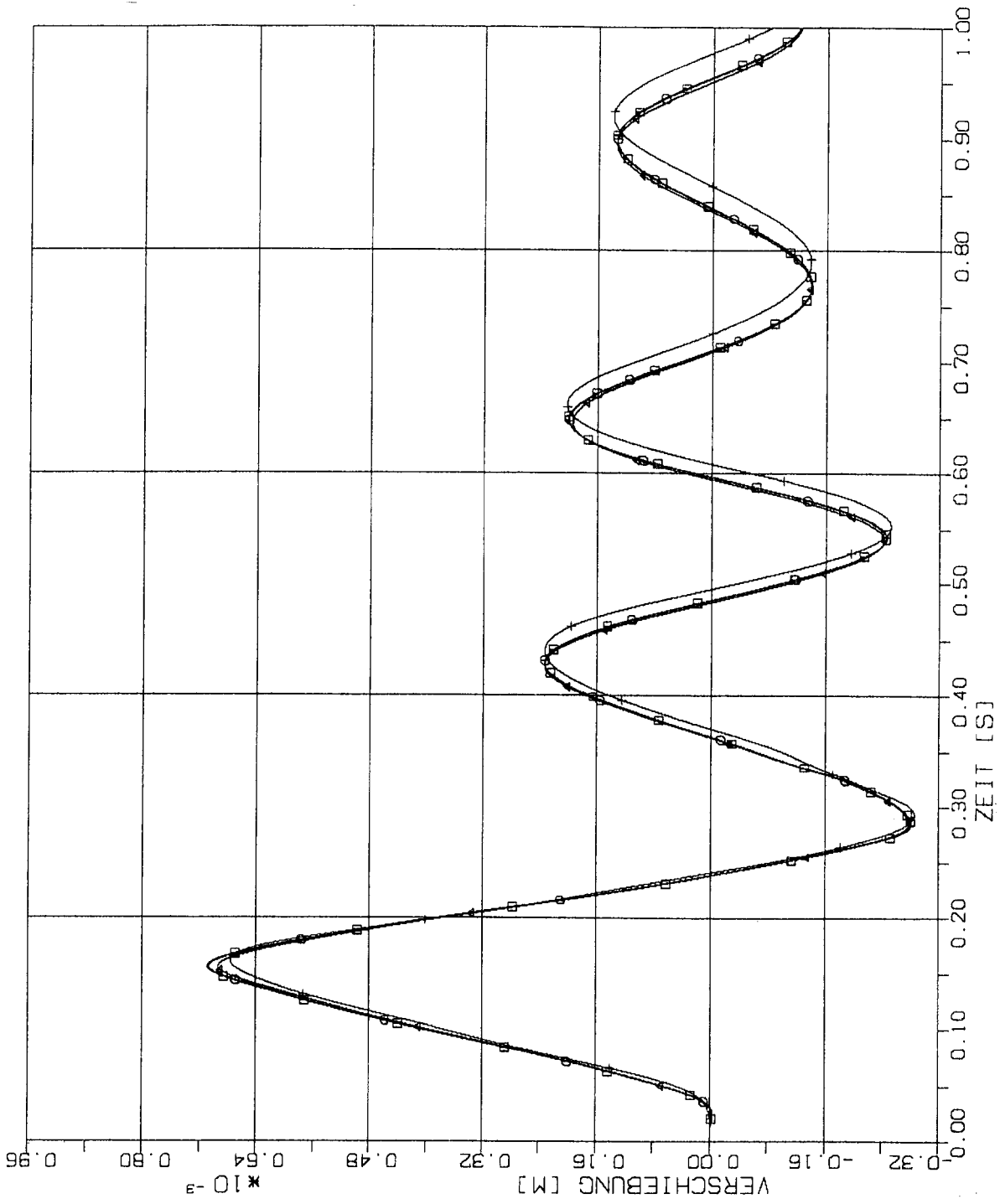
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- ⊙ 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

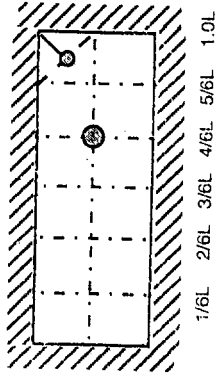


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

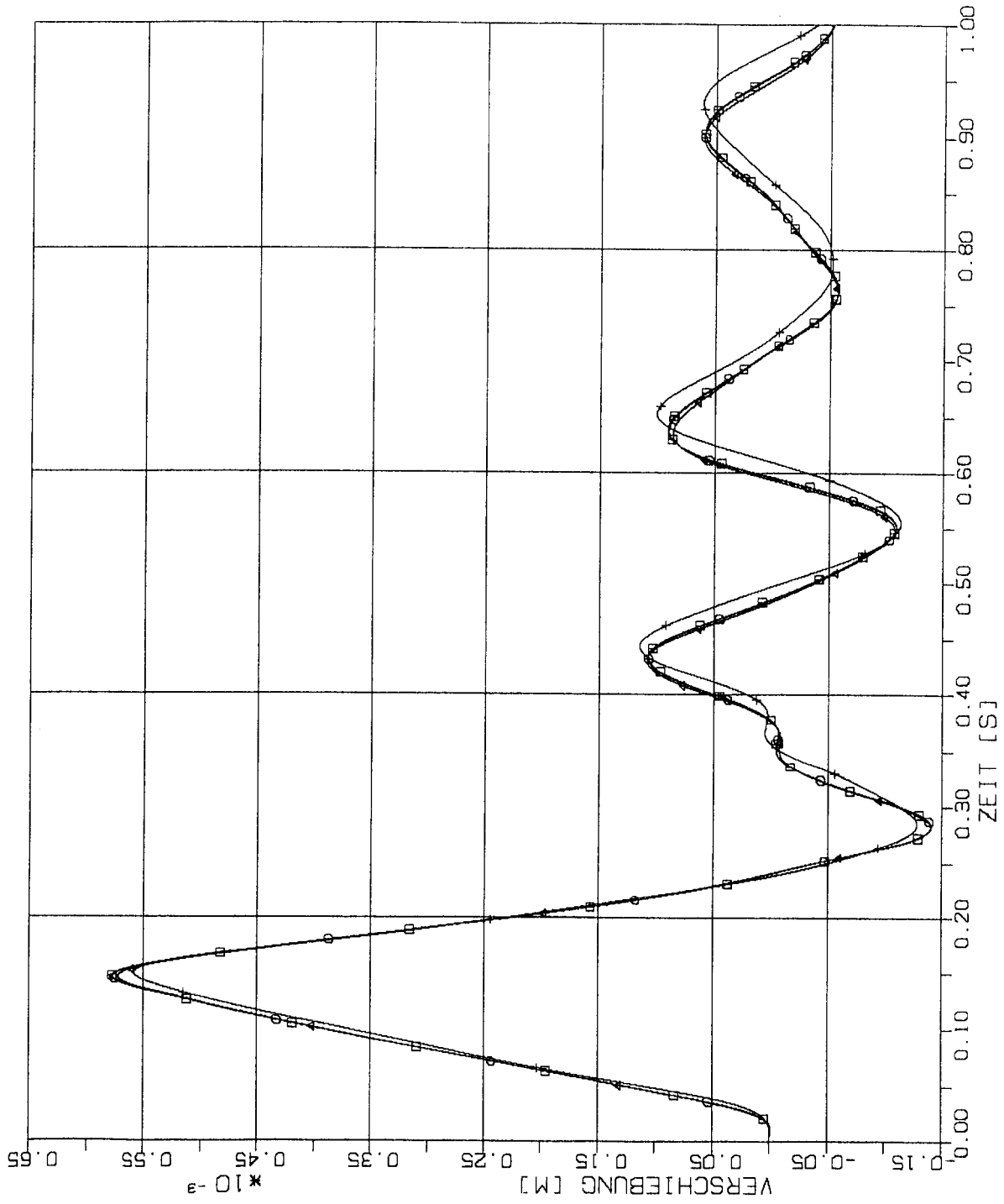


ELEMENTGRÖSSE

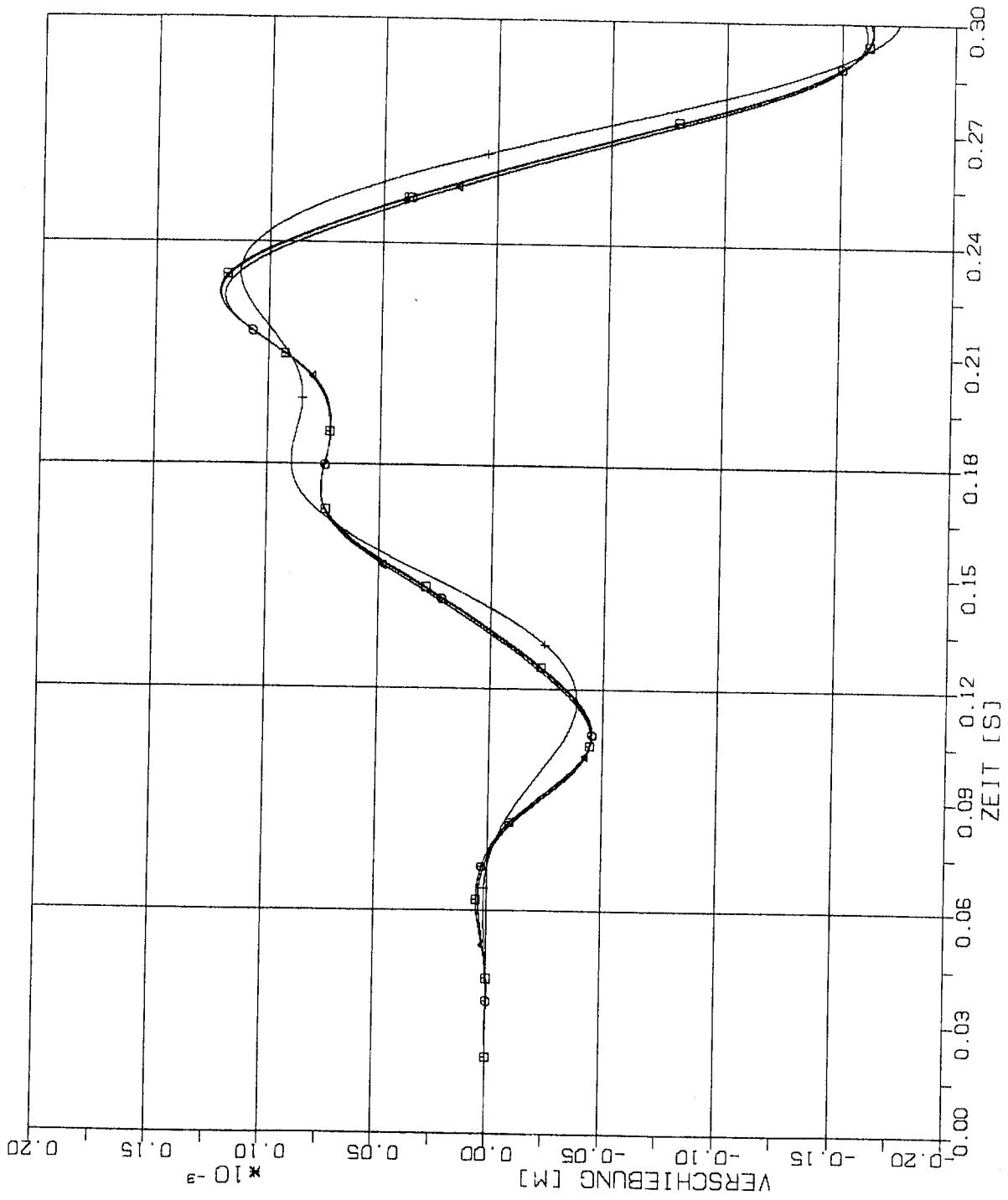
- \square w x w
- \ominus 2w x 2w
- \triangle 4w x 4w
- \dagger 8w x 8w



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1K SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

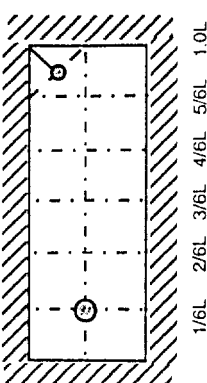


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1K SENKRECHT ZUR PLATTENEbene







ELEMENTGRÖSSE

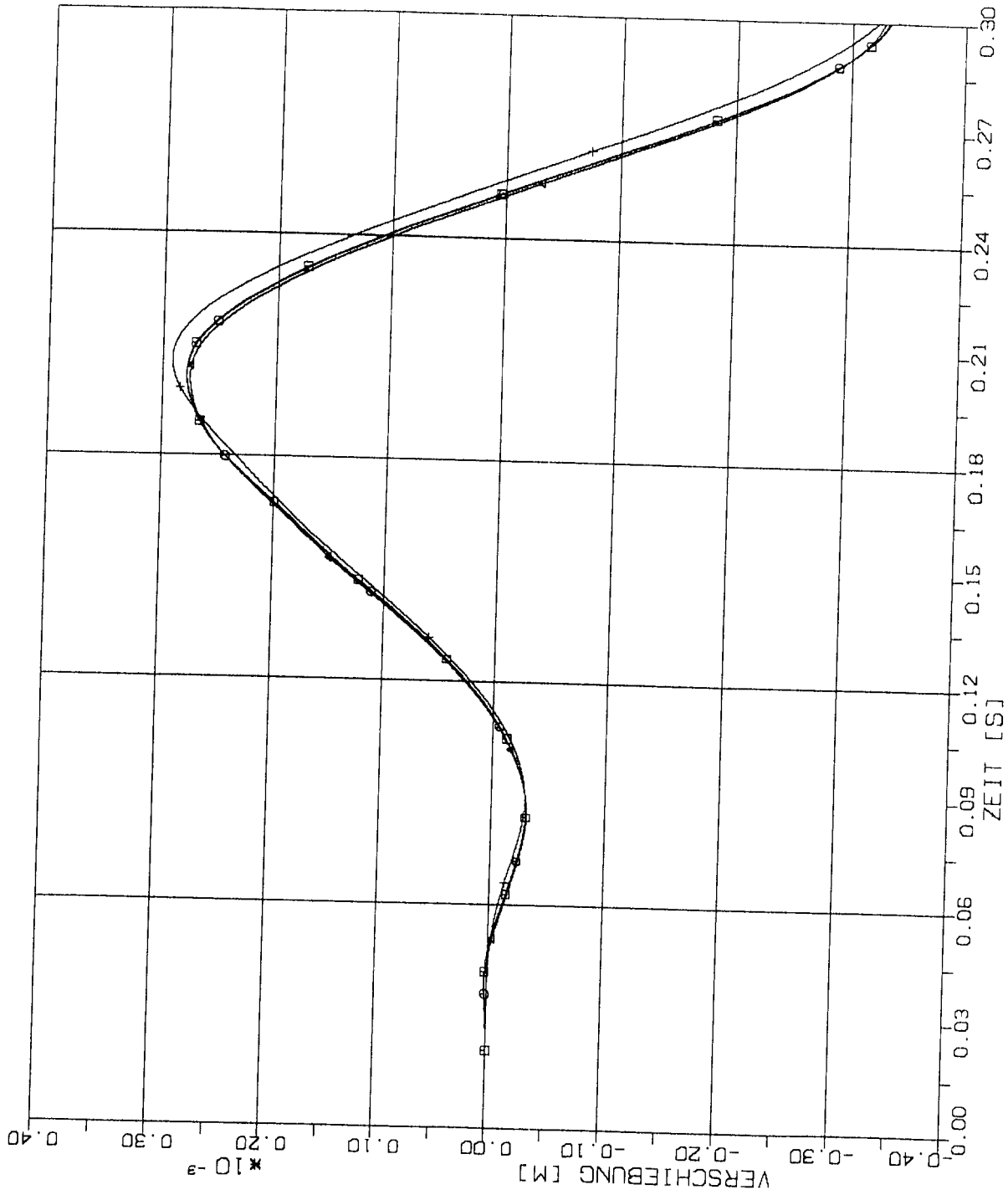
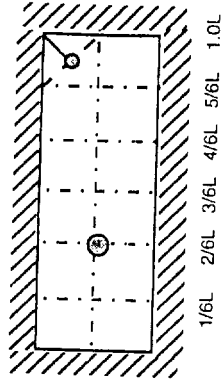
- \square $W \times W$
- \bigcirc $2W \times 2W$
- \triangle $4W \times 4W$
- \times $8W \times 8W$



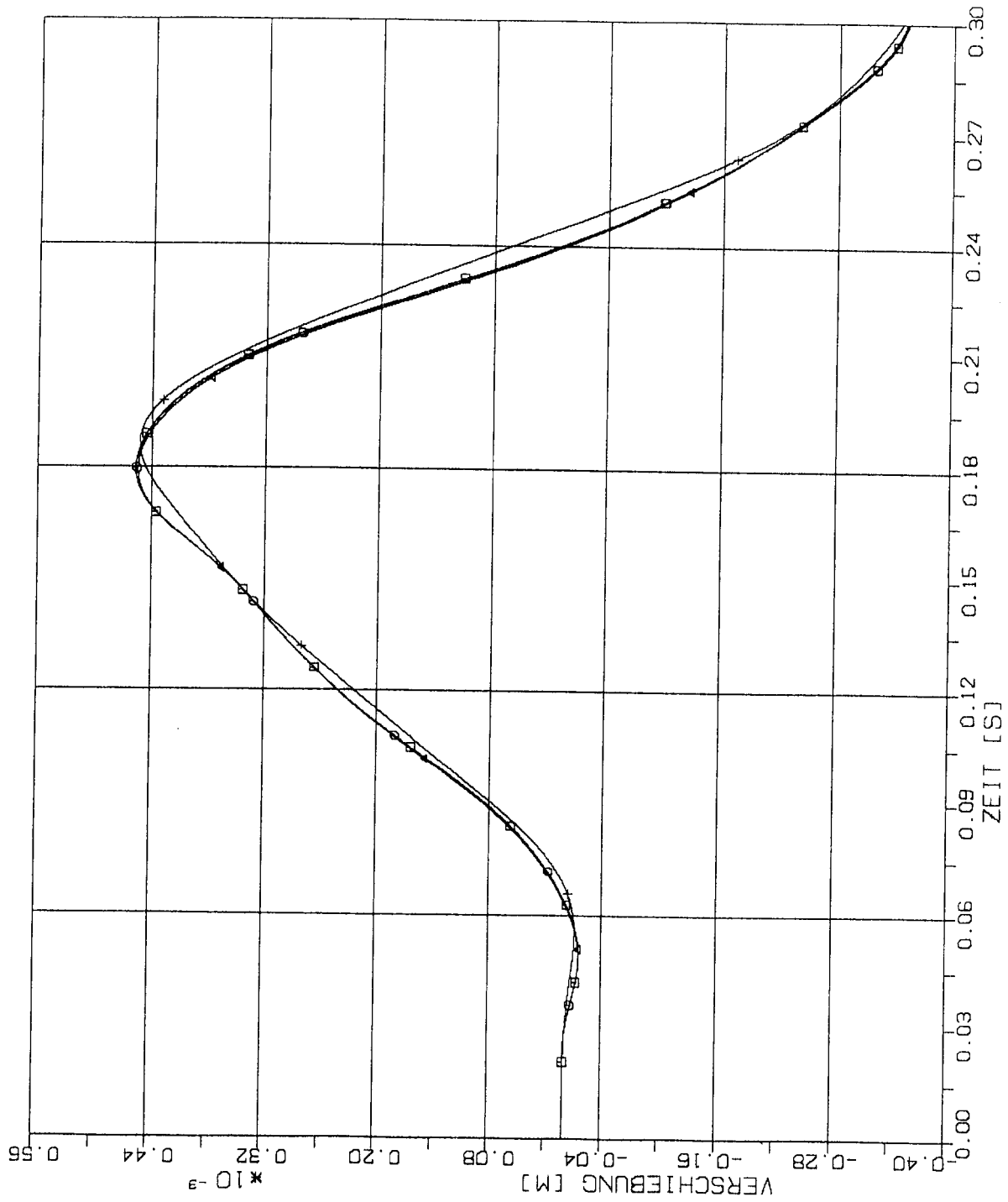
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLÄUFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

ELEMENTGRÖSSE

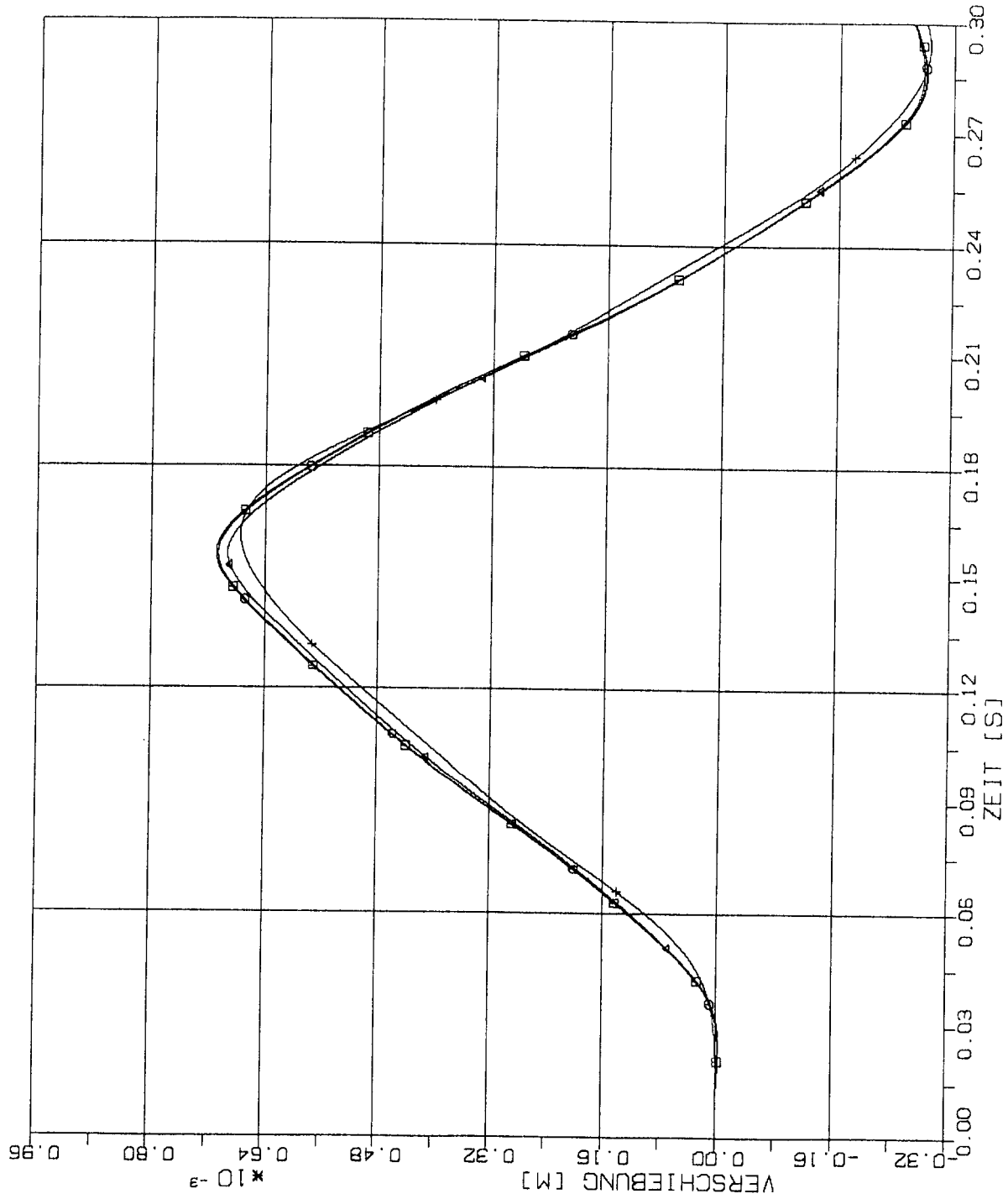
-  w x w
-  2w x 2w
-  4w x 4w
-  8w x 8w



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

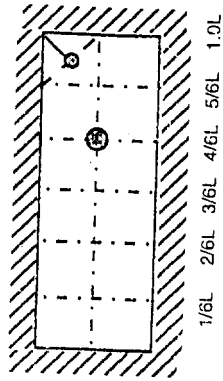


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

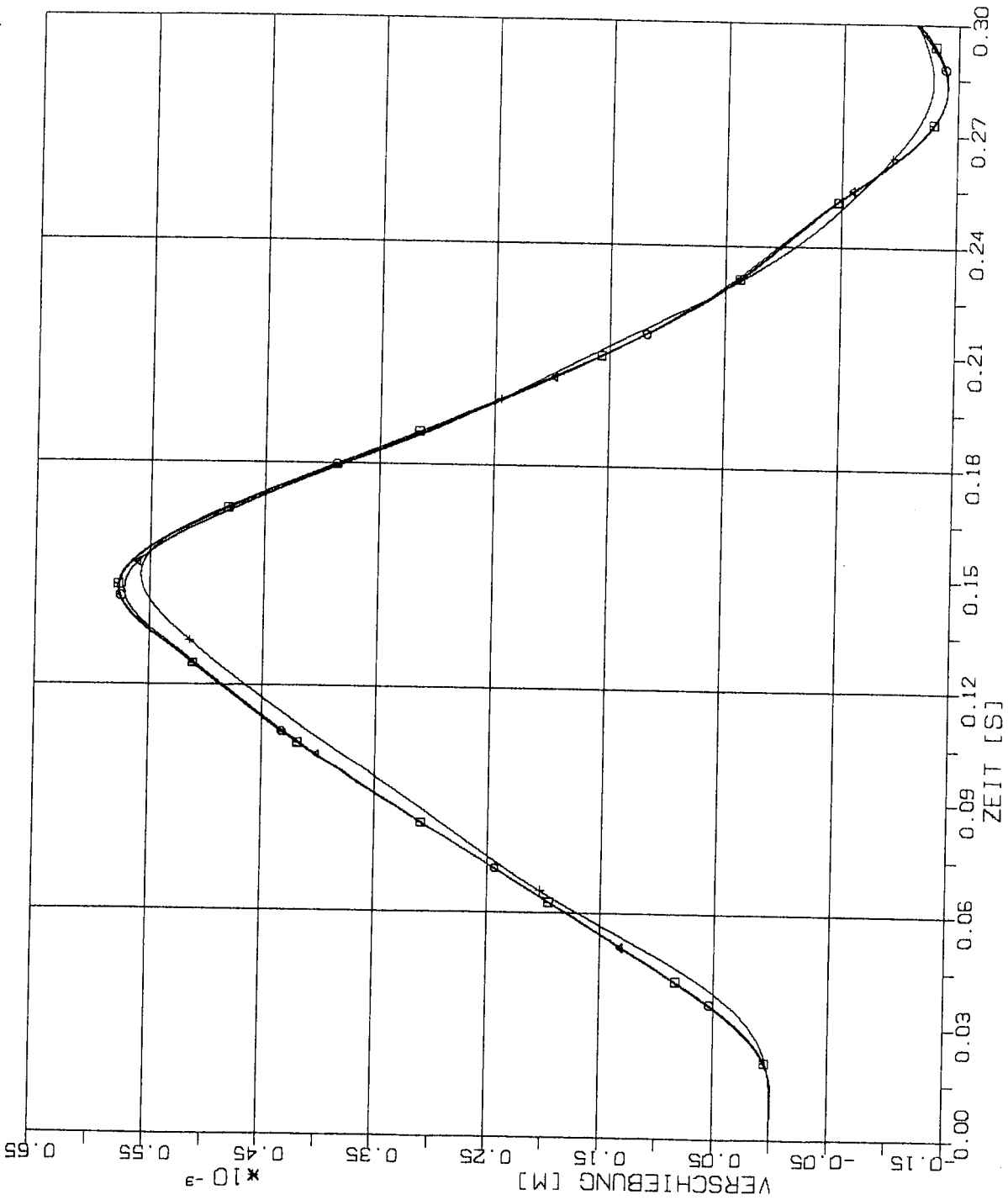


ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- ⊙ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

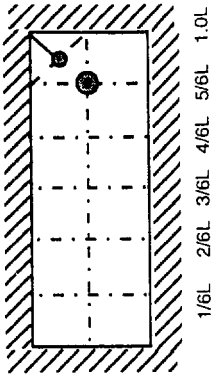


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



ELEMENTGRÖSSE

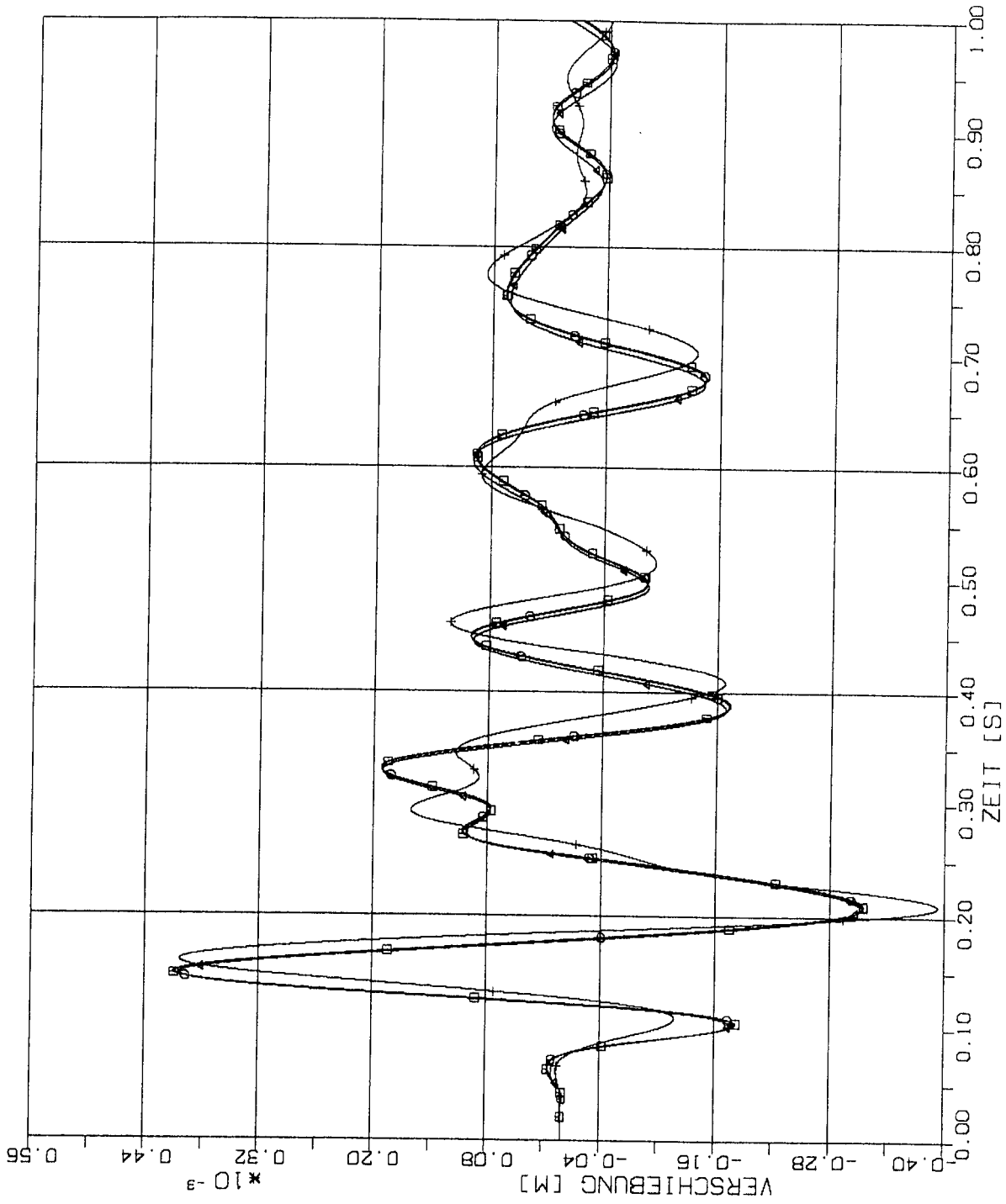
- w x w
- ⊙ 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

2.2.2.2 Stoß-Lastfunktion ST3

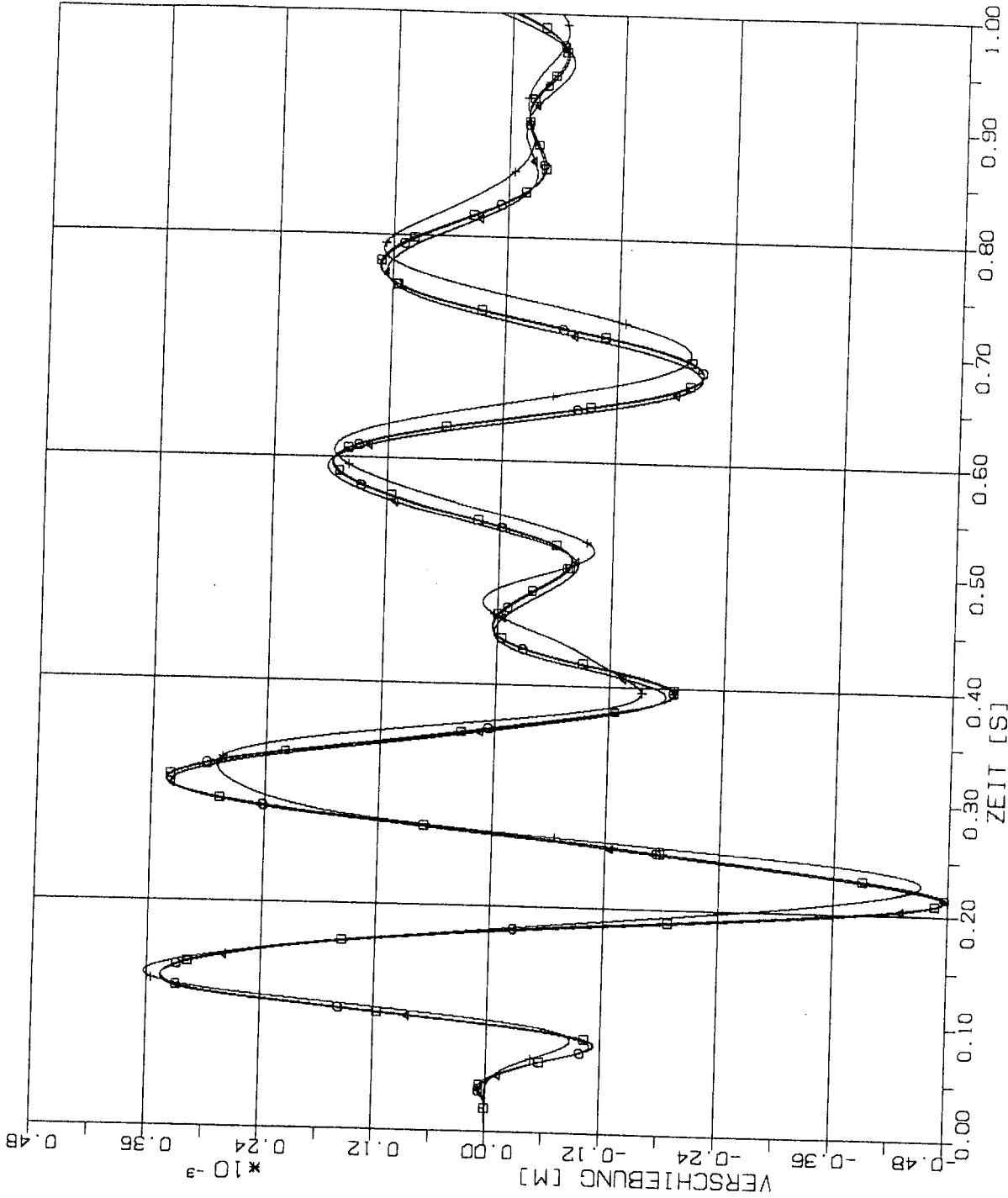
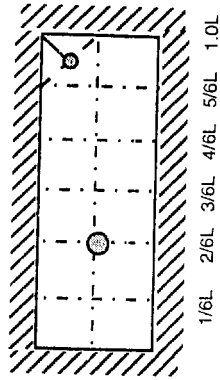
(Siehe Fig 1-4)



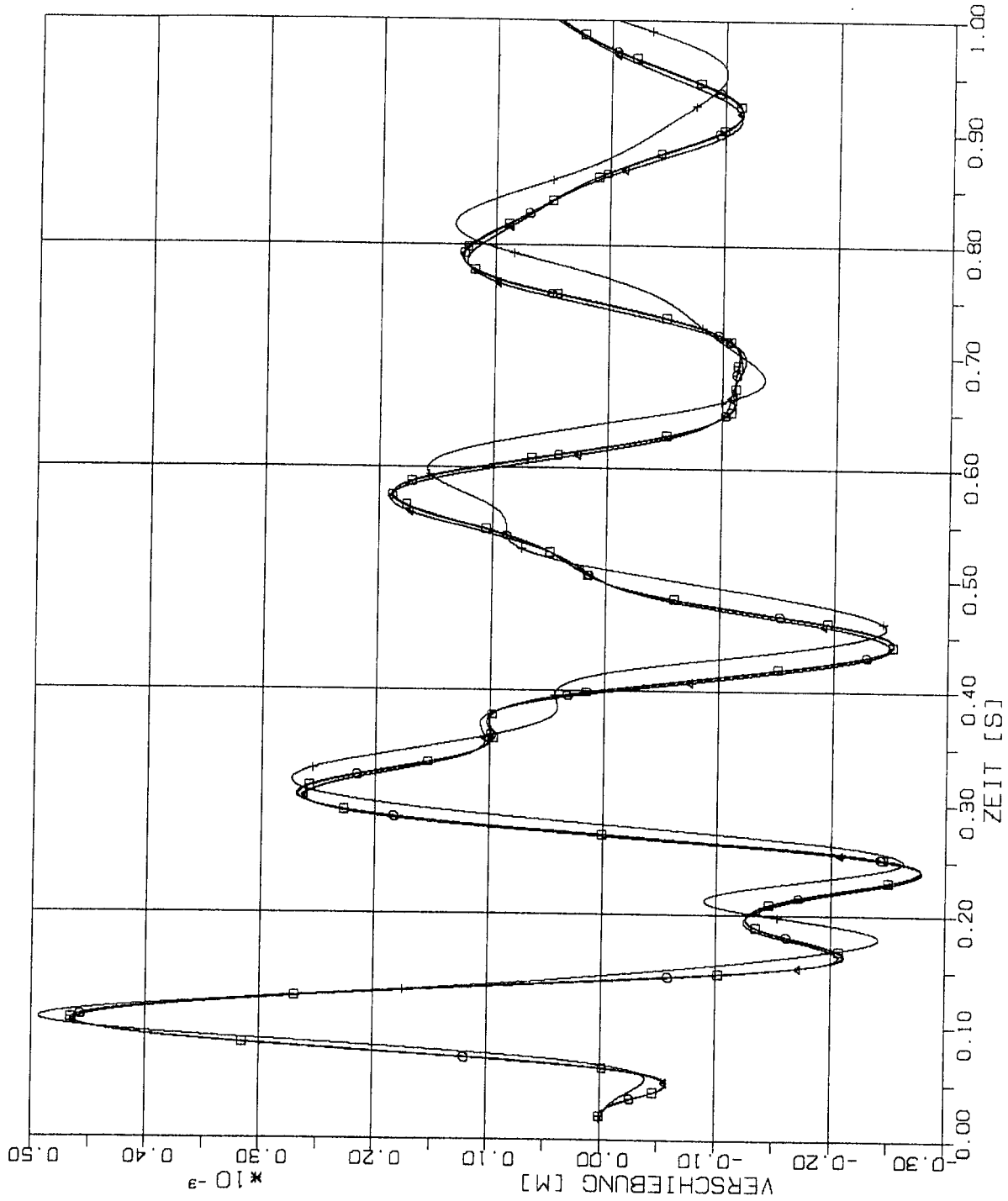
STOSS-UEBERTRAGUNGSVOEGENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINGESP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. $1/6 L$
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- ⊕ 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

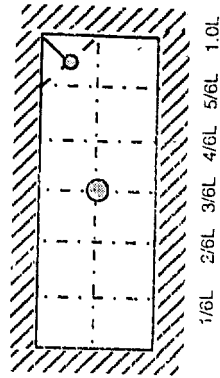


STOSS-UEBERTRAGUNGSVOEGENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINGESP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

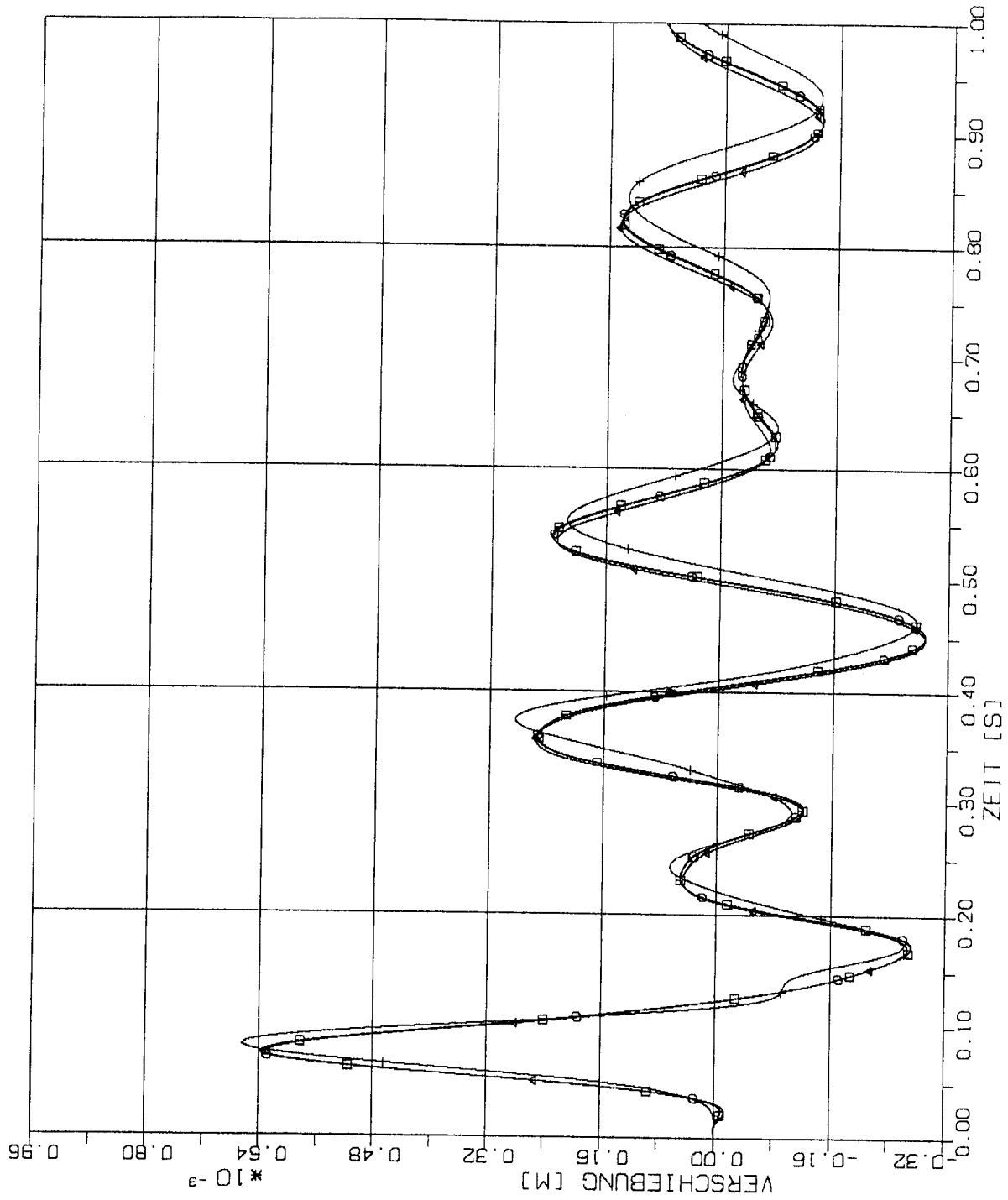


ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

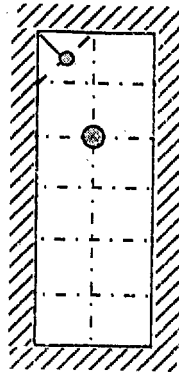


STOSS-UEBERTRAGUNGSVOEGRENZE IN DECKENPLATTEN KONTUREINGESP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

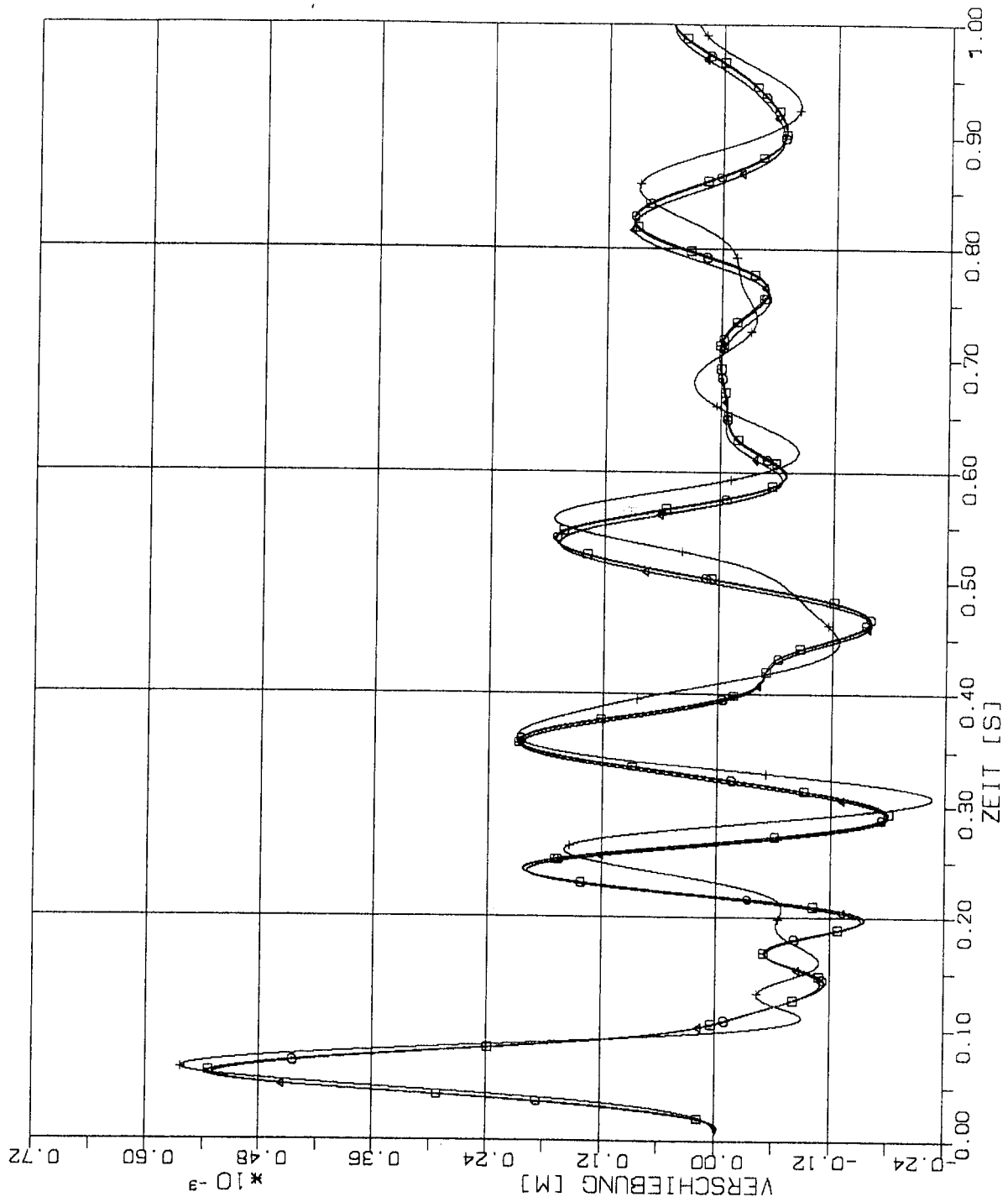


ELEMENTGRÖSSE

- \square $w \times w$
- \bigcirc $2w \times 2w$
- \triangle $4w \times 4w$
- \times $8w \times 8w$

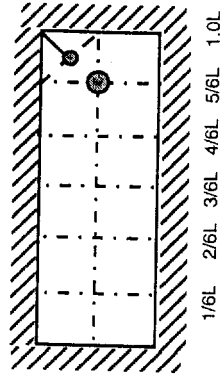


STOSS-UEBERTRAGUNGSVOEGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINGESP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

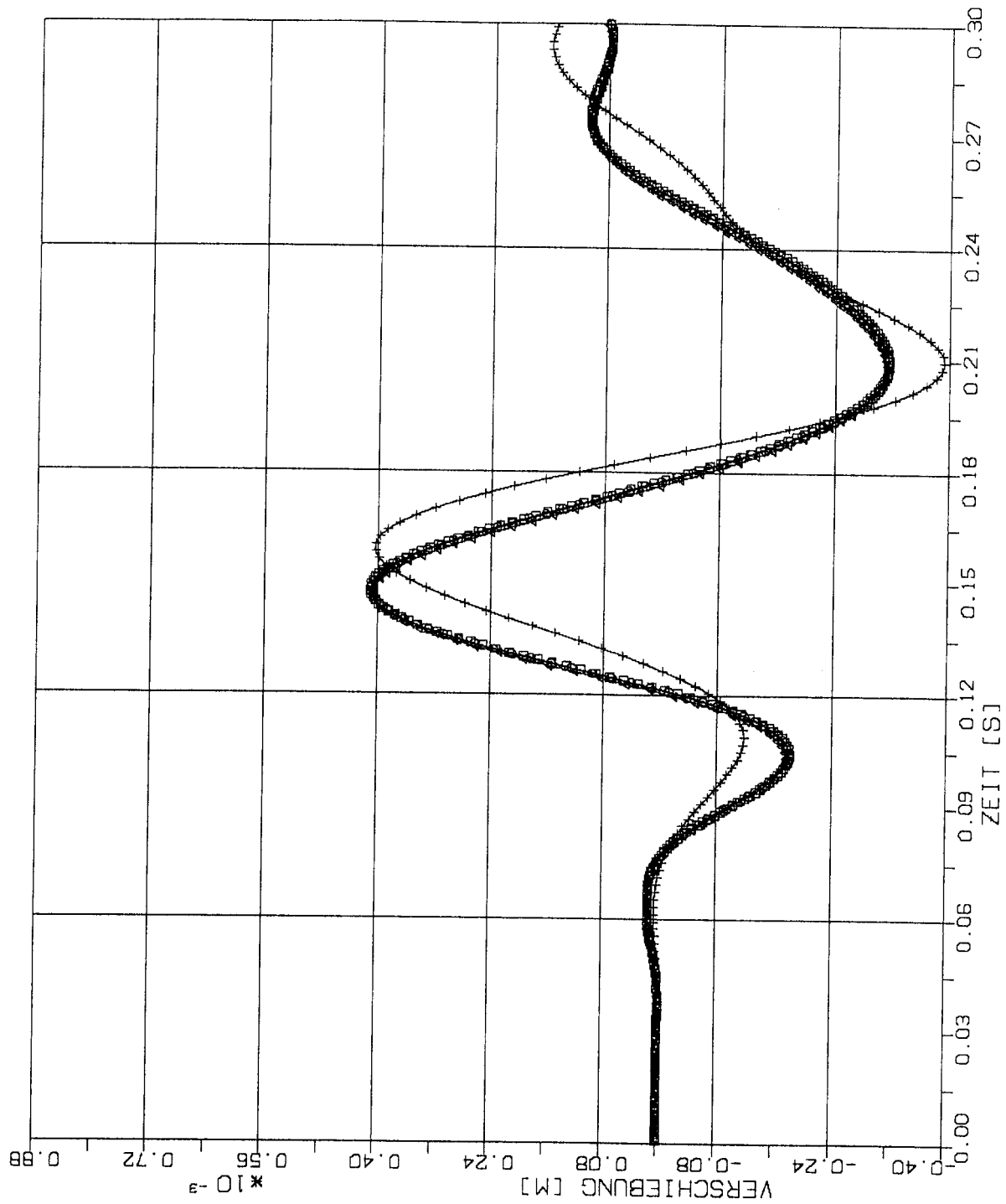


ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- + 8W x 8W

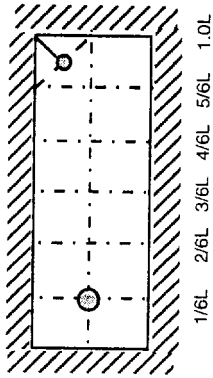


STOSS-UEBERTRAGUNGSVOEGENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINGESP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

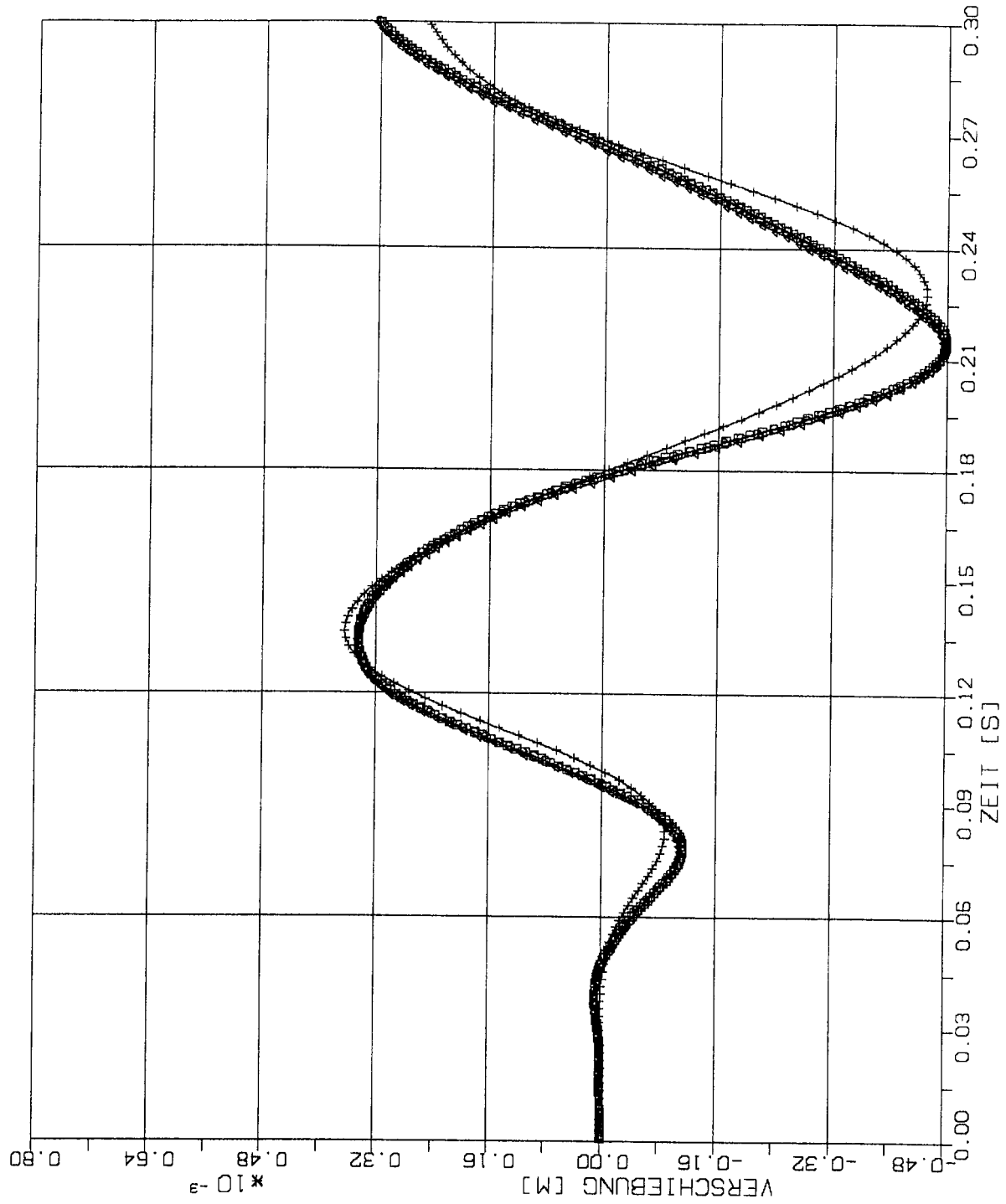


ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- ⊕ 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

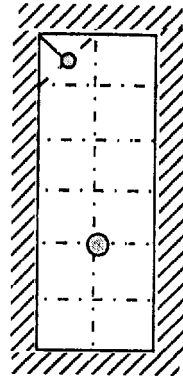


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

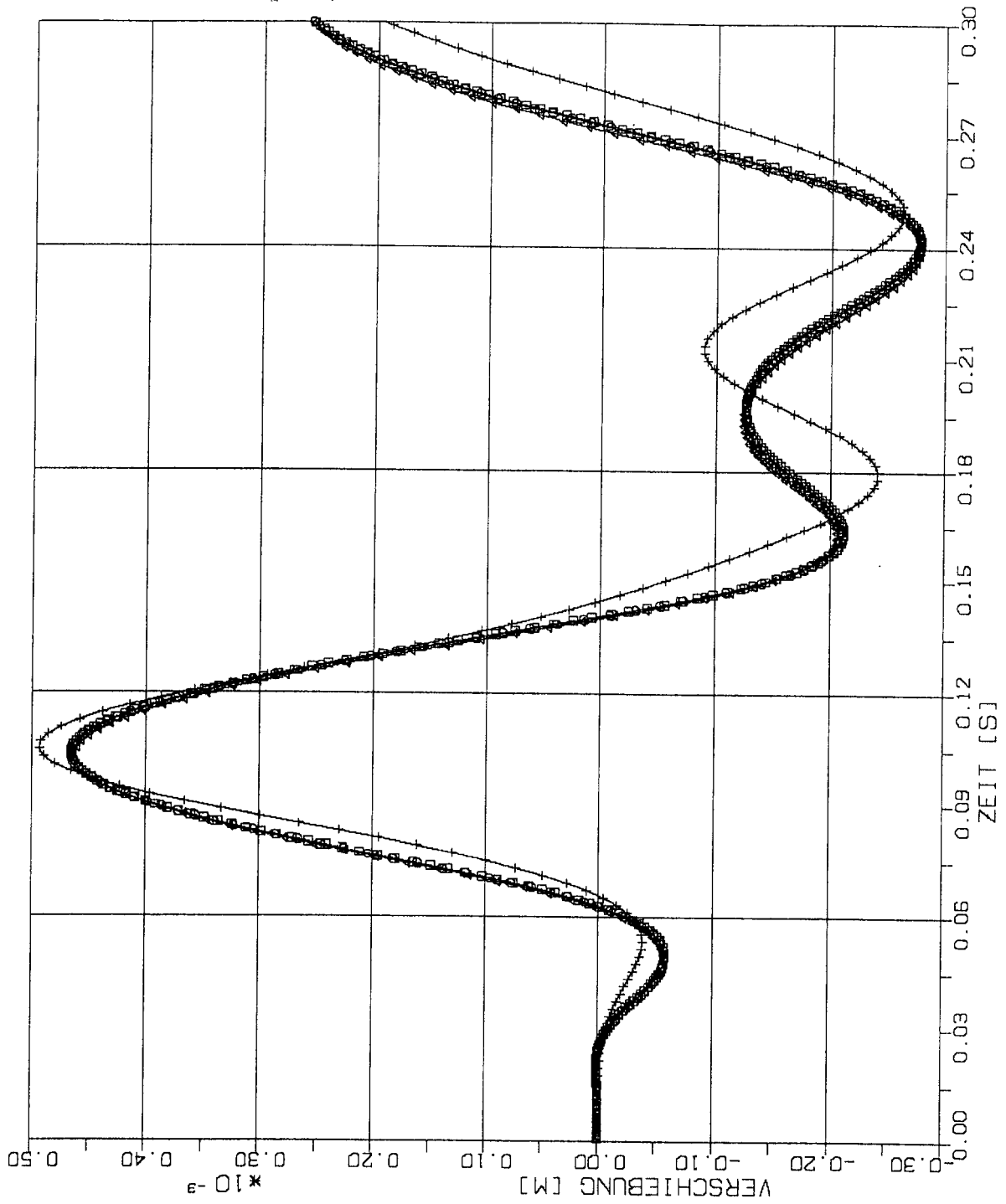


ELEMENTGRÖSSE

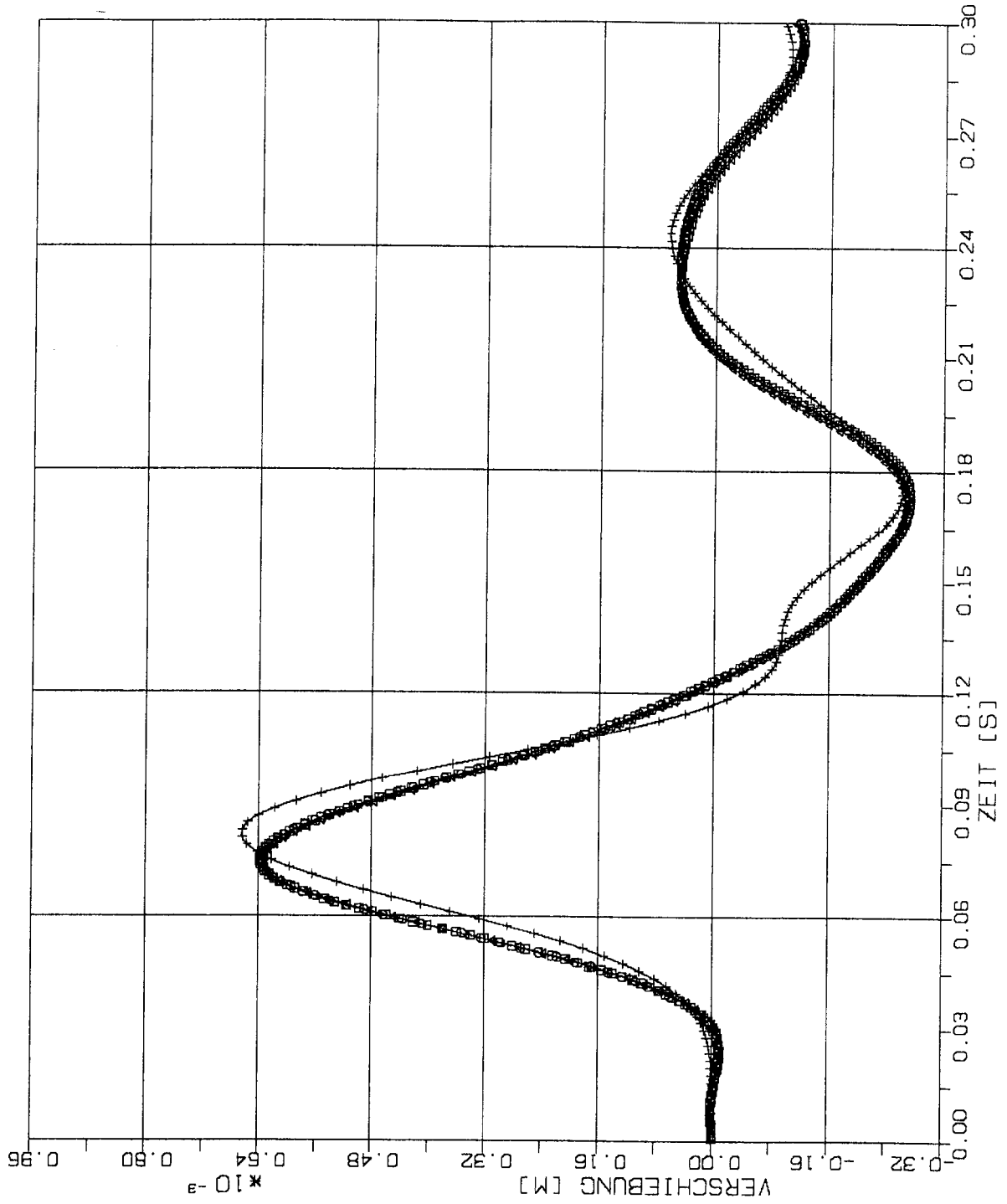
- \square $w \times w$
- \odot $2w \times 2w$
- \triangle $4w \times 4w$
- $+$ $8w \times 8w$



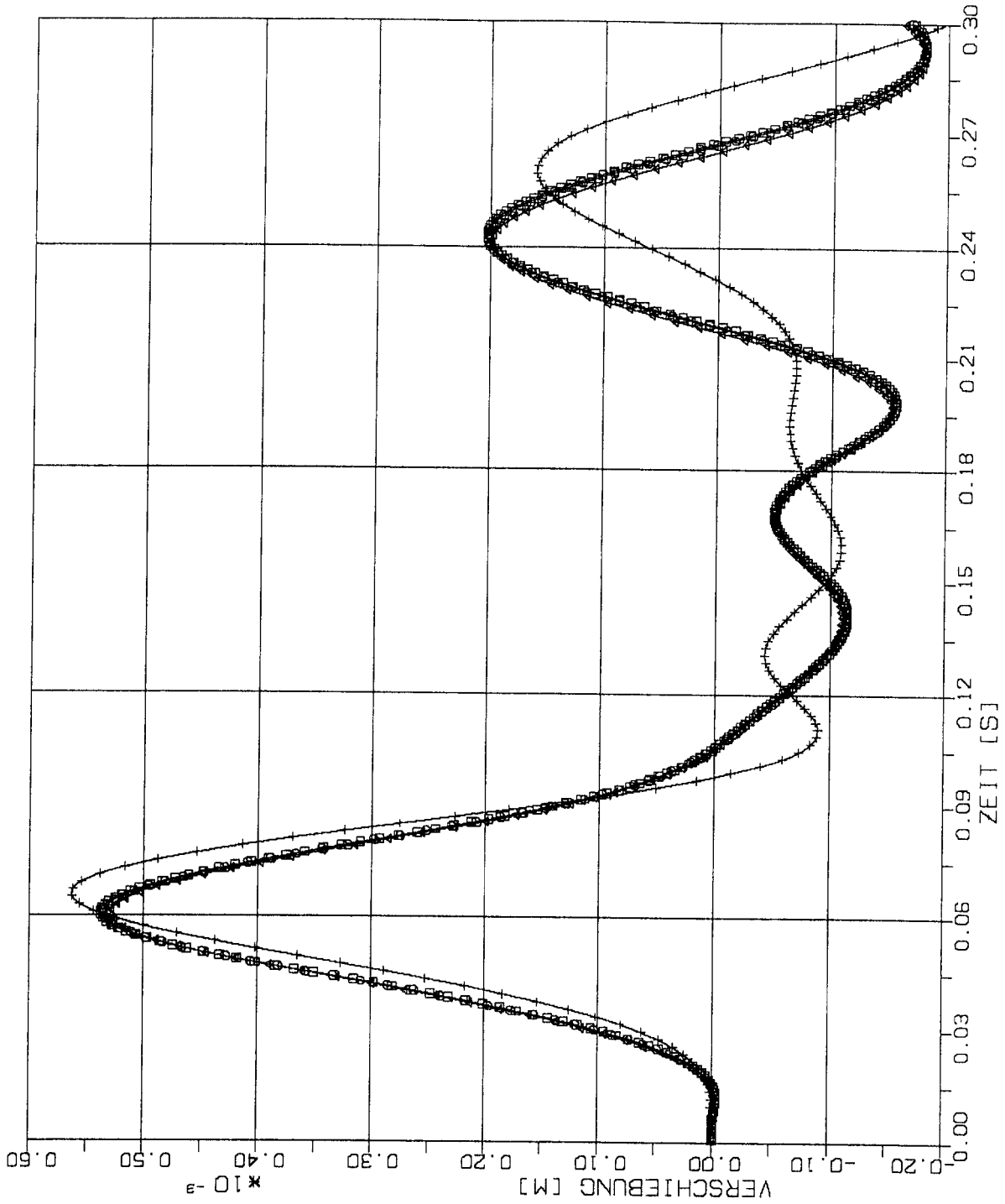
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

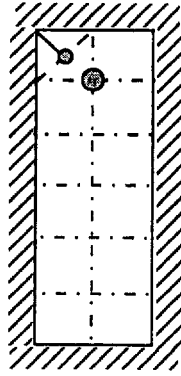


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



ELEMENTGRÖSSE

- \square $W \times W$
- \odot $2W \times 2W$
- \triangle $4W \times 4W$
- \dagger $8W \times 8W$



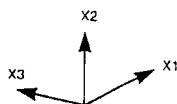
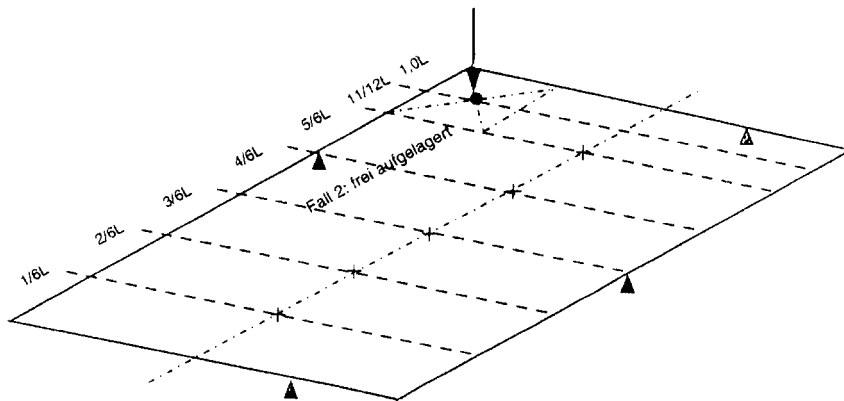
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

Zwischenblatt

2.3

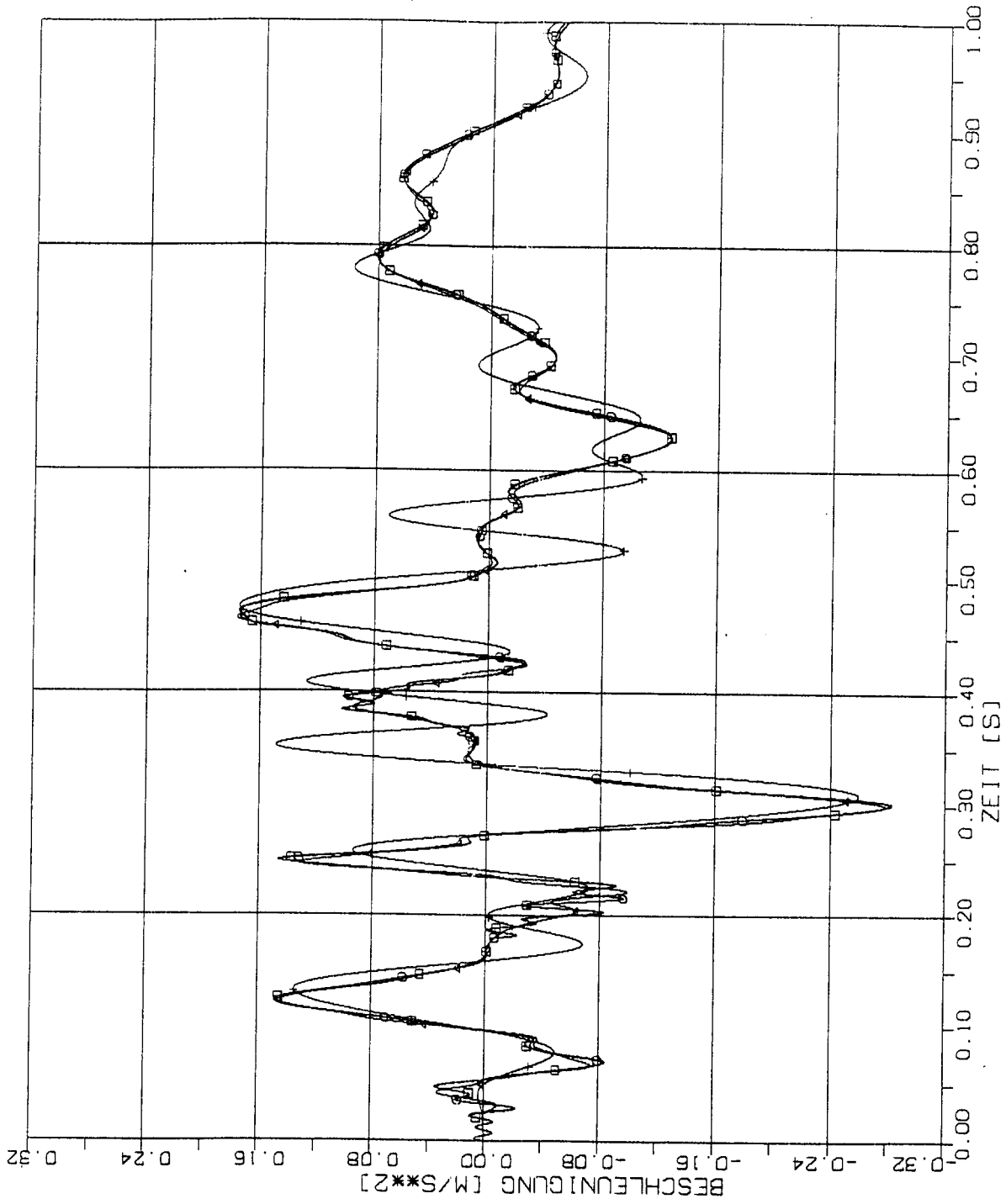
**Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen
in den charakteristischen Beobachtungspunkten der
Modelldeckenplatte bei verschiedener Diskretisierung
und Stoßbelastung senkrecht zur Plattenebene**

2.3.1 Frei aufgelagerte Platte (Strukturantworten senkrecht zur Plattenebene)



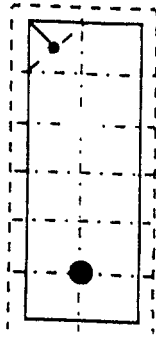
2.3.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1A

(Siehe Fig 1-4)



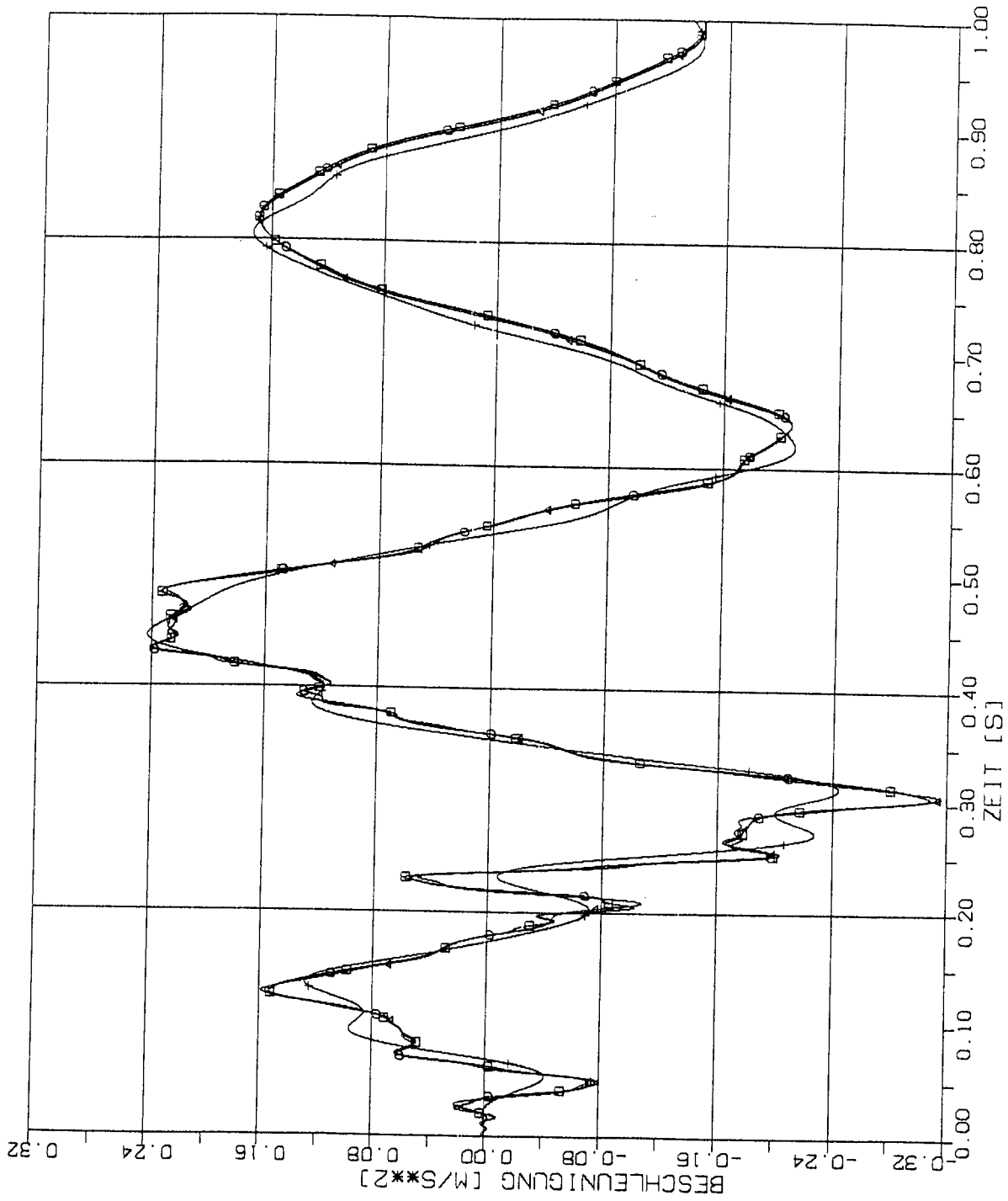
ELEMENTGRÖSSE

- 1W x 1W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W







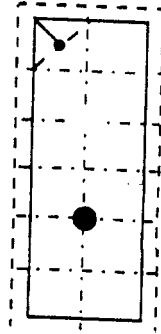
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



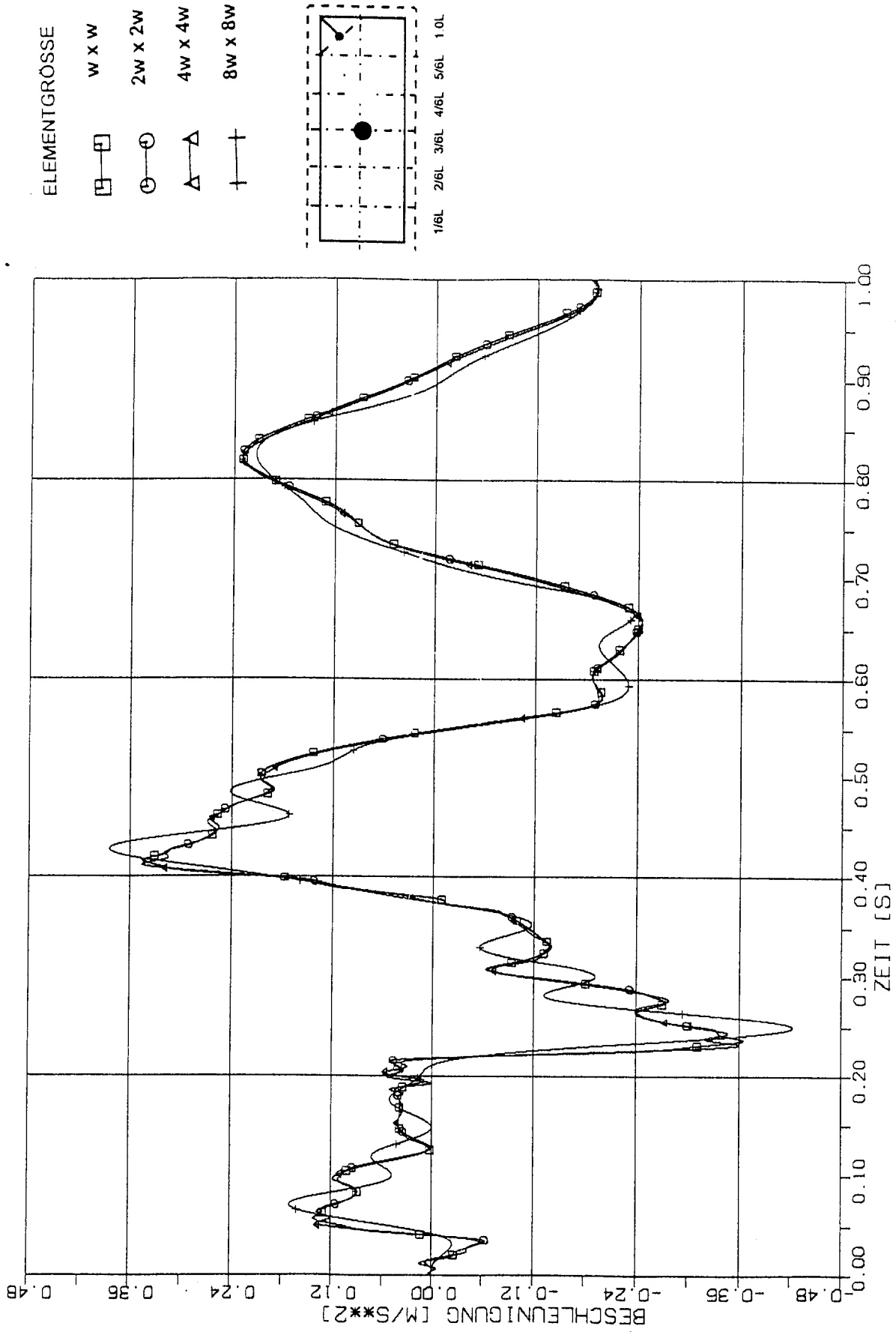
ELEMENTGRÖSSE

- $w \times w$ 
- $2w \times 2w$ 
- $4w \times 4w$ 
- $8w \times 8w$ 

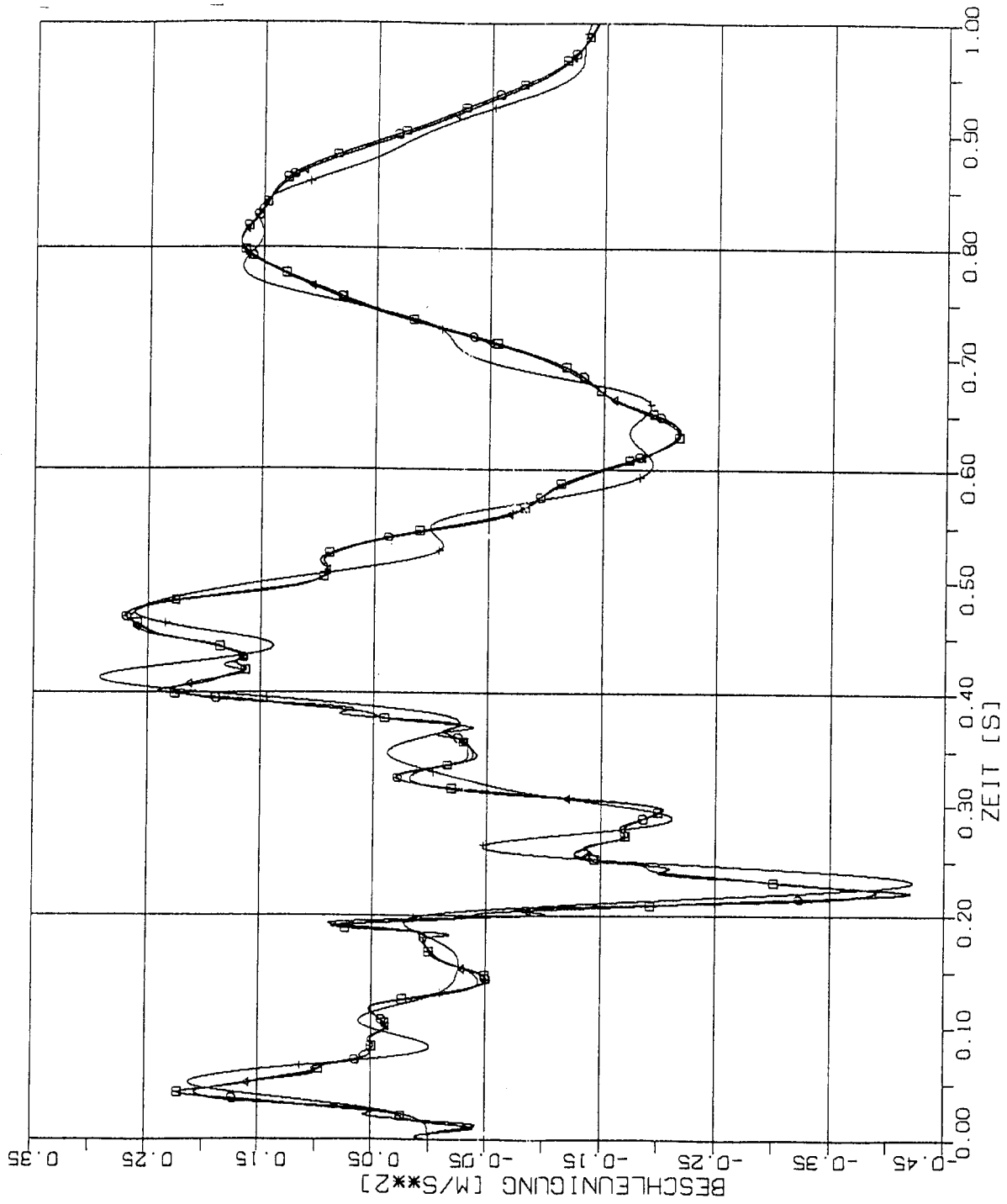


1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L





STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

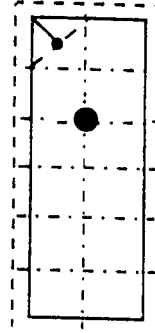


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



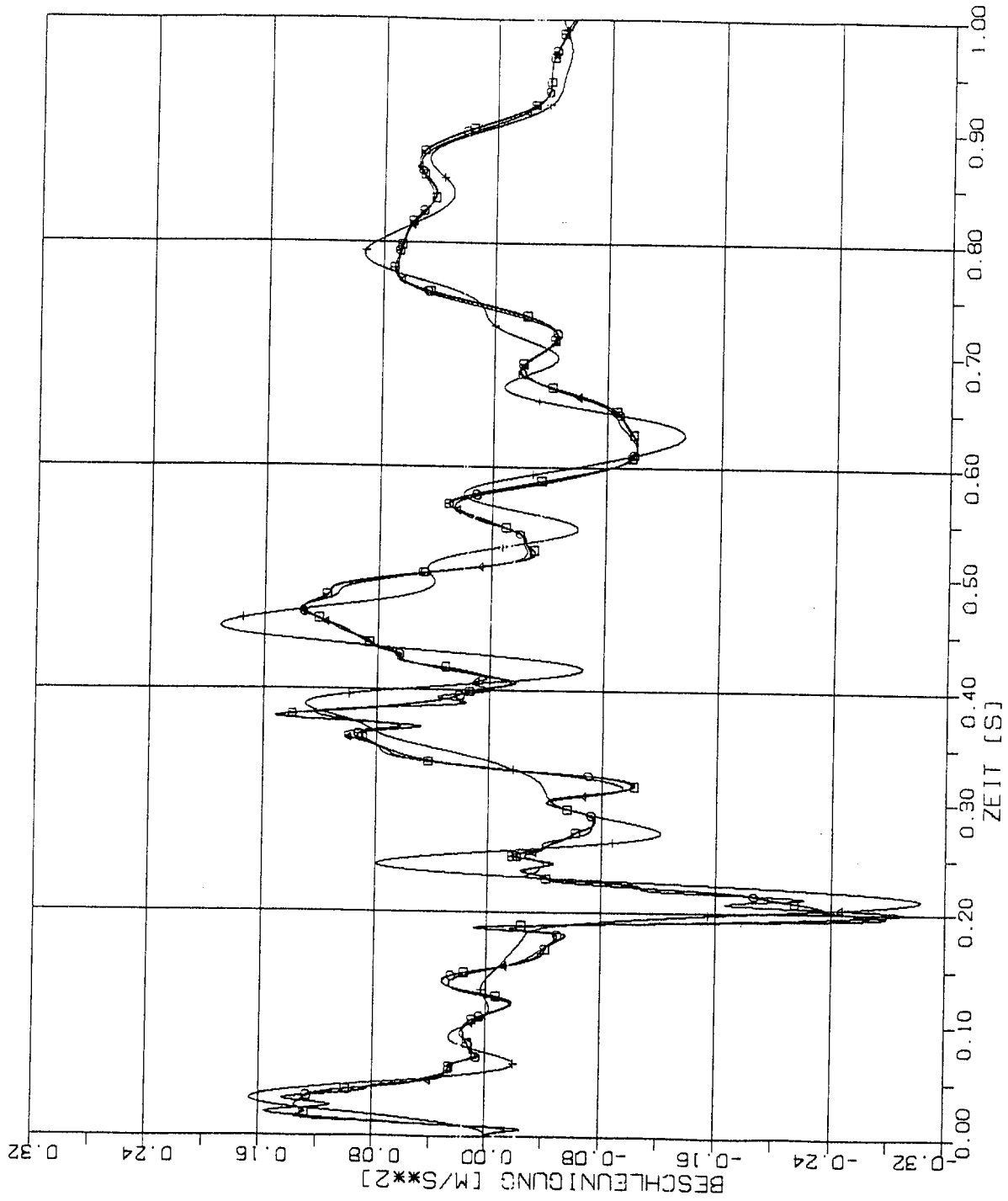
ELEMENTGRÖSSE

- $w \times w$ 
- $2w \times 2w$ 
- $4w \times 4w$ 
- $8w \times 8w$ 







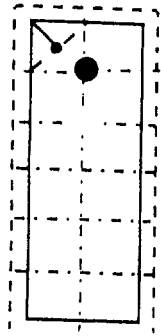
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE



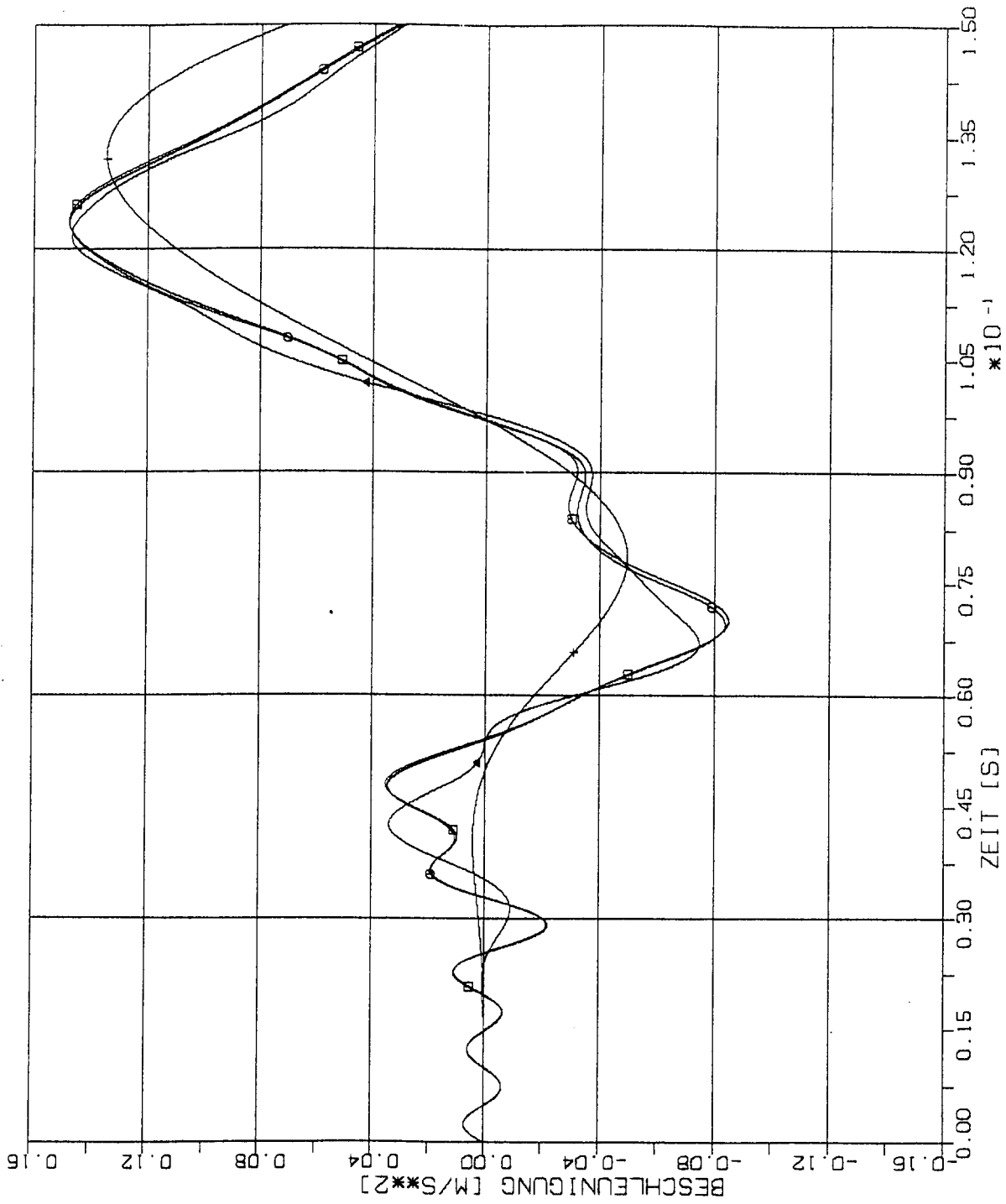
ELEMENTGRÖSSE

- $w \times w$ 
- $2w \times 2w$ 
- $4w \times 4w$ 
- $8w \times 8w$ 

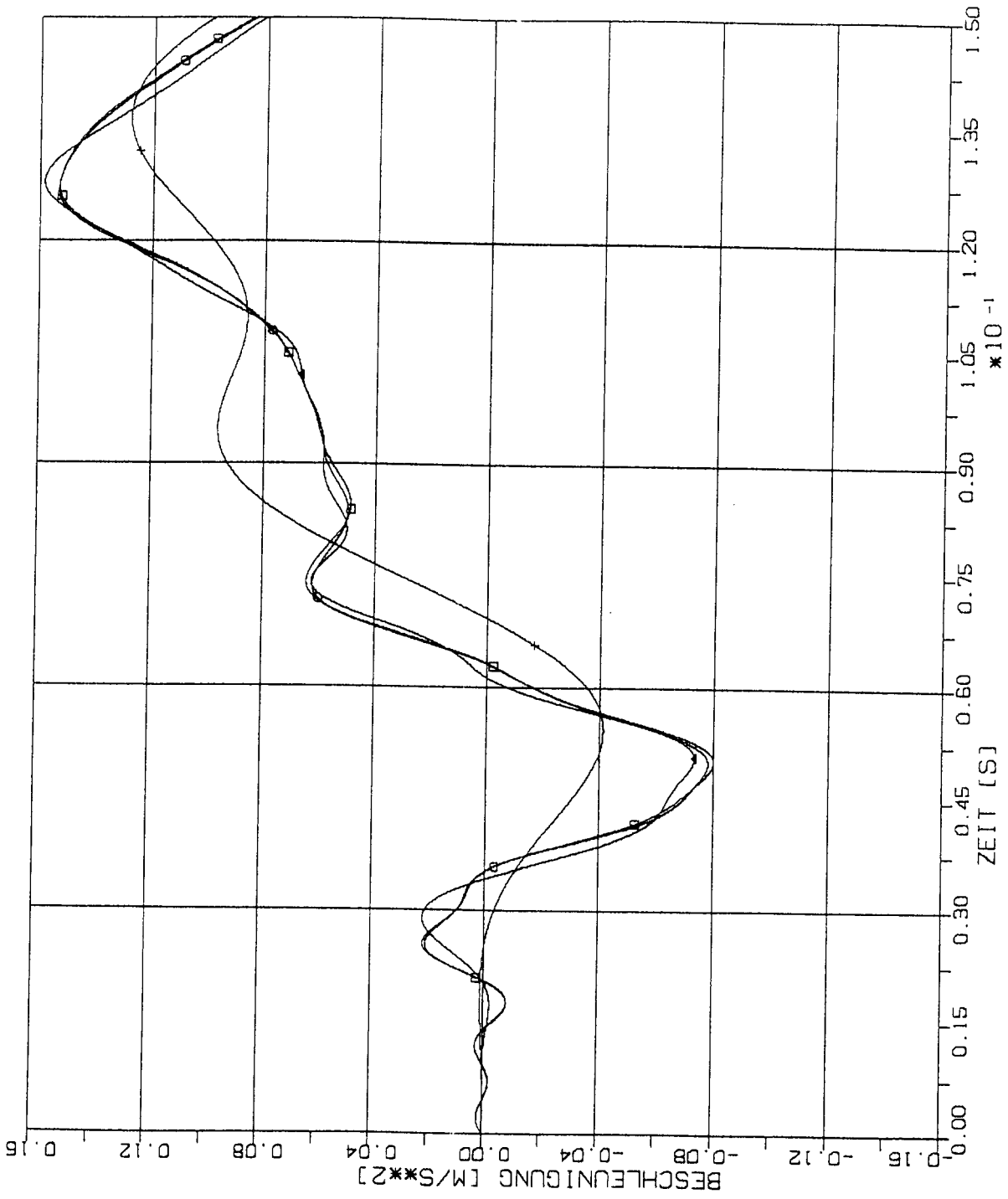


1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

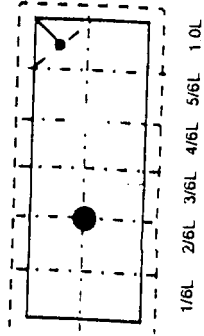


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

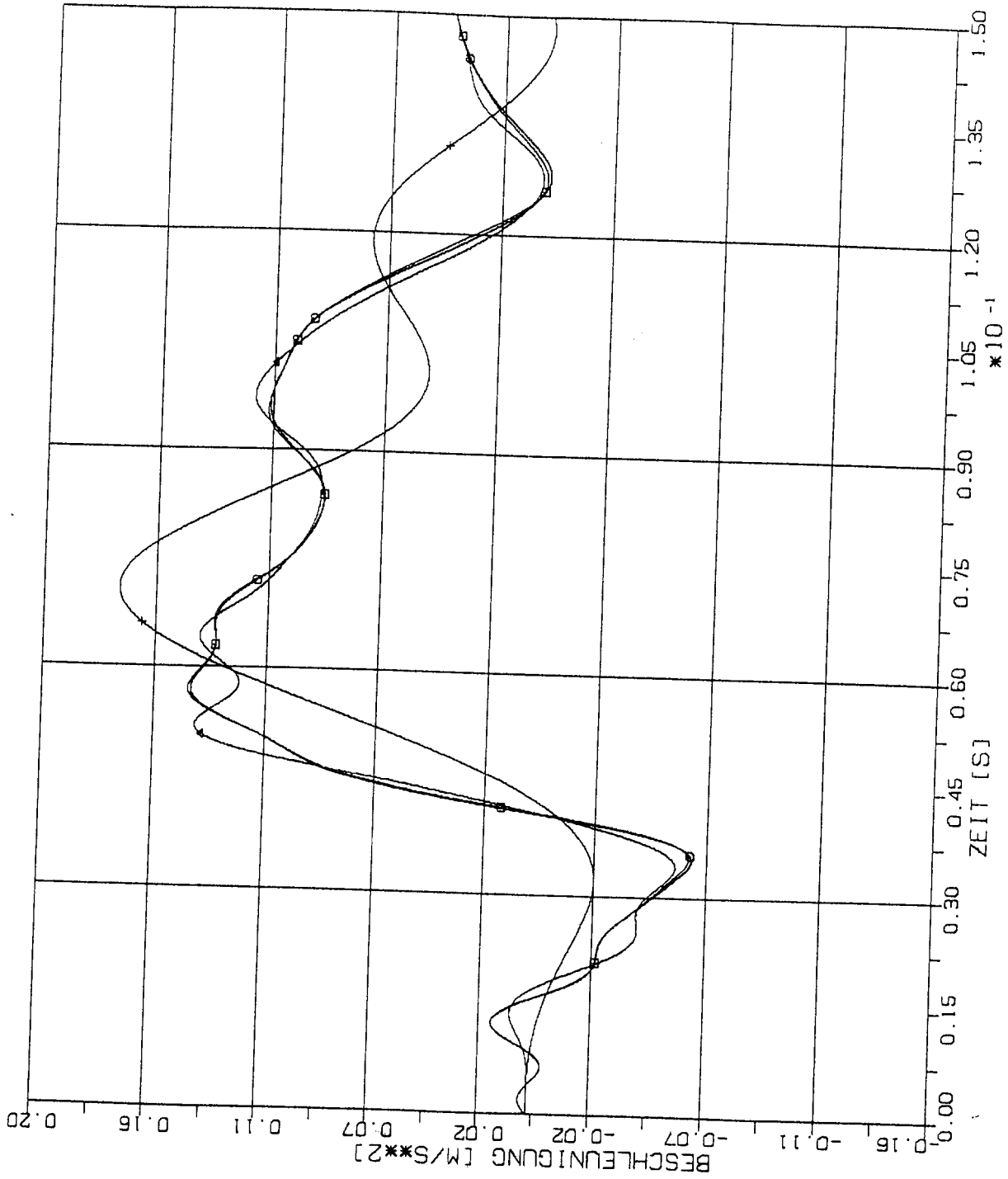


ELEMENTGRÖSSE

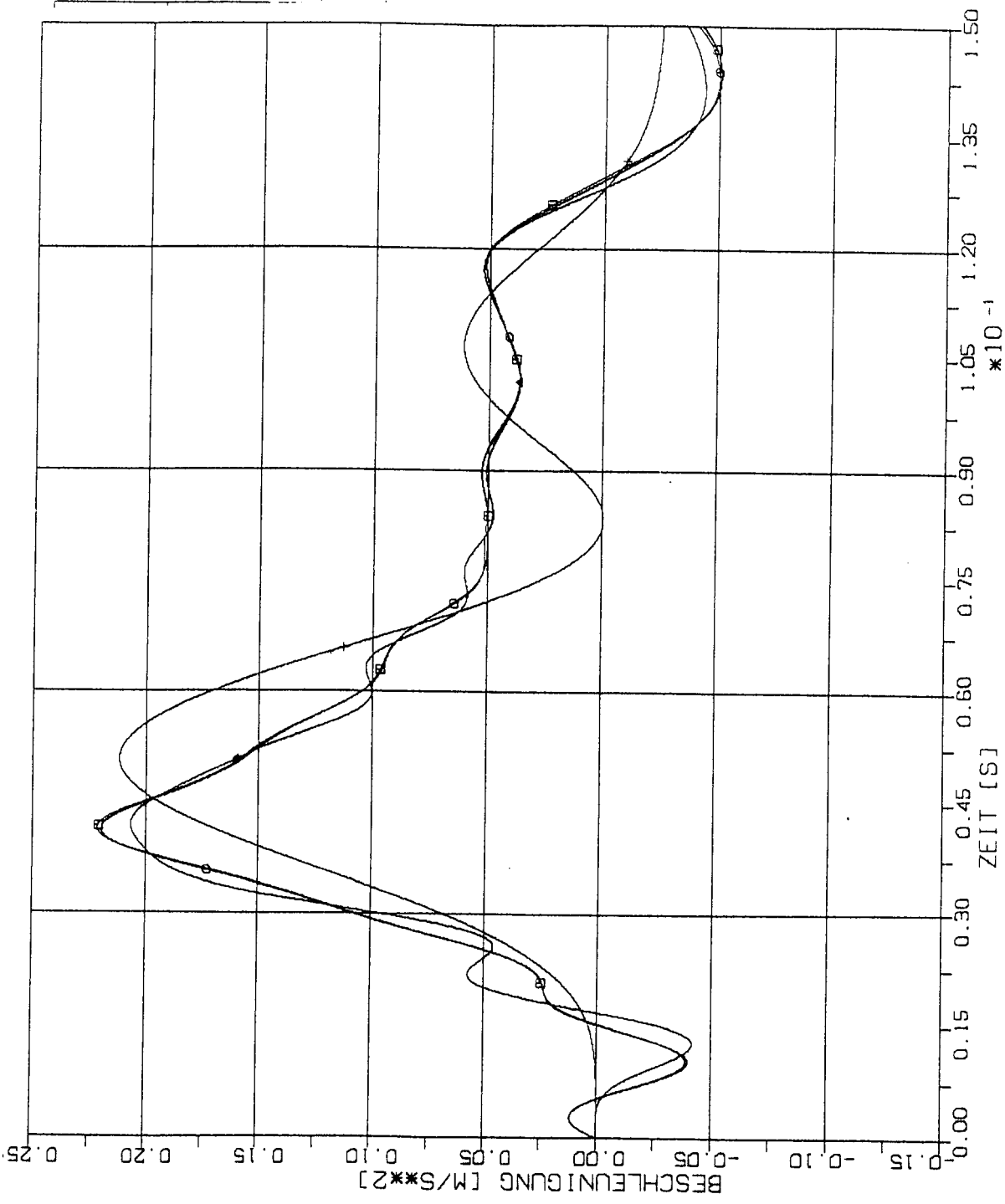
- 1×1 □
- 2×2 ○
- 4×4 △
- 8×8 +



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.--PKT. $2/6 L$
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

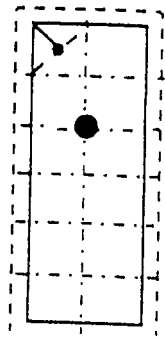


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFCELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



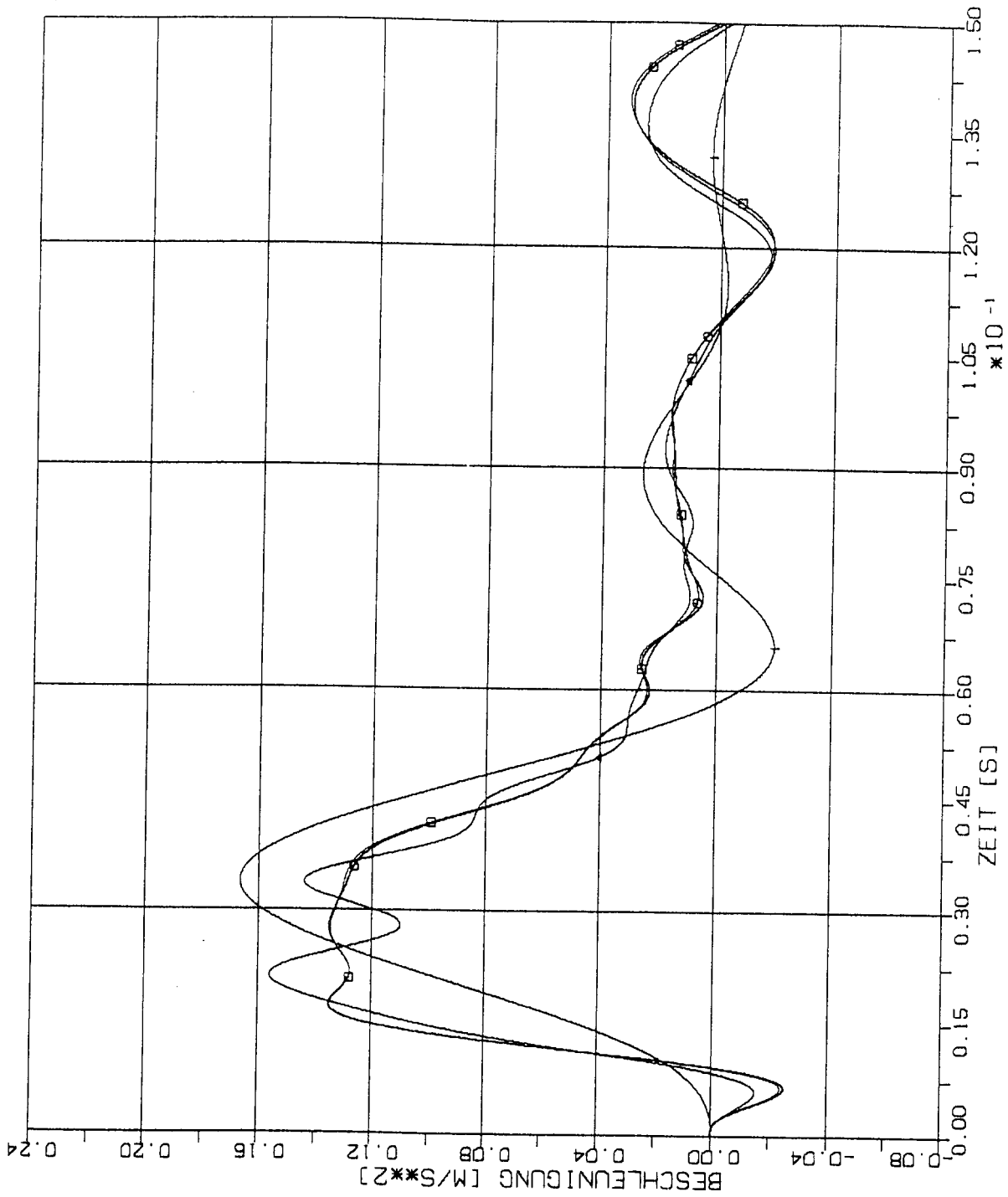
ELEMENTGRÖSSE

- 1W x 1W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



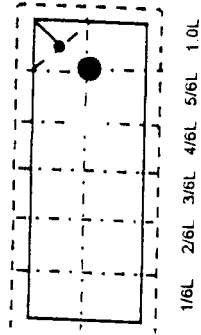
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE



ELEMENTGRÖSSE

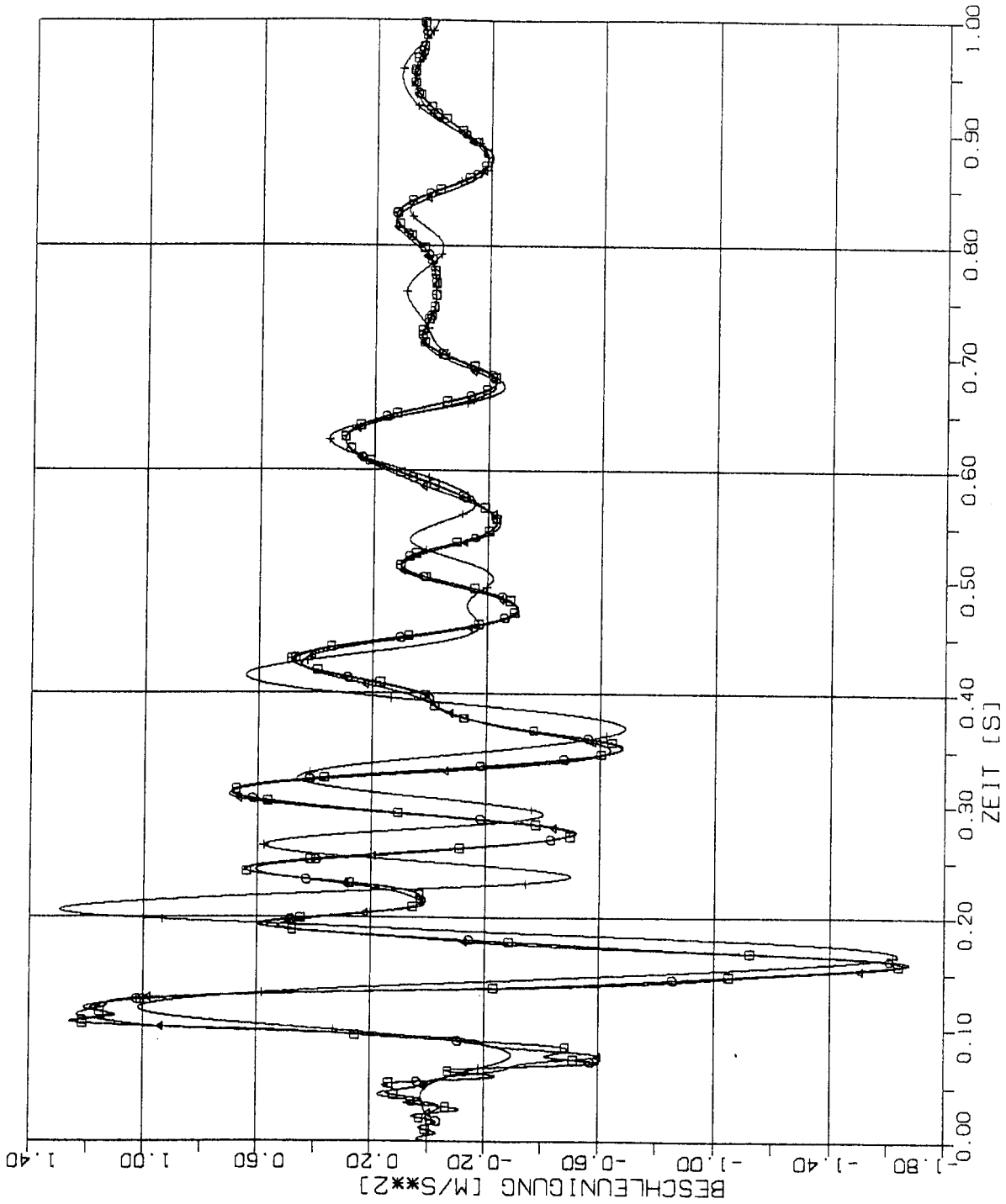
- 1W x 1W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

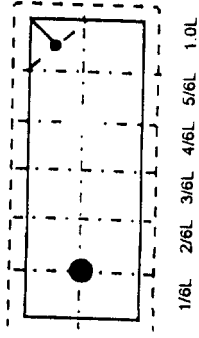
2.3.1.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-4)

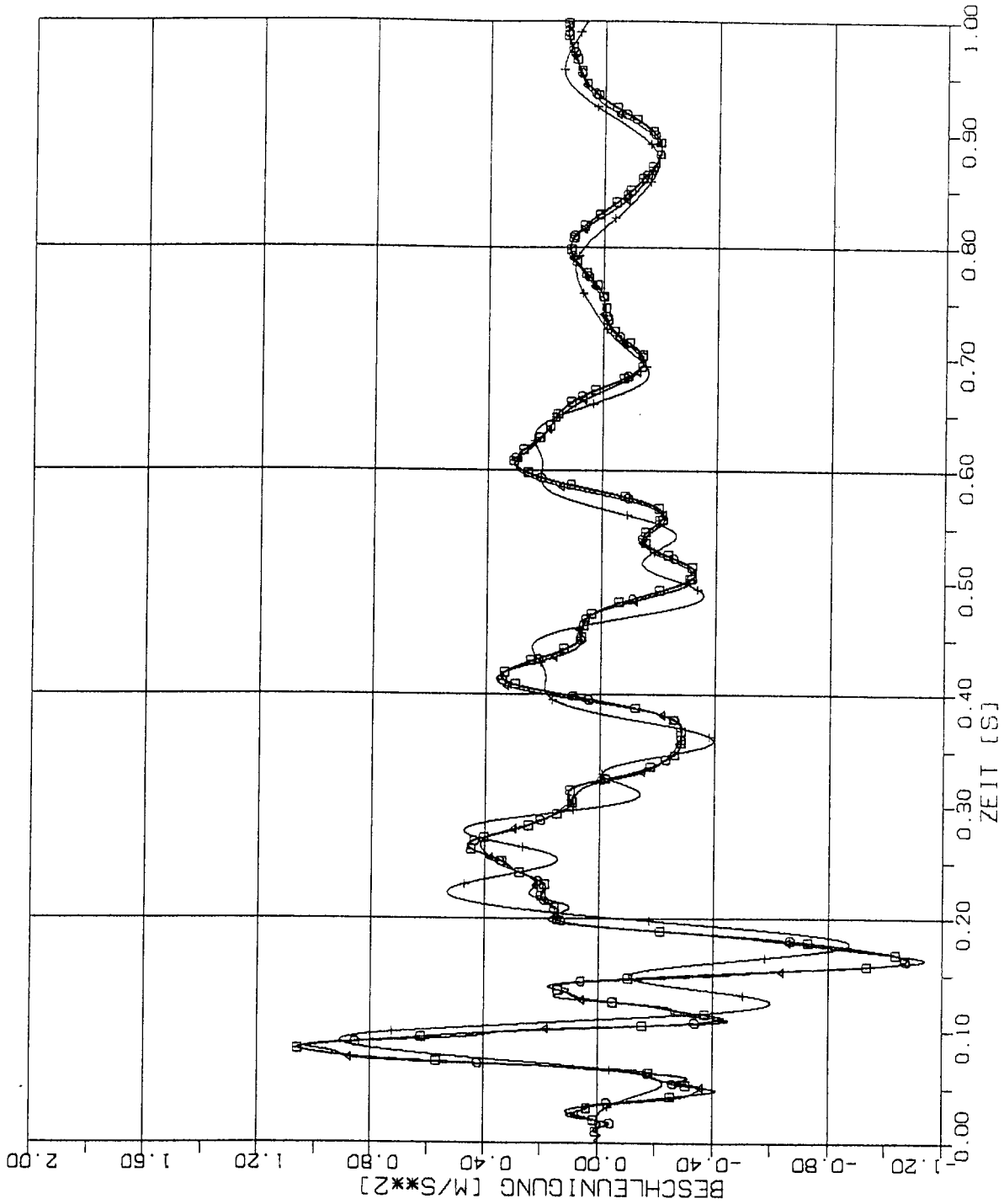


ELEMENTGRÖSSE

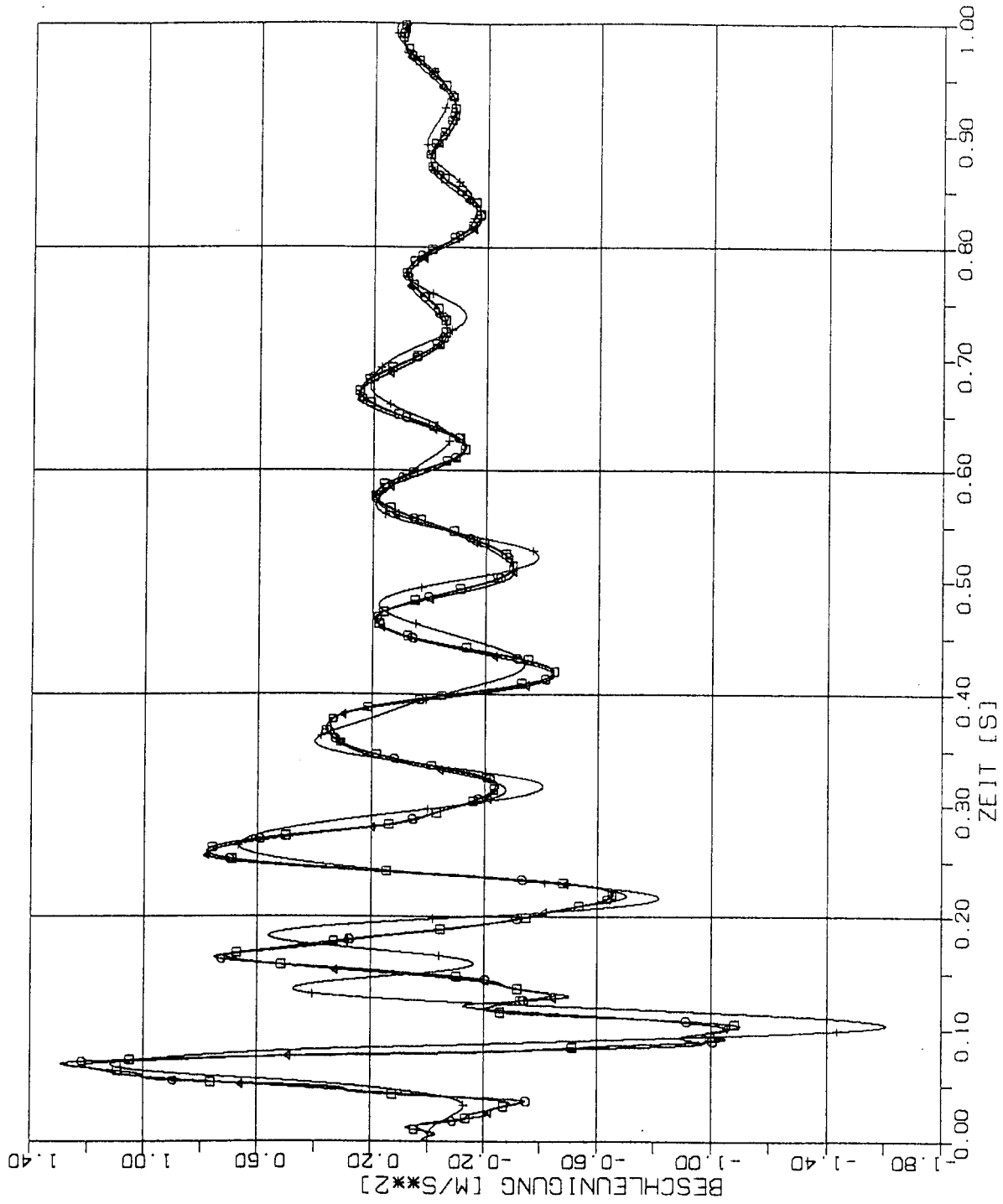
- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- + 8w x 8w



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/8 L
 STOSSBELASTUNG S13 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

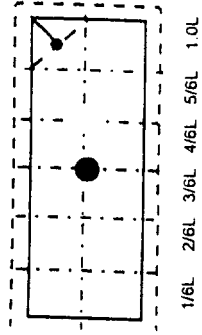


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

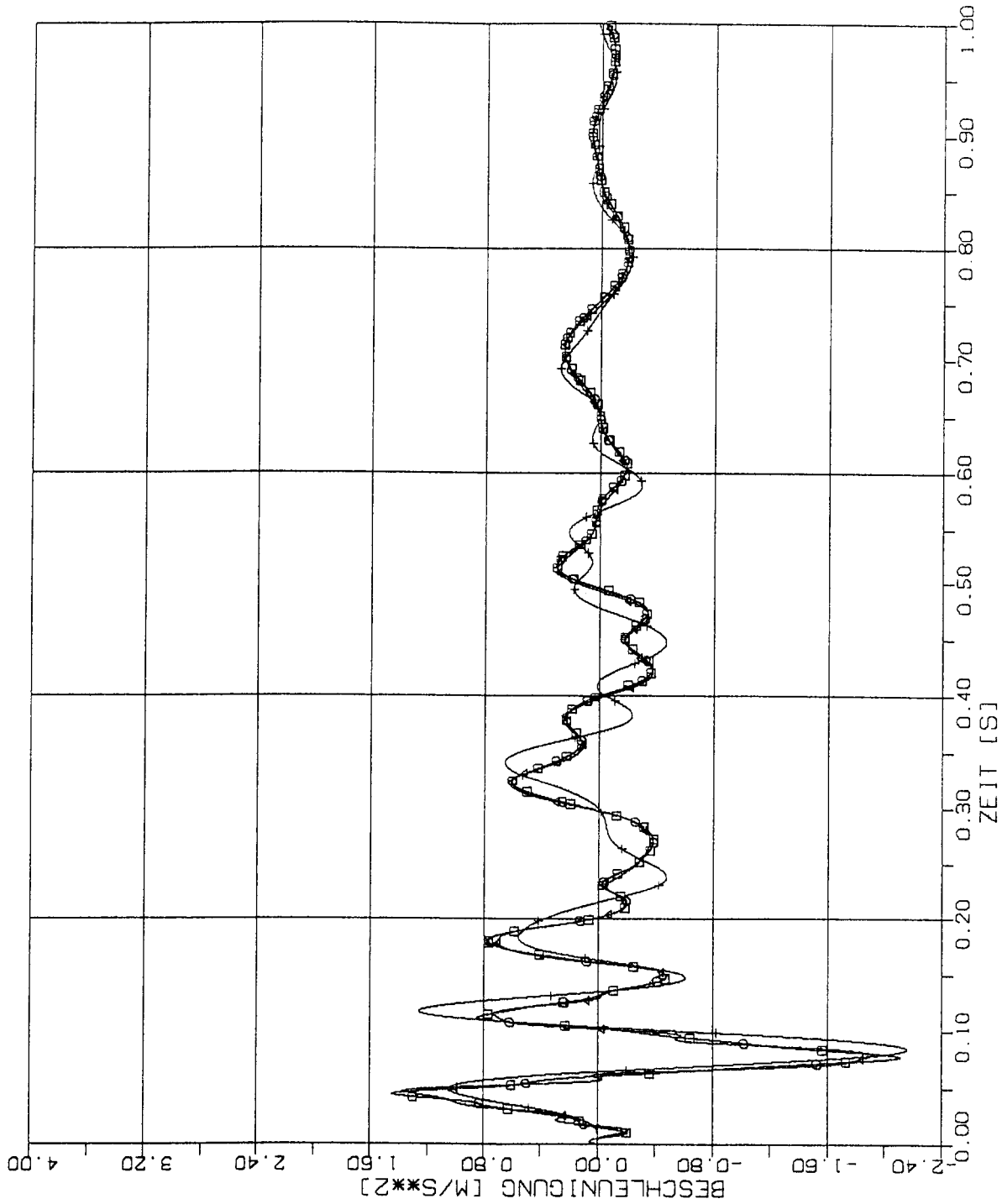


ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

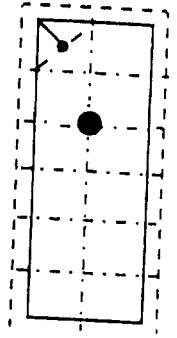


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFCELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE



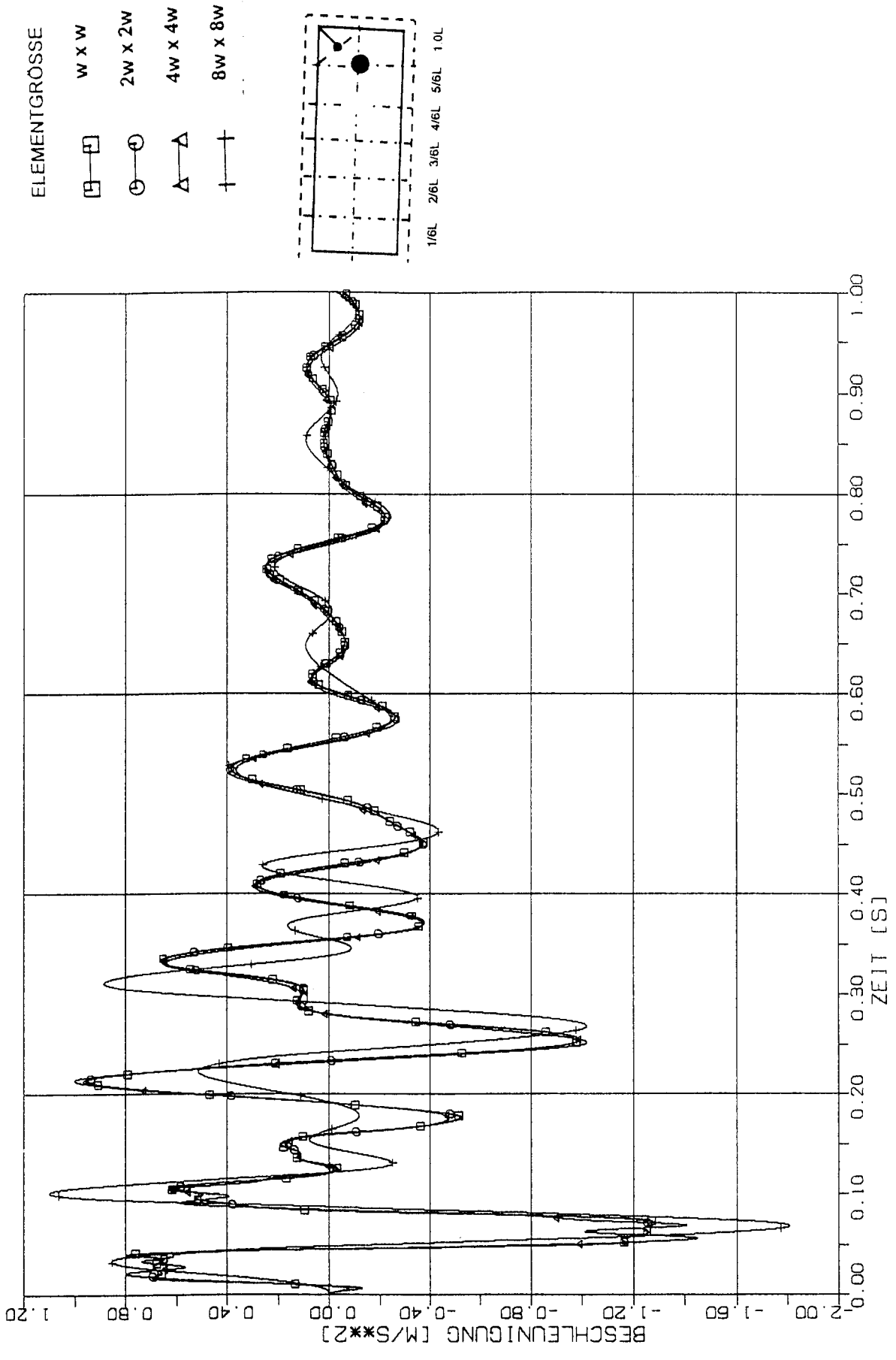
ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

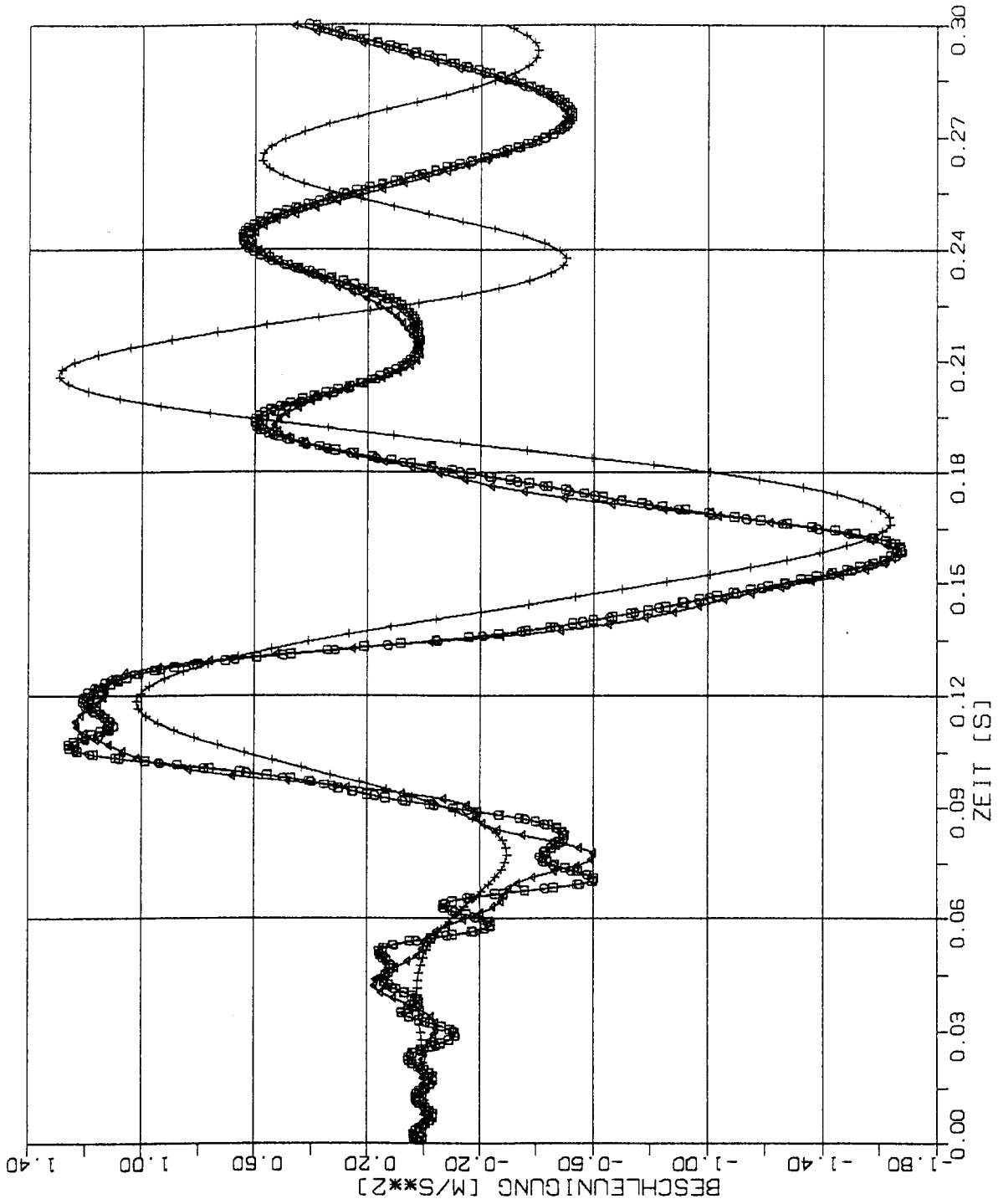


1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

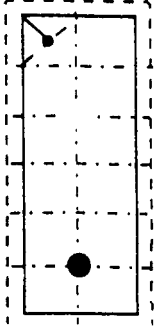


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGEFLAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



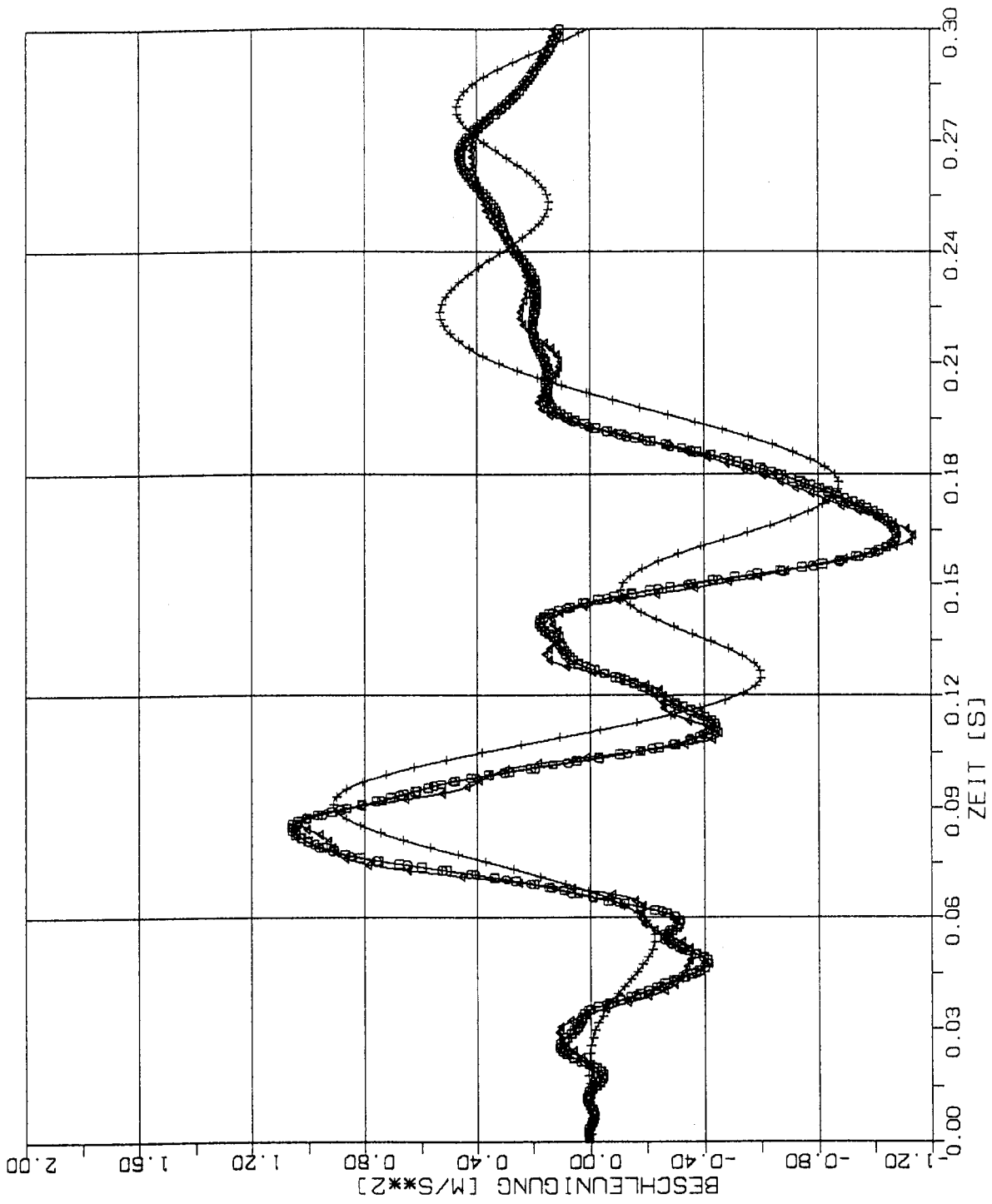
ELEMENTGRÖSSE

- 1/6L
- 2/6L
- △ 3/6L
- † 4/6L



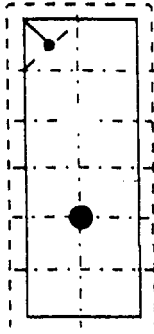
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



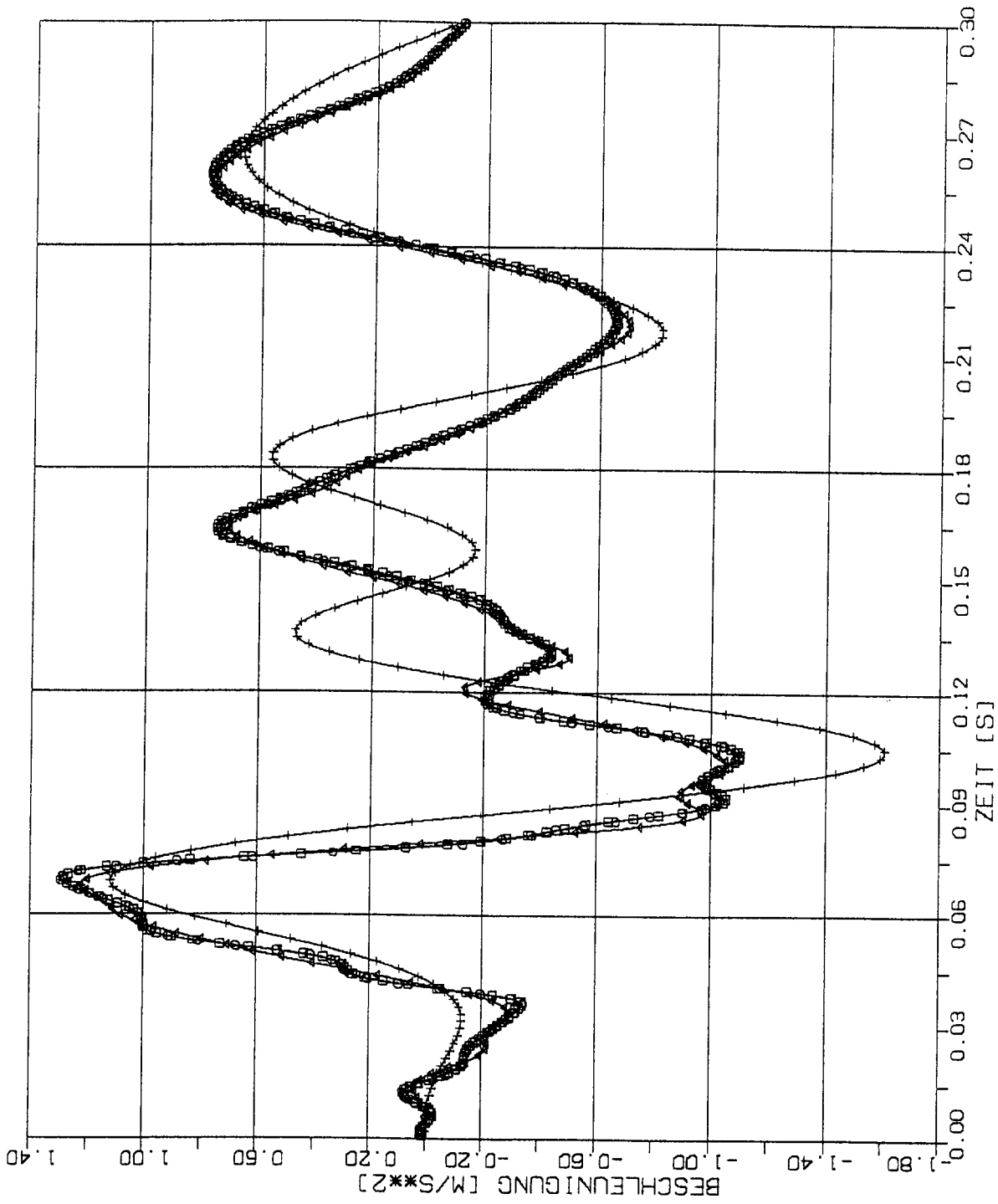
ELEMENTGRÖSSE

- $w \times w$
- $2w \times 2w$
- $4w \times 4w$
- $8w \times 8w$



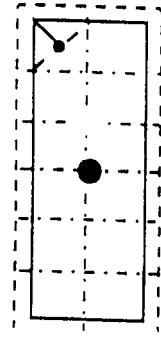
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



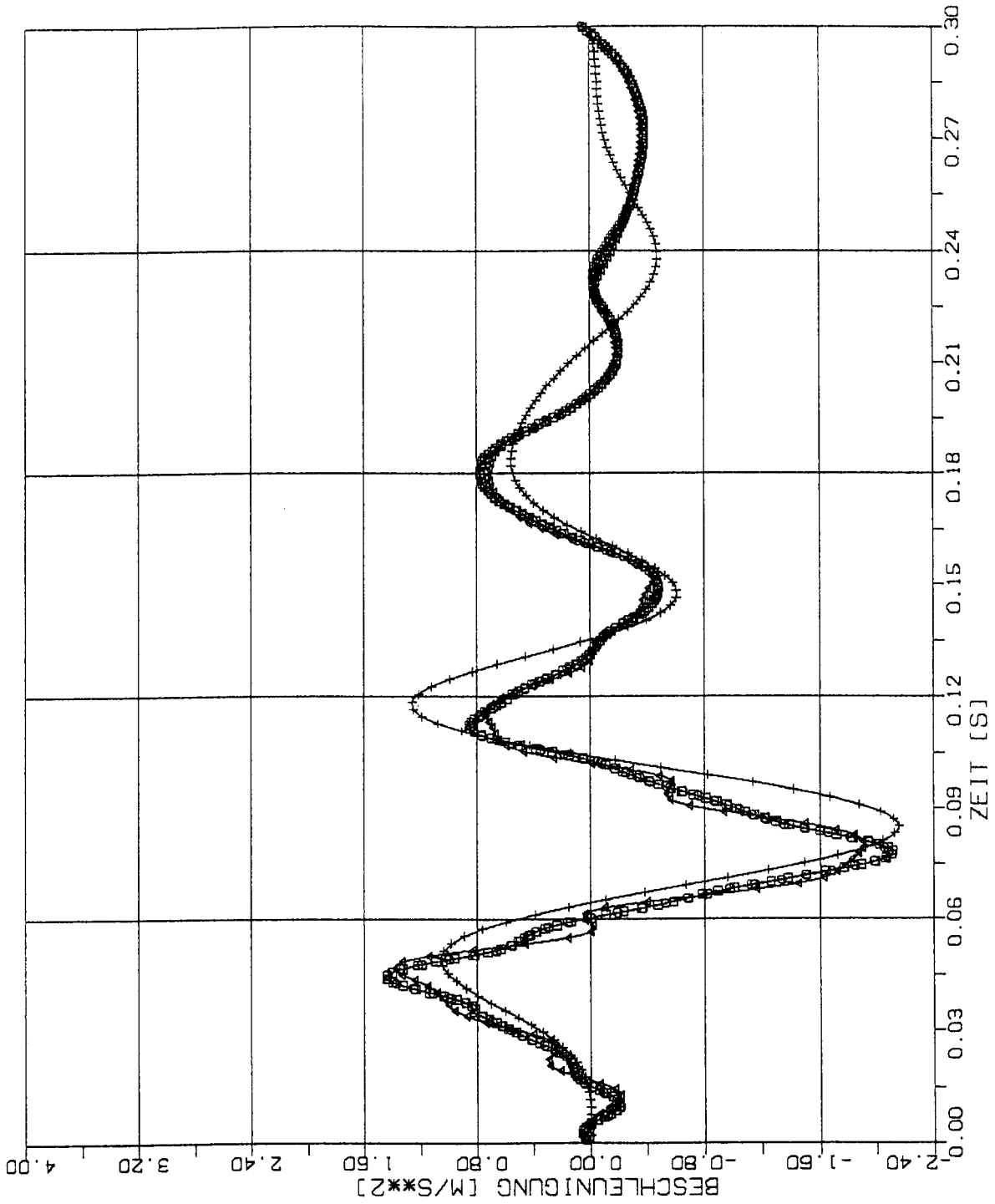
ELEMENTGRÖSSE

- 1W x 1W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



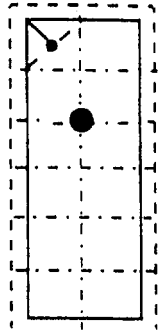
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



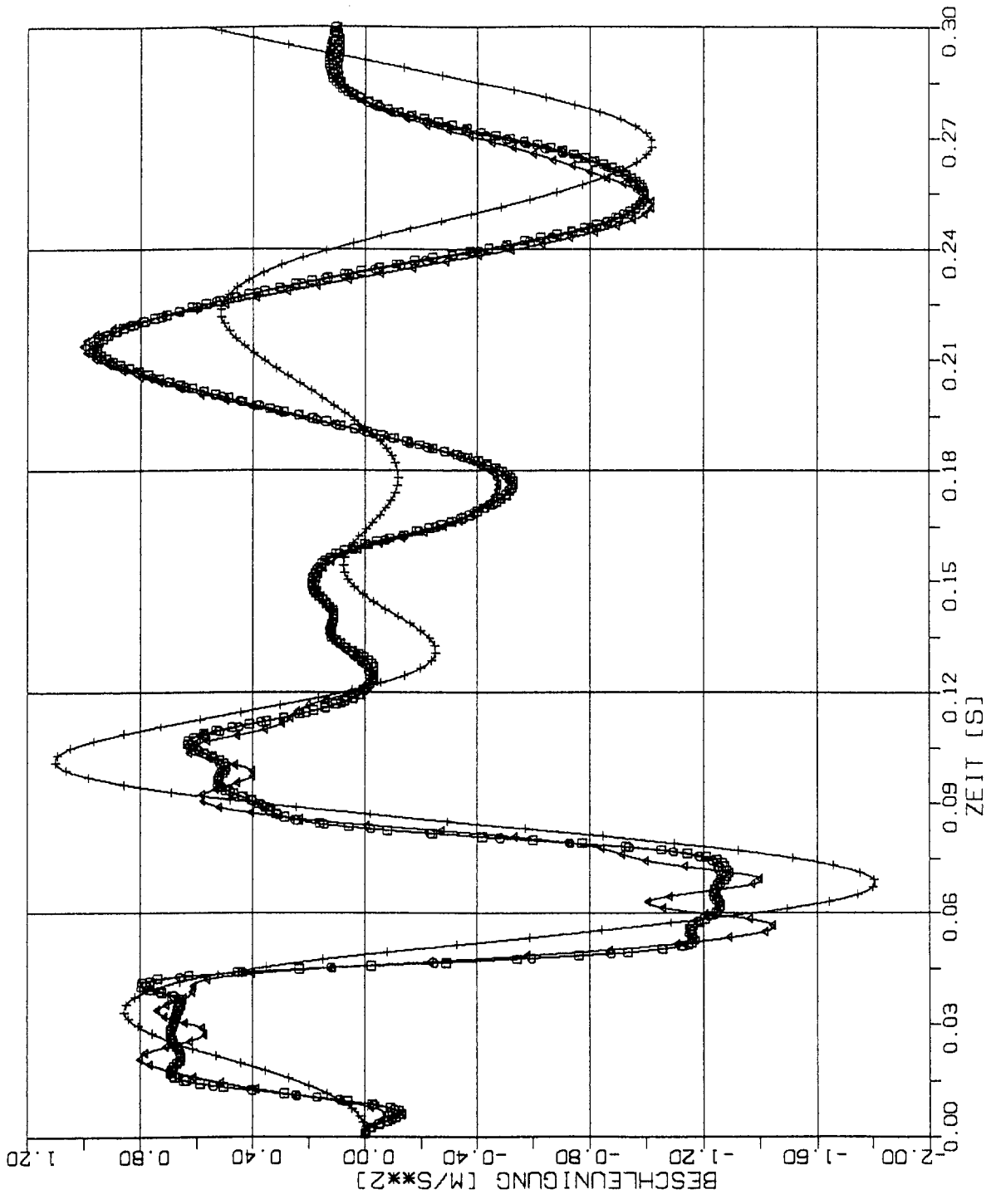
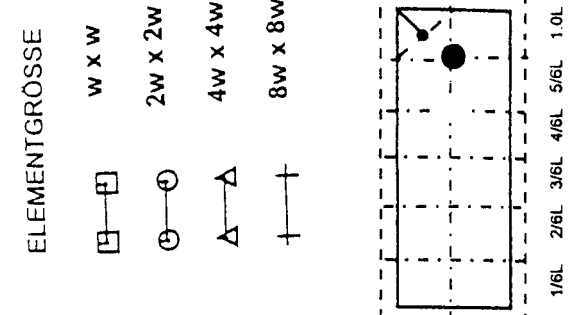
ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- ⊙ 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



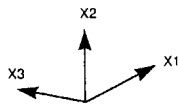
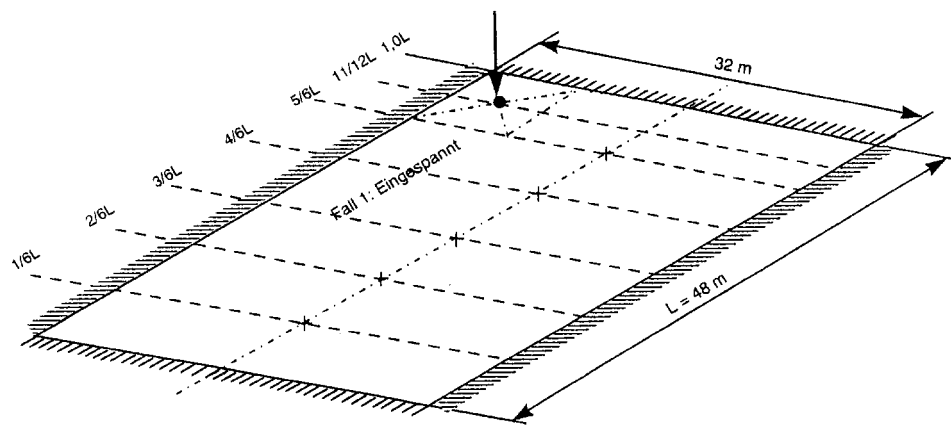
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



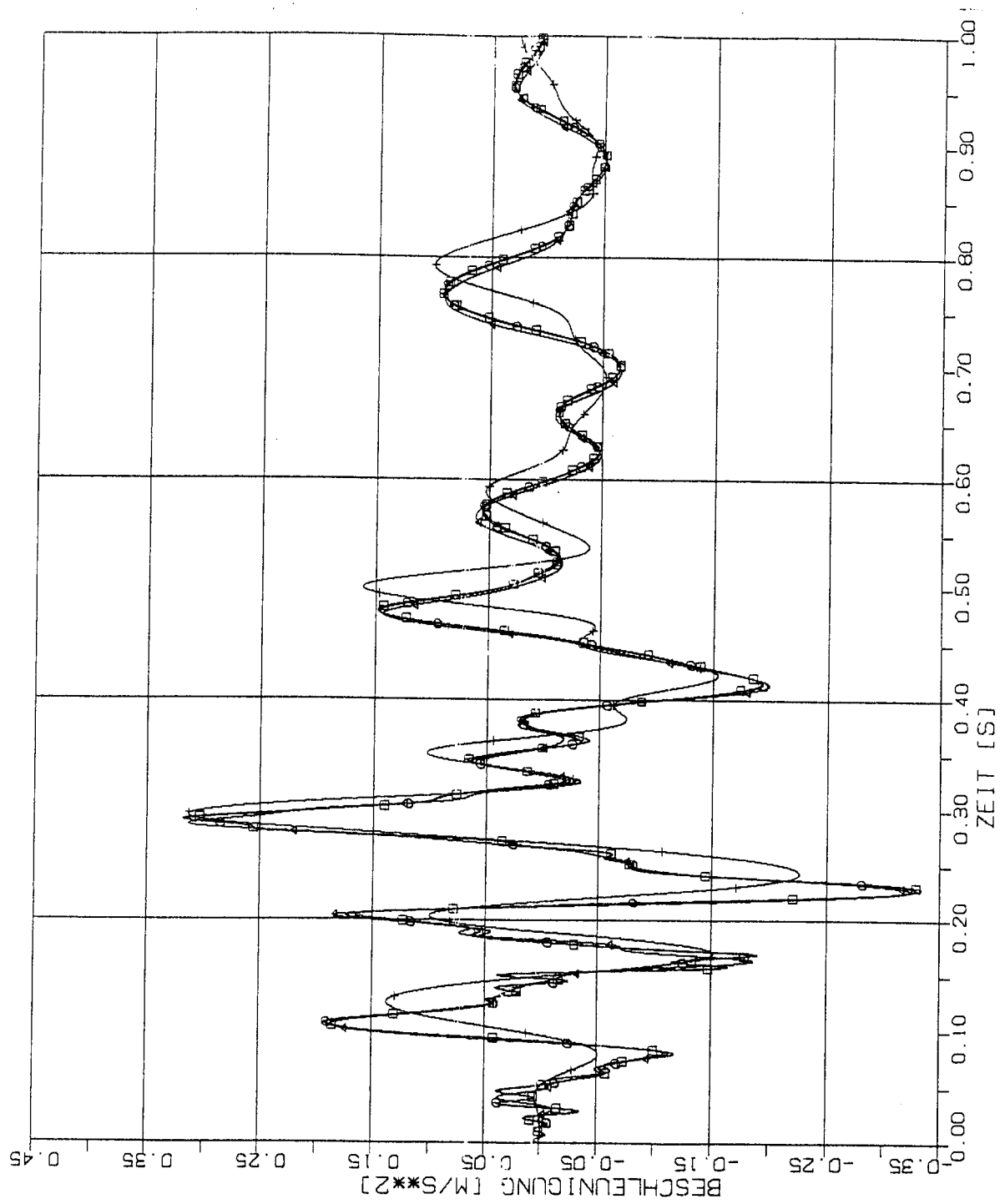
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFUE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

2.3.2 Platte mit Kontureinspannung (Strukturantworten senkrecht zur Plattenebene)



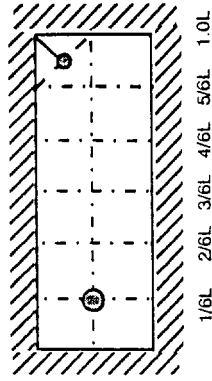
2.3.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1K

(Siehe Fig 1-4)

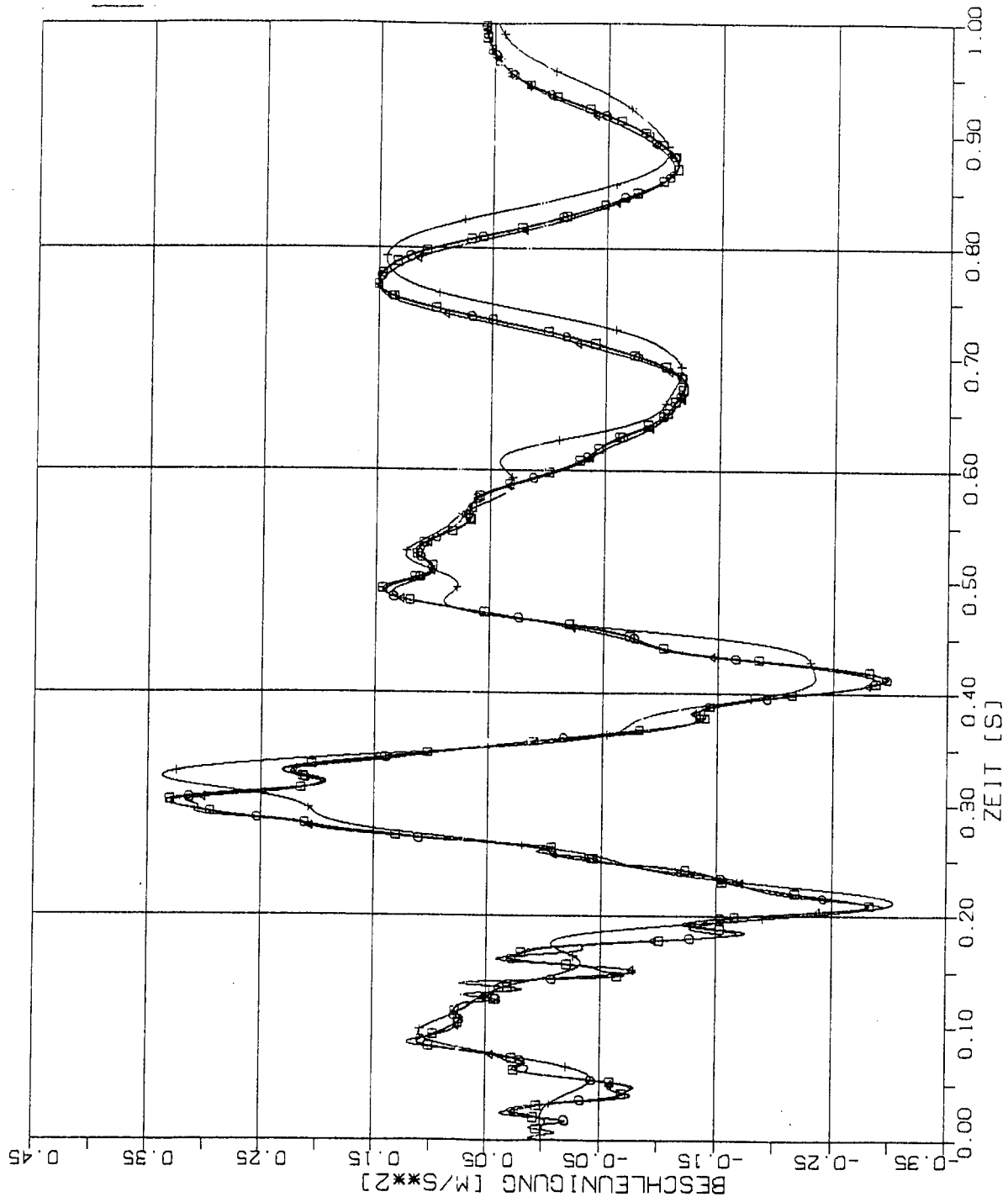


ELEMENTGRÖSSE

- \square 1w x 1w
- \bigcirc 2w x 2w
- \triangle 4w x 4w
- \times 8w x 8w

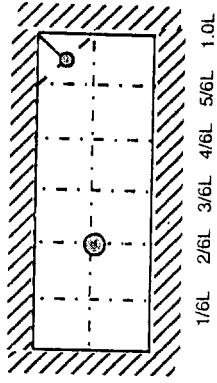


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



ELEMENTGRÖSSE

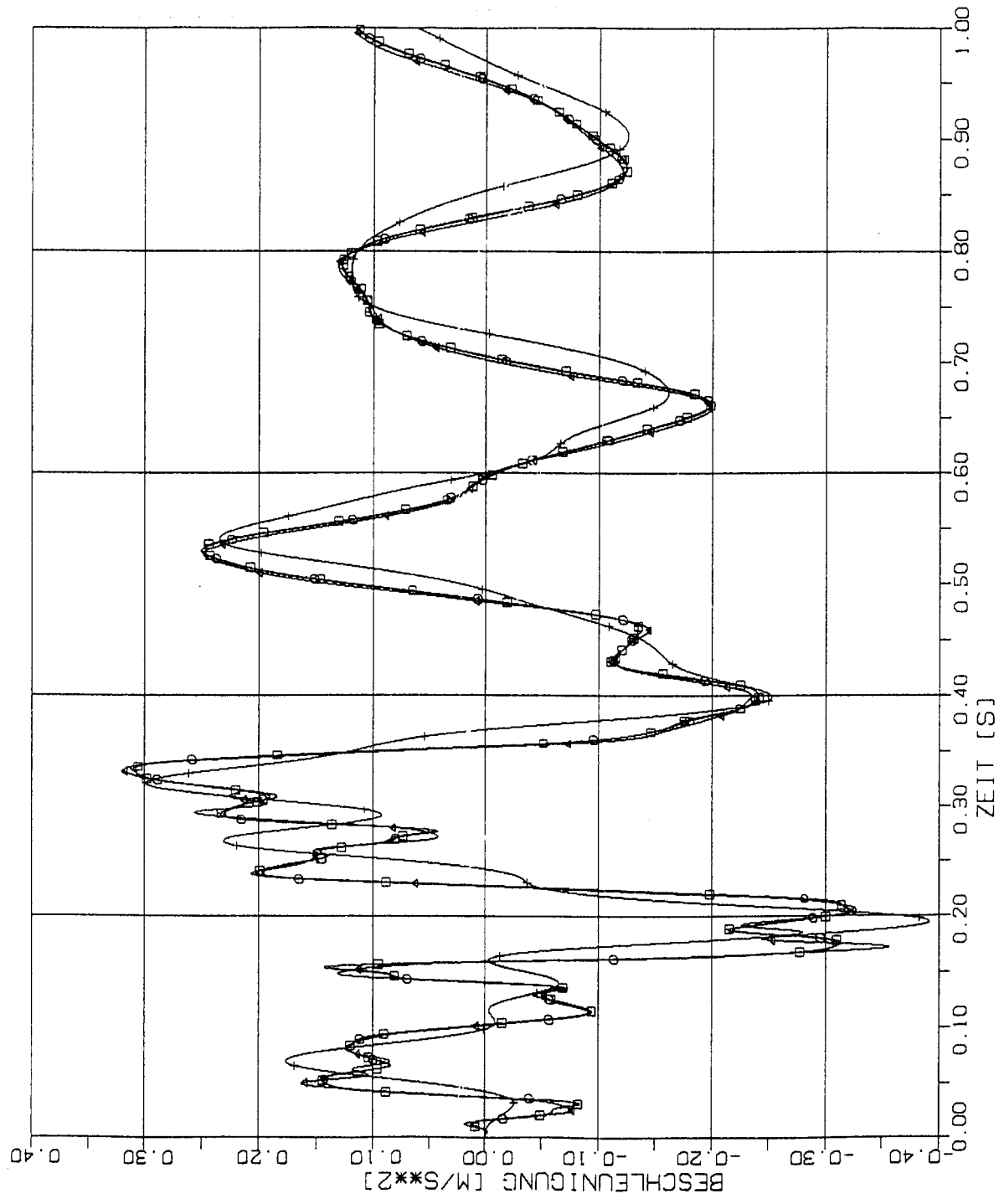
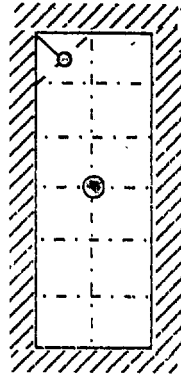
- \square $w \times w$
- \circ $2w \times 2w$
- \triangle $4w \times 4w$
- \times $8w \times 8w$



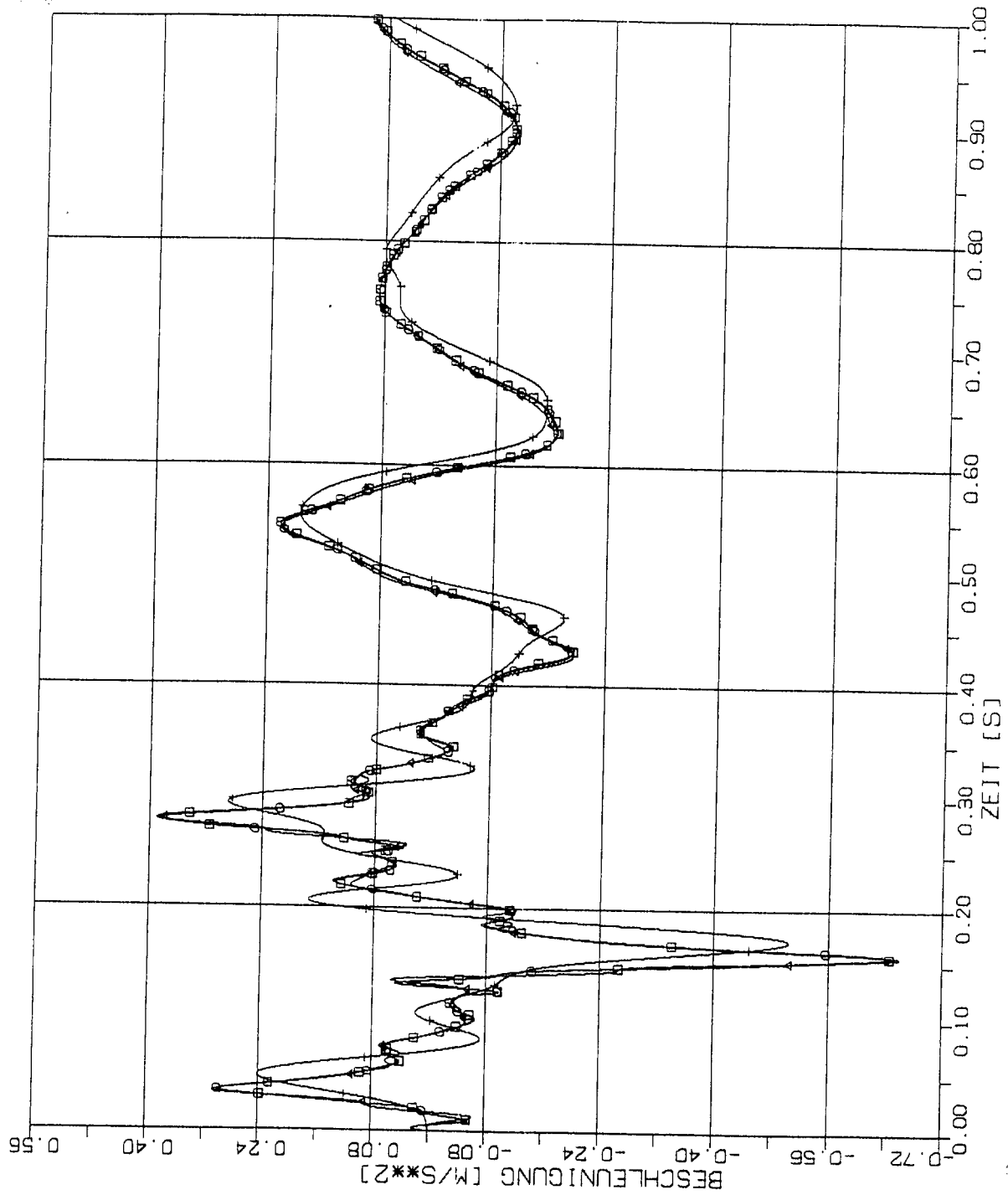
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1K SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

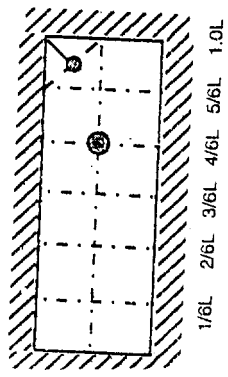


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene







ELEMENTGRÖSSE

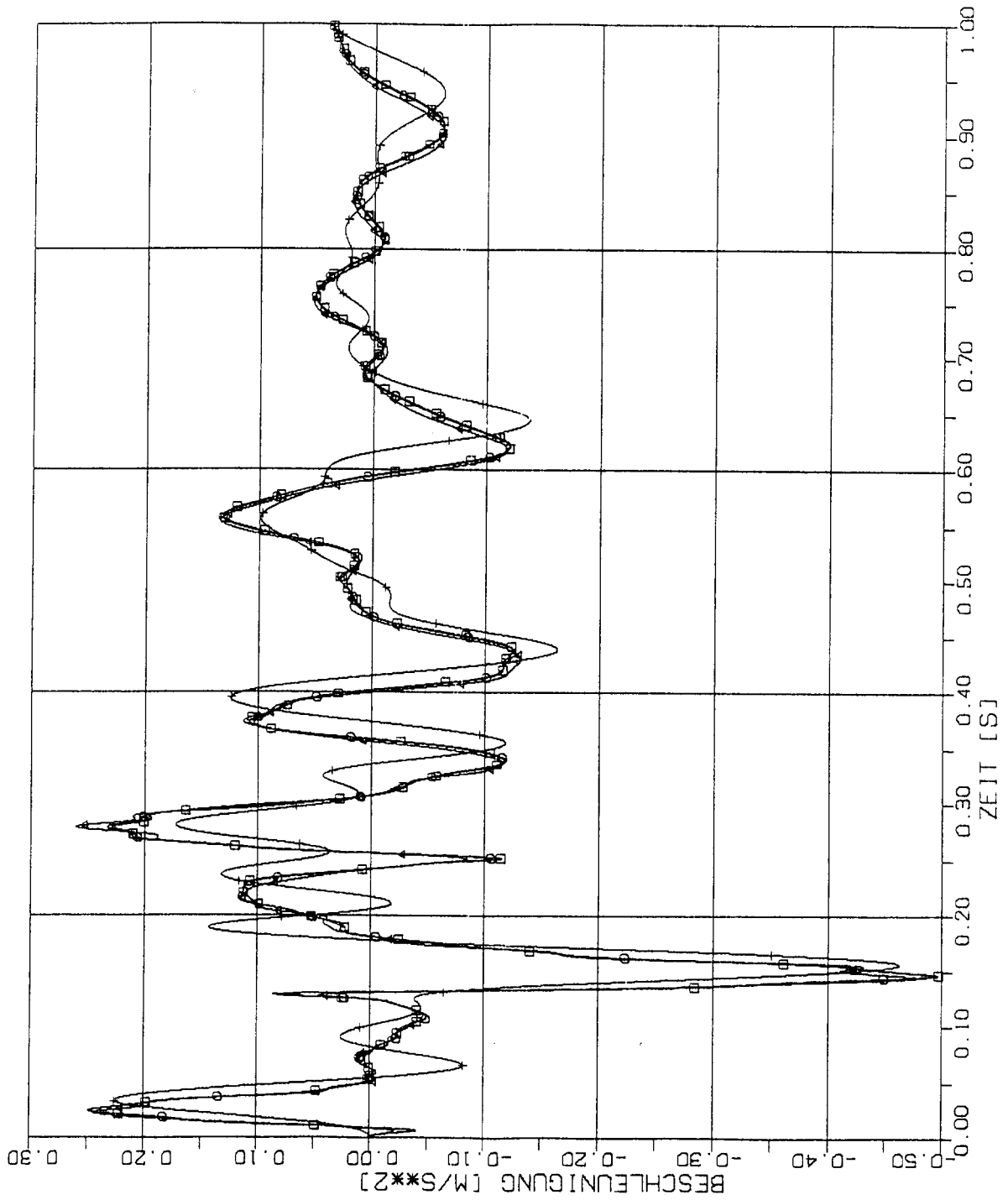
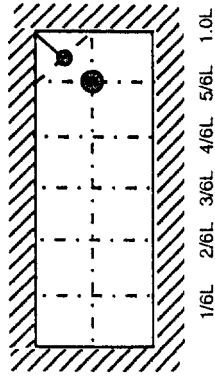
- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



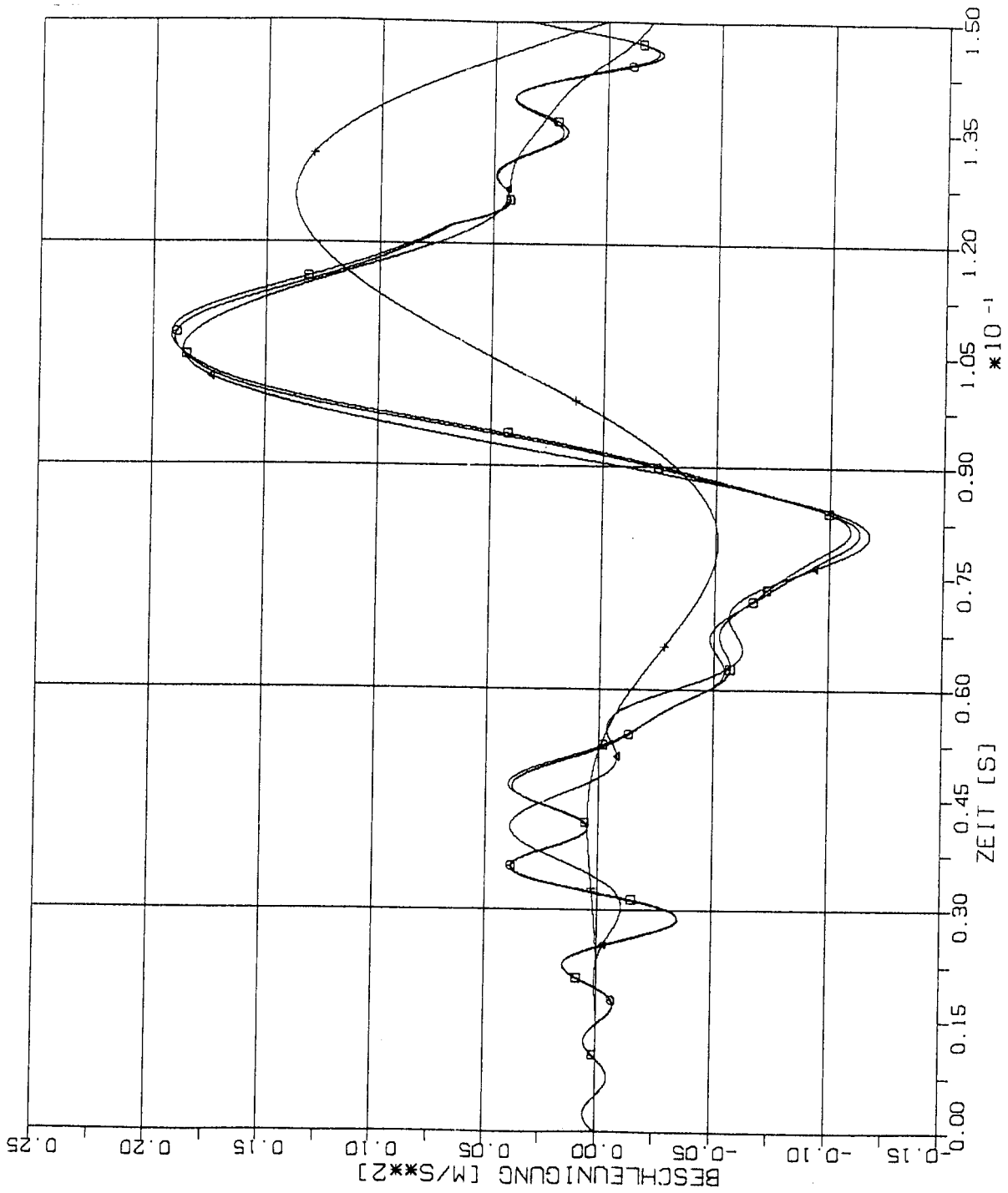
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGANGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

ELEMENTGRÖSSE

	W x W
	2W x 2W
	4W x 4W
	8W x 8W

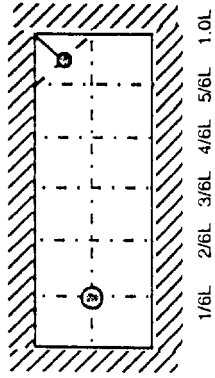


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

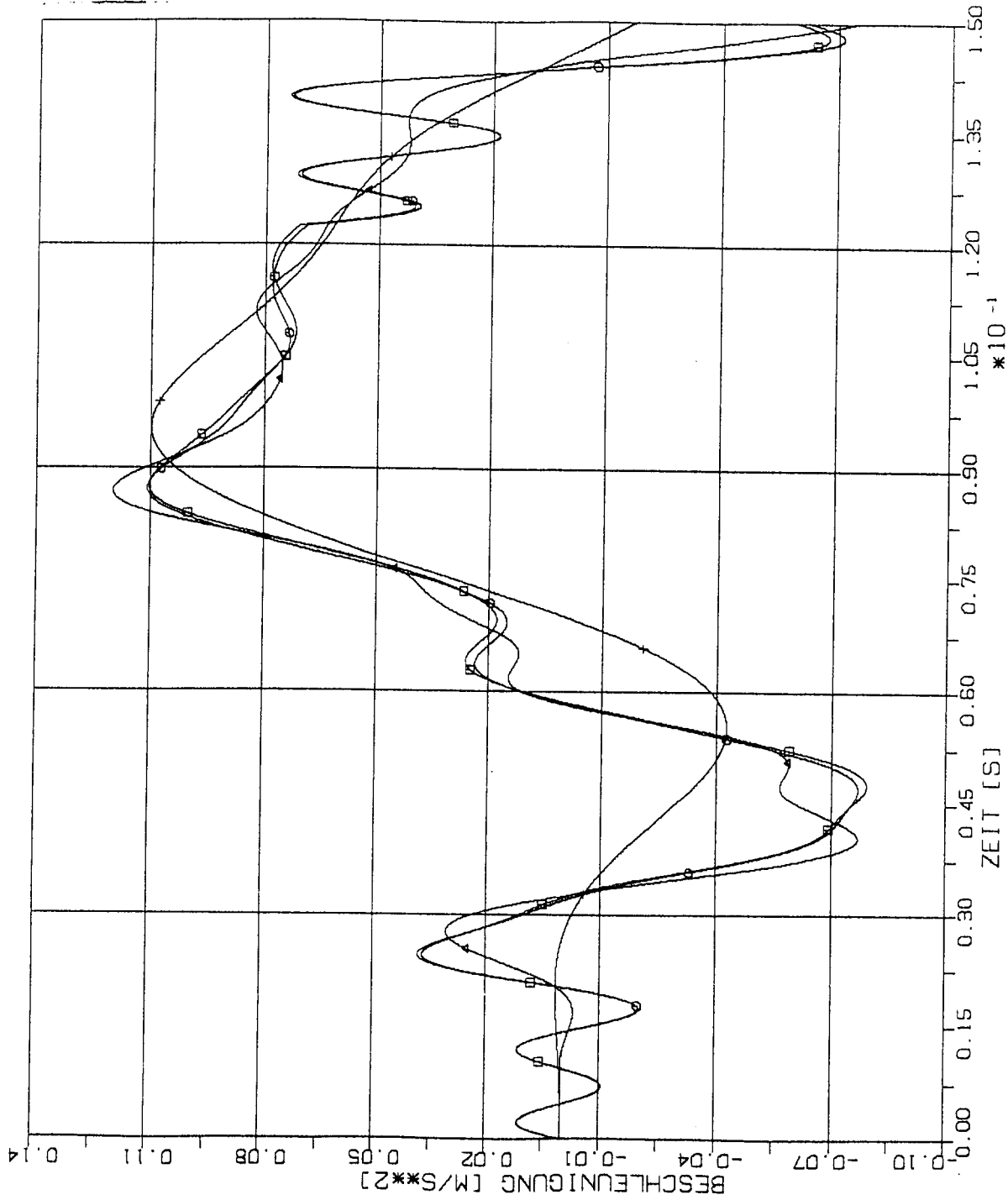


ELEMENTGRÖSSE

- $w \times w$
- $2w \times 2w$
- $4w \times 4w$
- $8w \times 8w$

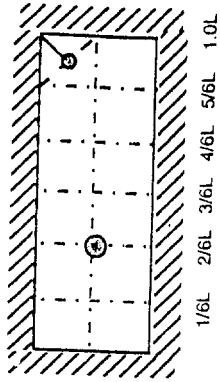


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



ELEMENTGRÖSSE

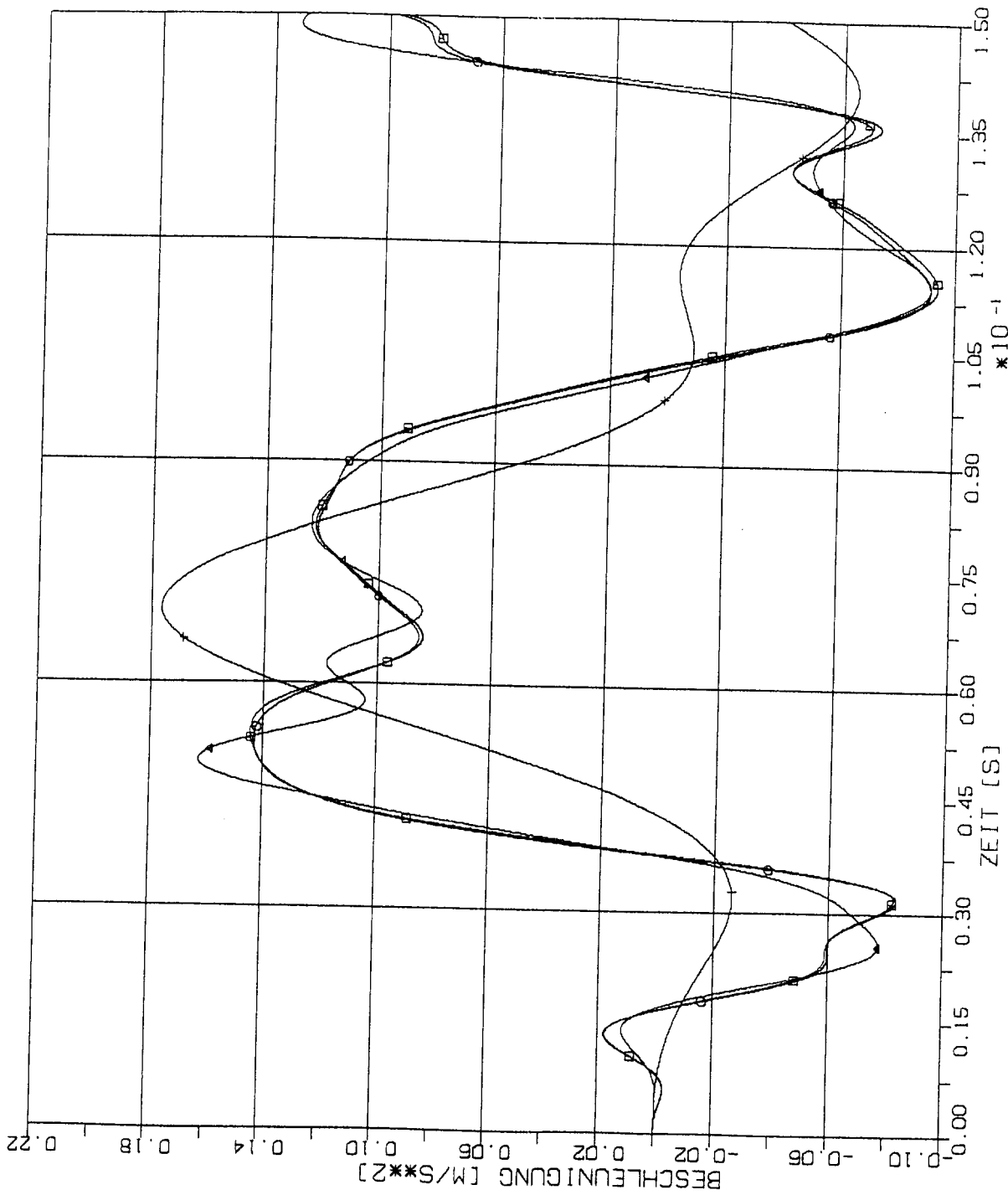
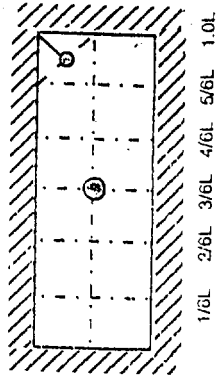
- \square $w \times w$
- \bigcirc $2w \times 2w$
- \triangle $4w \times 4w$
- \times $8w \times 8w$



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

ELEMENTGRÖSSE

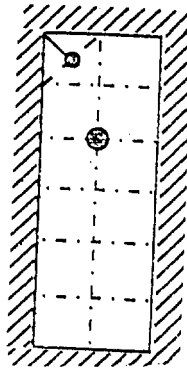
- — □ w x w
- — ○ 2w x 2w
- △ — △ 4w x 4w
- † — † 8w x 8w



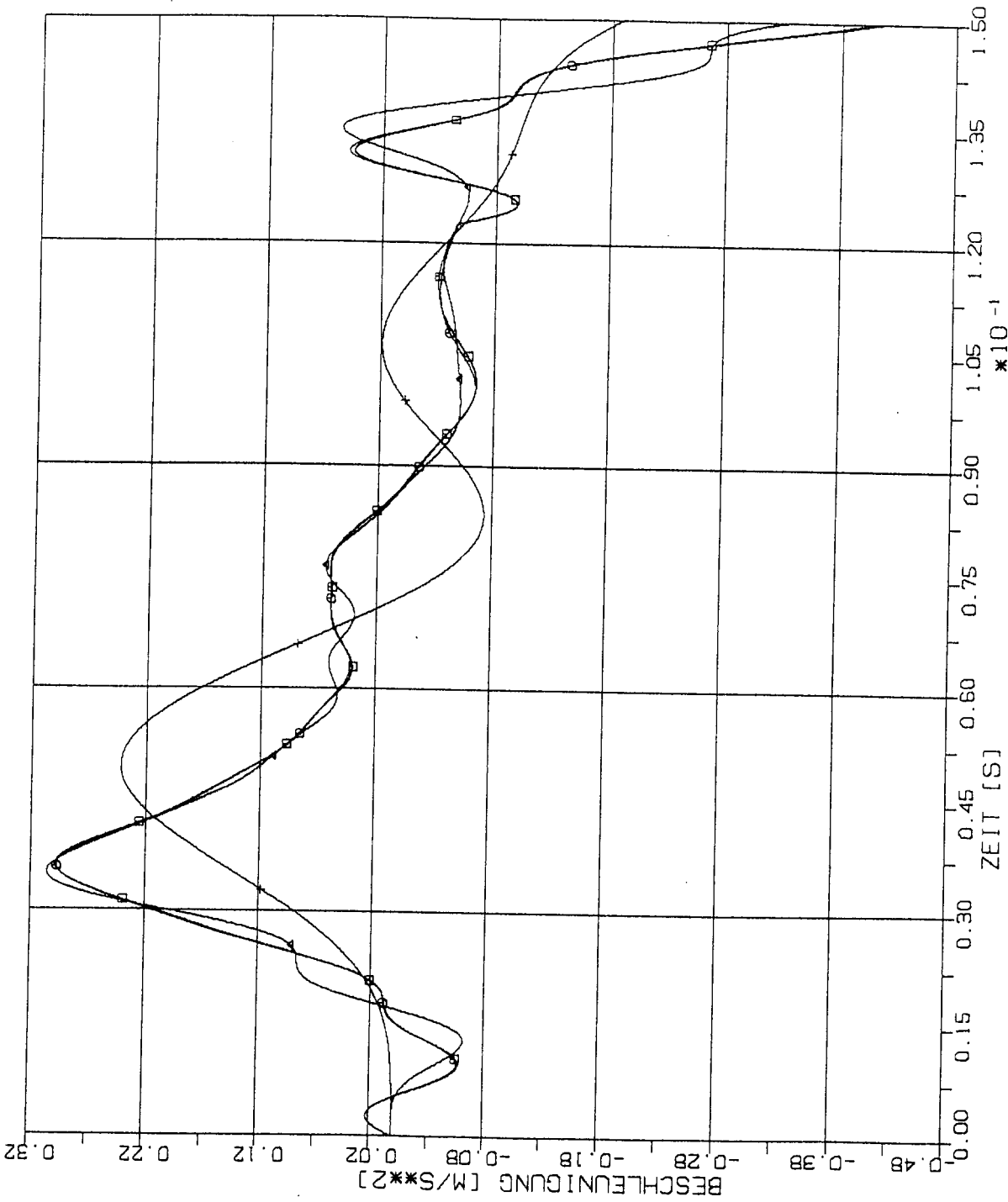
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

ELEMENTGRÖSSE

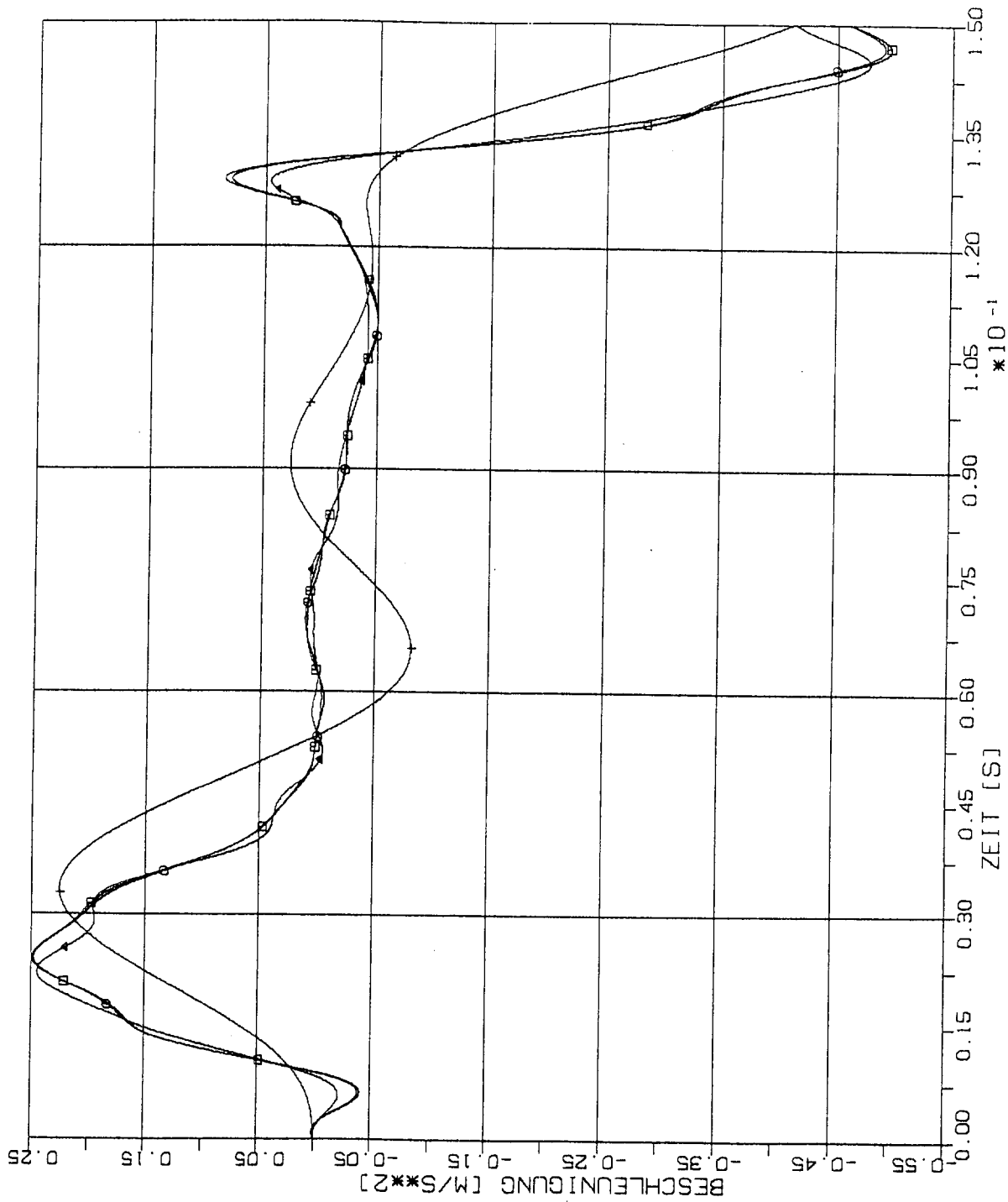
- W x W
- ⊙ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

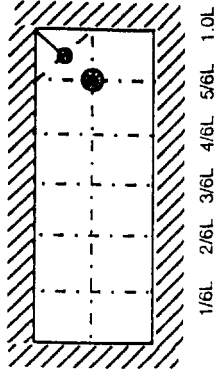


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSF.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST1K SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



ELEMENTGRÖSSE

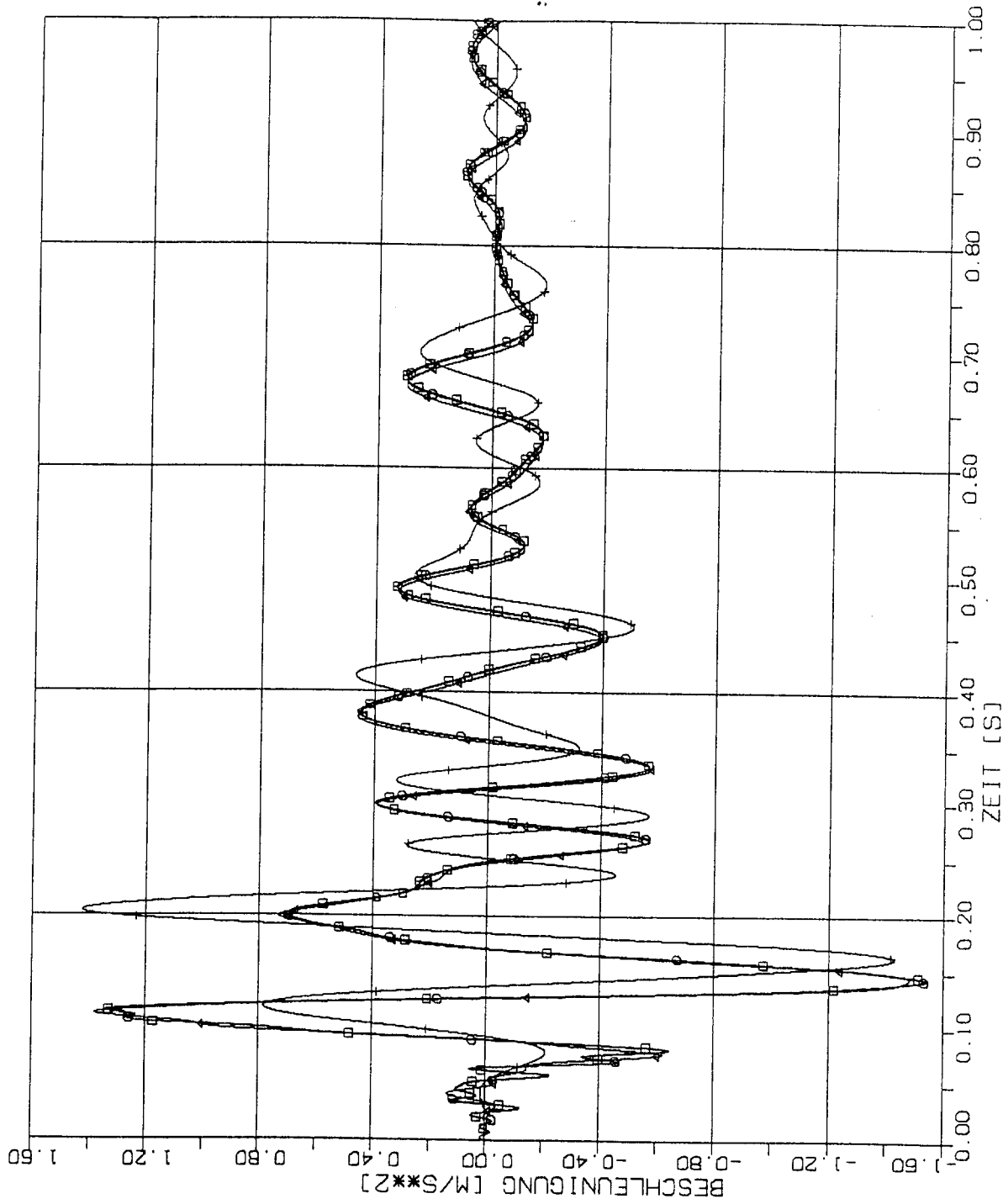
- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFUE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEBCENE

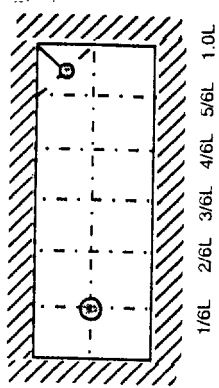
2.3.2.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-4)

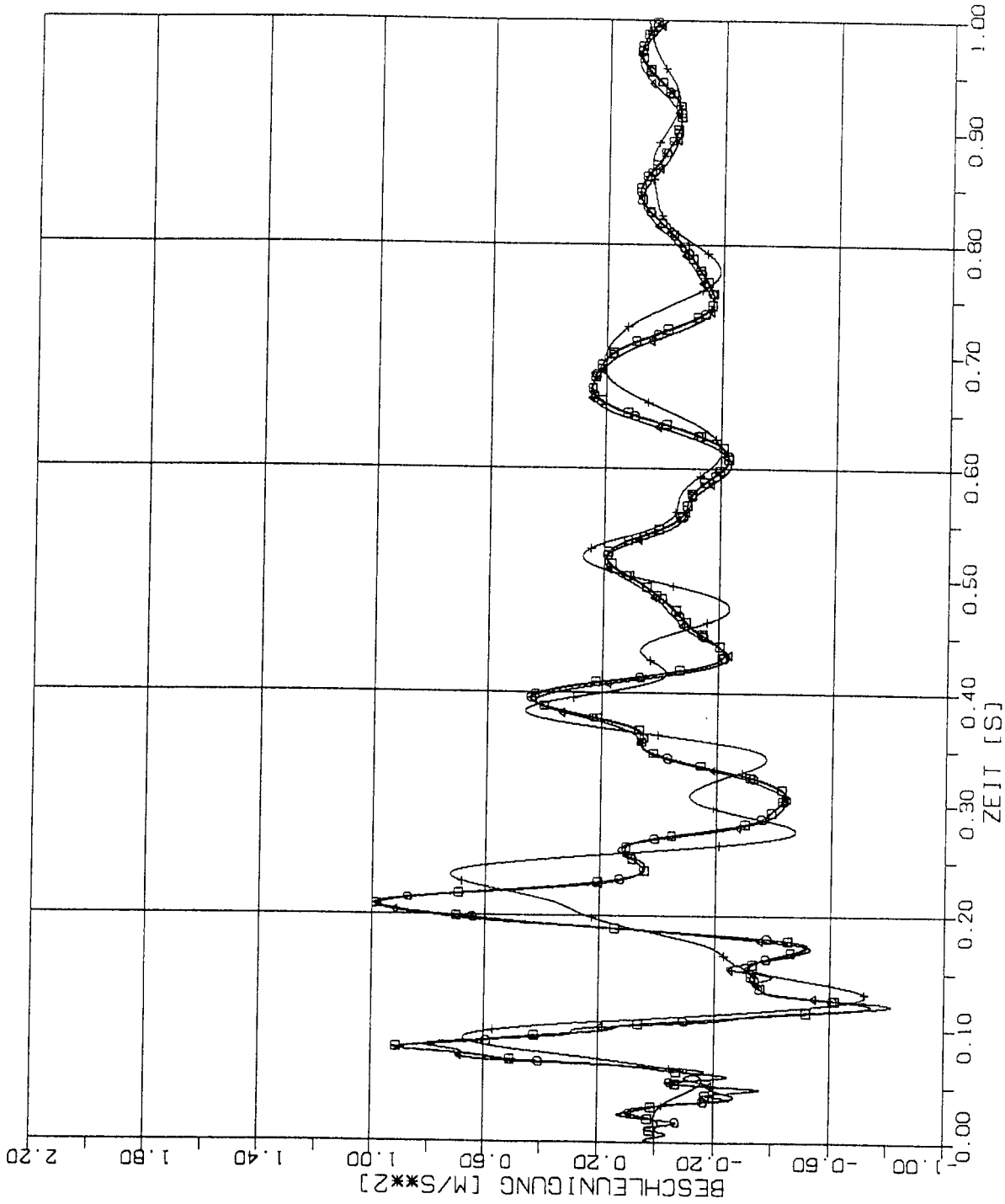


ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

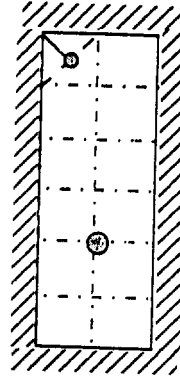


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

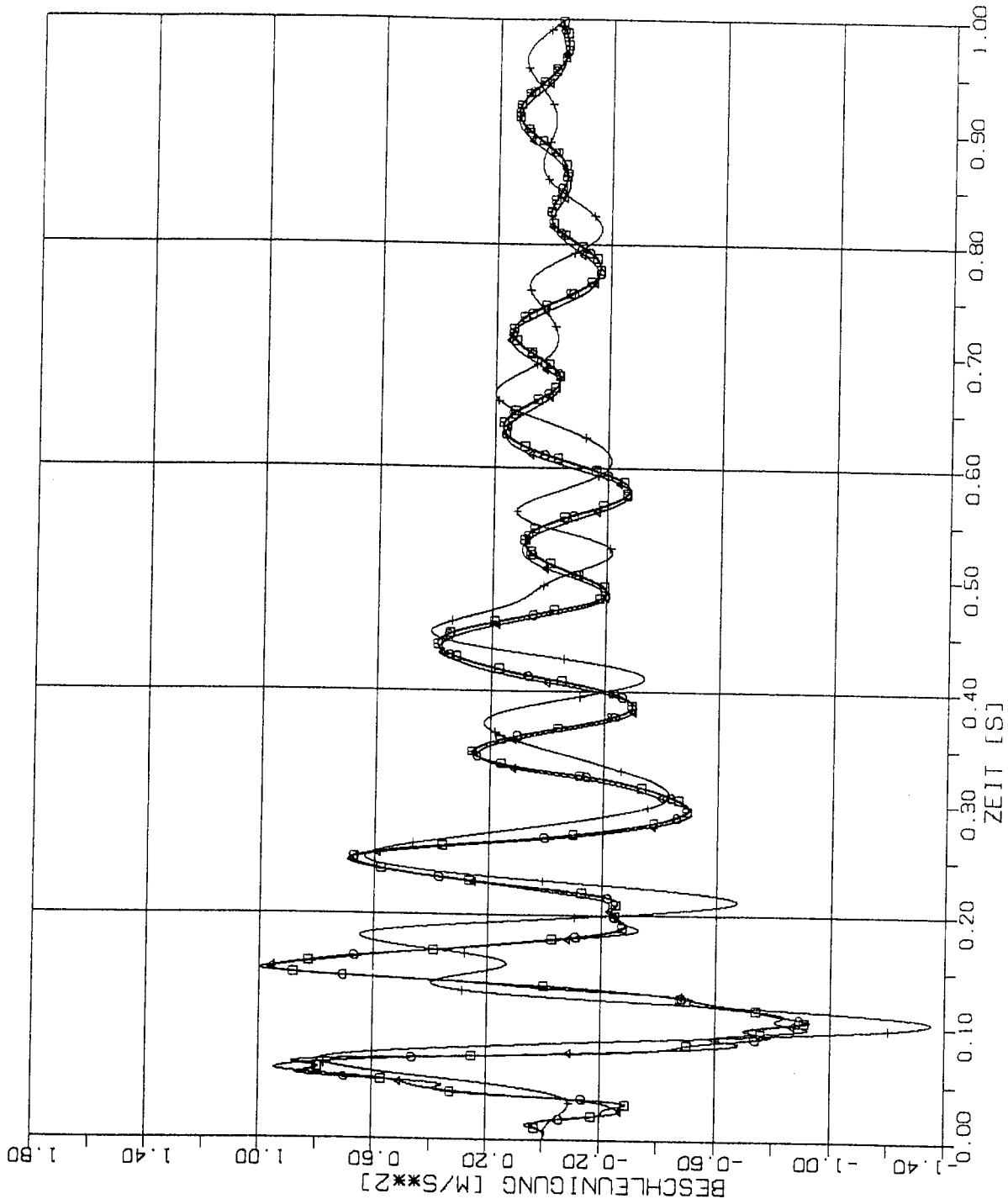


ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

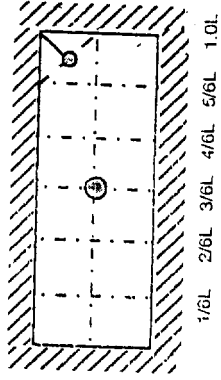


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFUE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

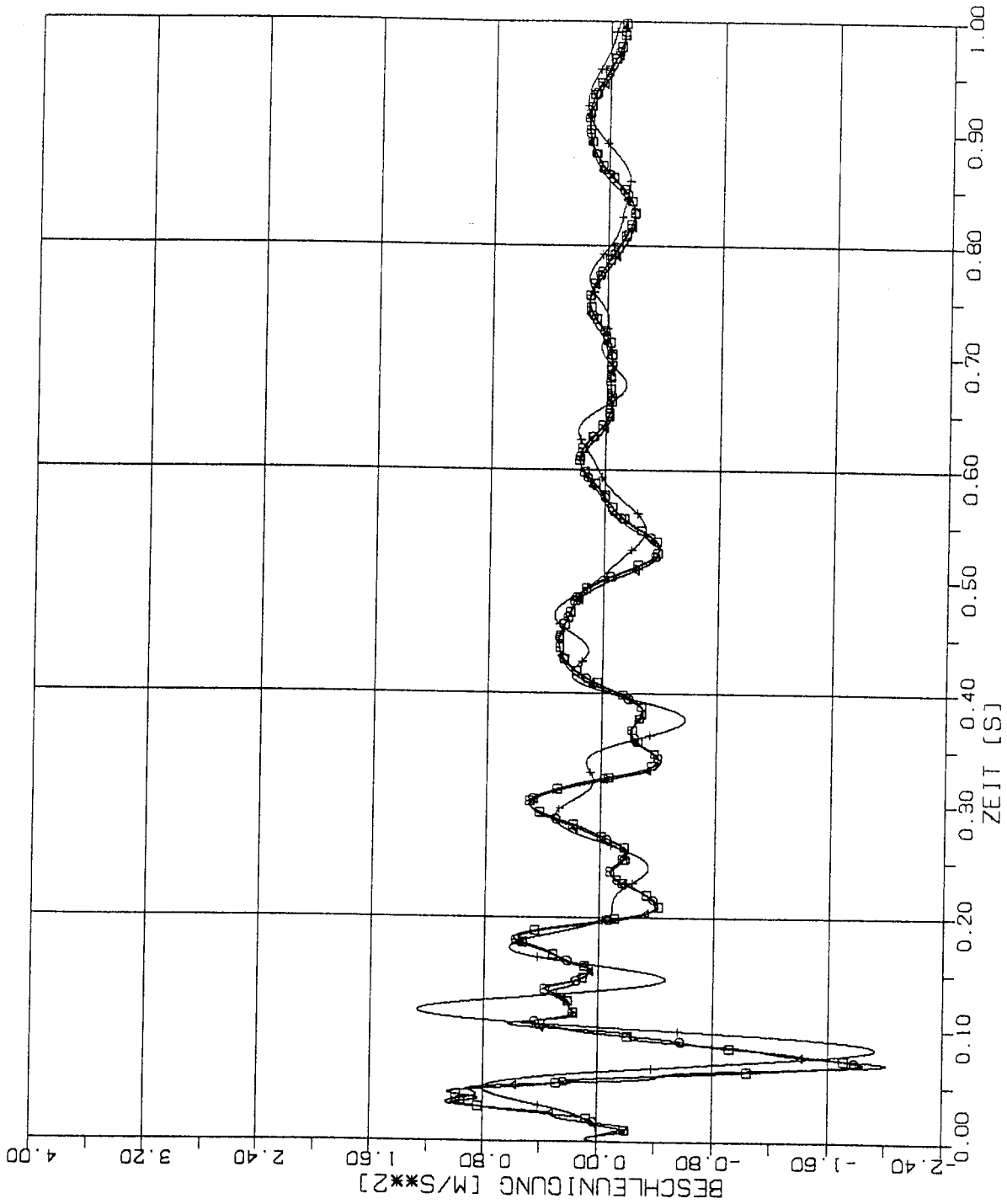


ELEMENTGRÖSSE

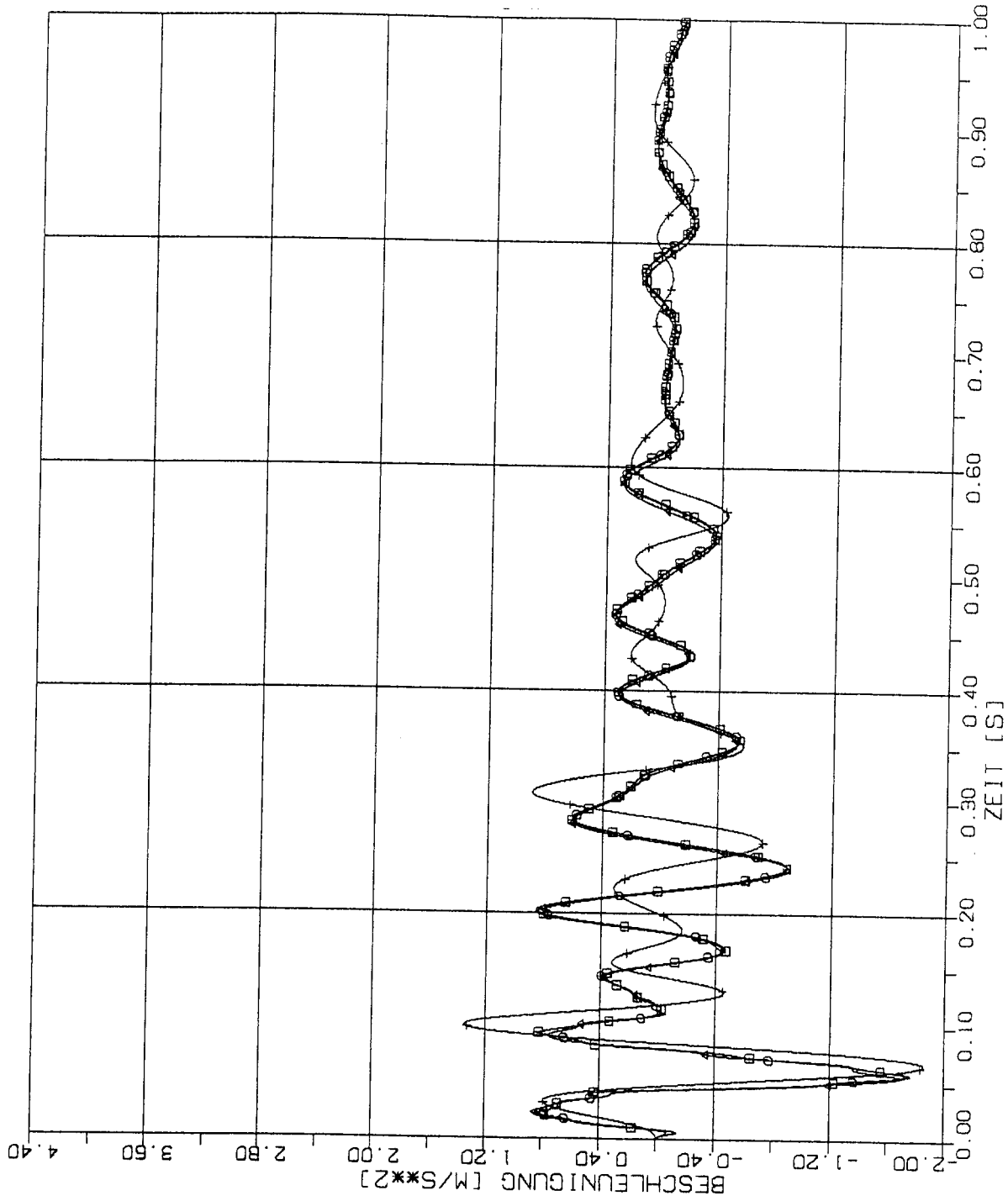
- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

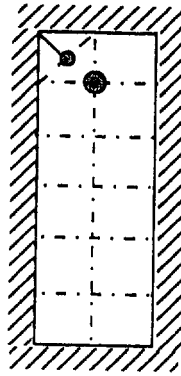


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE



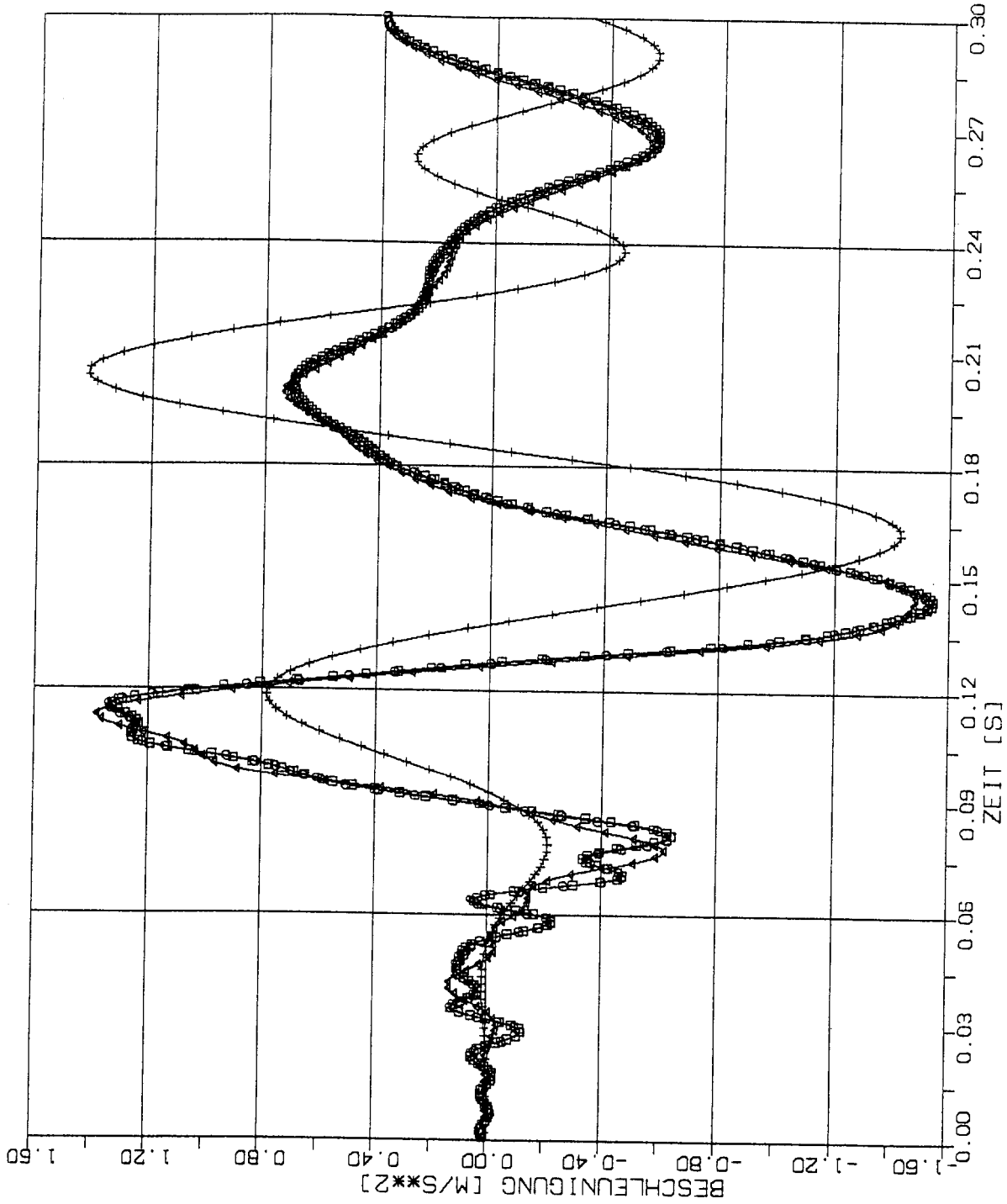
ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



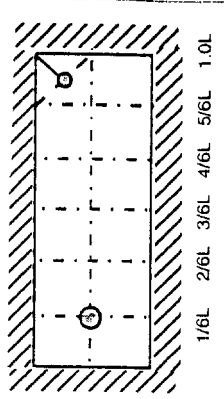
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



ELEMENTGRÖSSE

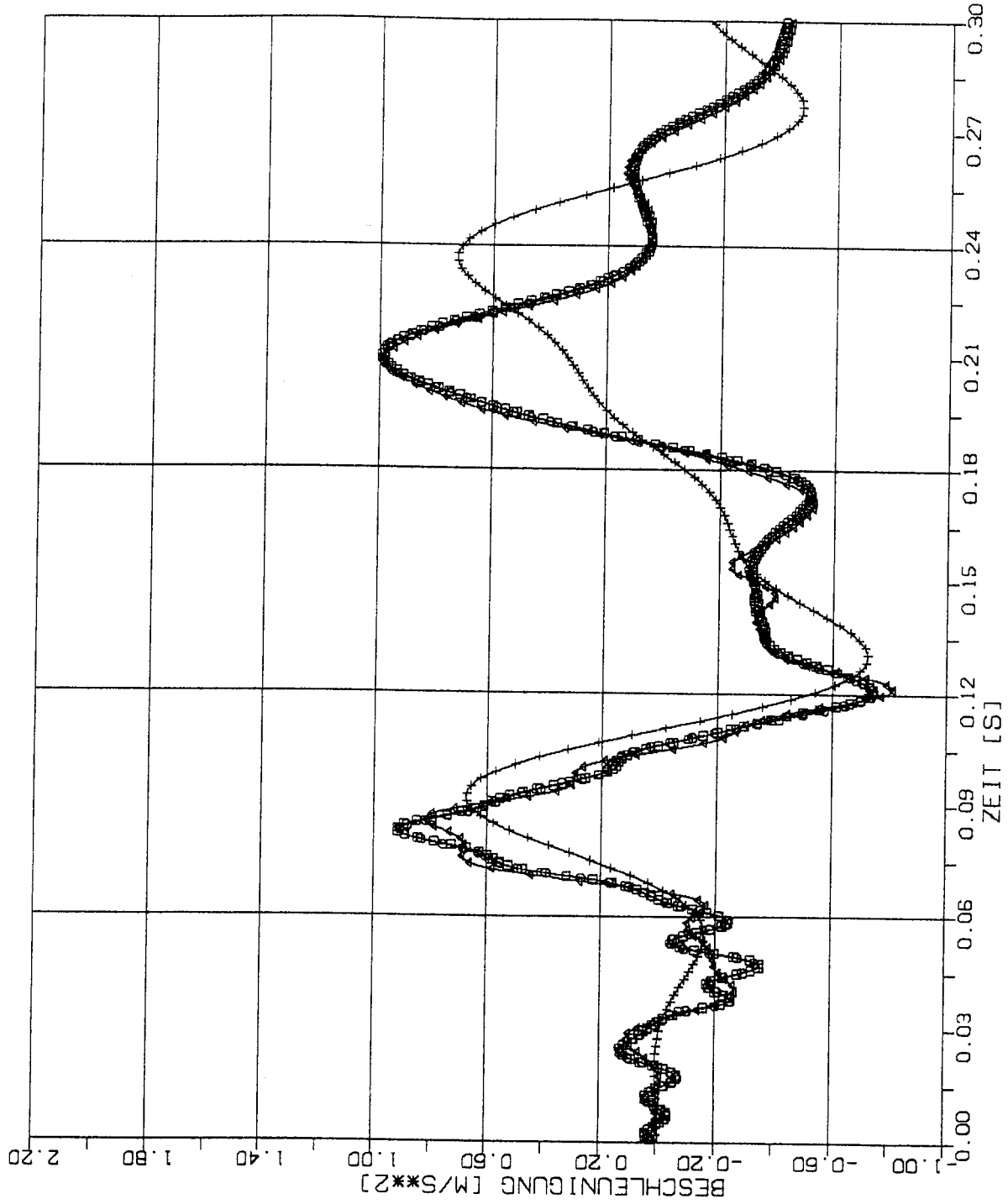
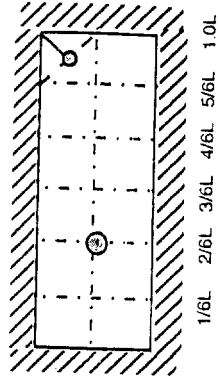
- — □ w x w
- — ○ 2w x 2w
- △ — △ 4w x 4w
- + — + 8w x 8w



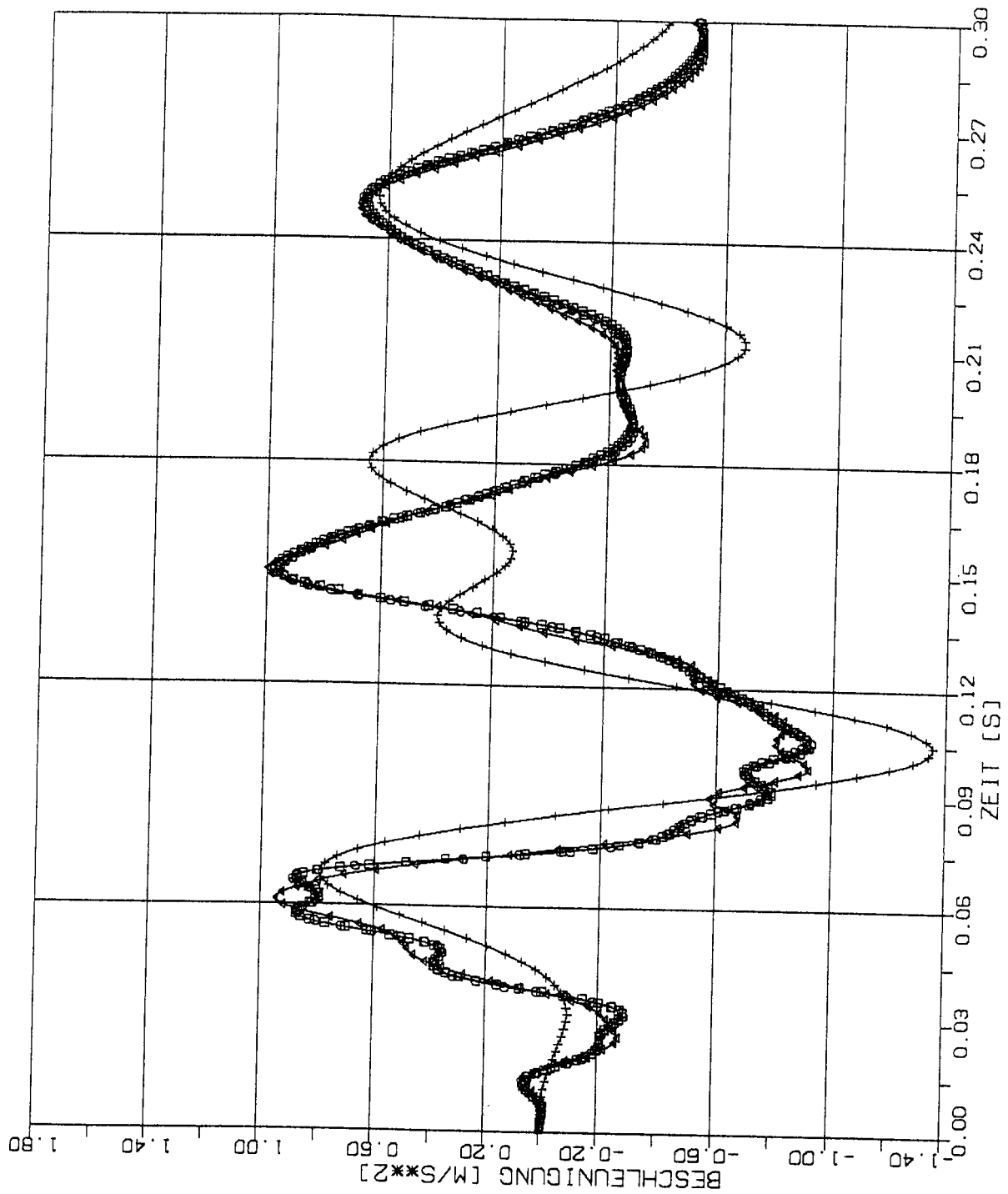
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPI.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 1/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

ELEMENTGRÖSSE

- — □ W x W
- ⊕ — ⊕ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- † — † 8W x 8W

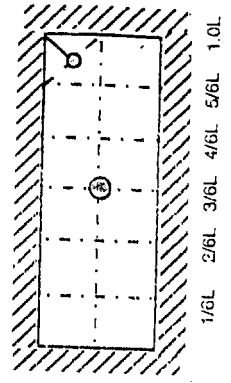


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 2/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

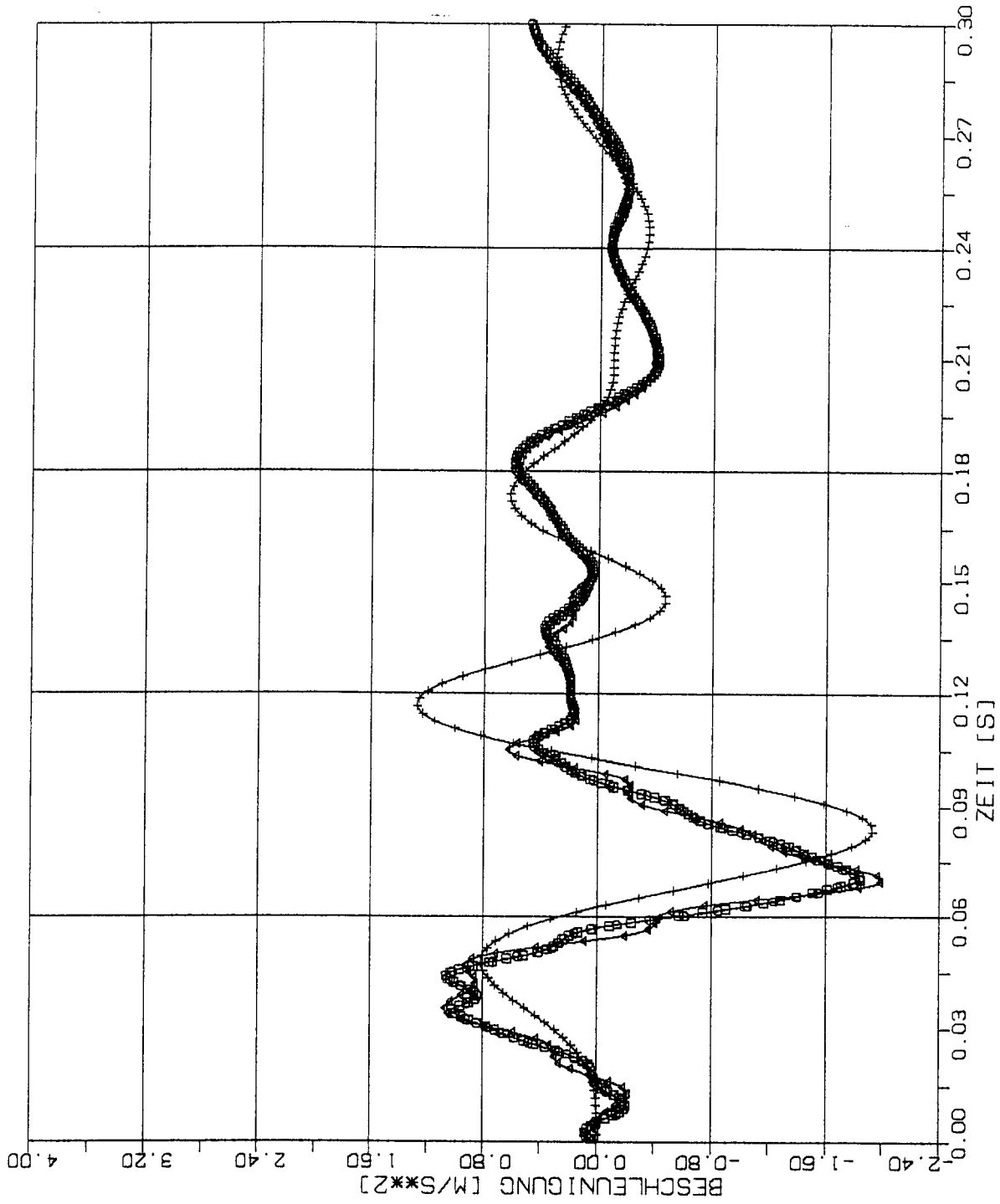


ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

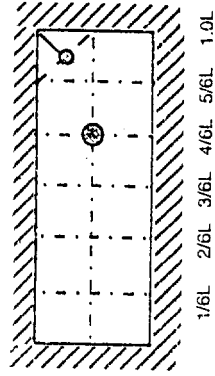


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSKP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 3/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEBCNE

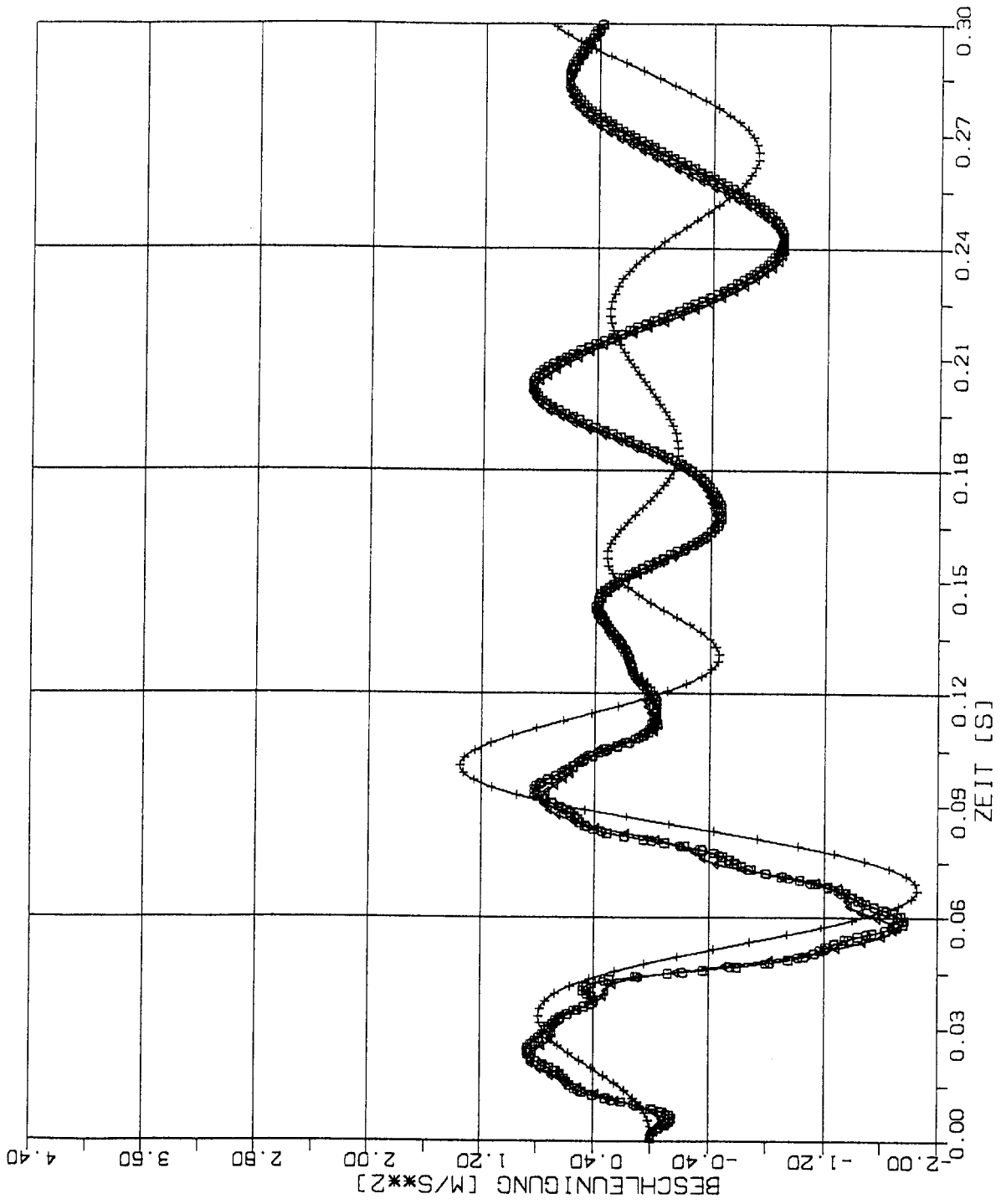


ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- ⊙ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

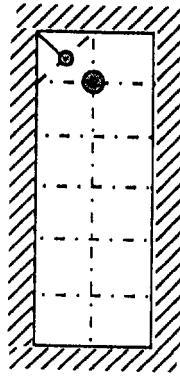


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 4/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene



ELEMENTGRÖSSE

- — □ w x w
- ⊖ — ⊖ 2w x 2w
- △ — △ 4w x 4w
- † — † 8w x 8w



1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

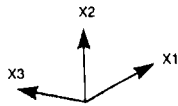
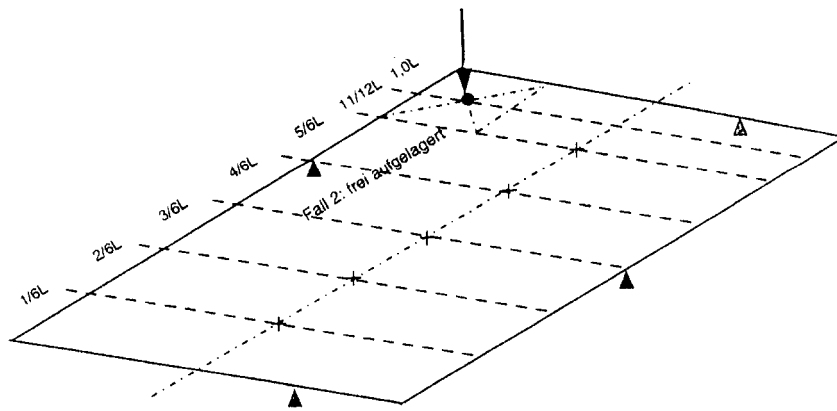
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSP.
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE IM B.-PKT. 5/6 L
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene

Zwischenblatt

2.4

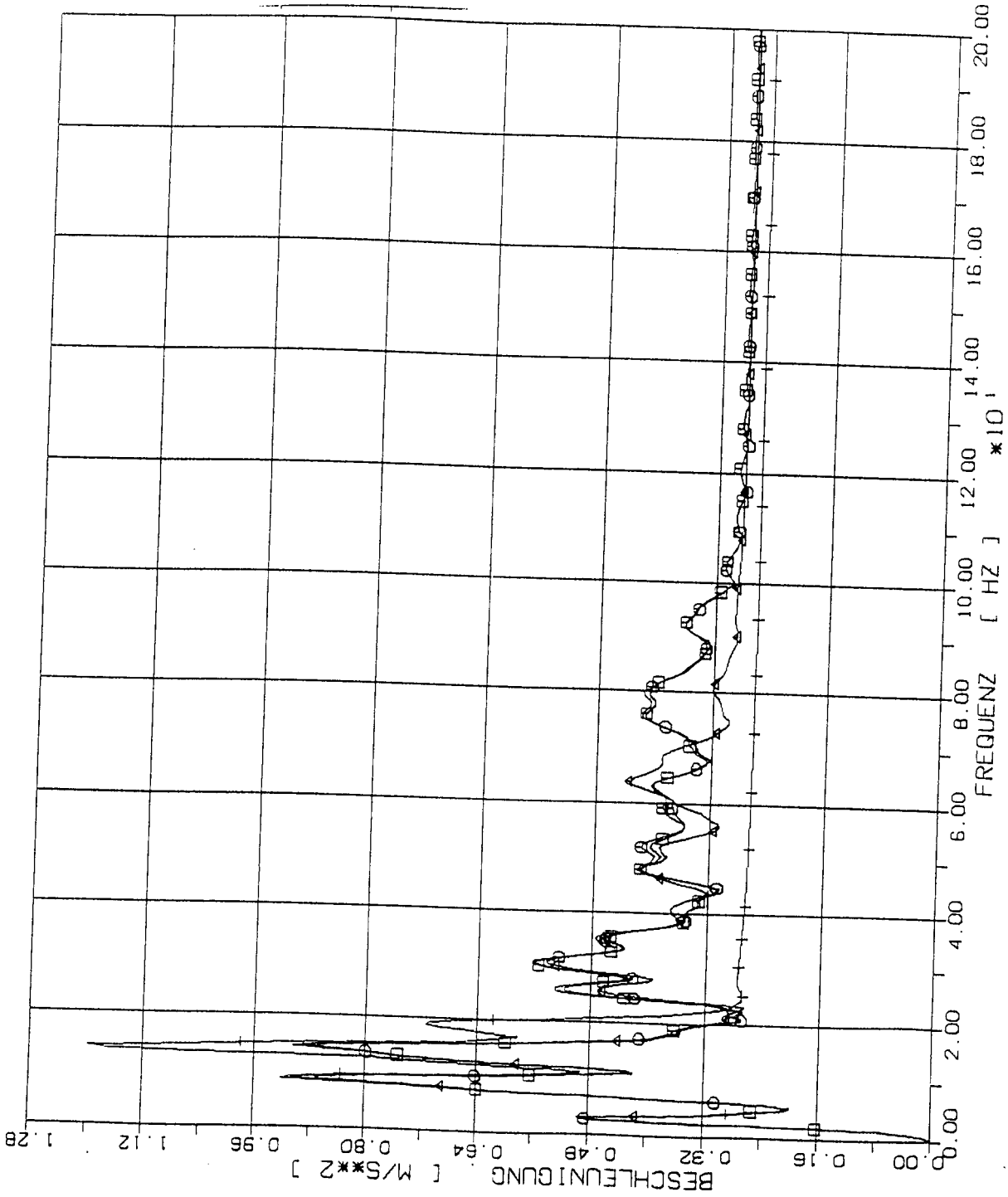
**Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren
in den charakteristischen Beobachtungspunkten der
Modelldeckenplatte bei verschiedener Diskretisierung
und Stoßbelastung senkrecht zur Plattenebene**

2.4.1 Frei aufgelagerte Platte (Strukturantworten senkrecht zur Plattenebene)



2.4.1.1 Stoß-Lastfunktion ST1A

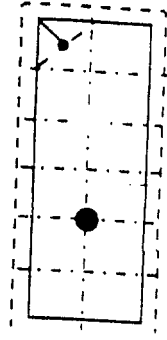
(Siehe Fig 1-4)



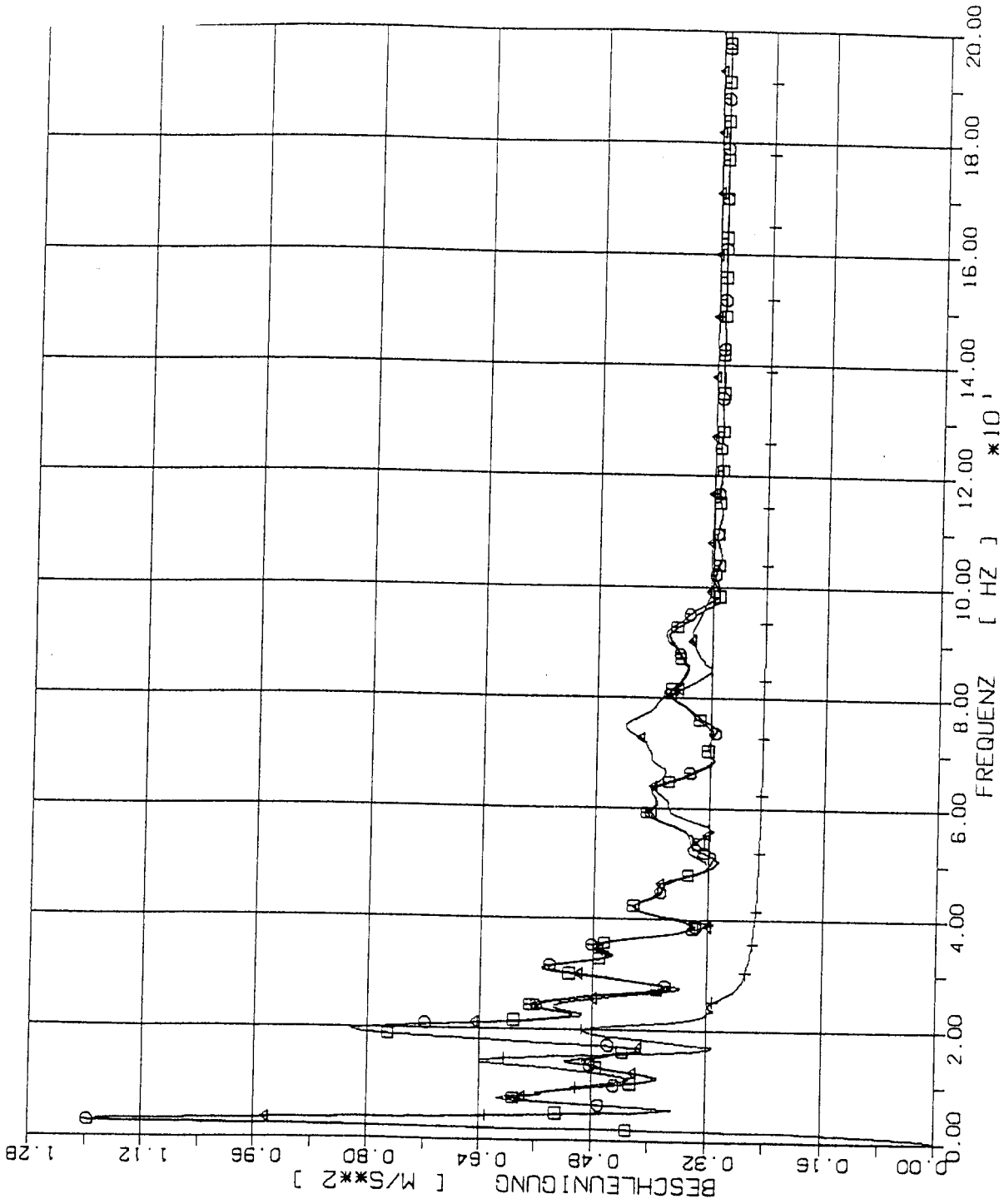
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

ELEMENTGRÖSSE

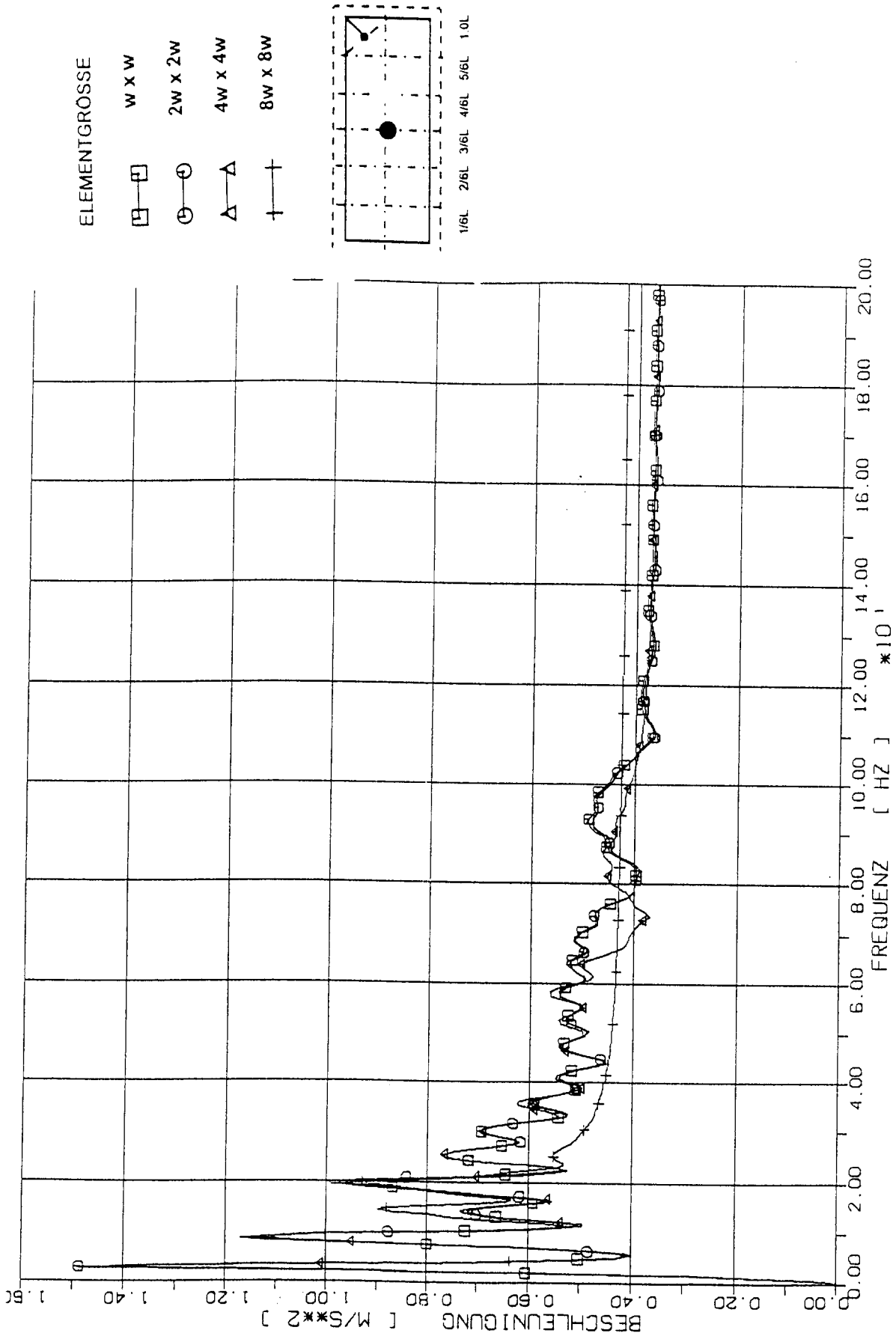
- W x W
- ⊙ 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



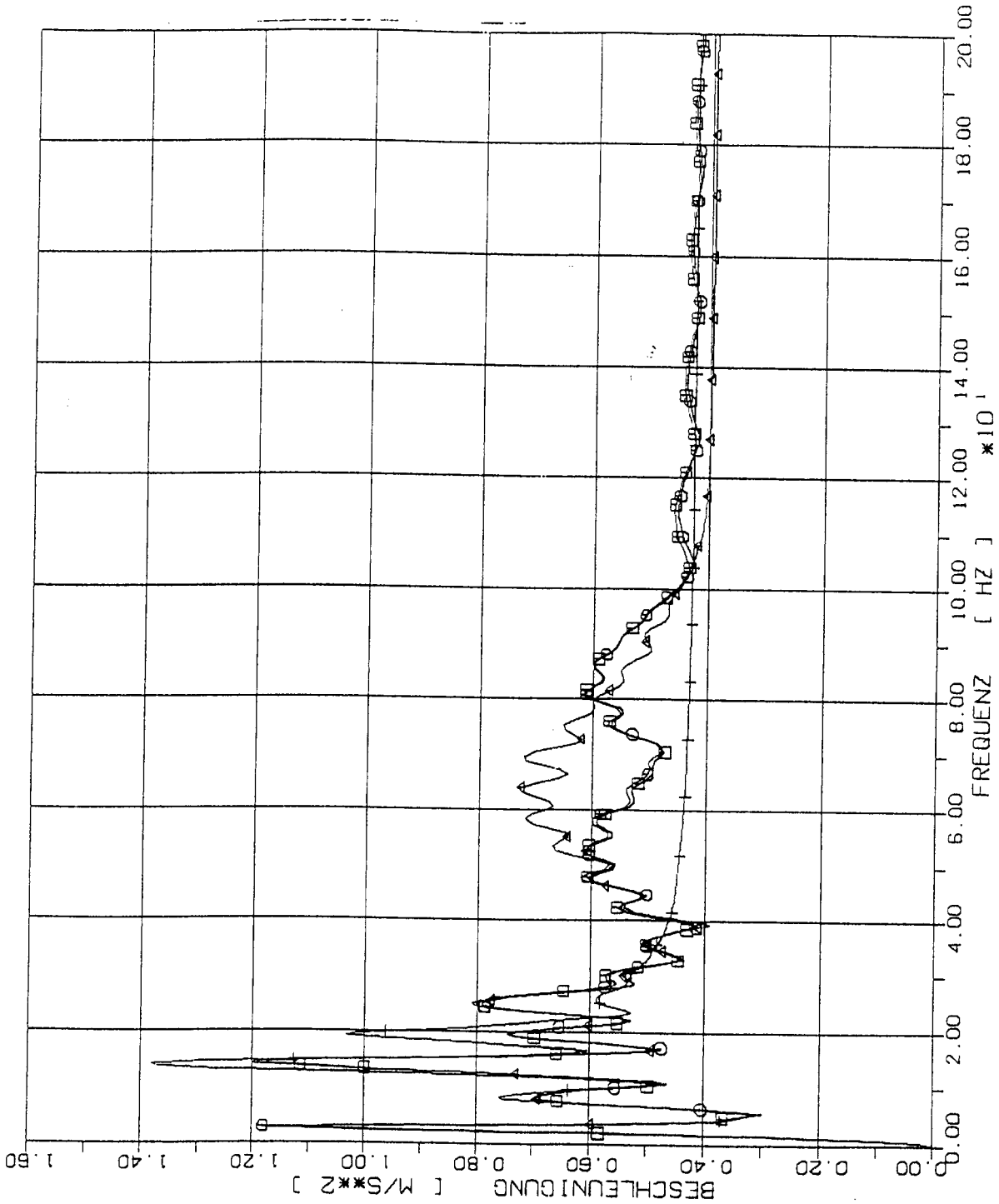
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 10L



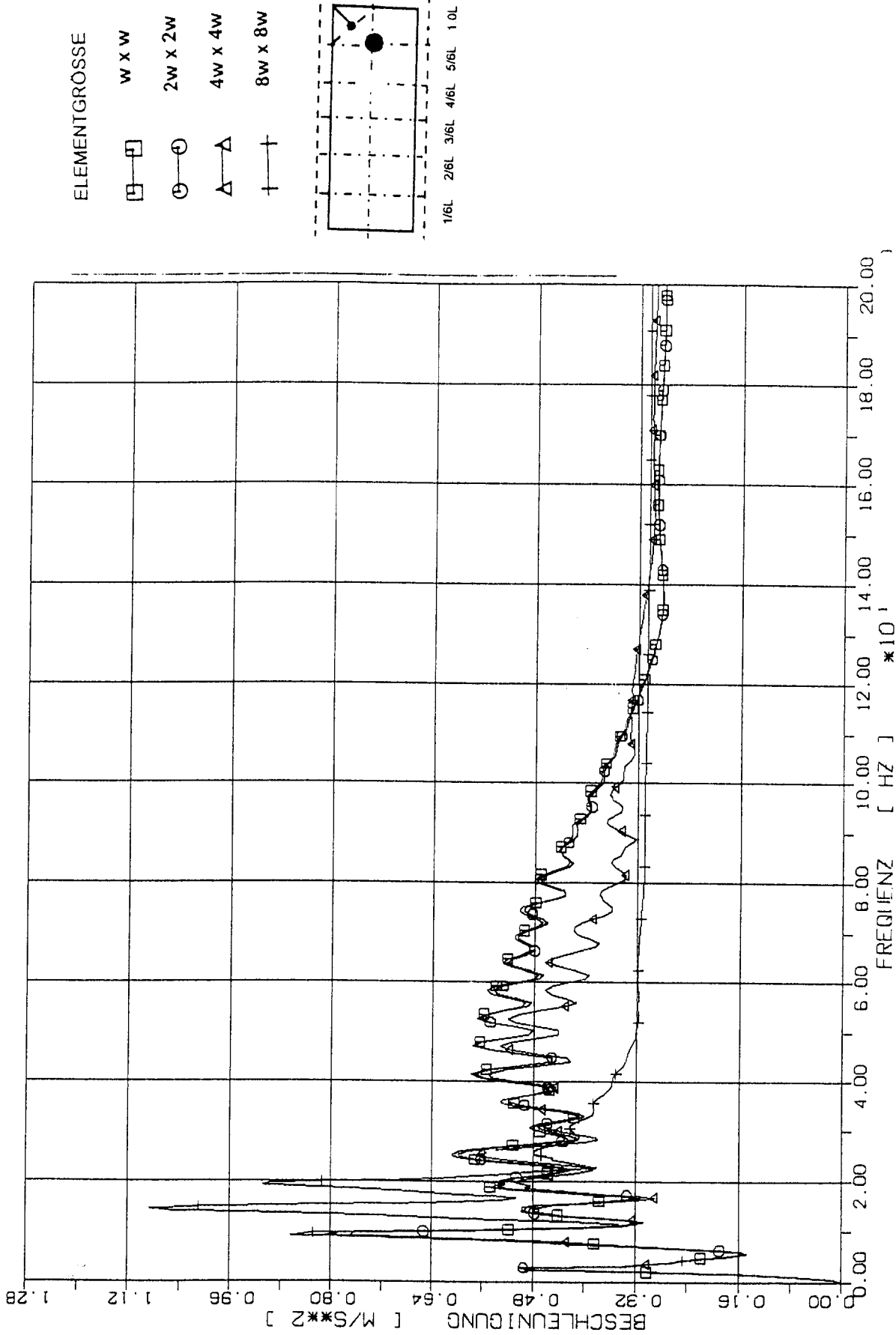
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 2/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBACHTUNGSPUNKT 3/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)



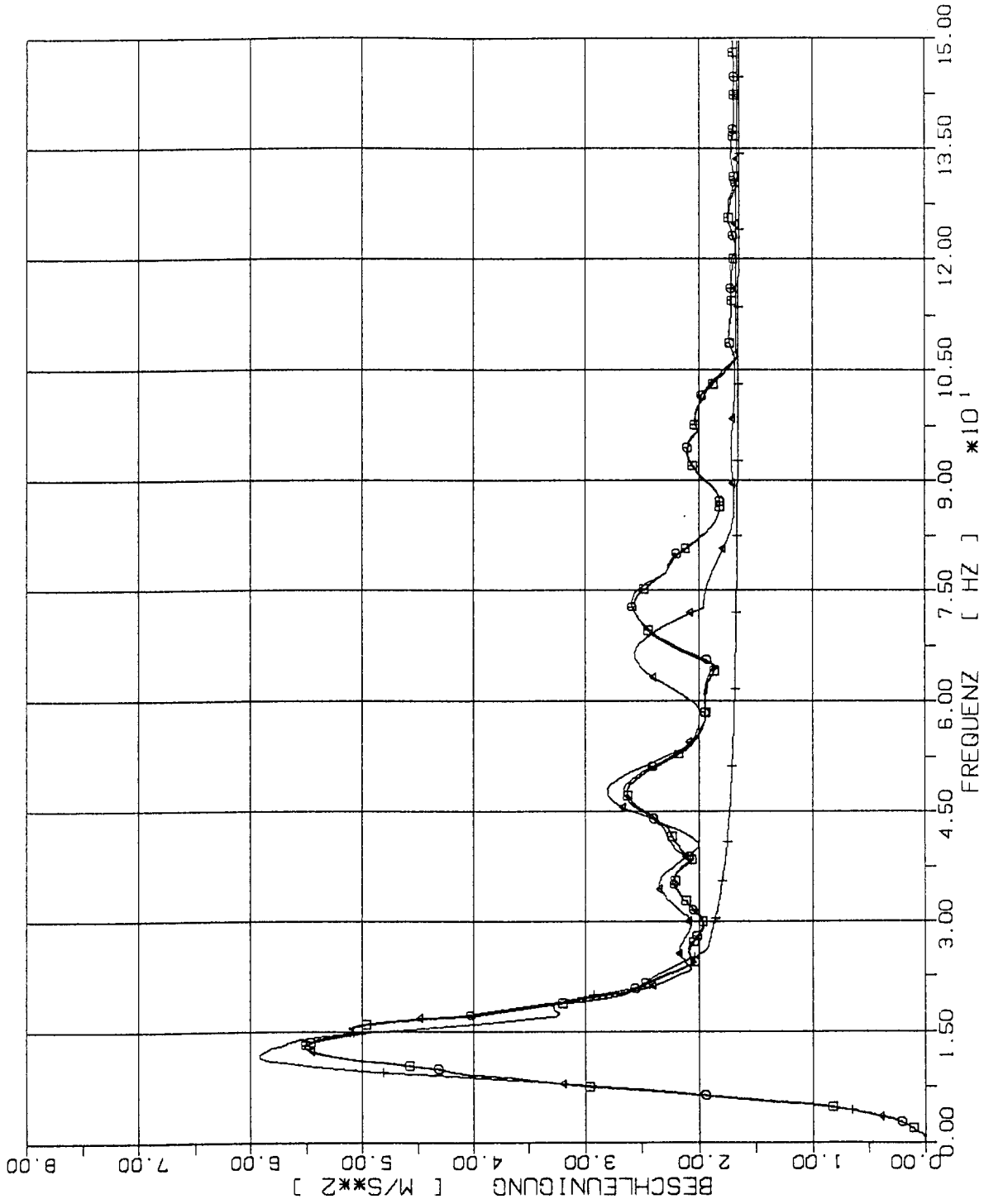
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 4/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST1A SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGEFLAG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBACHTUNGSPUNKT 5/6 L (2% DAEMPFUNG)
 STOSSBELASTUNG STIA SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

2.4.1.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-4)



ELEMENTGRÖSSE



1W x 1W



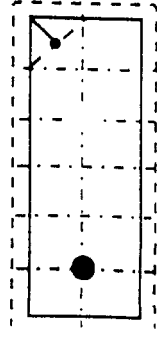
2W x 2W



4W x 4W

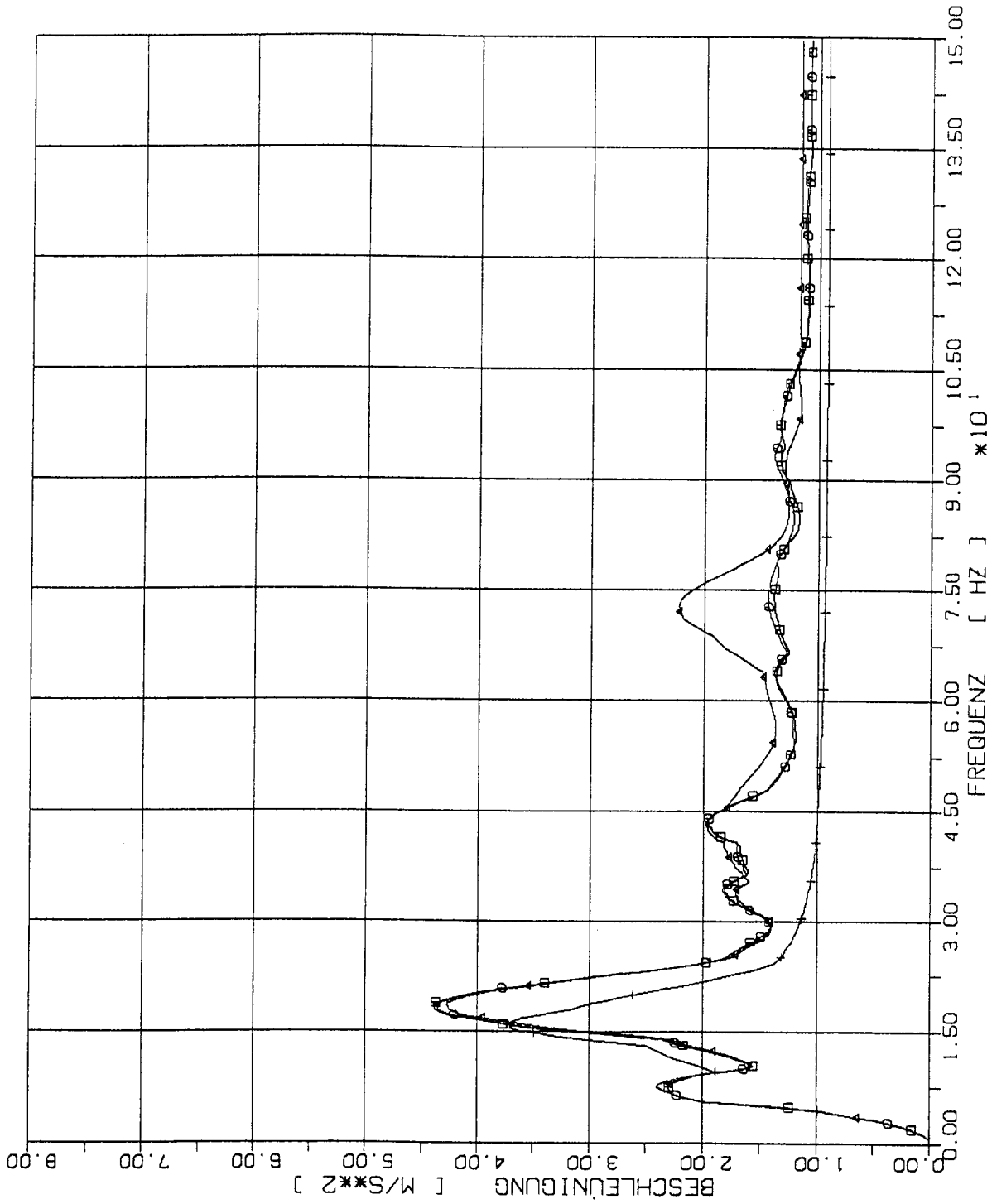


8W x 8W



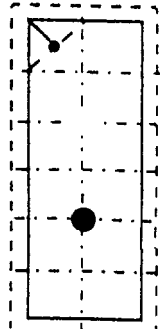
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBACHTUNGSPUNKT 1/6 L (2% DAEMPFUNG)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)



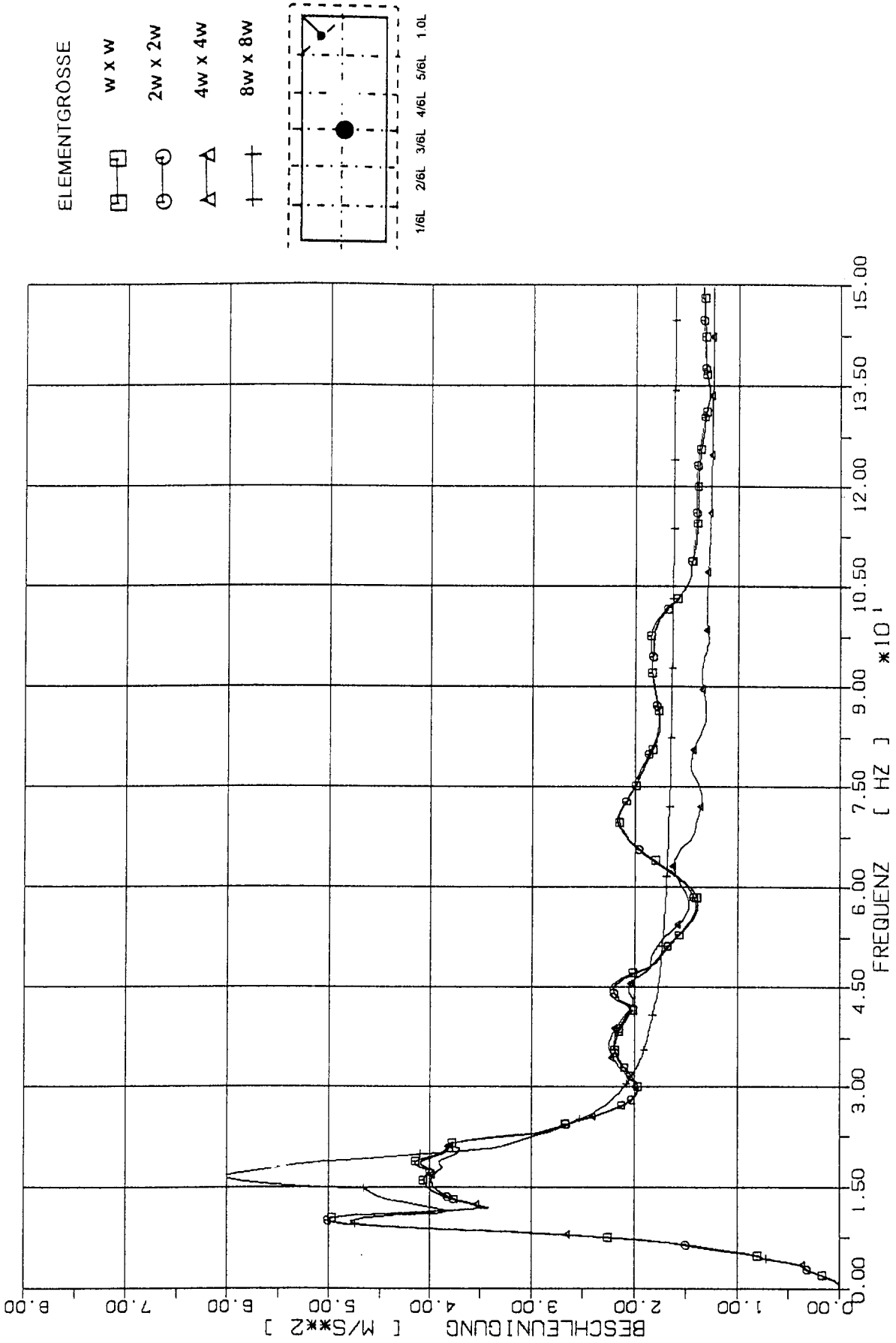
ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W

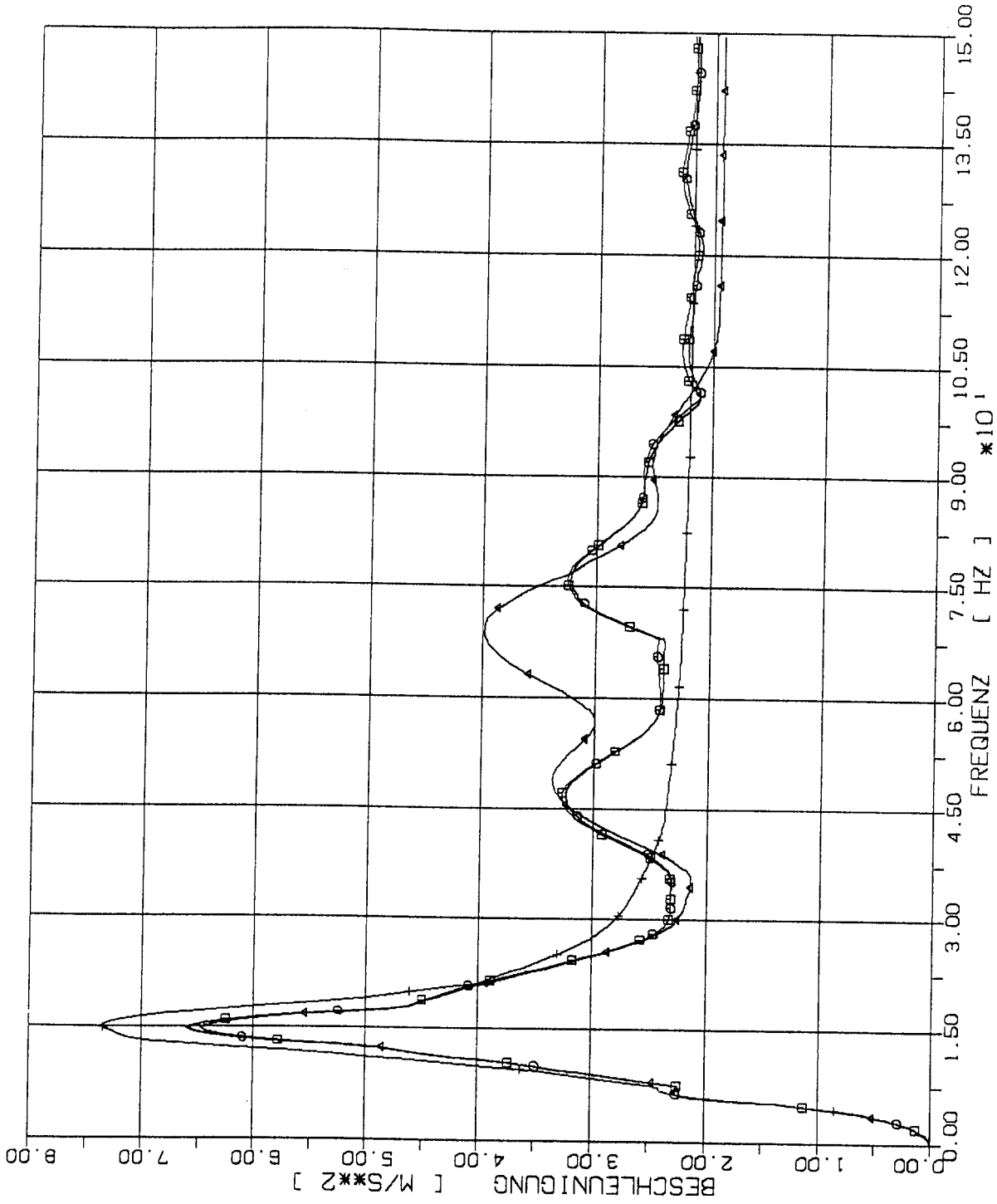


1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 2/6 L (2% DAEMPFUNG)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEBCENE (X2)



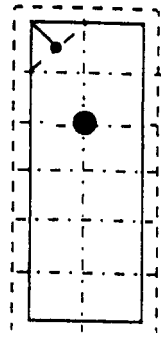
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELAG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 3/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)



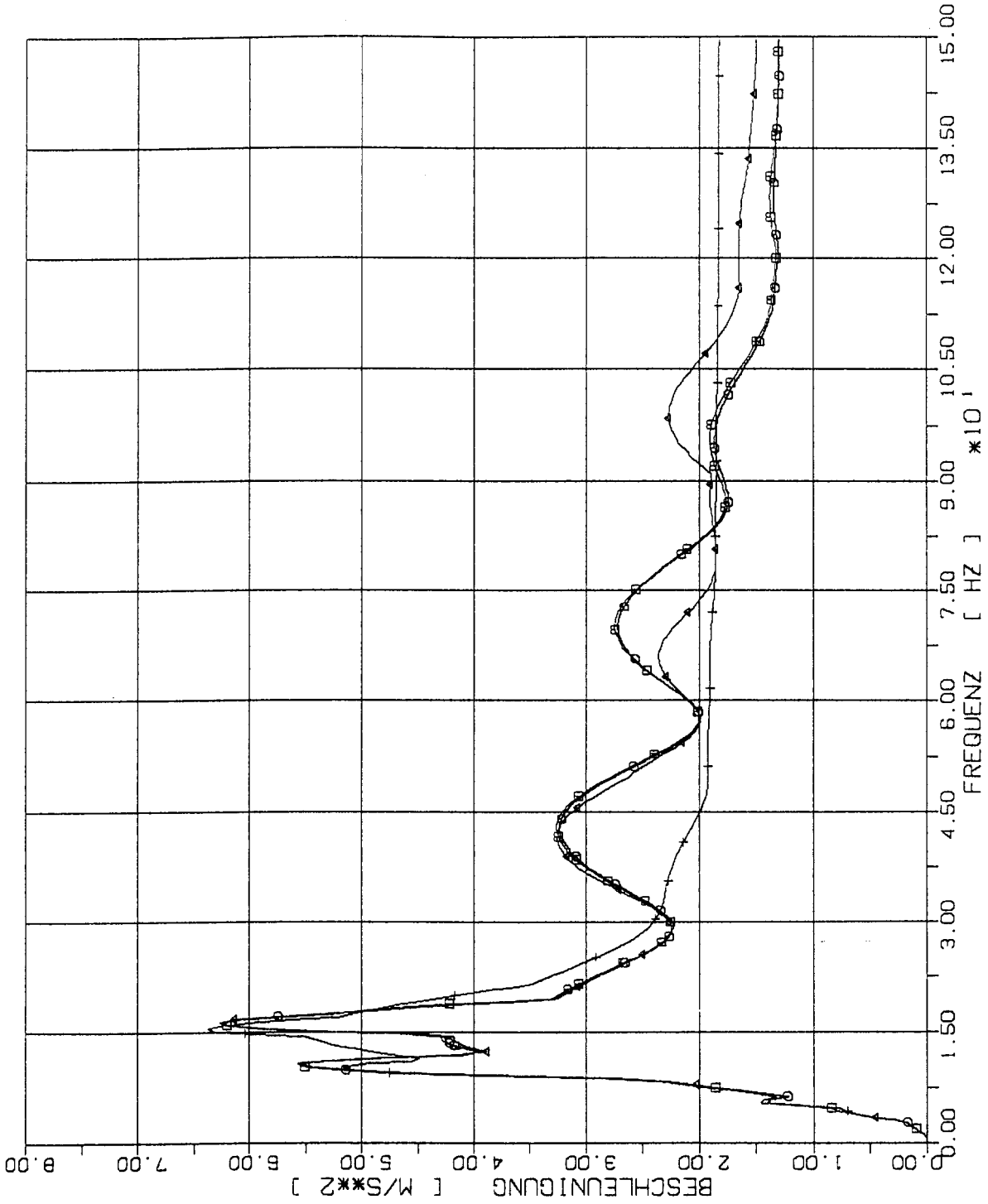
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 4/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

ELEMENTGRÖSSE

- — □ W x W
- — ○ 2W x 2W
- △ — △ 4W x 4W
- + — + 8W x 8W

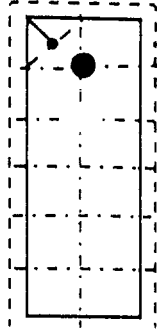


1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L



ELEMENTGRÖSSE

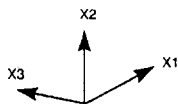
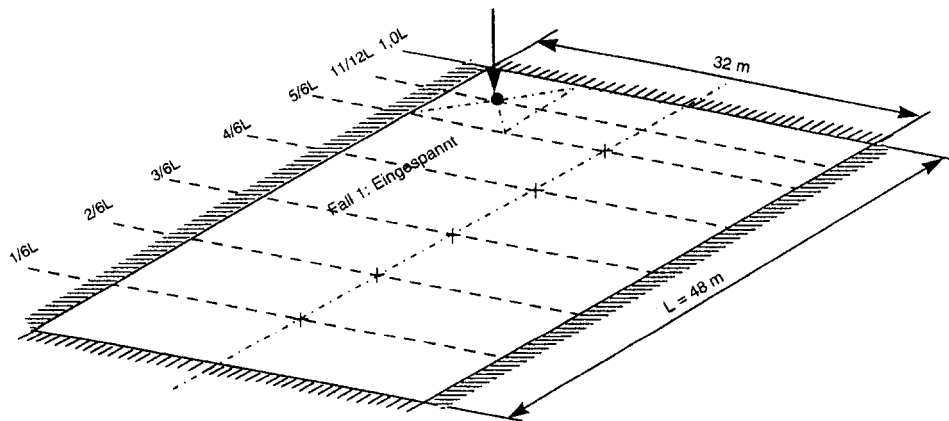
- 1W x 1W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- ⊕ 8W x 8W



1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN DECKENPLATTEN FREI AUFGELEG.
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 5/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

2.4.2 Platte mit Kontureinspannung (Strukturantworten senkrecht zur Plattenebene)

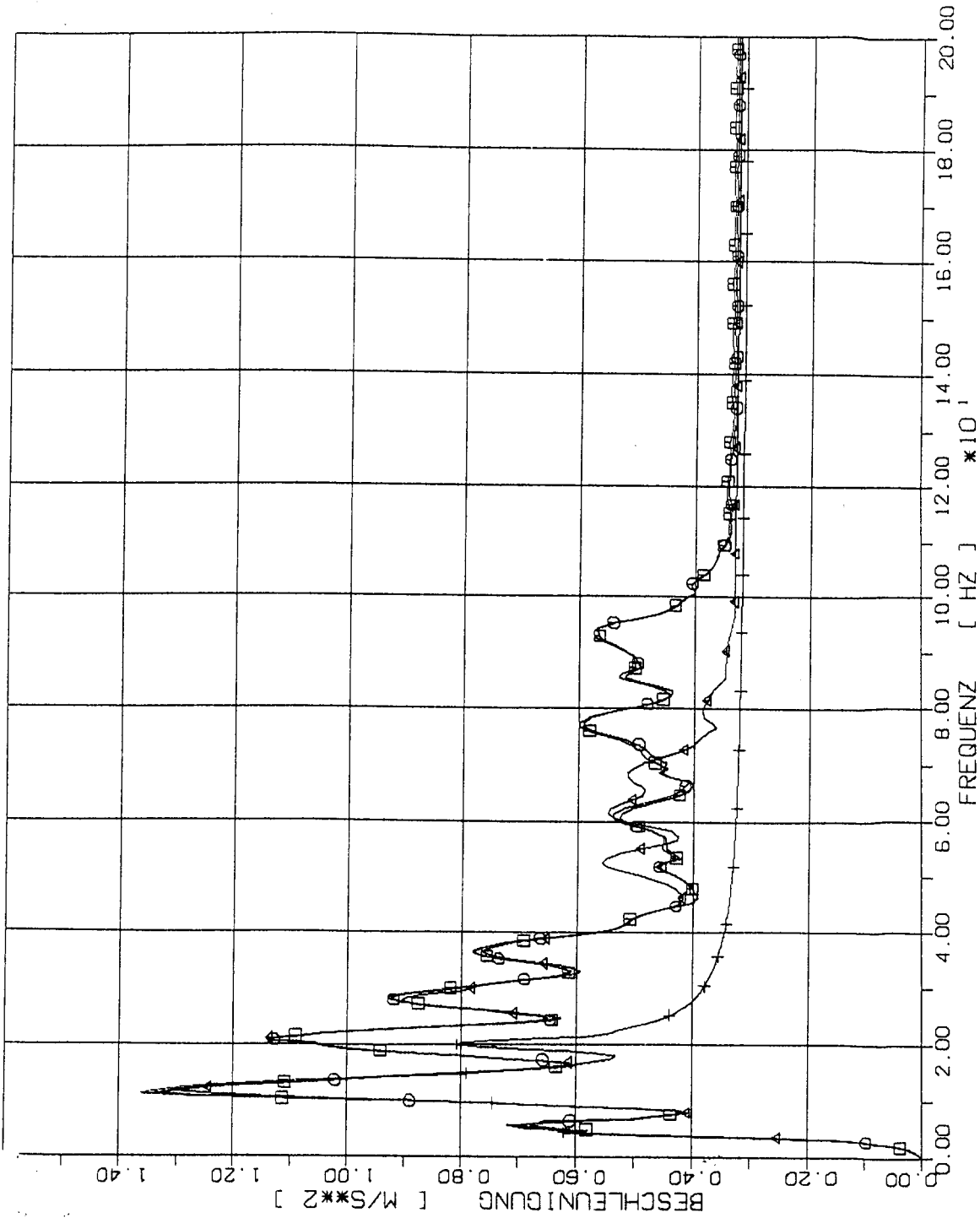
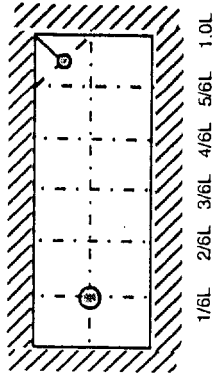


2.4.2.1 Stoß-Lastfunktion ST1K

(Fig. 1-4)

ELEMENTGRÖSSE

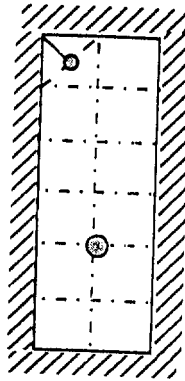
- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



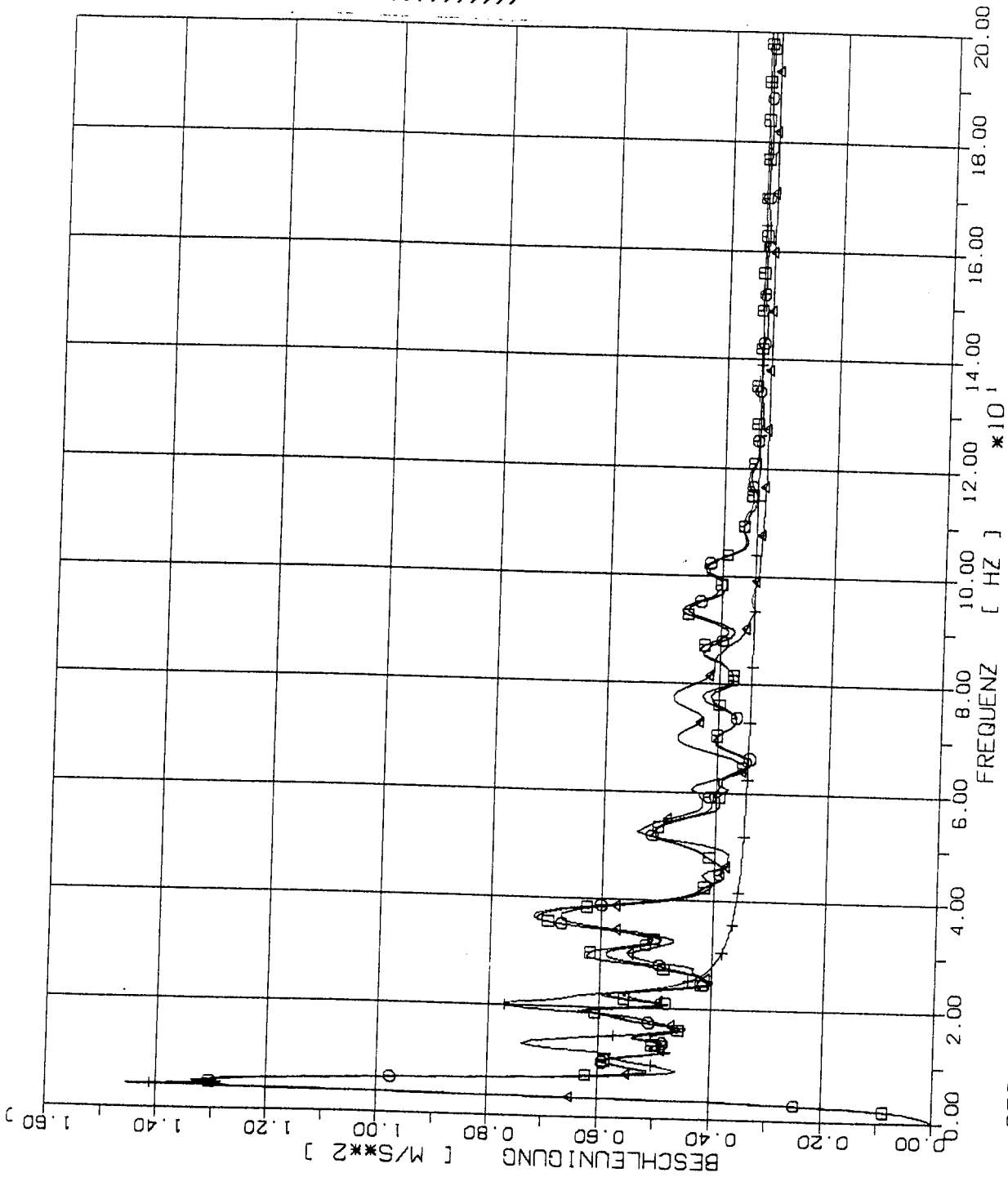
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPANNUNG
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- + 8w x 8w



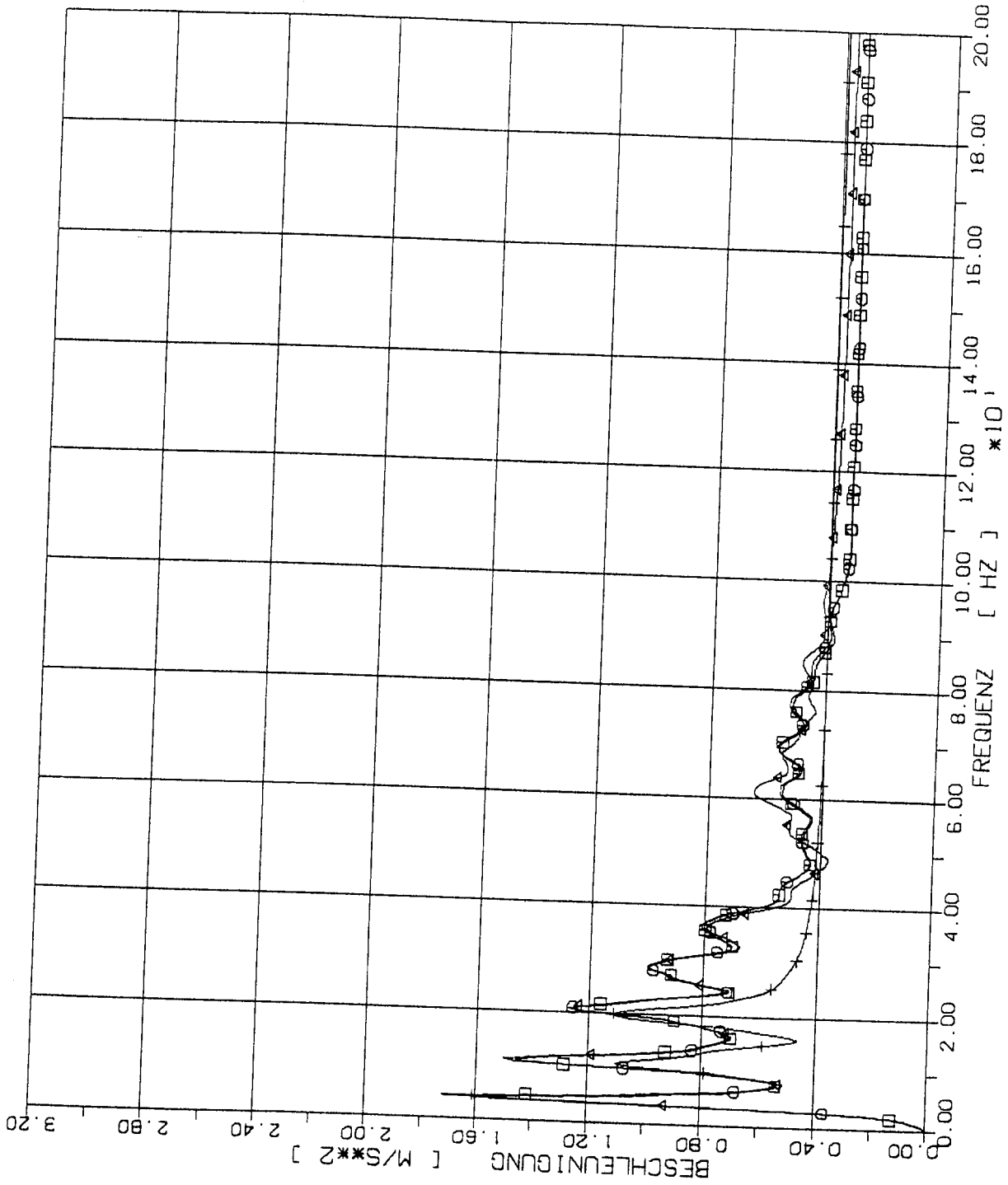
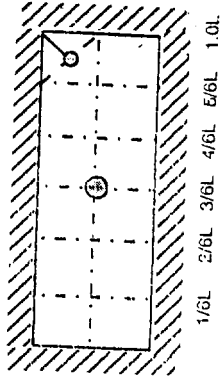
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L



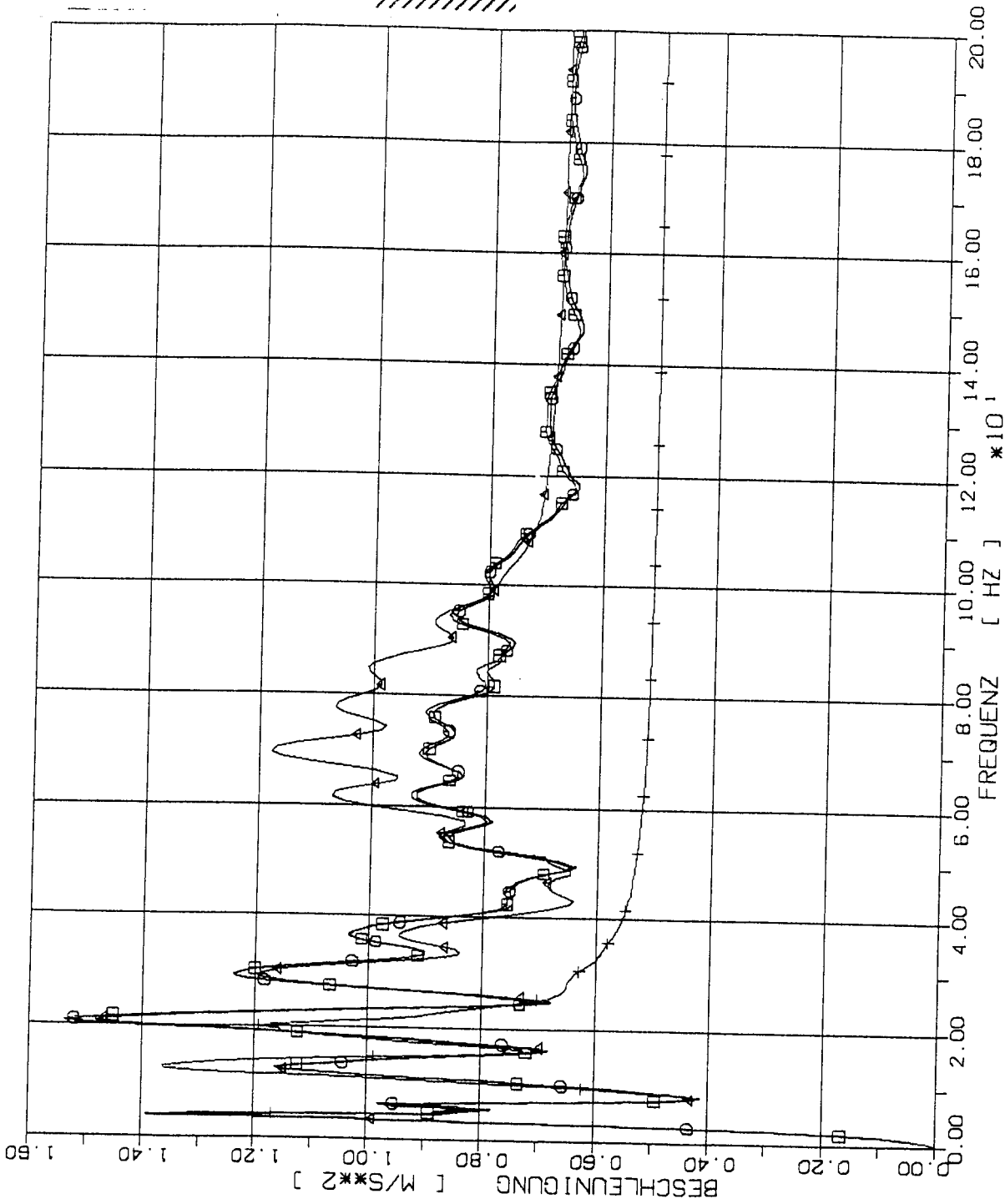
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPANNUNG
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 2/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

ELEMENTGRÖSSE

- — □ w x w
- — ○ 2w x 2w
- △ — △ 4w x 4w
- + — + 8w x 8w

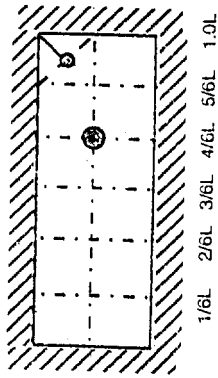


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPANNUNG
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 3/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)



ELEMENTGRÖSSE

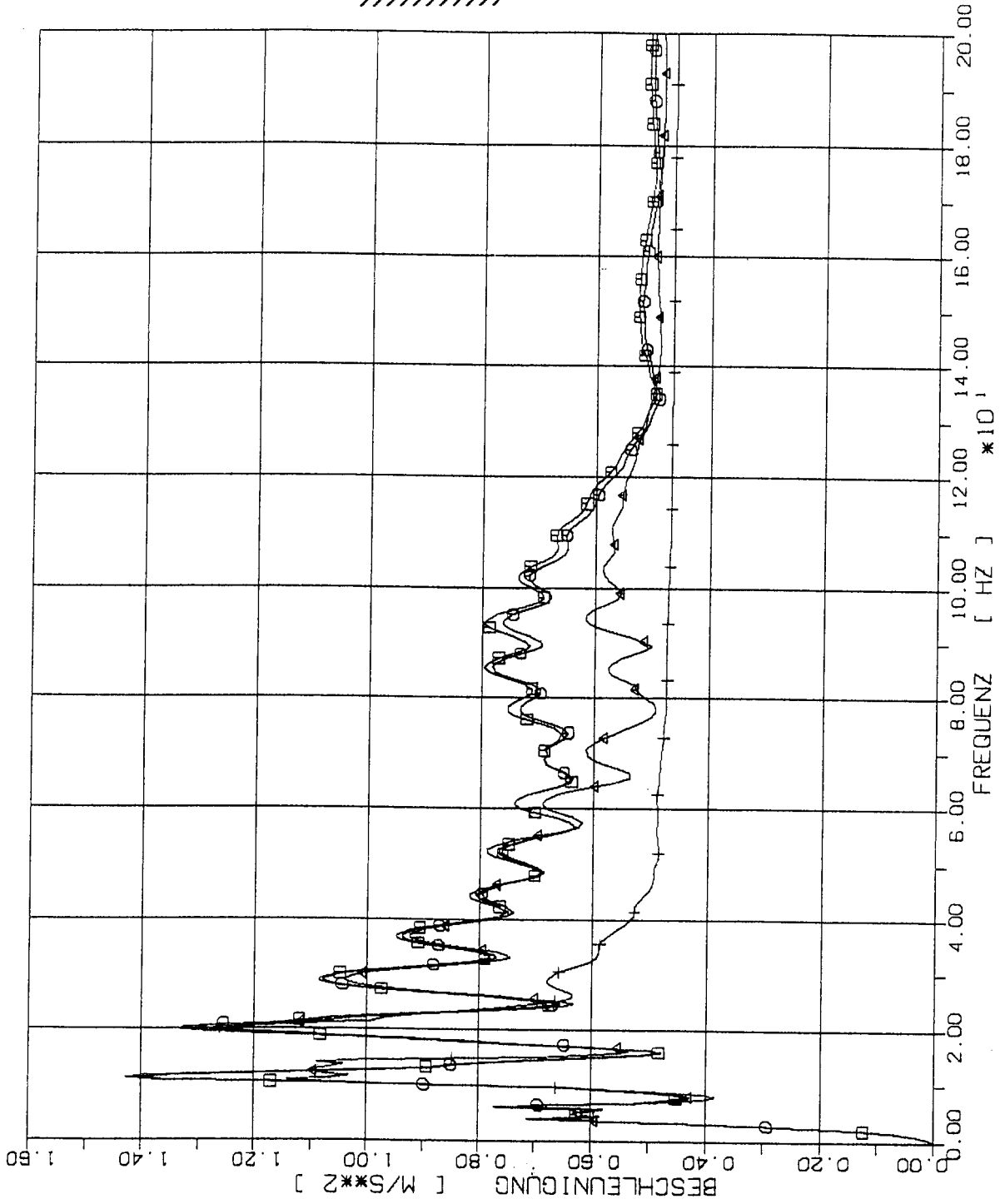
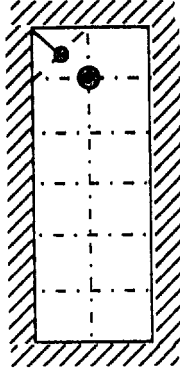
- 1x1
- 2x2
- △ 4x4
- † 8x8



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPANNUNG
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 4/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

ELEMENTGRÖSSE

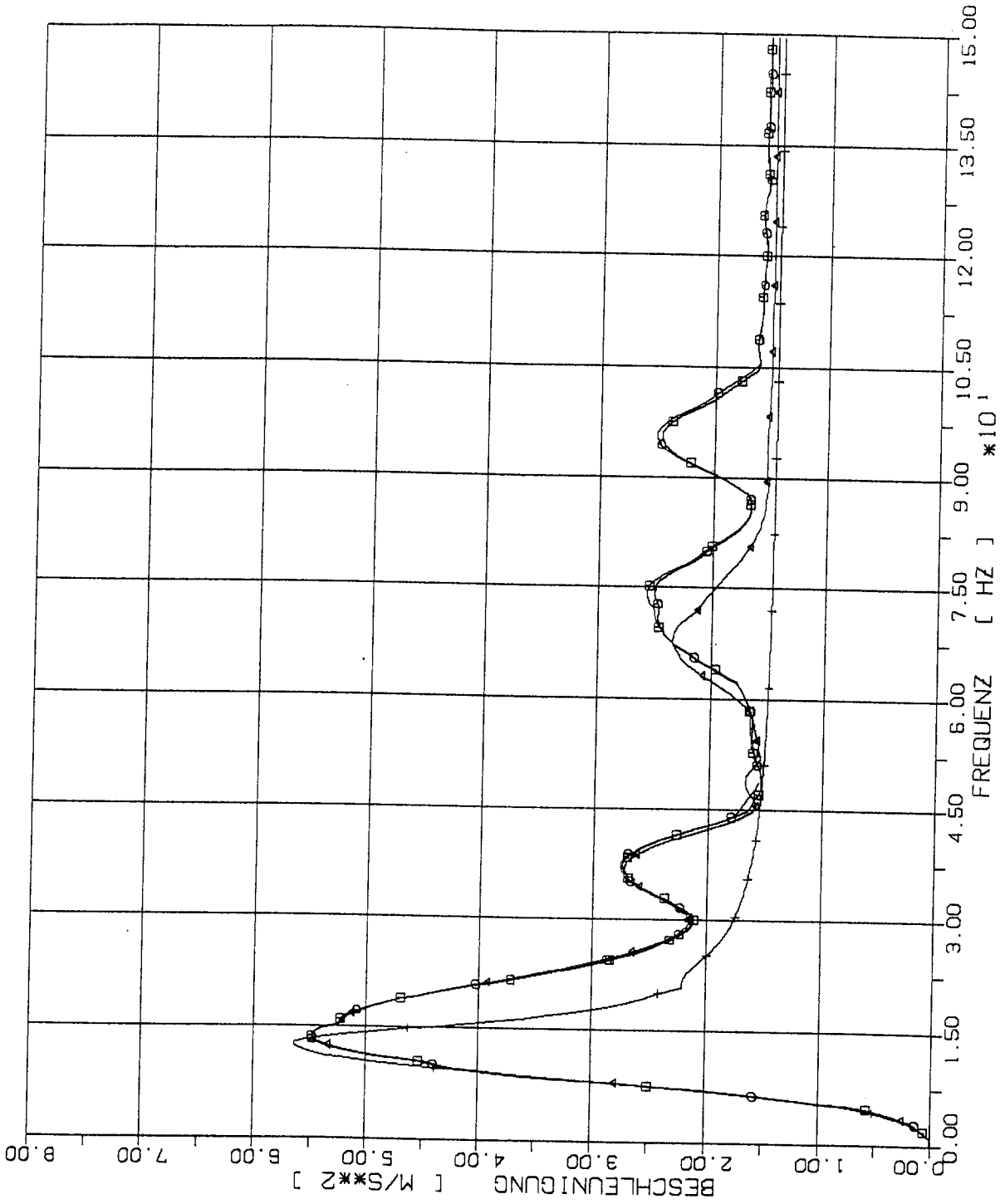
- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPANNUNG
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 5/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG STIK SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

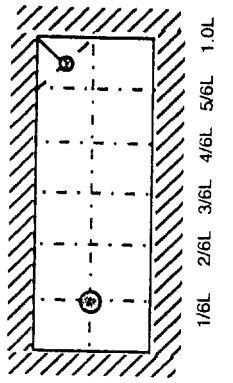
2.4.2.2 Stoß-Lastfunktion ST3

(Siehe Fig 1-4)

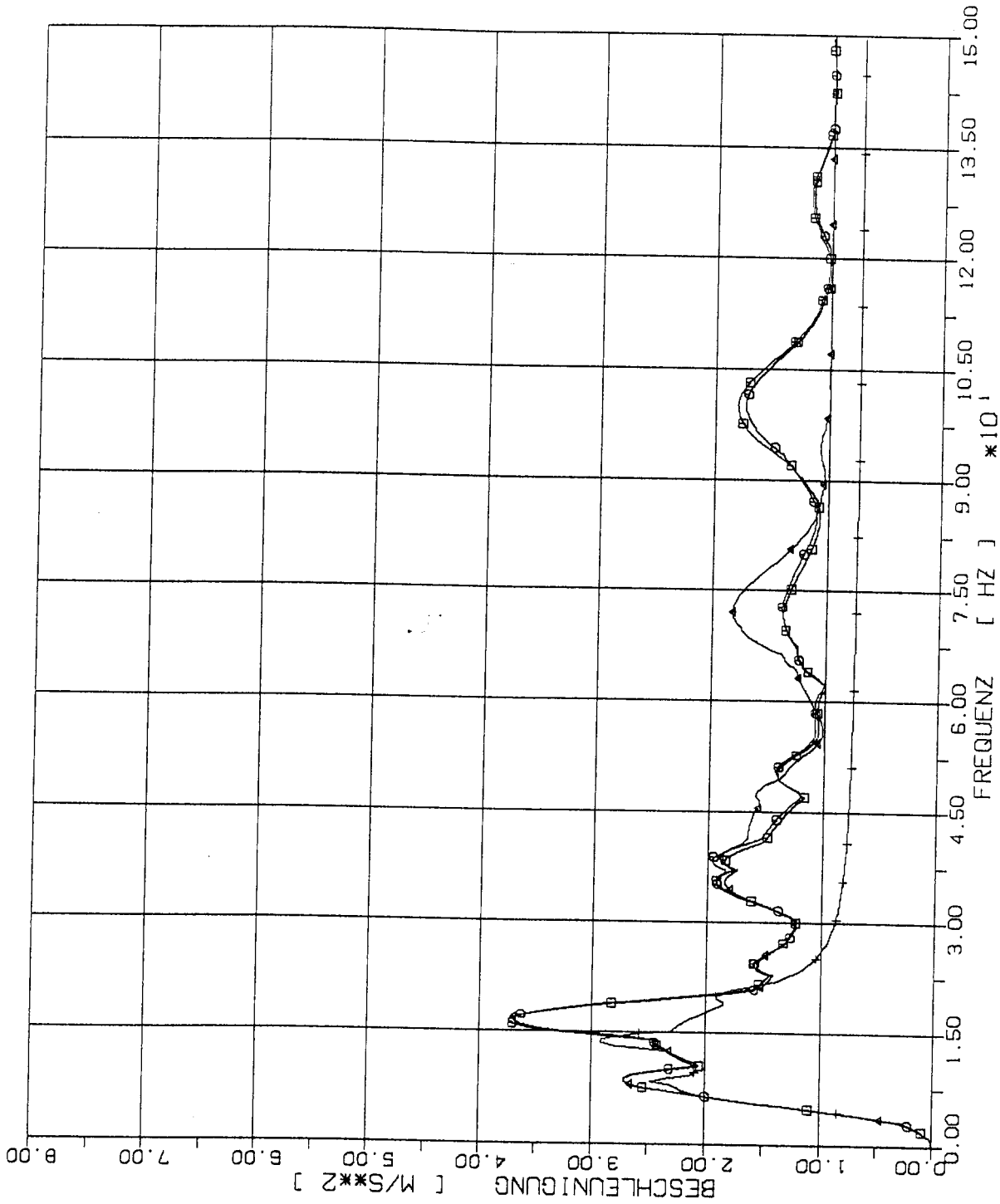


ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- + 8W x 8W

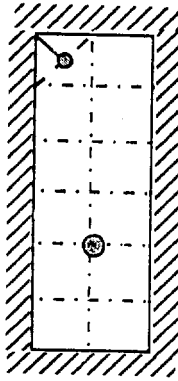


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPANNUNG
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 1/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)



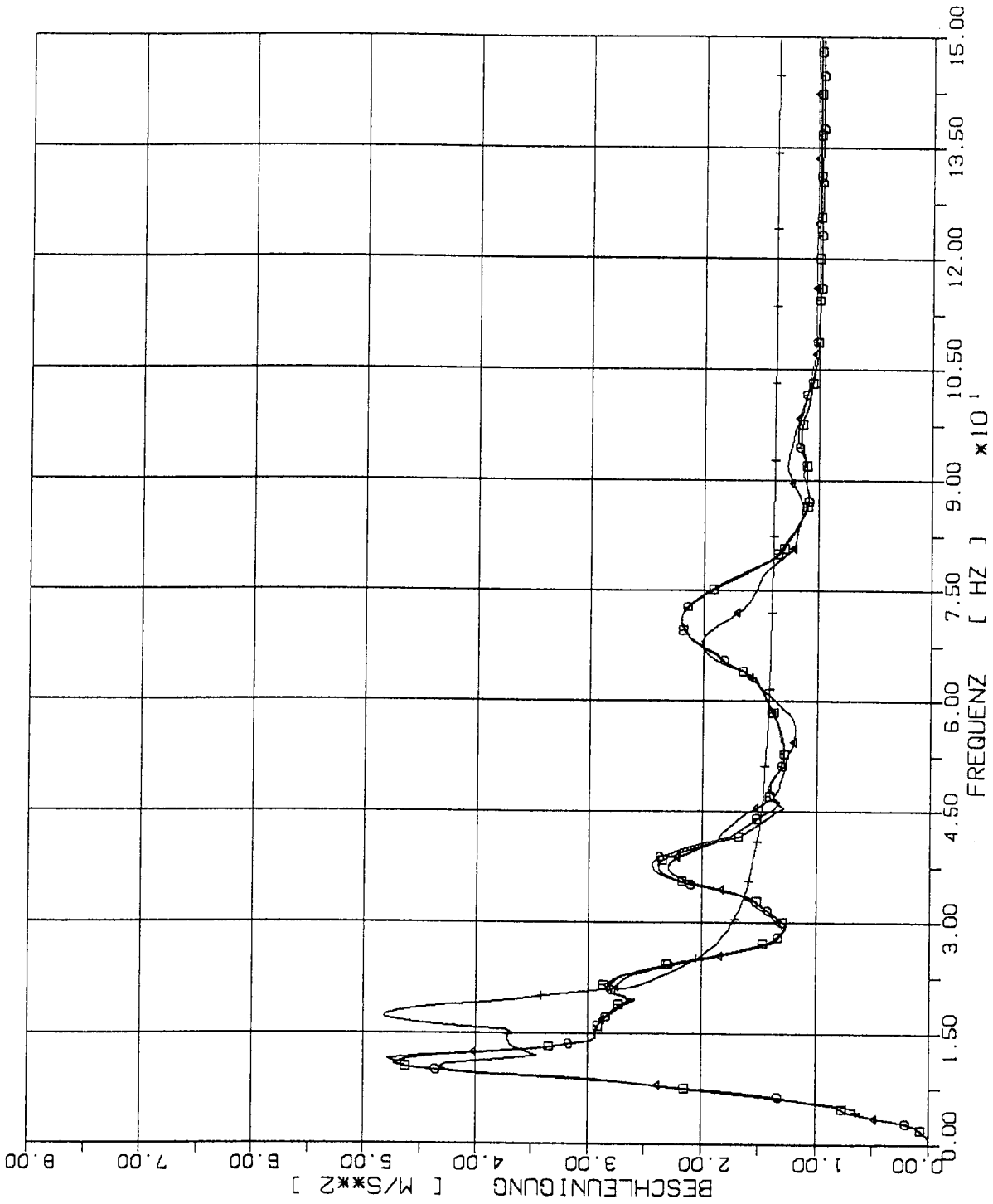
ELEMENTGRÖSSE

- 1w x 1w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w



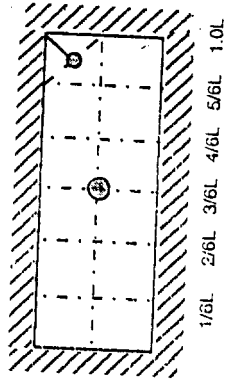
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPANNUNG
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBACHTUNGSPUNKT 2/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

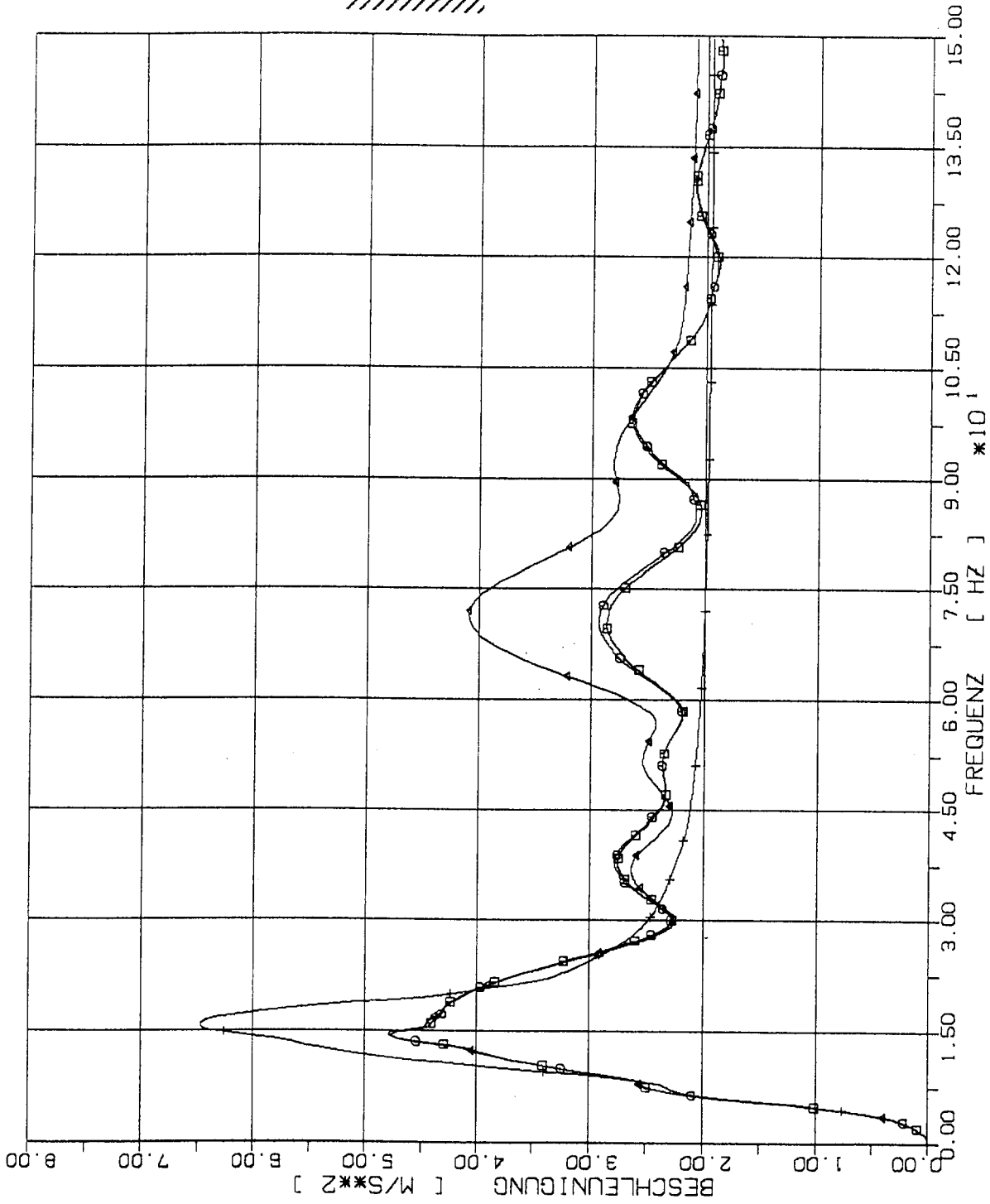


ELEMENTGRÖSSE

- w x w
- 2w x 2w
- △ 4w x 4w
- † 8w x 8w

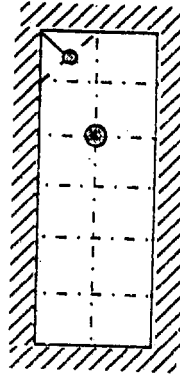


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSpannung
 SPEKTRENVergleich IM BeobachtungSPunkt 3/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)



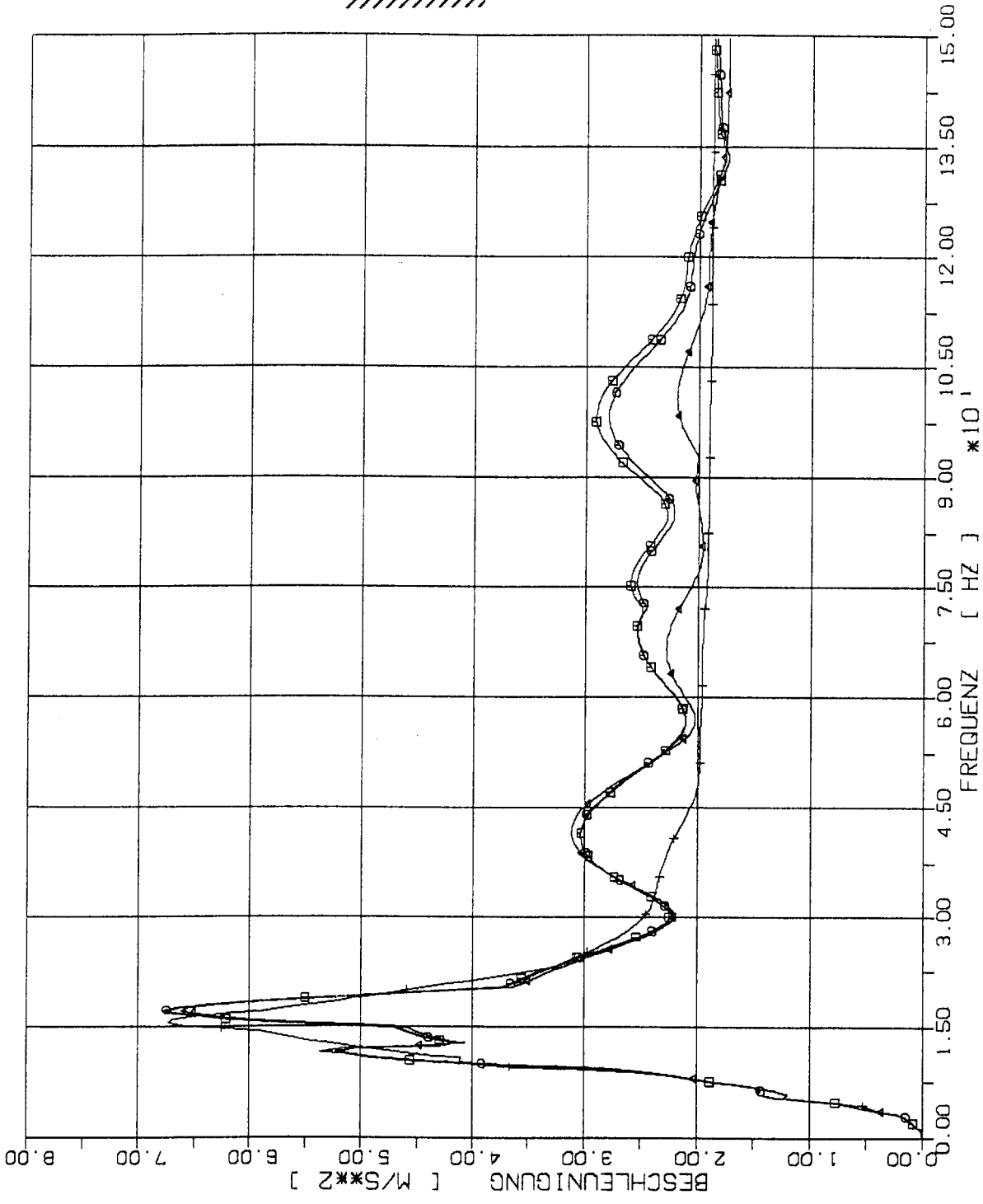
ELEMENTGRÖSSE

- W x W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



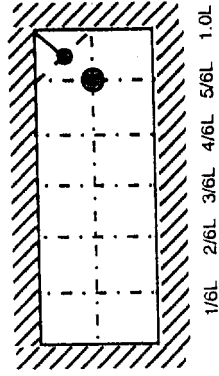
1/6L 2/6L 3/6L 4/6L 5/6L 1.0L

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSpannung
 SPEKTRENVergleich IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 4/6 L (2% DAEMPfUNG)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)



ELEMENTGRÖSSE

- 1W x 1W
- 2W x 2W
- △ 4W x 4W
- † 8W x 8W



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN DECKENPLATTEN KONTUREINSPANNUNG
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBSACHTUNGSPUNKT 5/6 L (2% DAEMPfung)
 STOSSBELASTUNG ST3 SENKRECHT ZUR PLATTENEbene (X2)

**Zur Anwendung von FE-Modellen bei der Simulation
von Erschütterungen in Kernkraftbauwerken
bei Stoßbelastungen**

Anhang 2

Dipl.-Ing. Norbert J. Krutzik

Frankfurt am Main, September 1998

**Zur Anwendung von FE-Modellen bei der Simulation
von Erschütterungen in Kernkraftbauwerken
bei Stoßbelastungen**

Anhang 2

Teil 1

**Numerische FE-Simulation von
Erschütterungsübertragungsvorgängen
an einem kastenförmigen Modellbauwerk**

Teil 2

**Numerische FE-Simulation von
Erschütterungsübertragungsvorgängen
an einem axisymmetrischen Modellbauwerk**

T e i l 1

**Numerische FE-Simulation
von Erschütterungsübertragungsvorgängen an
einem kastenförmigen Modellbauwerk**

Inhaltsverzeichnis

1	Modellabbildungen, Eigenwerte, Lastfunktion, Beobachtungspunkte	A2-006
2	Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Modellbauwerks bei verschiedener Diskretisierung	A2-028
2.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-066
3	Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Modellbauwerks bei verschiedenen Diskretisierungen	A2-104
3.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-105
3.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-142
4	Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Bauwerks bei verschiedenen Diskretisierungen	A2-180
4.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-181
4.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-218
5	Vergleich der Verschiebungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Modellbauwerks zum gleichen Zeitpunkt nach dem Stoß	A2-257
5.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-257
5.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-265
6	Vergleich von Beschleunigungen in charakteristischen Beobachtungspunkten des kastenförmigen Modellbauwerks zu gleichen Zeitpunkten nach dem Stoß	A2-273
6.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-274
6.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-281

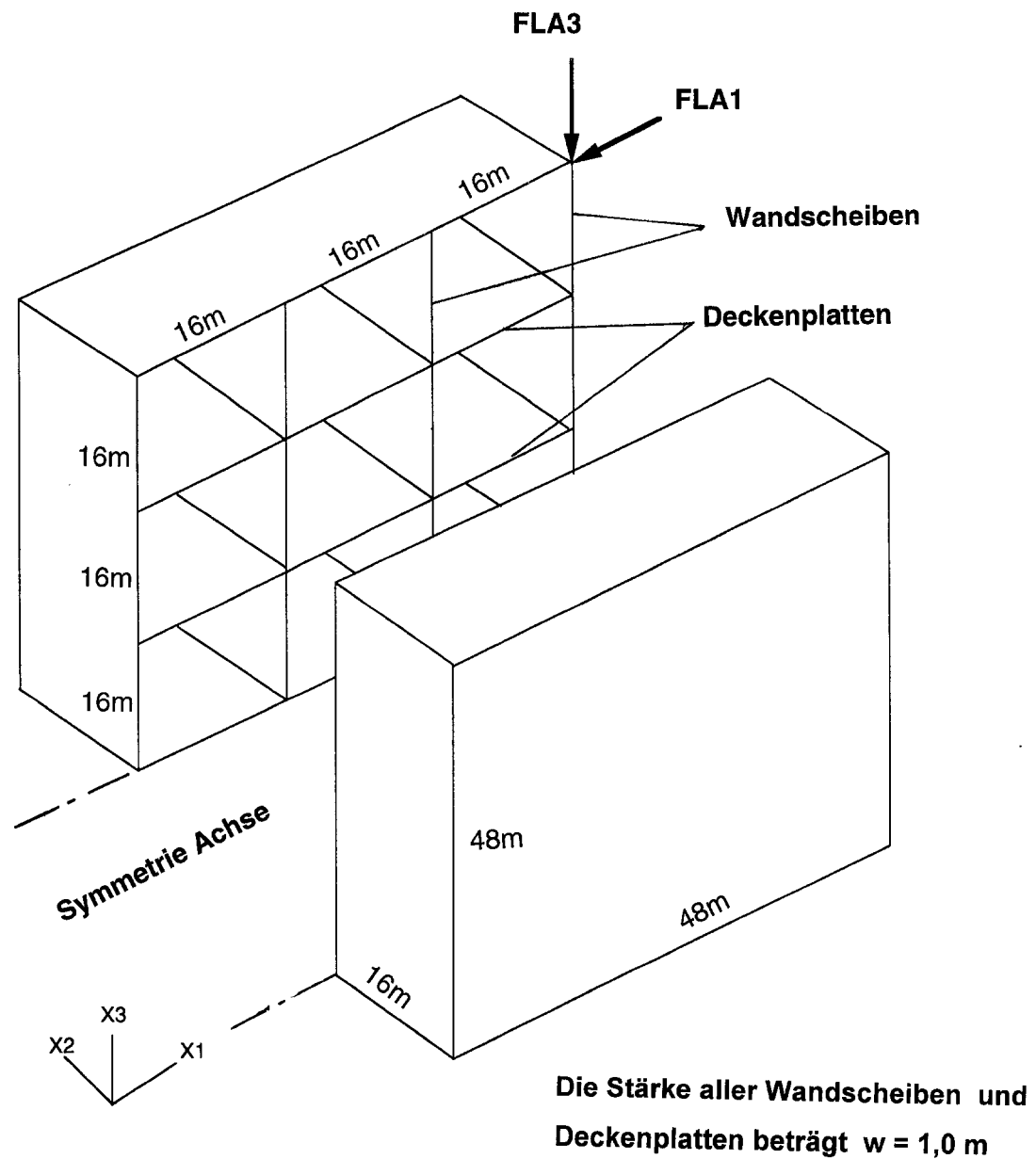


Fig. 1 Kastenförmiges Modellbauwerk

1

**Modellabbildungen, Eigenwerte, Lastfunktion,
Beobachtungspunkte**

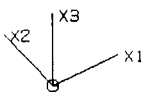
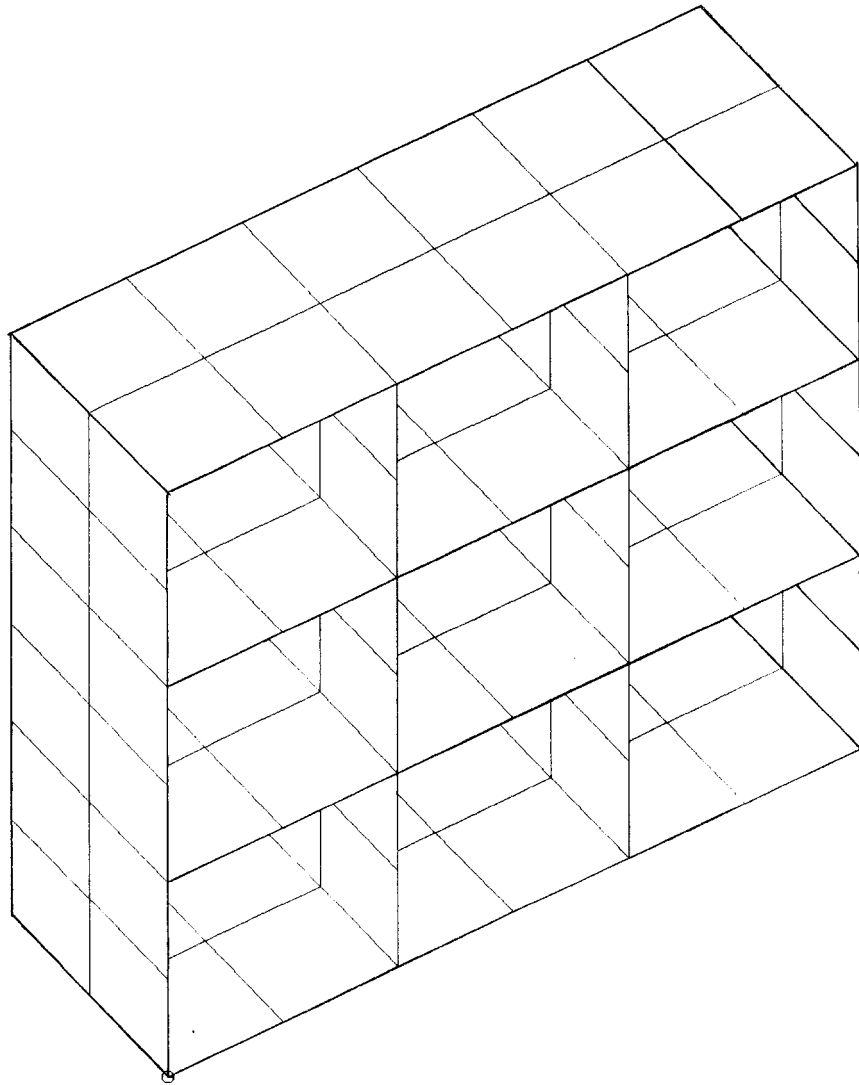


Fig. 1-1 Rechenmodell des kastenförmigen Bauwerks
Diskretisierungsvariante 8w x 8w (8 m x 8 m)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE			DAEMPfung (%)	
			X1	GEWICHTE X2	X3	MODAL	KTA
1	4.29	525-1	148125.73	0.00	0.00	20.60	15.00
2	8.49	621-3	0.00	0.07	577.72	7.05	7.05
3	8.95	525-1	719.71	0.00	0.00	7.11	7.11
4	9.43	221-3	0.00	0.28	122.03	7.04	7.04
5	9.91	101-1	2149.22	0.00	0.00	7.13	7.13
6	10.00	501-1	0.00	2.24	6776.46	7.54	7.54
7	10.33	421-3	0.00	37.74	58624.79	11.58	11.58
8	10.36	317-1	12466.71	0.00	0.00	8.60	8.60
9	10.69	613-3	0.00	36.11	29813.96	9.26	9.26
10	10.78	605-3	99.91	0.00	0.00	7.95	7.95
11	10.85	413-3	0.00	15.43	17311.58	8.58	8.58
12	10.98	117-1	7102.46	0.00	0.00	7.34	7.34
13	12.00	125-1	0.00	182.12	6834.22	7.63	7.63
14	12.27	117-1	106.85	0.00	0.00	7.84	7.84
15	12.61	109-1	0.00	1.74	0.15	7.10	7.10
16	12.74	205-3	627.50	0.00	0.00	7.37	7.37
17	12.84	213-3	0.00	200.50	1806.93	7.20	7.20
18	12.99	517-1	68.93	0.00	0.00	7.11	7.11
19	13.01	405-3	0.00	2.70	81.08	7.01	7.01
20	13.05	509-1	0.00	5.19	0.29	7.00	7.00
21	13.06	405-3	14.74	0.00	0.00	7.03	7.03
22	13.11	309-1	0.00	3.06	21.71	7.01	7.01
23	14.84	8513-2	0.00	80.65	35.22	7.01	7.01
24	14.89	309-1	7072.27	0.00	0.00	9.15	9.15
25	15.06	8521-2	70.24	0.00	0.00	7.04	7.04
26	15.28	8321-2	0.00	405.06	46.49	7.02	7.02
27	15.33	413-3	0.00	16.12	57161.11	16.83	16.83
28	15.53	8321-2	27.26	0.00	0.00	7.02	7.02
29	15.53	8513-2	0.00	665.67	518.20	7.10	7.10
30	15.83	8113-2	0.00	797.00	10.25	7.08	7.08
31	16.02	8513-2	0.00	4198.18	5.88	7.03	7.03
32	16.11	8121-2	1.38	0.00	0.00	7.09	7.09
33	16.61	8113-2	0.00	14565.64	174.18	7.11	7.11
34	18.53	621-3	249.55	0.00	0.00	9.62	9.62
35	18.60	525-1	0.00	0.09	51.33	7.02	7.02
36	18.65	501-1	18.68	0.00	0.00	7.29	7.29
37	18.82	325-1	0.00	0.32	27.69	7.02	7.02
38	18.84	301-1	48.53	0.00	0.00	7.04	7.04
39	18.89	613-3	0.00	0.09	44.35	7.01	7.01
40	19.02	413-3	0.00	0.87	6.94	7.03	7.03
41	19.08	213-3	0.00	31.34	167.38	7.08	7.08
42	19.14	101-1	0.00	96.84	321.96	7.21	7.21
43	19.15	309-1	284.89	0.00	0.00	7.12	7.12
44	19.16	517-1	152.21	0.00	0.00	7.04	7.04
45	19.31	301-1	9.66	0.00	0.00	7.12	7.12
46	19.32	613-3	0.00	542.78	704.11	7.27	7.27
47	19.41	317-1	43.94	0.00	0.00	7.83	7.83
48	19.54	213-3	0.00	1.57	298.24	7.11	7.11
49	19.55	317-1	46.80	0.00	0.00	7.30	7.30
50	19.56	109-1	0.00	4.52	3.39	7.03	7.03
51	19.60	109-1	135.22	0.00	0.00	7.08	7.08
52	19.61	413-3	0.00	0.07	46.57	7.02	7.02
53	19.67	509-1	0.00	1.76	0.67	7.01	7.01
54	19.69	421-3	1.91	0.00	0.00	7.01	7.01
55	19.77	413-3	0.00	0.02	0.04	7.00	7.00
56	19.88	4221-3	614.41	0.00	0.00	9.92	9.92
57	20.91	625-3	0.00	2.56	0.83	11.13	11.13
58	22.99	609-3	63.76	0.00	0.00	9.55	9.55
59	28.50	401-1	0.00	1513.33	55.89	7.28	7.28
60	29.13	201-1	0.00	28.99	0.05	7.21	7.21

Tab.1-1 Kastenförmiges Bauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 8w x w

61	30.05	601-1	0.00	1005.45	170.39	7.24	7.24
62	31.96	401-1	523.71	0.00	0.00	8.31	8.31
63	33.53	617-3	0.00	1440.46	495.77	7.64	7.64
64	34.16	8325-1	0.00	2815.87	917.43	10.27	10.27
65	34.94	609-3	160.42	0.00	0.00	9.01	9.01
66	36.35	217-3	405.45	0.00	0.00	9.76	9.76
67	37.35	201-1	2173.87	0.00	0.00	8.79	8.79
68	37.93	209-3	0.00	8000.13	3419.17	10.76	10.76
69	38.89	8205-2	235.16	0.00	0.00	8.62	8.62
70	39.14	8501-1	0.00	47.55	48.29	11.38	11.38
71	39.33	601-3	0.00	12498.05	1075.97	10.43	10.43
72	39.61	225-3	131.80	0.00	0.00	12.24	12.24
73	40.64	8405-2	310.56	0.00	0.00	11.75	11.75
74	41.62	8517-2	0.00	12072.28	6004.07	15.53	15.00
75	41.65	8509-2	2.80	0.00	0.00	7.80	7.80
76	41.79	8221-2	0.00	20259.37	14.64	8.09	8.09
77	42.21	8601-3	0.00	4204.97	535.14	8.11	8.11
78	42.74	8317-2	0.00	5959.02	0.02	7.77	7.77
79	43.15	8421-2	0.00	9446.69	3.78	7.90	7.90
80	43.84	8309-2	328.89	0.00	0.00	8.03	8.03
81	44.12	8413-2	0.00	15413.10	10.72	7.67	7.67
82	44.15	8309-2	275.66	0.00	0.00	10.15	10.15
83	44.34	8213-2	0.00	3791.27	106.01	7.59	7.59
84	44.90	8301-1	739.85	0.00	0.00	9.04	9.04
85	45.32	8109-2	191.63	0.00	0.00	8.88	8.88
86	46.42	8605-2	0.00	5766.59	8.64	7.64	7.64
87	46.42	8525-2	33.60	0.00	0.00	8.96	8.96
88	47.01	8525-2	0.00	9.86	29.79	8.12	8.12
89	47.44	8213-2	0.00	53.74	461.72	8.93	8.93
90	47.67	8625-3	284.76	0.00	0.00	8.61	8.61
91	47.88	8413-2	0.00	3631.42	124.47	9.52	9.52
92	48.38	401-1	294.05	0.00	0.00	10.15	10.15
93	48.60	617-3	78.03	0.00	0.00	9.29	9.29
94	49.00	401-1	0.00	1311.65	107.24	8.86	8.86
95	49.36	201-1	0.00	4811.89	0.64	8.28	8.28
96	49.47	401-1	0.00	957.73	146.18	8.82	8.82
97	49.90	225-1	121.70	0.00	0.00	7.74	7.74
98	50.04	425-1	0.24	0.00	0.00	7.26	7.26
99	50.16	609-3	0.00	1830.15	0.40	7.31	7.31
100	50.71	609-3	25.80	0.00	0.00	7.43	7.43
101	51.03	425-1	0.00	768.23	116.24	8.72	8.72
102	51.72	425-1	0.00	140.44	5.48	8.00	8.00
103	52.26	8301-2	14.85	0.00	0.00	8.66	8.66
104	52.91	8301-1	42.25	0.00	0.00	8.67	8.67
105	53.41	8613-2	0.00	2.84	4.54	9.83	9.83
106	53.81	8613-3	0.00	3.25	118.63	9.54	9.54
107	54.31	8125-2	5.87	0.00	0.00	8.34	8.34
108	54.69	8101-1	658.61	0.00	0.00	9.22	9.22
109	54.70	8613-2	0.00	619.74	3.70	8.17	8.17
110	55.33	8421-2	101.61	0.00	0.00	7.32	7.32
111	55.78	8217-2	131.44	0.00	0.00	7.84	7.84
112	56.22	8209-2	0.00	161.68	33.26	7.63	7.63
113	56.52	601-1	0.39	0.00	0.00	7.13	7.13
114	56.75	625-1	0.00	830.00	33.27	8.02	8.02
115	56.83	601-3	0.00	578.36	7.68	7.39	7.39
116	56.87	625-3	7.19	0.00	0.00	7.15	7.15
117	57.22	625-3	0.00	621.62	2.83	7.37	7.37
118	57.53	4601-1	124.03	0.00	0.00	8.32	8.32
119	58.43	601-3	64.47	0.00	0.00	9.38	9.38
120	58.51	217-3	18.90	0.00	0.00	9.52	9.52
121	58.70	601-1	0.00	57.73	0.88	7.59	7.59
122	58.86	8613-2	0.00	107.04	7.00	8.36	8.36
123	59.23	625-1	115.05	0.00	0.00	7.51	7.51
124	59.79	417-3	0.00	69.74	26.88	7.28	7.28
125	59.81	409-3	7.93	0.00	0.00	7.52	7.52

Tab. 1-1

Kastenförmiges Bauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 8w x 8w (Fortsetzung)

126	60.19	409-1	0.00	13.96	30.29	7.32	7.32
127	60.19	409-3	20.13	0.00	0.00	7.32	7.32
128	60.30	209-3	0.00	43.37	39.81	7.27	7.27
129	60.50	409-1	196.91	0.00	0.00	7.53	7.53
130	60.74	209-1	0.00	114.24	0.10	7.27	7.27
131	60.93	8313-1	0.51	0.00	0.00	8.66	8.66
132	60.93	209-3	0.00	75.64	0.87	7.16	7.16
133	61.38	209-1	21.79	0.00	0.00	7.51	7.51
134	61.84	8601-1	0.00	56.03	42.84	8.53	8.53
135	61.92	625-3	100.81	0.00	0.00	7.71	7.71
136	62.49	8401-1	100.51	0.00	0.00	9.50	9.50
137	62.73	625-3	0.00	40.97	85.35	8.10	8.10
138	62.89	8201-2	0.00	115.91	174.66	9.49	9.49
139	62.90	4417-3	24.81	0.00	0.00	10.05	10.05
140	63.46	4409-3	0.00	71.75	639.25	9.92	9.92
141	63.73	8609-2	298.88	0.00	0.00	8.98	8.98
142	63.98	201-3	95.81	0.00	0.00	8.21	8.21
143	64.24	225-3	0.00	19.04	124.34	9.87	9.87
144	64.46	8609-2	0.00	26.52	39.94	7.69	7.69
145	64.91	8613-1	21.71	0.00	0.00	7.83	7.83
146	65.64	8425-2	0.00	206.17	22.01	8.35	8.35
147	66.12	609-1	88.44	0.00	0.00	8.53	8.53
148	66.85	8601-3	99.74	0.00	0.00	9.10	9.10
149	66.88	4217-1	0.00	17.70	135.40	8.24	8.24
150	67.07	4409-1	0.00	46.03	526.89	9.90	9.90
151	67.29	4217-1	0.00	181.59	683.50	10.80	10.80
152	67.71	8209-1	171.20	0.00	0.00	7.98	7.98
153	67.74	401-3	0.00	203.62	26.08	7.62	7.62
154	68.01	425-3	258.40	0.00	0.00	12.29	12.29
155	68.31	609-1	0.00	15.21	1.20	12.79	12.79
156	68.34	425-3	25.92	0.00	0.00	7.23	7.23
157	68.65	425-3	0.00	1.41	139.41	11.61	11.61
158	68.98	225-3	56.97	0.00	0.00	7.82	7.82
159	69.69	8313-3	0.00	165.24	203.85	11.51	11.51
160	69.72	8409-3	117.41	0.00	0.00	8.40	8.40
161	69.96	8213-3	0.00	8.92	0.05	7.95	7.95
162	70.30	8317-1	13.88	0.00	0.00	9.13	9.13
163	70.48	8409-3	0.00	327.45	30.66	11.02	11.02
164	70.79	4609-1	91.08	0.00	0.00	8.10	8.10
165	70.81	8413-3	0.00	36.30	167.76	8.30	8.30
166	71.08	8309-1	0.00	0.60	5.82	7.30	7.30
167	71.60	8401-3	0.00	13.01	70.62	8.50	8.50
168	72.29	8221-3	199.28	0.00	0.00	9.56	9.56
169	73.29	101-3	0.00	66.74	50.87	12.22	12.22
170	73.61	613-1	682.11	0.00	0.00	13.93	13.93
171	74.84	8625-2	76.39	0.00	0.00	11.57	11.57
172	75.29	8001-3	0.00	471.42	2.26	13.34	13.34
173	76.24	8605-3	646.91	0.00	0.00	12.31	12.31
174	77.47	8001-1	5011.84	0.00	0.00	26.66	15.00
175	77.93	4609-1	0.00	62.61	0.01	7.28	7.28
176	78.47	8401-3	3852.11	0.00	0.00	16.43	15.00
177	78.56	8025-2	0.00	1235.64	192.98	23.93	15.00
178	78.61	8613-3	0.00	126.21	0.20	8.15	8.15
179	78.74	8025-1	0.00	81.41	3.08	14.23	14.23
180	78.98	8001-2	0.00	5390.86	325.71	21.73	15.00
181	79.08	8025-2	994.30	0.00	0.00	21.53	15.00
182	79.80	8609-1	0.00	43.43	8.70	7.31	7.31
183	79.80	309-3	715.00	0.00	0.00	16.63	15.00
SUMMEN:			201915.88	152007.57	199467.11		
GESAMT-GEWICHTE:			211200.00	172800.00	211200.00		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1-1

Kastenförmiges Bauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 8w x 8w (Fortsetzung)

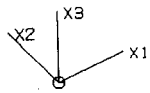
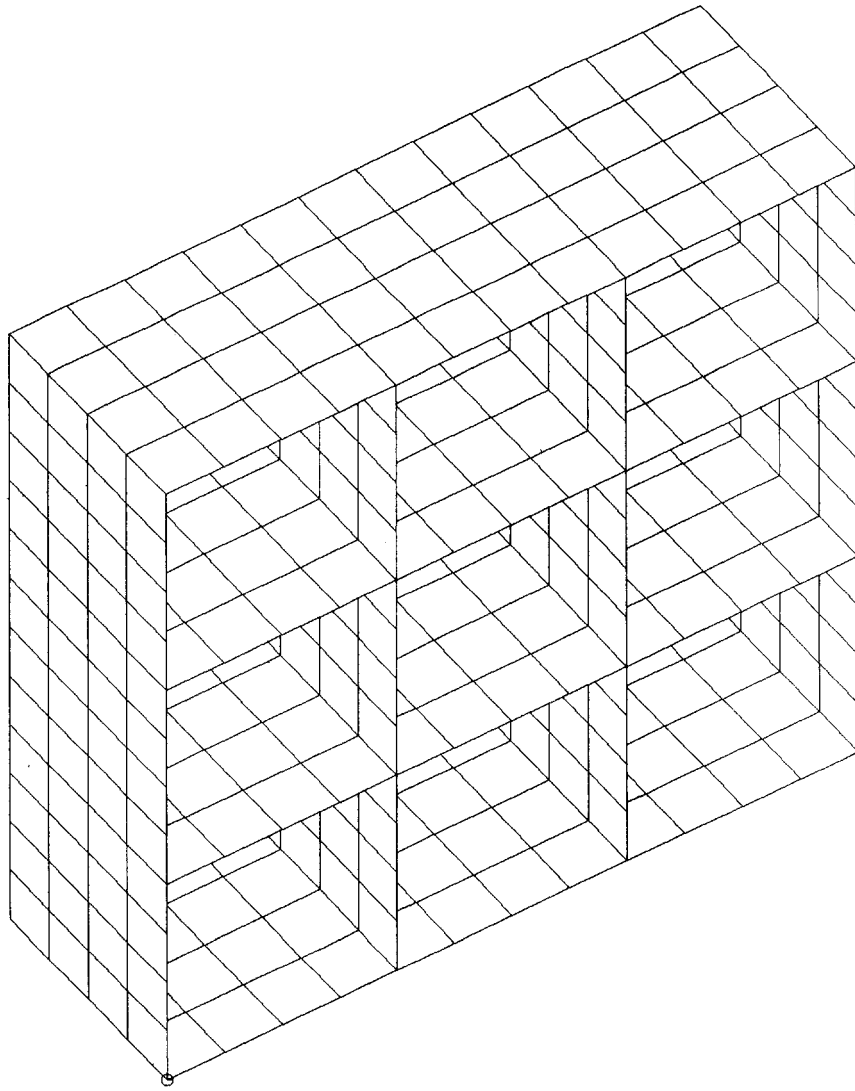


Fig. 1-2 Rechenmodell des kastenförmigen Bauwerks
Diskretisierungsvariante $4w \times 4w$ (4 m x 4 m)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	4.10	575-1	148228.74	0.00	0.00	23.89	15.00
2	8.55	621-3	0.00	0.19	1332.35	7.17	7.17
3	9.10	525-1	1533.57	0.00	0.00	7.29	7.29
4	9.69	213-3	0.00	0.70	470.21	7.14	7.14
5	10.18	613-3	0.00	61.27	106448.58	18.21	18.21
6	10.34	621-3	4396.32	0.00	0.00	7.41	7.41
7	10.47	501-1	0.00	22.16	25732.00	9.66	9.66
8	10.57	317-1	13352.40	0.00	0.00	9.78	9.78
9	11.13	413-3	0.00	22.64	13573.90	8.63	8.63
10	11.25	621-3	18.43	0.00	0.00	8.69	8.69
11	11.55	213-3	0.00	1.69	1217.88	7.55	7.55
12	11.91	117-1	10072.39	0.00	0.00	7.84	7.84
13	13.32	125-1	0.00	405.99	5076.00	7.96	7.96
14	13.59	117-1	301.56	0.00	0.00	8.67	8.67
15	14.31	205-3	573.95	0.00	0.00	7.56	7.56
16	14.35	117-1	0.00	36.56	277.49	7.46	7.46
17	14.49	213-3	0.00	536.27	2351.23	7.50	7.50
18	14.66	517-1	0.00	0.08	146.87	7.05	7.05
19	14.71	509-1	40.30	0.00	0.00	7.10	7.10
20	14.81	221-3	24.70	0.00	0.00	7.07	7.07
21	14.85	509-1	0.00	15.39	15.89	7.01	7.01
22	14.90	213-3	0.00	29.77	140.39	7.04	7.04
23	16.46	317-1	2397.65	0.00	0.00	8.87	8.87
24	16.71	413-3	0.00	5.75	27614.71	15.25	15.25
25	16.87	8513-2	0.00	57.81	57.71	7.03	7.03
26	17.36	8521-2	7.86	0.00	0.00	7.04	7.04
27	17.68	8513-2	0.00	443.99	1.48	7.06	7.06
28	18.21	8521-2	4.24	0.00	0.00	7.06	7.06
29	18.36	8513-2	0.00	1251.73	3.59	7.01	7.01
30	18.80	8113-2	0.00	2774.00	6.13	7.16	7.16
31	19.17	8121-2	278.98	0.00	0.00	9.16	9.16
32	19.24	8313-2	0.00	7830.60	0.88	7.05	7.05
33	19.34	8121-2	349.52	0.00	0.00	7.39	7.39
34	19.58	475-1	483.57	0.00	0.00	11.78	11.78
35	20.35	8113-2	0.00	26236.11	64.11	7.67	7.67
36	20.55	8113-2	0.00	3187.71	24.18	11.34	11.34
37	22.29	603-3	71.30	0.00	0.00	10.05	10.05
38	22.70	525-1	0.00	1.20	90.82	7.18	7.18
39	22.88	501-1	19.71	0.00	0.00	7.06	7.06
40	23.33	301-1	0.00	3.75	44.27	7.09	7.09
41	23.48	325-1	38.53	0.00	0.00	7.20	7.20
42	23.61	613-3	0.00	1.64	90.05	7.08	7.08
43	24.05	213-3	0.00	1.92	10.74	7.16	7.16
44	24.38	213-3	0.00	276.08	356.70	7.26	7.26
45	24.48	317-1	7.65	0.00	0.00	7.04	7.04
46	24.56	125-1	366.54	0.00	0.00	7.46	7.46
47	24.81	101-1	0.00	1202.71	202.92	7.47	7.47
48	25.12	117-1	86.35	0.00	0.00	7.15	7.15
49	25.48	6325-1	95.16	0.00	0.00	7.14	7.14
50	25.67	613-3	0.00	2030.88	576.41	7.39	7.39
51	26.51	117-1	76.43	0.00	0.00	7.14	7.14
52	26.62	213-3	0.00	25.67	0.87	7.11	7.11
53	26.94	109-1	0.00	71.29	2.47	7.15	7.15
54	26.96	221-3	0.05	0.00	0.00	7.06	7.06
55	27.17	413-3	0.00	7.03	88.25	7.08	7.08
56	27.20	615-3	8.12	0.00	0.00	7.25	7.25
57	27.33	509-1	0.00	0.07	21.79	7.12	7.12
58	27.42	213-3	0.00	53.02	30.36	7.09	7.09
59	27.48	421-3	0.65	0.00	0.00	7.02	7.02
60	27.75	309-1	0.00	2.53	2.18	7.02	7.02

Tab. 1-2 Kastenförmige Bauwerke
Eigenwerte der Diskretisierung 4w x 4w

61	27.96	251-1	0.00	45.07	109.87	7.37	7.37
62	29.09	151-1	0.00	69.99	1.10	7.64	7.64
63	29.26	615-3	641.50	0.00	0.00	7.29	7.29
64	30.74	603-3	0.00	29.78	117.15	8.29	8.29
65	30.85	215-3	49.28	0.00	0.00	7.31	7.31
66	31.30	475-1	55.10	0.00	0.00	8.43	8.43
67	31.87	415-3	440.10	0.00	0.00	7.50	7.50
68	32.28	259-1	0.00	406.63	4.73	7.29	7.29
69	32.70	567-1	0.00	802.66	29.68	7.40	7.40
70	32.70	75-1	172.38	0.00	0.00	9.45	9.45
71	33.42	403-3	0.00	1.61	2.21	7.16	7.16
72	33.64	275-1	81.65	0.00	0.00	7.37	7.37
73	33.76	459-1	0.00	239.77	0.00	7.41	7.41
74	34.38	67-1	453.52	0.00	0.00	8.63	8.63
75	34.99	259-1	0.00	238.17	23.92	8.22	8.22
76	35.01	415-3	39.90	0.00	0.00	7.75	7.75
77	35.37	67-1	0.00	77.33	18.36	7.98	7.98
78	35.61	8553-2	55.80	0.00	0.00	7.09	7.09
79	35.81	8573-2	0.00	356.29	336.04	7.49	7.49
80	35.93	8453-2	35.24	0.00	0.00	7.09	7.09
81	36.17	8323-2	56.27	0.00	0.00	7.06	7.06
82	36.20	8463-2	0.00	523.24	170.26	7.25	7.25
83	36.35	8557-2	0.00	1.29	64.29	7.21	7.21
84	36.50	8119-2	713.57	0.00	0.00	7.48	7.48
85	36.56	8263-2	0.00	84.63	51.03	7.14	7.14
86	36.65	8303-2	0.00	256.59	6.70	7.11	7.11
87	36.78	8515-2	49.41	0.00	0.00	7.28	7.28
88	36.95	8273-2	104.21	0.00	0.00	7.28	7.28
89	37.03	8119-2	0.00	64.00	12.92	7.71	7.71
90	37.11	8469-2	506.04	0.00	0.00	7.50	7.50
91	37.40	8363-2	0.00	1.07	1.43	7.13	7.13
92	37.54	8315-2	158.91	0.00	0.00	7.38	7.38
93	37.99	8315-2	35.36	0.00	0.00	7.48	7.48
94	38.10	8115-2	247.58	0.00	0.00	7.65	7.65
95	38.12	8055-2	0.00	272.84	341.65	7.99	7.99
96	38.81	8171-2	0.00	3279.01	322.30	8.45	8.45
97	38.90	8155-2	61.00	0.00	0.00	7.65	7.65
98	39.14	8163-2	0.00	288.61	124.85	7.63	7.63
99	39.20	359-1	1145.83	0.00	0.00	9.65	9.65
100	39.96	8163-2	0.00	1143.60	2511.02	11.18	11.18
101	40.17	423-3	71.32	0.00	0.00	8.06	8.06
102	40.46	207-3	0.00	841.43	2711.50	13.35	13.35
103	40.82	603-3	22.39	0.00	0.00	7.13	7.13
104	41.15	619-3	0.00	821.77	1123.38	8.96	8.96
105	41.36	451-1	0.00	75.95	329.98	7.62	7.62
106	41.59	615-3	90.45	0.00	0.00	11.22	11.22
107	42.35	251-1	0.00	0.01	48.69	7.60	7.60
108	42.36	223-3	1.77	0.00	0.00	8.04	8.04
109	42.69	215-3	66.21	0.00	0.00	9.39	9.39
110	42.84	615-3	124.67	0.00	0.00	7.56	7.56
111	43.00	6175-1	0.00	59.44	10.99	7.29	7.29
112	43.24	6615-3	33.51	0.00	0.00	7.72	7.72
113	43.79	51-1	0.00	920.82	13.62	9.99	9.99
114	44.03	175-1	298.20	0.00	0.00	7.71	7.71
115	44.06	275-1	178.95	0.00	0.00	7.53	7.53
116	44.57	575-1	0.00	448.81	38.18	8.44	8.44
117	44.60	175-1	0.00	494.19	0.79	7.62	7.62
118	44.67	6607-3	0.88	0.00	0.00	7.13	7.13
119	45.14	415-3	0.41	0.00	0.00	7.11	7.11
120	45.18	603-3	0.00	9910.83	102.12	8.15	8.15
121	45.30	259-1	0.00	8675.40	69.63	7.87	7.87
122	45.51	613-3	0.00	7229.40	129.93	8.34	8.34
123	45.65	301-1	456.21	0.00	0.00	7.69	7.69
124	45.74	613-3	0.00	578.18	2.44	7.27	7.27
125	45.89	59-1	0.00	276.37	0.80	7.38	7.38

Tab. 1-2

Kastenförmige Bauwerke
Eigenwerte der Diskretisierung 4w x 4w (Fortsetzung)

126	45.92	605-3	17.51	0.00	0.00	8.75	8.75
127	46.26	101-1	0.00	6716.24	138.00	7.74	7.74
128	46.51	359-1	211.66	0.00	0.00	7.86	7.86
129	46.75	6359-1	0.31	0.00	0.00	7.20	7.20
130	46.81	275-1	12.10	0.00	0.00	7.82	7.82
131	46.91	459-1	0.00	783.35	46.85	7.20	7.20
132	46.93	203-3	7.05	0.00	0.00	7.61	7.61
133	46.98	567-1	0.00	1359.42	94.12	7.75	7.75
134	47.06	6251-1	5.67	0.00	0.00	7.74	7.74
135	47.14	59-1	0.00	37.22	0.00	7.10	7.10
136	47.25	6223-3	0.00	2516.49	35.63	7.34	7.34
137	47.37	6621-3	8.73	0.00	0.00	7.47	7.47
138	47.47	213-3	0.00	35.69	47.47	7.49	7.49
139	47.56	159-1	281.85	0.00	0.00	7.63	7.63
140	47.71	6125-1	55.73	0.00	0.00	9.13	9.13
141	47.76	167-1	0.00	700.76	29.07	7.44	7.44
142	48.01	167-1	0.00	520.28	6.83	7.39	7.39
143	48.26	6211-3	4.08	0.00	0.00	8.62	8.62
144	48.51	6405-3	0.00	451.79	65.99	7.47	7.47
145	48.54	267-1	0.37	0.00	0.00	7.24	7.24
146	48.68	421-3	6.35	0.00	0.00	7.45	7.45
147	48.70	221-3	0.00	26293.38	78.84	7.79	7.79
148	48.86	6413-3	0.00	512.90	9.53	7.51	7.51
149	49.20	6509-1	0.00	51.42	1.39	7.36	7.36
150	49.23	205-3	11.35	0.00	0.00	8.04	8.04
151	49.46	6213-3	0.00	386.88	9.53	7.19	7.19
152	49.73	6109-1	0.00	64.21	151.11	7.83	7.83
153	49.94	6517-1	0.12	0.00	0.00	7.64	7.64
154	50.26	6317-1	36.38	0.00	0.00	7.50	7.50
155	50.48	6213-3	0.00	13989.09	462.51	8.83	8.83
156	50.78	8365-2	6.13	0.00	0.00	7.73	7.73
157	51.23	6413-3	0.00	5274.06	36.41	8.59	8.59
158	51.69	207-3	47.11	0.00	0.00	9.03	9.03
159	52.18	8465-2	100.92	0.00	0.00	8.21	8.21
160	52.44	251-1	0.00	7.42	0.44	7.46	7.46
161	53.10	8569-2	0.00	824.76	2.28	7.50	7.50
162	53.15	8369-2	51.56	0.00	0.00	8.08	8.08
163	53.56	8469-2	0.00	776.50	16.36	7.92	7.92
164	53.62	525-1	13.91	0.00	0.00	7.54	7.54
165	53.95	8457-2	245.38	0.00	0.00	7.81	7.81
166	53.97	613-3	0.00	1.10	0.44	7.18	7.18
167	54.03	8369-2	0.00	252.87	2.17	7.43	7.43
168	54.18	8465-2	119.65	0.00	0.00	7.76	7.76
169	54.56	2613-3	0.00	718.74	0.43	7.63	7.63
170	54.85	8265-2	22.26	0.00	0.00	7.07	7.07
171	55.08	8069-2	369.00	0.00	0.00	7.94	7.94
172	55.17	8153-2	0.00	18.78	15.43	8.26	8.26
173	55.29	8169-2	10.51	0.00	0.00	7.52	7.52
174	55.64	8053-2	0.00	87.91	9.32	7.62	7.62
175	55.72	125-1	105.27	0.00	0.00	7.85	7.85
176	55.82	51-1	0.00	40.37	11.04	7.62	7.62
177	56.01	8165-2	41.15	0.00	0.00	7.55	7.55
178	56.41	8513-2	0.00	9.90	3.03	8.49	8.49
179	56.41	8507-2	7.79	0.00	0.00	8.10	8.10
180	57.20	8455-2	0.00	74.37	9.69	7.23	7.23
181	57.37	8263-2	0.00	3.02	0.72	7.10	7.10
182	57.45	8463-2	0.00	308.33	5.86	9.31	9.31
183	57.54	8323-2	33.24	0.00	0.00	7.43	7.43
184	57.79	8523-2	0.97	0.00	0.00	8.31	8.31
185	57.86	8063-2	0.00	111.46	75.00	8.25	8.25
186	58.00	8523-2	1.58	0.00	0.00	8.09	8.09
187	58.25	8507-2	0.00	0.83	4.01	8.23	8.23
188	58.53	8563-2	0.00	288.09	0.98	7.69	7.69
189	58.54	109-1	662.31	0.00	0.00	7.79	7.79
190	58.62	8255-2	64.05	0.00	0.00	7.53	7.53

Tab. 1-2 Kastenförmige Bauwerke
Eigenwerte der Diskretisierung 4w x 4w (Fortsetzung)

191	58.88	421-3	0.00	38.74	18.83	7.35	7.35
192	59.02	8071-2	1.97	0.00	0.00	7.31	7.31
193	59.29	607-3	30.49	0.00	0.00	8.31	8.31
194	59.53	8107-2	0.00	21.22	89.18	7.96	7.96
195	59.91	413-3	0.00	82.58	73.02	8.17	8.17
196	60.48	551-1	787.68	0.00	0.00	8.64	8.64
197	60.50	8263-2	0.00	20.26	18.01	7.54	7.54
198	60.75	475-1	77.47	0.00	0.00	8.25	8.25
199	60.83	8063-2	0.00	1.34	0.00	8.15	8.15
200	61.08	8513-2	0.00	38.00	5.85	7.51	7.51
201	61.13	621-3	8.55	0.00	0.00	7.50	7.50
202	61.32	509-1	0.00	15.58	12.87	7.45	7.45
203	61.48	421-3	6.34	0.00	0.00	7.50	7.50
204	61.48	8063-2	0.00	47.22	28.72	7.59	7.59
205	61.73	207-3	3.43	0.00	0.00	7.82	7.82
206	61.83	619-3	0.00	16.30	0.07	7.69	7.69
207	61.98	2213-3	0.00	10.76	2.09	7.10	7.10
208	62.21	205-3	20.69	0.00	0.00	8.46	8.46
209	62.24	8521-2	0.00	9.58	18.46	7.40	7.40
210	62.60	219-3	11.09	0.00	0.00	7.94	7.94
211	62.70	8113-2	0.00	1.02	39.74	8.11	8.11
212	62.77	615-3	34.40	0.00	0.00	7.65	7.65
213	62.87	351-1	0.00	44.55	59.88	7.71	7.71
214	63.02	575-1	143.13	0.00	0.00	7.62	7.62
215	63.06	351-1	0.00	1042.98	77.99	7.95	7.95
216	63.24	275-1	0.00	150.26	3.91	7.66	7.66
217	63.26	251-1	24.41	0.00	0.00	7.30	7.30
218	63.34	213-3	0.00	258.88	40.69	7.83	7.83
219	63.53	51-1	10.70	0.00	0.00	7.33	7.33
220	63.60	75-1	0.00	8.63	8.99	7.30	7.30
221	63.65	475-1	1.16	0.00	0.00	7.04	7.04
222	63.76	575-1	6.89	0.00	0.00	7.18	7.18
223	63.89	6613-3	0.00	96.81	8.10	7.35	7.35
224	64.01	603-3	0.00	2.55	6.68	7.41	7.41
225	64.22	4613-3	0.00	70.36	114.92	8.77	8.77
226	64.22	211-3	169.08	0.00	0.00	8.19	8.19
227	64.35	8505-2	16.97	0.00	0.00	7.29	7.29
228	64.44	8513-2	0.00	1736.10	1.31	7.71	7.71
229	64.48	8121-2	0.09	0.00	0.00	7.25	7.25
230	64.59	6325-1	0.00	5.09	40.95	7.50	7.50
231	64.62	6075-1	49.37	0.00	0.00	7.25	7.25
232	64.88	605-3	25.28	0.00	0.00	7.49	7.49
233	64.95	6459-1	0.00	0.41	0.07	7.03	7.03
234	65.02	415-3	0.01	0.00	0.00	7.38	7.38
235	65.07	259-1	0.00	1.21	0.02	7.11	7.11
236	65.20	415-3	0.00	0.00	0.00	7.15	7.15
237	65.27	325-1	0.00	0.57	12.71	7.37	7.37
238	65.33	159-1	0.00	2.51	1.49	7.25	7.25
239	65.56	613-3	0.00	284.66	11.65	7.29	7.29
240	65.71	501-1	0.44	0.00	0.00	7.08	7.08
241	65.86	125-1	0.00	233.24	0.38	7.33	7.33
242	65.89	151-1	1.54	0.00	0.00	7.27	7.27
243	66.03	159-1	0.00	280.53	2.77	7.17	7.17
244	66.11	8121-2	12.95	0.00	0.00	7.39	7.39
245	66.16	621-3	0.00	142.41	0.12	7.19	7.19
246	66.18	211-3	4.60	0.00	0.00	7.41	7.41
247	66.57	413-3	0.00	1.22	1.79	7.50	7.50
248	66.60	167-1	3.71	0.00	0.00	7.33	7.33
249	66.70	6203-3	0.00	31.46	0.47	7.16	7.16
250	66.75	6459-1	56.30	0.00	0.00	7.75	7.75
251	66.84	8507-2	72.68	0.00	0.00	8.23	8.23
252	66.94	467-1	14.70	0.00	0.00	8.12	8.12
253	67.04	213-3	0.00	9.39	17.02	8.13	8.13
254	67.35	8513-2	0.00	19.79	90.86	8.58	8.58
255	67.38	213-3	0.00	16.18	0.27	7.18	7.18

Tab. 1-2 Kastenförmige Bauwerke
Eigenwerte der Diskretisierung 4w x 4w (Fortsetzung)

256	67.40	421-3	0.09	0.00	0.00	7.09	7.09
257	67.42	6423-3	7.41	0.00	0.00	7.08	7.08
258	67.78	413-3	0.00	1101.66	45.47	7.94	7.94
259	67.94	317-1	59.16	0.00	0.00	7.57	7.57
260	68.05	213-3	0.00	6.70	11.84	7.44	7.44
261	68.32	8313-2	0.00	1635.08	20.22	8.02	8.02
262	68.42	117-1	44.45	0.00	0.00	7.75	7.75
263	68.48	8313-2	0.00	1426.57	1.31	7.23	7.23
264	68.66	109-1	19.23	0.00	0.00	7.34	7.34
265	68.68	213-3	0.00	182.64	0.85	7.36	7.36
266	68.80	301-1	14.47	0.00	0.00	8.63	8.63
267	69.20	2621-3	0.00	10.82	60.24	7.97	7.97
268	69.43	351-1	0.91	0.00	0.00	7.81	7.81
269	69.50	213-3	0.00	5.29	3.81	7.12	7.12
270	69.60	125-1	1.03	0.00	0.00	7.38	7.38
271	69.64	605-3	0.92	0.00	0.00	7.73	7.73
272	69.69	2613-3	0.00	0.08	102.19	7.52	7.52
273	69.74	2605-3	20.45	0.00	0.00	7.74	7.74
274	69.96	2501-1	0.00	2.93	7.35	7.47	7.47
275	70.03	2101-1	0.00	4.62	54.01	7.40	7.40
276	70.11	375-1	35.45	0.00	0.00	9.28	9.28
277	70.23	213-3	0.00	1.16	0.01	7.07	7.07
278	70.31	117-1	0.00	42.35	5.44	7.57	7.57
279	70.36	2413-3	0.00	23.91	0.01	7.11	7.11
280	70.44	2421-3	11.10	0.00	0.00	7.41	7.41
281	70.46	317-1	0.00	39.12	9.68	7.38	7.38
282	70.50	2213-3	0.00	17.27	22.49	7.15	7.15
283	70.54	2509-1	52.85	0.00	0.00	7.48	7.48
284	70.55	2109-1	7.66	0.00	0.00	7.15	7.15
285	70.56	517-1	0.00	0.79	1.14	7.23	7.23
286	70.68	2205-3	0.00	32.43	28.84	7.29	7.29
287	70.73	2221-3	4.81	0.00	0.00	7.11	7.11
288	70.78	4317-1	44.11	0.00	0.00	7.45	7.45
289	70.82	2413-3	0.00	26.86	2.18	7.44	7.44
290	70.94	2213-3	0.00	10.24	3.00	7.22	7.22
291	71.05	2501-1	2.17	0.00	0.00	7.93	7.93
292	71.36	4525-1	2.32	0.00	0.00	7.71	7.71
293	71.76	8563-2	0.00	64.26	32.46	8.02	8.02
294	71.84	8269-2	181.64	0.00	0.00	8.45	8.45
295	72.14	8463-2	0.00	388.67	43.52	7.99	7.99
296	72.26	8515-2	80.71	0.00	0.00	8.31	8.31
297	72.30	8463-2	0.00	929.97	277.45	9.35	9.35
298	72.34	8163-2	0.00	378.43	6.17	8.28	8.28
299	72.45	8369-2	4.07	0.00	0.00	7.38	7.38
300	72.67	8507-2	0.00	4.80	15.16	7.31	7.31
301	72.72	8353-2	2.59	0.00	0.00	7.94	7.94
302	73.05	8463-2	0.00	29.61	6.22	7.60	7.60
303	73.10	8257-2	0.00	25.80	155.70	7.97	7.97
304	73.31	8369-2	0.00	54.39	139.74	8.90	8.90
305	73.35	8315-2	0.11	0.00	0.00	7.16	7.16
306	73.43	8573-2	33.11	0.00	0.00	7.78	7.78
307	73.44	8063-2	0.00	350.42	117.00	7.94	7.94
308	73.58	8553-2	0.00	47.43	678.76	10.32	10.32
309	73.85	8457-2	0.00	1.93	1.65	7.59	7.59
310	74.04	8071-2	19.15	0.00	0.00	8.31	8.31
311	74.16	8515-2	3.65	0.00	0.00	8.57	8.57
312	74.21	8169-2	43.44	0.00	0.00	7.91	7.91
313	74.32	8563-2	0.00	3.83	0.06	7.10	7.10
314	74.33	8057-2	81.51	0.00	0.00	9.32	9.32
315	74.46	8503-2	5.25	0.00	0.00	7.98	7.98

Tab. 1-2 Kastenförmige Bauwerke
Eigenwerte der Diskretisierung 4w x 4w (Fortsetzung)

316	74.79	8119-2	0.00	2.59	7.33	7.48	7.48
317	74.80	8461-2	54.92	0.00	0.00	8.56	8.56
318	75.06	8163-2	0.00	18.15	3.97	7.48	7.48
319	75.45	8115-2	12.10	0.00	0.00	7.23	7.23
320	75.53	4613-3	0.00	51.46	206.50	11.79	11.79
321	75.78	8063-2	0.00	9.27	7.75	8.91	8.91
322	76.02	8263-2	0.00	431.22	25.08	8.16	8.16
323	76.57	8025-3	904.16	0.00	0.00	12.00	12.00
324	76.70	8057-2	23.94	0.00	0.00	10.74	10.74
325	77.52	601-1	0.00	11.96	16.63	9.70	9.70
326	77.53	8075-1	111.21	0.00	0.00	9.77	9.77
327	78.60	8325-1	126.32	0.00	0.00	8.76	8.76
328	78.88	8457-2	65.11	0.00	0.00	8.91	8.91
329	78.98	8163-3	0.00	39.98	1.08	11.57	11.57
330	79.67	613-3	0.00	83.74	1.40	7.70	7.70
SUMMEN:			195522.06	160571.45	199209.03		
GESAMT-GEWICHTE:			211200.00	192000.00	211200.00		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1-2 Kastenförmige Bauwerke
Eigenwerte der Diskretisierung 4w x 4w (Fortsetzung)

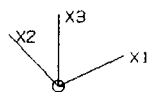
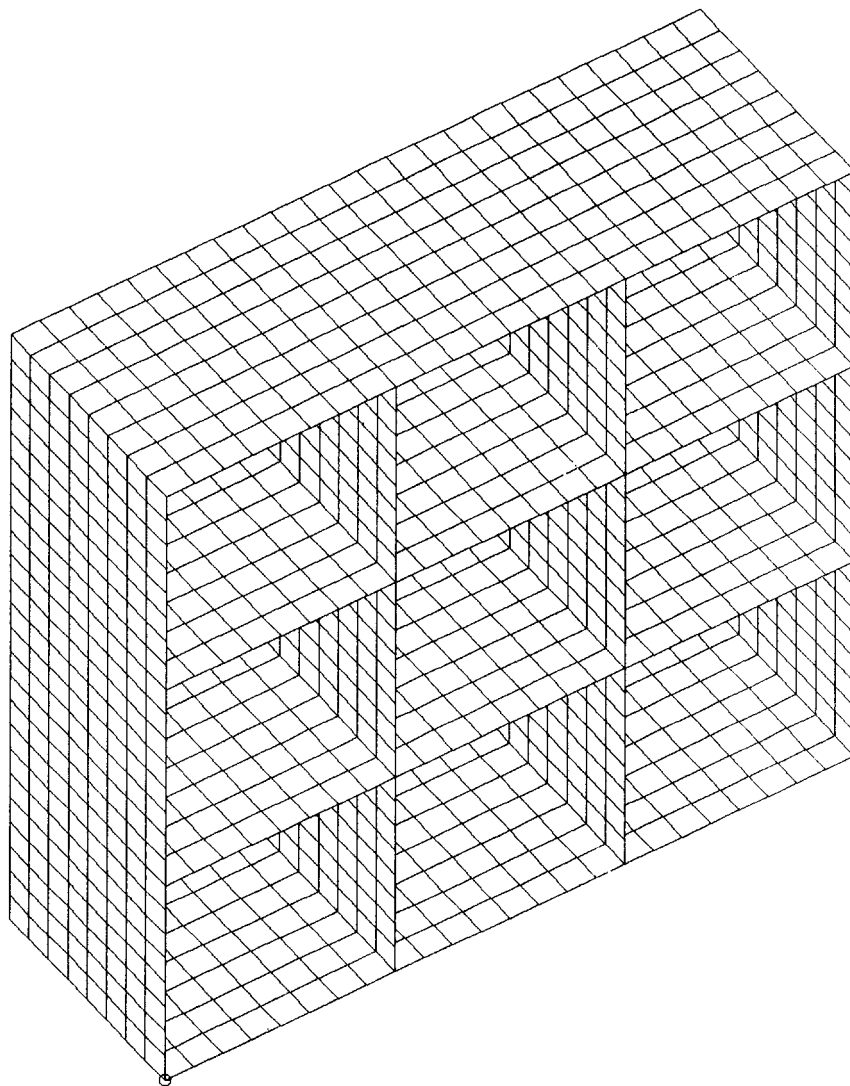


Fig. 1-3 Rechenmodell des kastenförmigen Bauwerks
Diskretisierungsvariante $2w \times 2w$ (2 m x 2 m)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	4.06	550-1	148570.06	0.00	0.00	22.59	15.00
2	8.49	621-3	0.00	0.17	1621.09	7.21	7.21
3	9.04	501-1	1800.92	0.00	0.00	7.36	7.36
4	9.65	213-3	0.00	0.34	42.67	7.24	7.24
5	10.09	613-3	0.00	48.91	104242.33	16.58	16.58
6	10.31	621-3	2931.07	0.00	0.00	7.50	7.50
7	10.42	501-1	0.00	18.44	24182.84	9.18	9.18
8	10.50	309-1	13822.25	0.00	0.00	9.81	9.81
9	11.10	413-3	0.00	24.76	16928.76	8.69	8.69
10	11.17	605-3	0.24	0.00	0.00	8.55	8.55
11	11.52	213-3	0.00	0.86	643.37	7.68	7.68
12	11.97	109-1	10872.84	0.00	0.00	8.37	8.37
13	13.40	101-1	0.00	496.90	5376.37	8.32	8.32
14	13.65	525-1	469.20	0.00	0.00	8.72	8.72
15	14.35	117-1	581.20	0.00	0.00	7.95	7.95
16	14.42	109-1	0.00	170.92	1243.99	7.72	7.72
17	14.49	213-3	0.00	400.12	1417.48	7.59	7.59
18	14.62	517-1	0.00	1.03	215.20	7.13	7.13
19	14.68	509-1	37.77	0.00	0.00	7.08	7.08
20	14.77	221-3	27.71	0.00	0.00	7.08	7.08
21	14.82	509-1	0.00	19.27	19.18	7.01	7.01
22	14.86	213-3	0.00	35.53	164.24	7.05	7.05
23	16.40	309-1	2232.34	0.00	0.00	8.95	8.95
24	16.70	405-3	0.00	55.40	8896.63	9.30	9.30
25	16.71	413-3	0.00	8.67	19224.75	11.96	11.96
26	17.19	8505-2	10.68	0.00	0.00	7.04	7.04
27	17.50	8513-2	0.00	440.24	3.43	7.06	7.06
28	18.06	8505-2	1.53	0.00	0.00	7.06	7.06
29	18.20	8513-2	0.00	1248.81	8.68	7.01	7.01
30	18.64	8113-2	0.00	2732.32	8.14	7.16	7.16
31	19.12	8513-2	0.00	7659.31	4.00	7.05	7.05
32	19.13	8121-2	68.22	0.00	0.00	7.94	7.94
33	19.29	8105-2	621.50	0.00	0.00	7.98	7.98
34	19.55	475-1	400.44	0.00	0.00	11.67	11.67
35	20.27	8113-2	0.00	27593.95	51.77	7.59	7.59
36	20.44	8113-2	0.00	3134.93	56.87	11.06	11.06
37	22.28	603-3	63.08	0.00	0.00	9.89	9.89
38	22.51	5605-3	0.00	1.90	92.42	7.21	7.21
39	22.69	5525-1	22.85	0.00	0.00	7.06	7.06
40	23.09	5301-1	0.00	3.30	41.96	7.09	7.09
41	23.27	5325-1	38.23	0.00	0.00	7.22	7.22
42	23.38	5613-3	0.00	0.12	96.71	7.08	7.08
43	23.79	5213-3	0.00	0.22	17.19	7.19	7.19
44	24.14	5213-3	0.00	171.81	329.32	7.23	7.23
45	24.21	5309-1	43.13	0.00	0.00	7.05	7.05
46	24.39	5125-1	347.55	0.00	0.00	7.56	7.56
47	24.66	125-1	0.00	1370.14	330.39	7.56	7.56
48	24.91	109-1	94.22	0.00	0.00	7.20	7.20
49	25.36	5325-1	122.18	0.00	0.00	7.18	7.18
50	25.57	5613-3	0.00	2013.43	710.46	7.42	7.42
51	26.42	5117-1	76.66	0.00	0.00	7.20	7.20
52	26.50	5213-3	0.00	19.35	0.05	7.11	7.11
53	26.84	5221-3	0.02	0.00	0.00	7.07	7.07
54	26.86	5109-1	0.00	63.08	1.07	7.22	7.22
55	27.06	5413-3	0.00	8.93	78.23	7.06	7.06
56	27.24	5509-1	0.00	17.70	0.18	7.04	7.04
57	27.32	5405-3	2.74	0.00	0.00	7.04	7.04
58	27.37	419-3	5.95	0.00	0.00	7.36	7.36
59	27.47	475-1	0.00	31.21	63.43	7.25	7.25
60	27.59	5413-3	0.00	0.04	1.41	7.02	7.02

Tab. 1-3 Kastenförmiges Bauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 2w x 2w

61	28.16	251-1	0.00	27.10	82.82	7.33	7.33
62	29.43	151-1	0.00	72.16	5.76	8.10	8.10
63	29.58	611-3	678.01	0.00	0.00	7.47	7.47
64	31.25	351-1	54.10	0.00	0.00	7.40	7.40
65	31.25	603-3	0.00	3.17	107.24	8.57	8.57
66	31.69	475-1	77.64	0.00	0.00	8.48	8.48
67	32.25	419-3	550.83	0.00	0.00	7.71	7.71
68	32.69	259-1	0.00	650.25	22.63	7.27	7.27
69	33.09	75-1	209.95	0.00	0.00	9.55	9.55
70	33.10	567-1	0.00	487.96	30.13	7.23	7.23
71	33.92	403-3	0.00	12.93	0.77	7.18	7.18
72	34.26	375-1	174.26	0.00	0.00	7.64	7.64
73	34.47	51-1	0.00	235.73	2.09	7.76	7.76
74	34.96	59-1	240.24	0.00	0.00	8.36	8.36
75	35.38	8472-2	0.00	233.12	20.45	8.43	8.43
76	35.69	411-3	9.19	0.00	0.00	7.56	7.56
77	35.73	8528-2	64.53	0.00	0.00	7.14	7.14
78	36.02	8572-2	0.00	183.85	129.08	7.15	7.15
79	36.23	67-1	0.00	315.40	192.08	7.70	7.70
80	36.26	8315-2	0.82	0.00	0.00	7.18	7.18
81	36.60	8463-2	0.00	348.73	81.21	7.23	7.23
82	36.61	8278-2	121.14	0.00	0.00	7.26	7.26
83	36.90	8563-2	0.00	62.53	107.56	7.26	7.26
84	37.01	8119-2	335.92	0.00	0.00	7.30	7.30
85	37.25	8263-2	0.00	255.40	139.39	7.22	7.22
86	37.34	8123-2	0.00	371.44	3.33	7.39	7.39
87	37.44	8515-2	448.92	0.00	0.00	7.38	7.38
88	37.56	8107-2	0.00	3.55	9.61	7.88	7.88
89	37.71	8356-2	27.08	0.00	0.00	7.36	7.36
90	37.97	8548-2	957.05	0.00	0.00	7.69	7.69
91	38.15	8263-2	0.00	15.08	19.99	7.19	7.19
92	38.48	8115-2	112.88	0.00	0.00	7.44	7.44
93	38.85	8554-2	0.00	108.44	309.40	7.96	7.96
94	38.87	8115-2	1.01	0.00	0.00	7.49	7.49
95	39.29	211-3	610.97	0.00	0.00	7.90	7.90
96	39.52	8155-2	0.00	6487.57	1514.72	10.14	10.14
97	39.80	8155-2	635.18	0.00	0.00	9.28	9.28
98	39.94	8172-2	511.46	0.00	0.00	9.16	9.16
99	40.10	8163-2	0.00	669.50	892.72	8.57	8.57
100	40.39	8063-2	0.00	373.71	3230.18	11.45	11.45
101	40.84	5619-3	14.35	0.00	0.00	7.15	7.15
102	41.29	403-3	100.11	0.00	0.00	8.78	8.78
103	41.52	219-3	0.00	6.79	869.70	9.82	9.82
104	41.62	551-1	0.00	202.79	138.51	7.45	7.45
105	42.21	351-1	0.00	414.59	488.81	8.30	8.30
106	42.61	611-3	61.02	0.00	0.00	10.17	10.17
107	42.83	611-3	0.58	0.00	0.00	7.25	7.25
108	43.14	500-1	0.00	0.36	56.16	7.74	7.74
109	43.70	211-3	0.89	0.00	0.00	7.94	7.94
110	43.99	6151-1	0.00	453.98	22.92	7.64	7.64
111	44.02	615-3	0.36	0.00	0.00	7.72	7.72
112	44.31	275-1	85.03	0.00	0.00	8.07	8.07
113	44.84	175-1	208.10	0.00	0.00	7.76	7.76
114	44.93	5607-3	0.00	768.97	3.88	9.23	9.23
115	45.11	215-3	272.72	0.00	0.00	7.66	7.66
116	45.68	550-1	0.00	68.67	28.72	8.44	8.44
117	45.86	151-1	0.00	9098.70	83.53	8.04	8.04
118	46.17	622-3	0.00	21063.81	480.64	8.54	8.54
119	46.18	5251-1	52.30	0.00	0.00	7.34	7.34
120	46.36	5351-1	0.00	1979.67	33.11	7.31	7.31
121	46.37	5611-3	111.56	0.00	0.00	7.35	7.35
122	46.57	613-3	0.00	1788.83	40.04	7.77	7.77
123	46.66	326-1	480.67	0.00	0.00	7.73	7.73
124	46.96	3606-3	3.01	0.00	0.00	8.26	8.26
125	47.05	3613-3	0.00	6344.49	108.77	7.47	7.47

Tab. 1-3 Kastenförmiges Bauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung $2w \times 2w$ (Fortsetzung)

126	47.33	59-1	0.00	6.74	0.50	7.42	7.42
127	47.46	126-1	0.00	6633.71	74.16	7.57	7.57
128	47.76	500-1	145.91	0.00	0.00	7.82	7.82
129	48.41	413-3	0.00	2350.17	35.71	7.27	7.27
130	48.54	5423-3	55.30	0.00	0.00	7.72	7.72
131	48.59	300-1	30.22	0.00	0.00	8.69	8.69
132	48.73	559-1	0.00	2162.05	7.21	7.22	7.22
133	48.76	223-3	26.77	0.00	0.00	7.61	7.61
134	48.92	213-3	0.00	2816.07	0.91	7.43	7.43
135	48.93	5415-3	150.25	0.00	0.00	7.54	7.54
136	49.04	6223-3	37.86	0.00	0.00	7.64	7.64
137	49.04	259-1	0.00	1161.06	13.82	7.43	7.43
138	49.20	159-1	0.00	1370.79	37.28	7.43	7.43
139	49.21	6605-3	49.25	0.00	0.00	7.28	7.28
140	49.50	6126-1	132.07	0.00	0.00	8.29	8.29
141	49.64	142-1	0.00	1318.37	4.17	7.35	7.35
142	49.92	420-3	0.00	5190.41	78.06	8.30	8.30
143	50.02	142-1	0.00	3890.31	64.81	7.48	7.48
144	50.05	5211-3	4.35	0.00	0.00	8.59	8.59
145	50.25	422-3	16.30	0.00	0.00	7.76	7.76
146	50.42	205-3	0.00	11950.38	91.70	7.71	7.71
147	50.65	415-3	13.51	0.00	0.00	7.15	7.15
148	51.13	484-1	0.00	51.78	0.92	7.59	7.59
149	51.34	6509-1	0.00	163.48	1.68	7.22	7.22
150	51.57	205-3	5.44	0.00	0.00	7.74	7.74
151	51.70	6213-3	0.00	539.34	36.05	7.25	7.25
152	52.16	6413-3	0.00	0.33	125.06	7.81	7.81
153	52.49	6405-3	1.20	0.00	0.00	8.10	8.10
154	52.72	6213-3	0.00	8249.26	439.01	8.64	8.64
155	53.02	492-1	22.83	0.00	0.00	7.45	7.45
156	53.26	6117-1	6.37	0.00	0.00	7.45	7.45
157	54.01	6413-3	0.00	1819.73	107.21	7.94	7.94
158	54.32	3221-3	50.67	0.00	0.00	8.45	8.45
159	54.67	8465-2	73.31	0.00	0.00	7.84	7.84
160	54.84	3325-1	0.00	180.41	7.09	7.29	7.29
161	55.43	3501-1	0.00	907.35	0.45	7.40	7.40
162	55.61	3317-1	61.72	0.00	0.00	7.79	7.79
163	55.91	567-1	71.20	0.00	0.00	7.89	7.89
164	56.16	8457-2	0.00	39.20	0.67	8.13	8.13
165	56.69	8457-2	218.53	0.00	0.00	7.93	7.93
166	56.85	8369-2	0.00	551.21	19.40	7.91	7.91
167	57.11	434-1	0.00	9.69	1.26	7.46	7.46
168	57.20	8469-2	163.18	0.00	0.00	7.71	7.71
169	57.50	8473-2	0.00	336.57	14.58	7.34	7.34
170	57.65	8565-2	359.22	0.00	0.00	7.87	7.87
171	57.86	207-3	0.00	0.11	40.40	8.33	8.33
172	57.93	8361-2	33.61	0.00	0.00	7.26	7.26
173	58.72	8261-2	14.28	0.00	0.00	7.68	7.68
174	58.87	8073-2	0.00	66.05	7.86	7.69	7.69
175	59.08	8169-2	28.52	0.00	0.00	7.70	7.70
176	59.55	8148-2	0.00	1.81	0.09	8.20	8.20
177	59.61	8161-2	7.49	0.00	0.00	7.82	7.82
178	60.05	8482-2	0.00	102.99	56.91	8.72	8.72
179	60.09	8361-2	0.44	0.00	0.00	7.68	7.68
180	60.88	8144-2	17.75	0.00	0.00	8.52	8.52
181	60.92	8563-2	0.00	41.19	0.28	7.82	7.82
182	60.97	8165-2	1.44	0.00	0.00	8.29	8.29
183	61.05	8316-2	0.00	33.95	78.79	7.97	7.97
184	61.29	8063-2	0.00	9.13	112.09	8.73	8.73
185	61.56	8519-2	0.00	363.61	29.77	7.54	7.54
186	61.57	8455-2	111.81	0.00	0.00	7.63	7.63
187	62.08	8132-2	0.00	97.45	22.08	8.40	8.40
188	62.60	8271-2	531.91	0.00	0.00	7.90	7.90
189	63.15	413-3	0.00	30.86	15.52	8.10	8.10
190	63.24	8148-2	61.42	0.00	0.00	8.04	8.04

Tab. 1-3 Kastenförmiges Bauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung $2w \times 2w$ (Fortsetzung)

191	63.41	351-1	537.79	0.00	0.00	9.03	9.03
192	63.47	8438-2	0.00	81.65	31.00	8.29	8.29
193	63.82	125-1	619.71	0.00	0.00	8.59	8.59
194	65.01	476-1	0.00	4.93	4.84	7.74	7.74
195	65.26	275-1	162.89	0.00	0.00	8.87	8.87
196	65.45	451-1	0.00	311.77	104.04	9.59	9.59
197	65.88	8288-2	0.00	6.90	11.71	8.57	8.57
198	66.06	413-3	0.00	49.10	25.49	8.39	8.39
199	66.19	59-1	354.24	0.00	0.00	9.06	9.06
200	66.61	3623-3	0.00	72.17	372.24	9.77	9.77
201	66.65	615-3	3.23	0.00	0.00	7.89	7.89
202	66.98	623-3	475.67	0.00	0.00	9.35	9.35
203	67.52	359-1	0.09	0.00	0.00	8.59	8.59
204	67.61	375-1	0.00	0.01	181.47	8.30	8.30
205	67.80	51-1	1.78	0.00	0.00	7.79	7.79
206	68.34	75-1	0.00	0.13	39.52	7.48	7.48
207	68.43	450-1	157.59	0.00	0.00	7.82	7.82
208	68.66	501-1	0.00	17.41	95.77	7.67	7.67
209	68.79	6615-3	2.57	0.00	0.00	7.54	7.54
210	69.06	621-3	0.00	64.79	1.61	7.76	7.76
211	69.17	6619-3	99.62	0.00	0.00	7.95	7.95
212	69.29	613-3	0.00	268.51	15.53	7.89	7.89
213	69.59	6475-1	2.69	0.00	0.00	7.47	7.47
214	69.88	5610-3	0.00	32.63	7.12	7.48	7.48
215	70.01	603-3	0.00	93.46	11.53	7.32	7.32
216	70.15	6075-1	2.64	0.00	0.00	7.38	7.38
217	70.23	8321-2	23.81	0.00	0.00	7.75	7.75
218	70.38	8313-2	0.00	90.65	29.97	7.44	7.44
219	70.49	8071-2	0.00	833.51	122.78	8.21	8.21
220	70.69	8563-2	0.00	2.79	0.38	7.70	7.70
221	70.85	509-1	383.46	0.00	0.00	7.94	7.94
222	70.92	3619-3	44.64	0.00	0.00	7.43	7.43
223	70.97	475-1	0.00	213.61	0.60	7.25	7.25
224	71.27	159-1	70.75	0.00	0.00	7.90	7.90
225	71.35	407-3	2.18	0.00	0.00	7.42	7.42
226	71.43	359-1	0.00	65.25	2.47	7.16	7.16
227	71.61	175-1	17.71	0.00	0.00	8.20	8.20
228	71.66	5525-1	0.00	213.60	27.83	7.82	7.82
229	71.71	3415-3	4.96	0.00	0.00	7.65	7.65
230	71.83	6051-1	0.00	107.24	0.02	7.32	7.32
231	71.90	559-1	0.00	1.22	5.43	7.78	7.78
232	72.13	3159-1	0.00	92.50	5.33	7.52	7.52
233	72.38	5621-3	121.00	0.00	0.00	8.28	8.28
234	72.49	403-3	0.36	0.00	0.00	7.77	7.77
235	72.54	459-1	0.00	38.12	195.64	7.98	7.98
236	72.91	325-1	21.98	0.00	0.00	8.54	8.54
237	73.03	101-1	0.00	2.51	19.20	7.86	7.86
238	73.15	3359-1	0.00	0.24	211.73	8.42	8.42
239	73.30	6407-3	3.84	0.00	0.00	7.40	7.40
240	73.50	8163-2	0.00	1083.28	292.71	10.04	10.04
241	73.70	219-3	13.45	0.00	0.00	7.89	7.89
242	73.70	203-3	0.00	694.33	28.02	8.85	8.85
243	73.95	207-3	0.00	635.72	150.89	8.77	8.77
244	74.15	621-3	36.72	0.00	0.00	8.83	8.83
245	74.31	167-1	50.20	0.00	0.00	8.72	8.72
246	74.38	213-3	0.00	183.62	403.85	9.58	9.58
247	74.68	207-3	0.00	71.69	0.04	7.69	7.69
248	75.06	3167-1	136.30	0.00	0.00	9.47	9.47
249	75.24	359-1	0.00	0.62	3.93	7.64	7.64
250	75.32	8305-2	164.93	0.00	0.00	8.51	8.51
251	75.70	213-3	0.00	9.14	112.22	9.18	9.18
252	75.72	6219-3	40.99	0.00	0.00	7.68	7.68
253	76.10	5213-3	0.00	66.94	23.53	8.95	8.95
254	76.13	3415-3	0.00	0.00	0.00	7.38	7.38
255	76.33	413-3	0.00	0.97	0.89	7.59	7.59

Tab. 1-3 Kastenförmiges Bauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 2w x 2w (Fortsetzung)

256	76.67	259-1	0.00	59.79	95.67	8.18	8.18
257	76.72	467-1	265.36	0.00	0.00	8.90	8.90
258	76.74	8519-2	0.56	0.00	0.00	8.01	8.01
259	76.87	367-1	127.75	0.00	0.00	8.33	8.33
260	76.95	213-3	0.00	382.62	43.59	8.85	8.85
261	77.12	3367-1	316.88	0.00	0.00	8.28	8.28
262	77.41	8163-2	0.00	3.36	43.32	8.53	8.53
263	77.79	403-3	49.07	0.00	0.00	8.41	8.41
264	78.04	6467-1	27.16	0.00	0.00	9.66	9.66
265	78.15	413-3	0.00	581.42	16.60	8.36	8.36
266	78.53	5367-1	17.14	0.00	0.00	7.99	7.99
267	78.74	613-3	0.00	584.80	42.39	7.68	7.68
268	79.16	5109-1	0.00	9.19	26.60	7.80	7.80
269	79.39	8171-2	2.70	0.00	0.00	10.87	10.87
270	79.87	59-1	227.59	0.00	0.00	8.31	8.31
271	80.14	117-1	1.92	0.00	0.00	8.97	8.97
272	80.16	51-1	0.00	84.08	40.68	10.25	10.25
273	80.36	413-3	0.00	0.47	232.42	9.33	9.33
274	80.59	451-1	5.39	0.00	0.00	7.33	7.33
275	80.83	215-3	0.00	0.27	38.05	9.58	9.58
276	81.19	405-3	0.00	144.33	161.75	8.65	8.65
277	81.39	8056-2	37.34	0.00	0.00	7.86	7.86
SUMMEN:			197617.23	160608.27	200176.44		

GESAMT-GEWICHTE:			211200.00	201600.00	211200.00		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1-3

Kastenförmiges Bauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 2w x 2w(Fortsetzung)

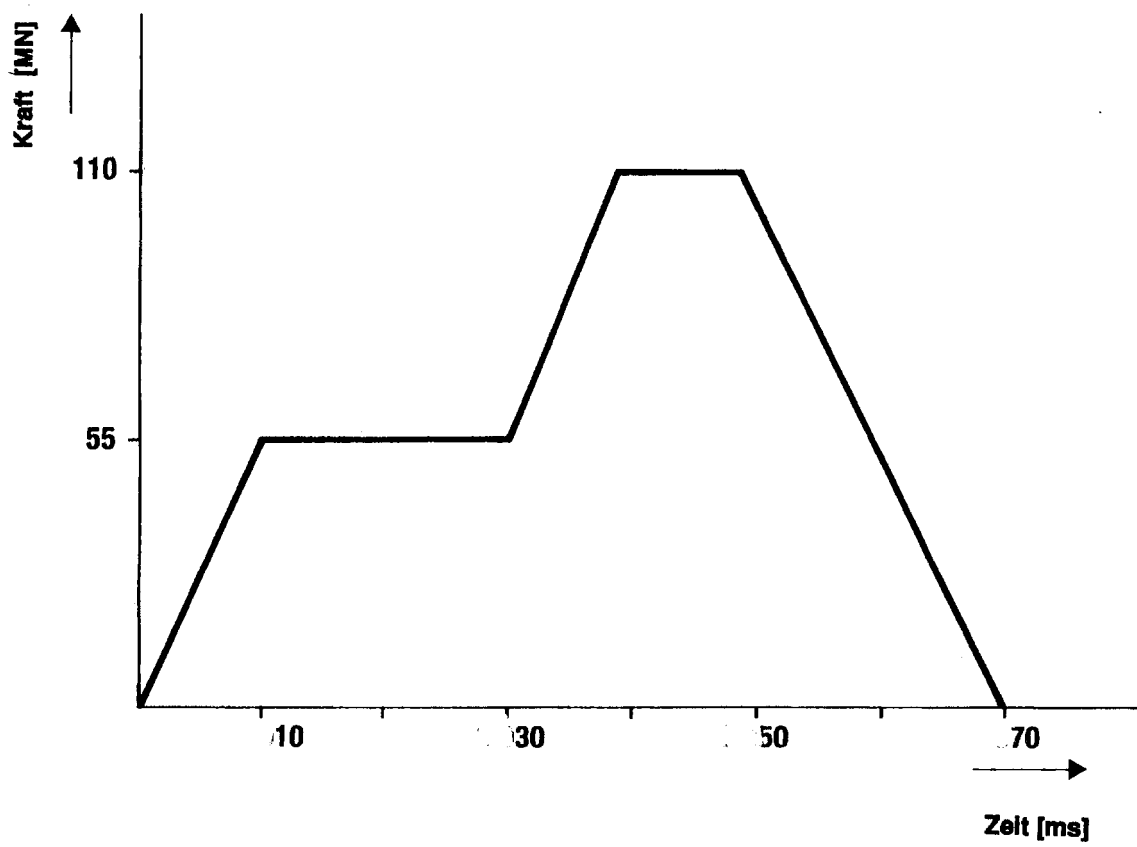


Fig. 1-4 Referenz - Stoßlastfunktion (RFL) [2-10]

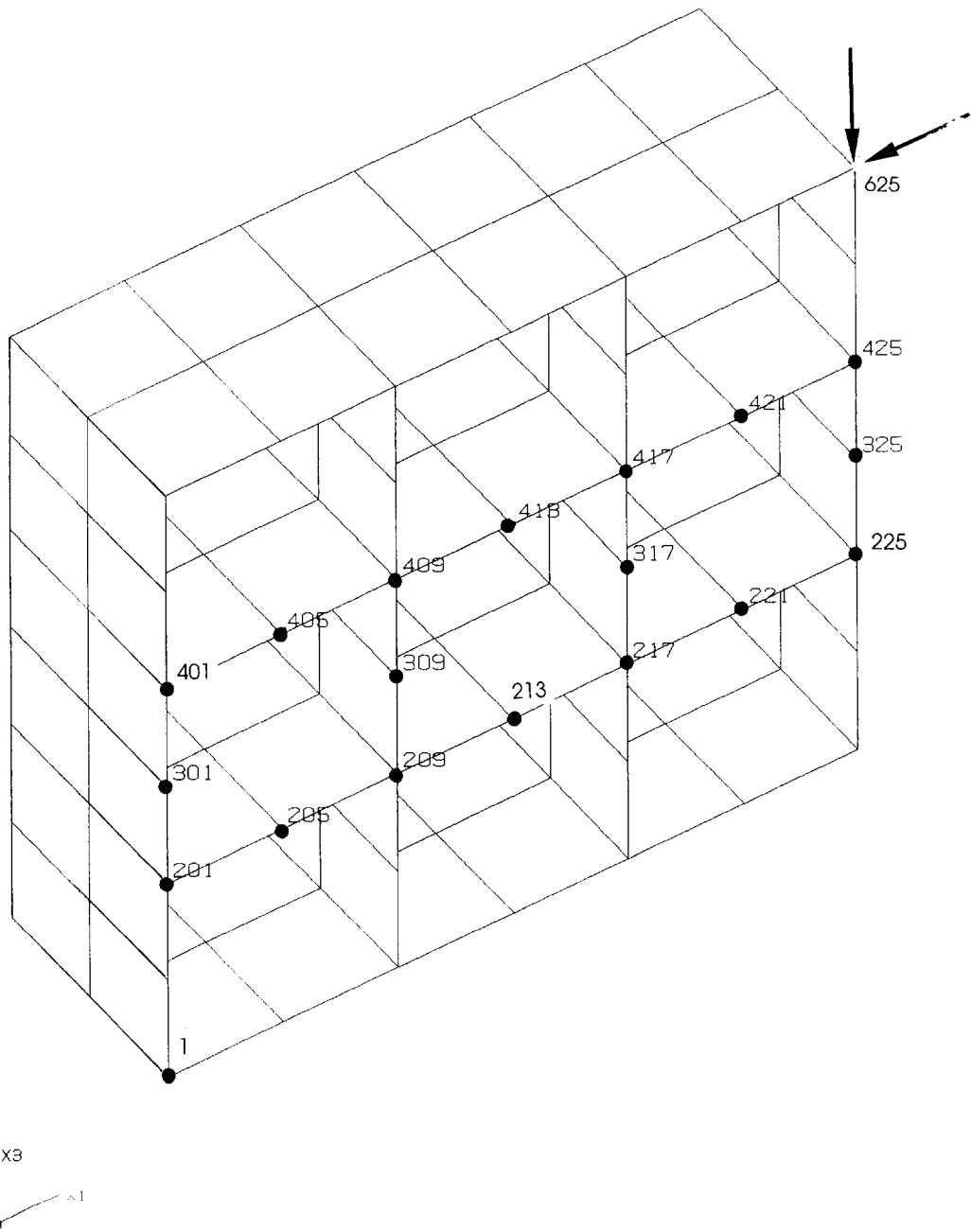


Fig. 1-5 Charakteristische Beobachtungspunkte
(Ausgabebereiche) von Strukturantworten

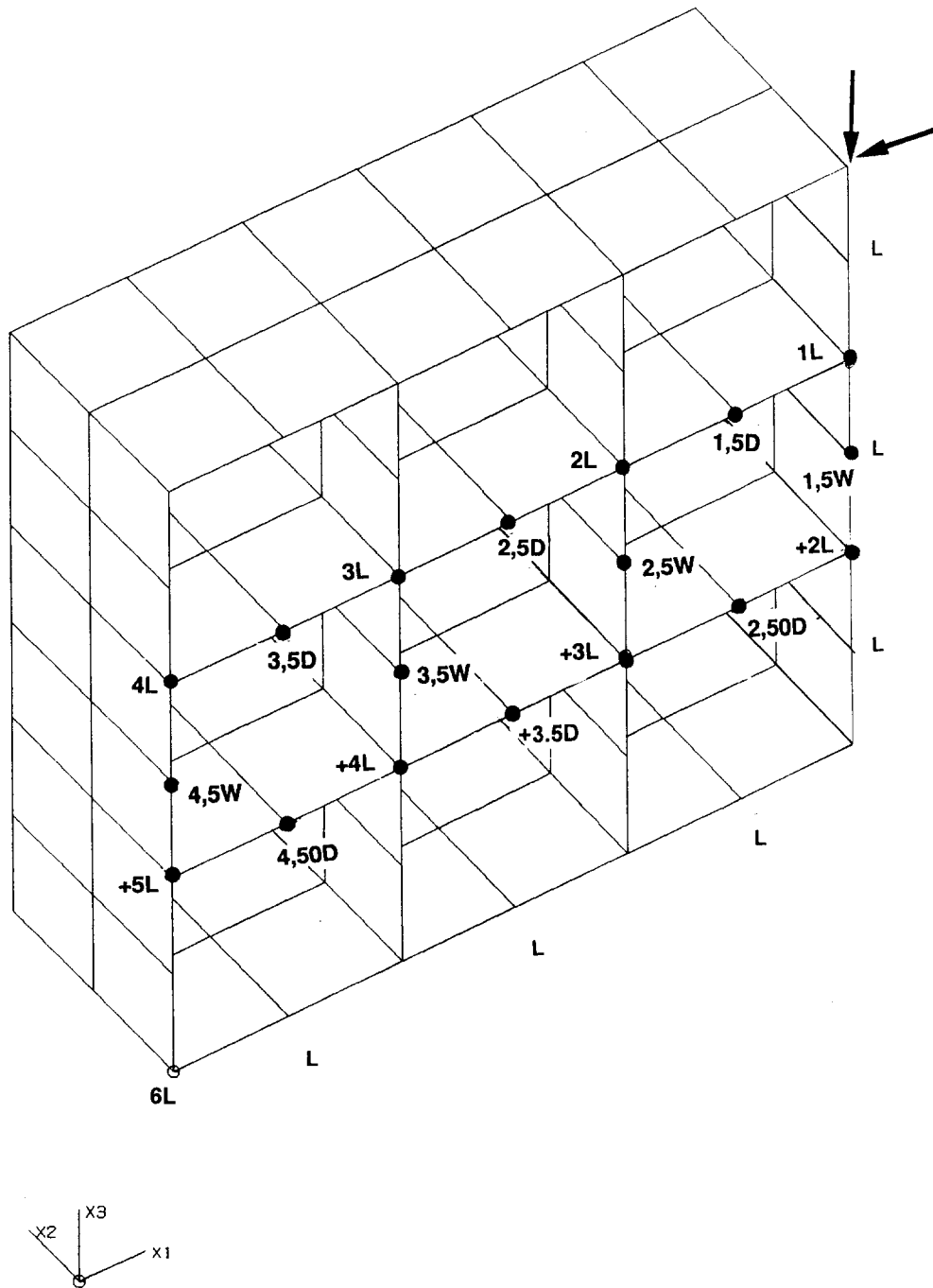


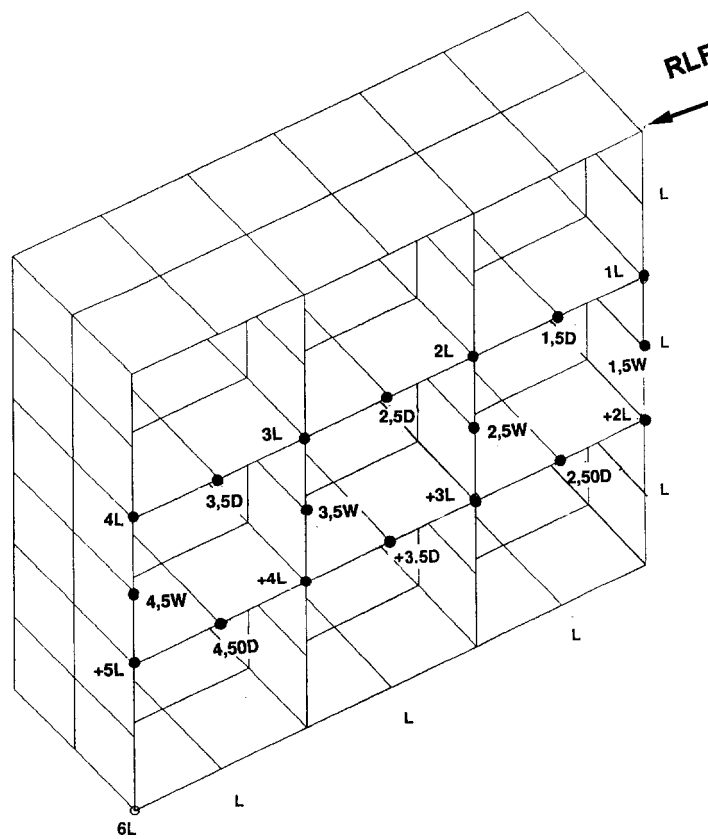
Fig. 1-6 Charakteristische Beobachtungspunkte
(Abstände in Moduleinheiten der Länge L)

Zwischenblatt

2

**Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in den
charakteristischen Beobachtungspunkten des
kastenförmigen Modellbauwerks bei Anwendung
verschiedener Diskretisierungen**

2.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung

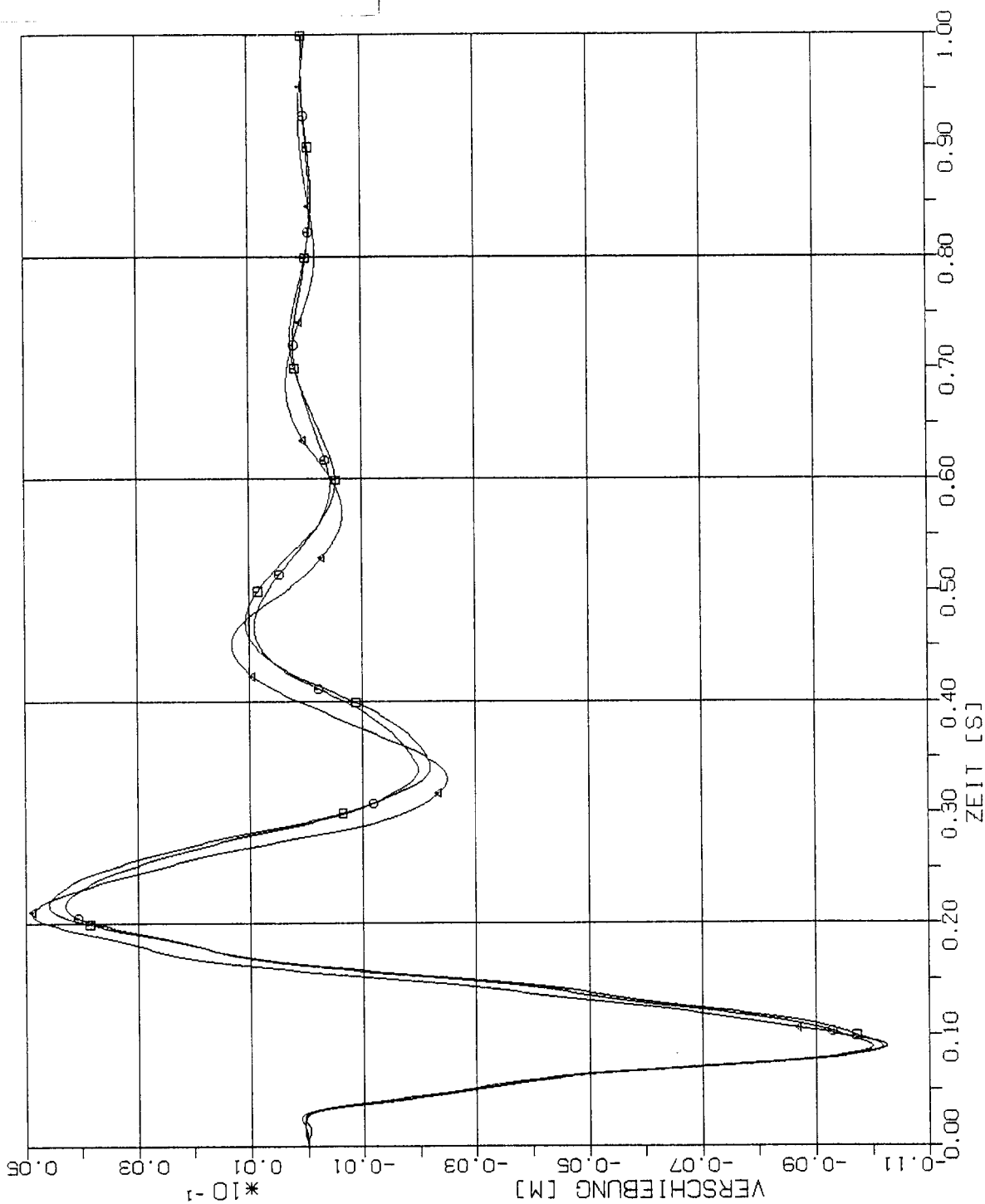


Elementgröße:

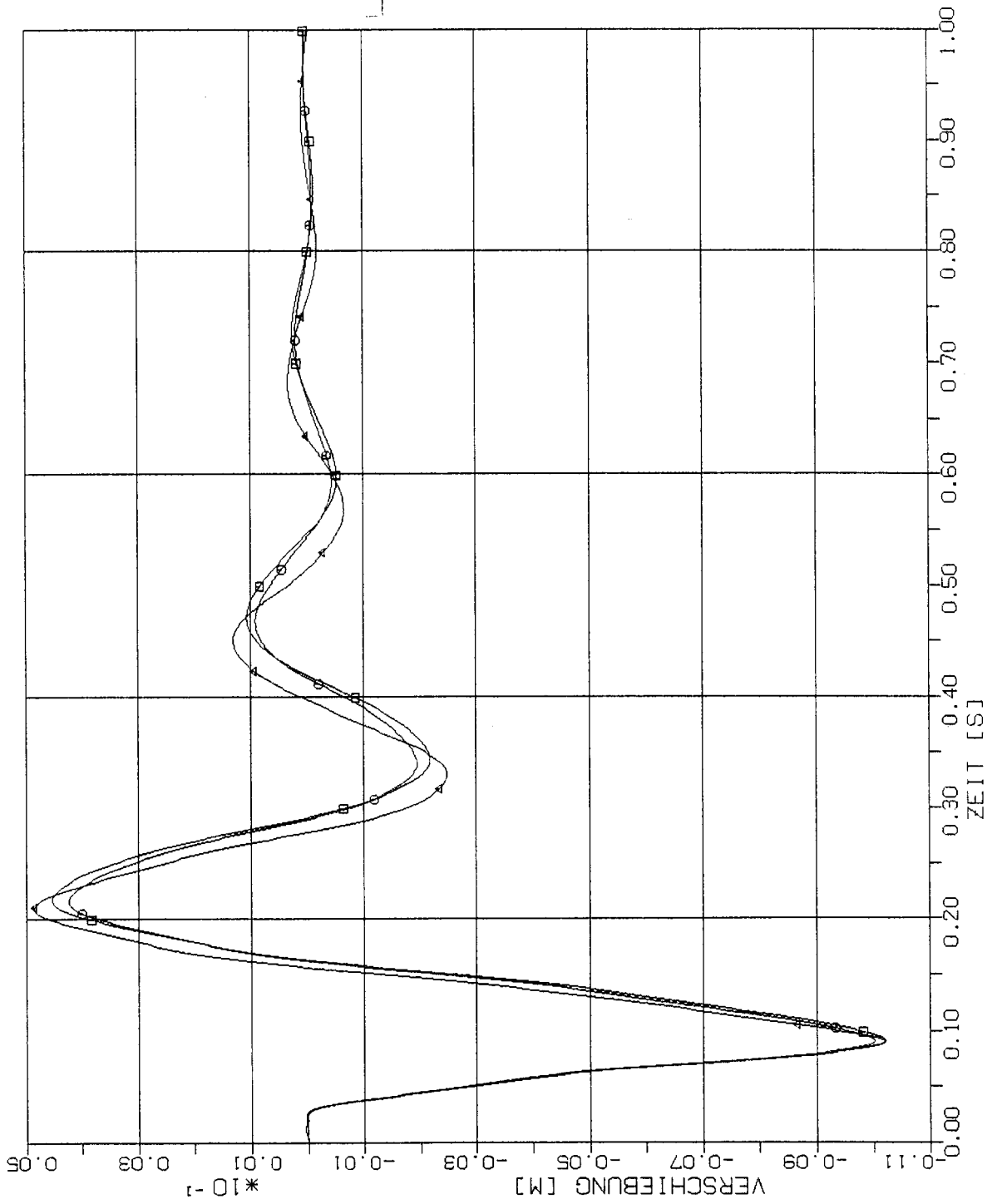
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 1L (425)
 HORIZONTIALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



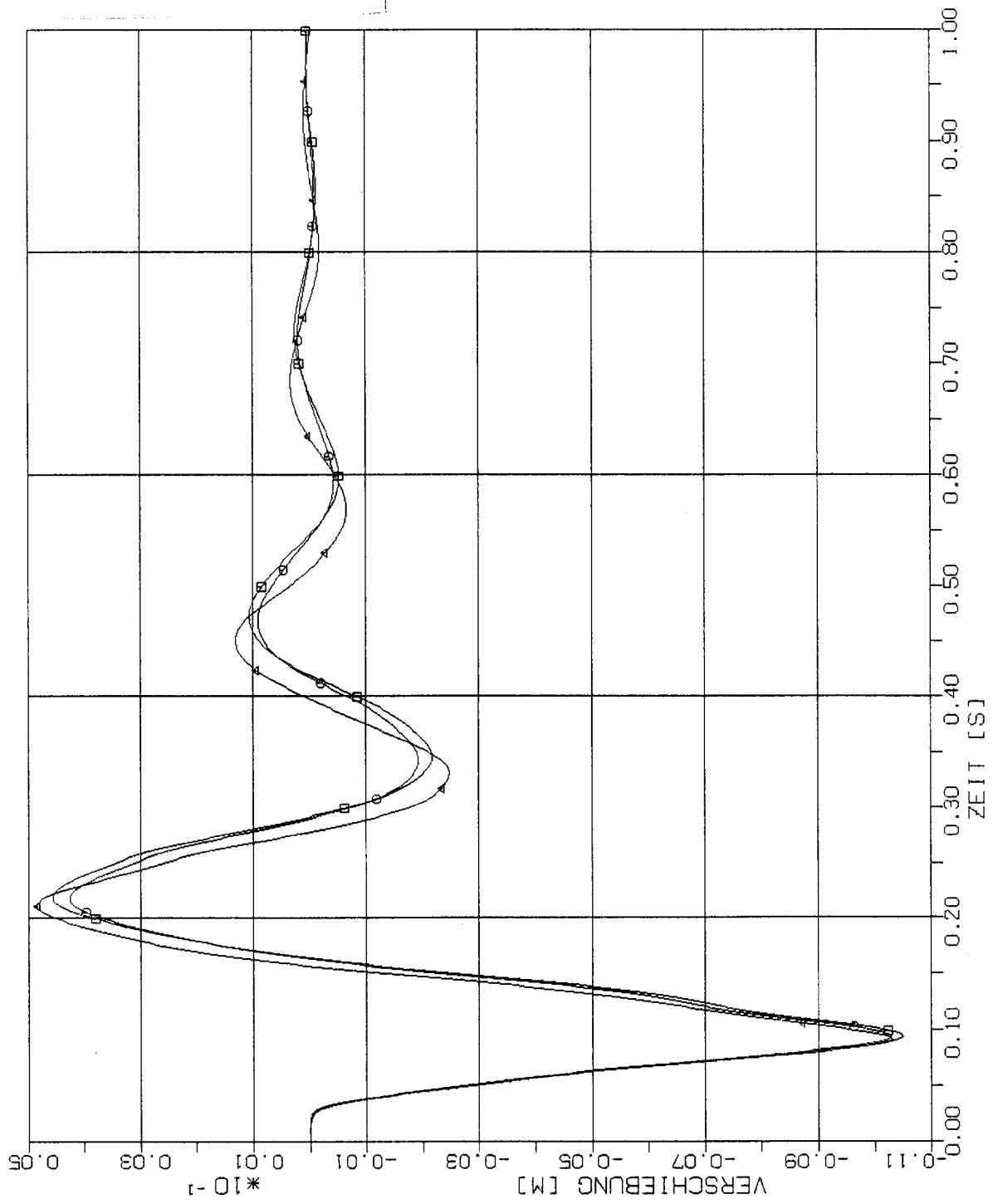
Elementgröße:

□ 2m x 2m

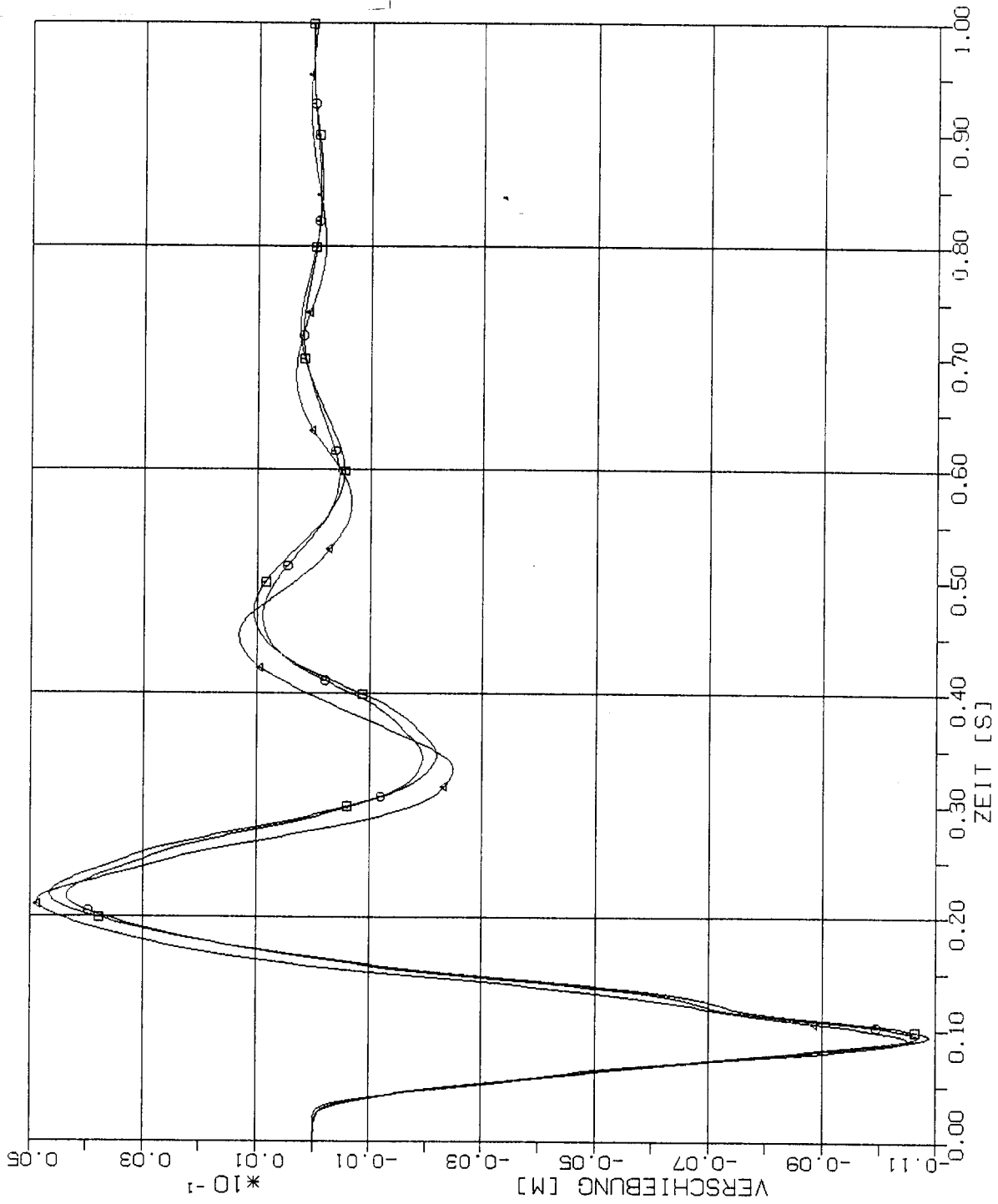
○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT ZL (417)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3L (40%)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



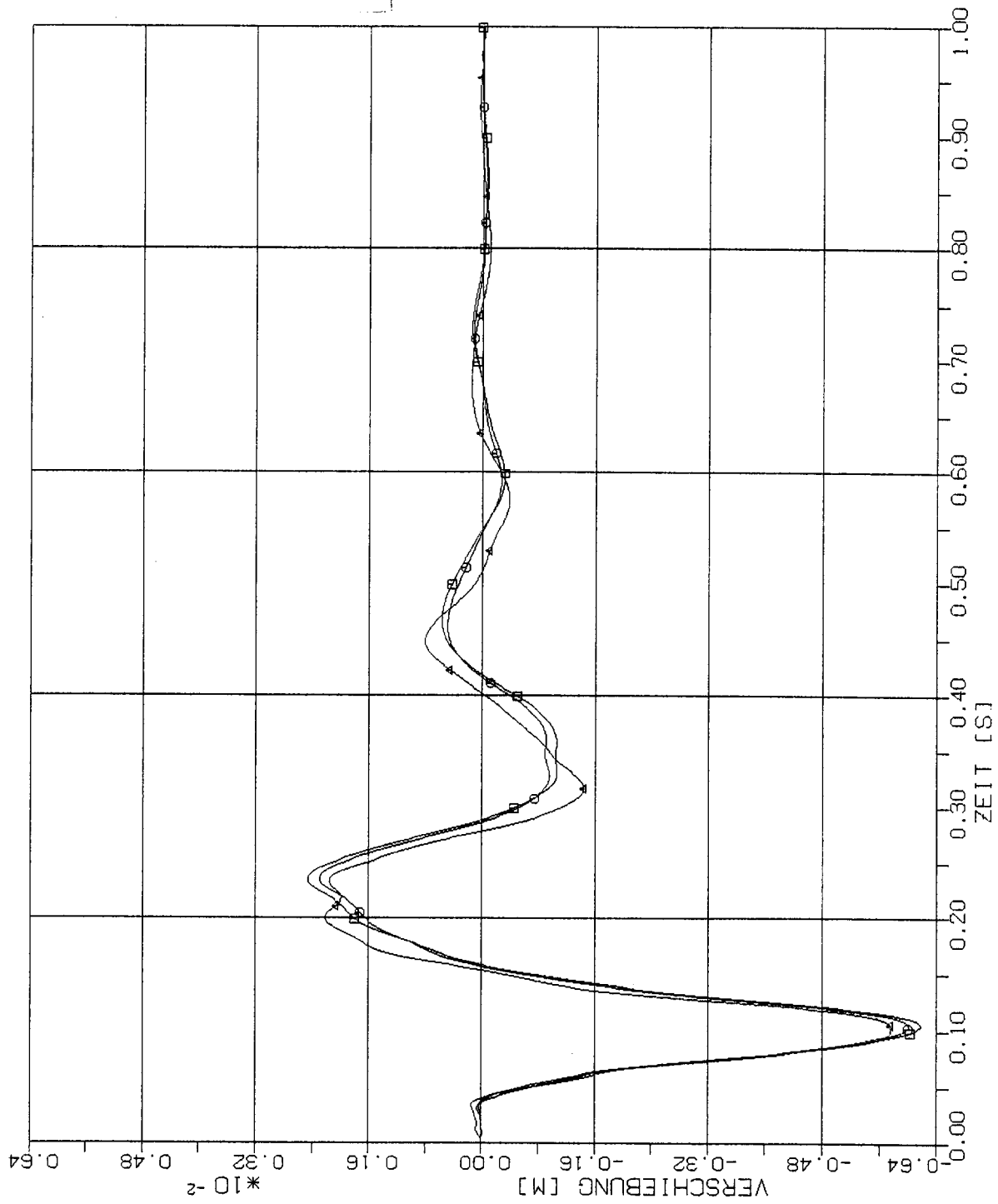
Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 4_ (401)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



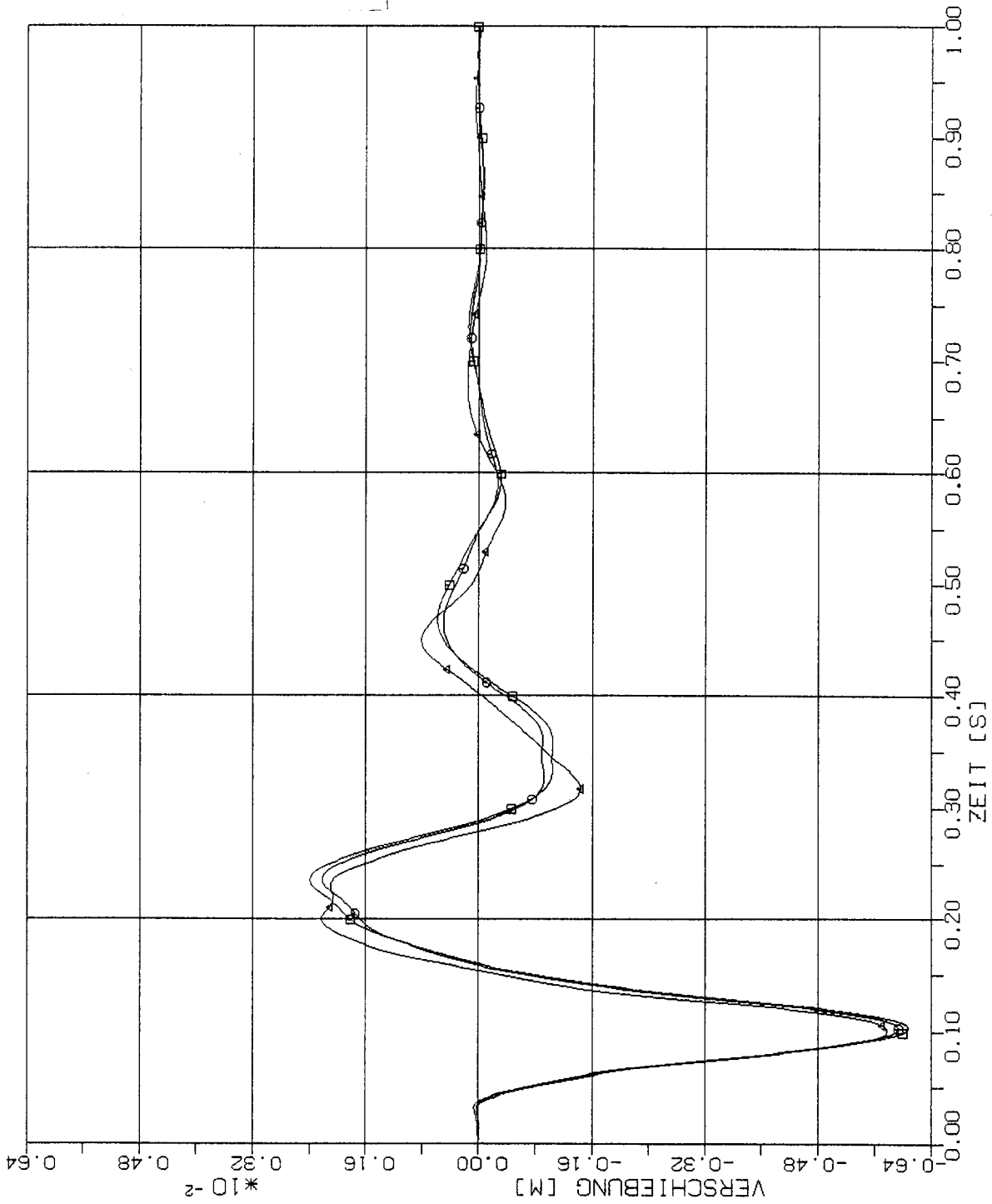
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENDE IN KASTEIFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFFE. PUNKT +2L (225)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELAEGUNG (REFL) DURCHFUERT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



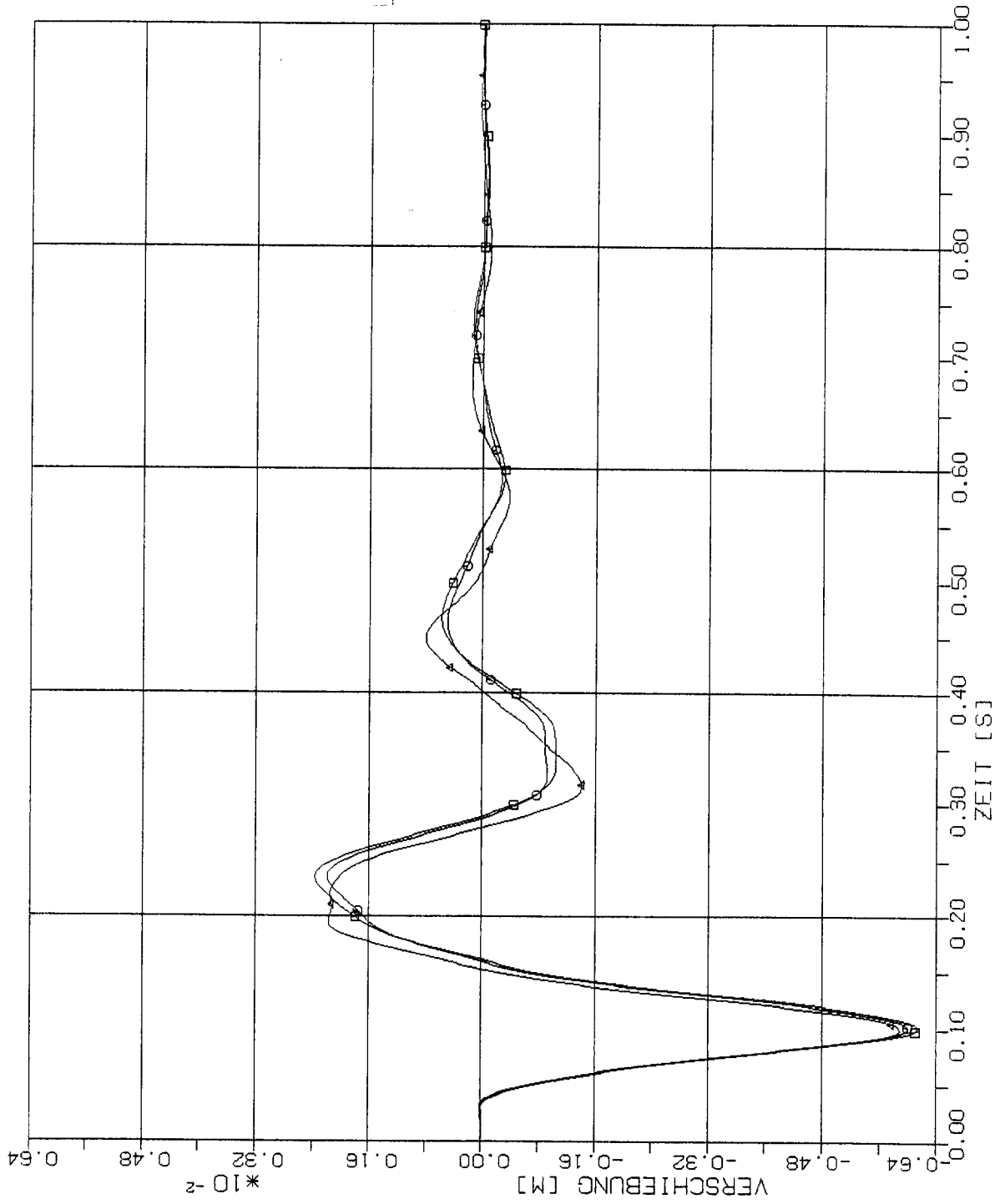
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3L (217)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN XI-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

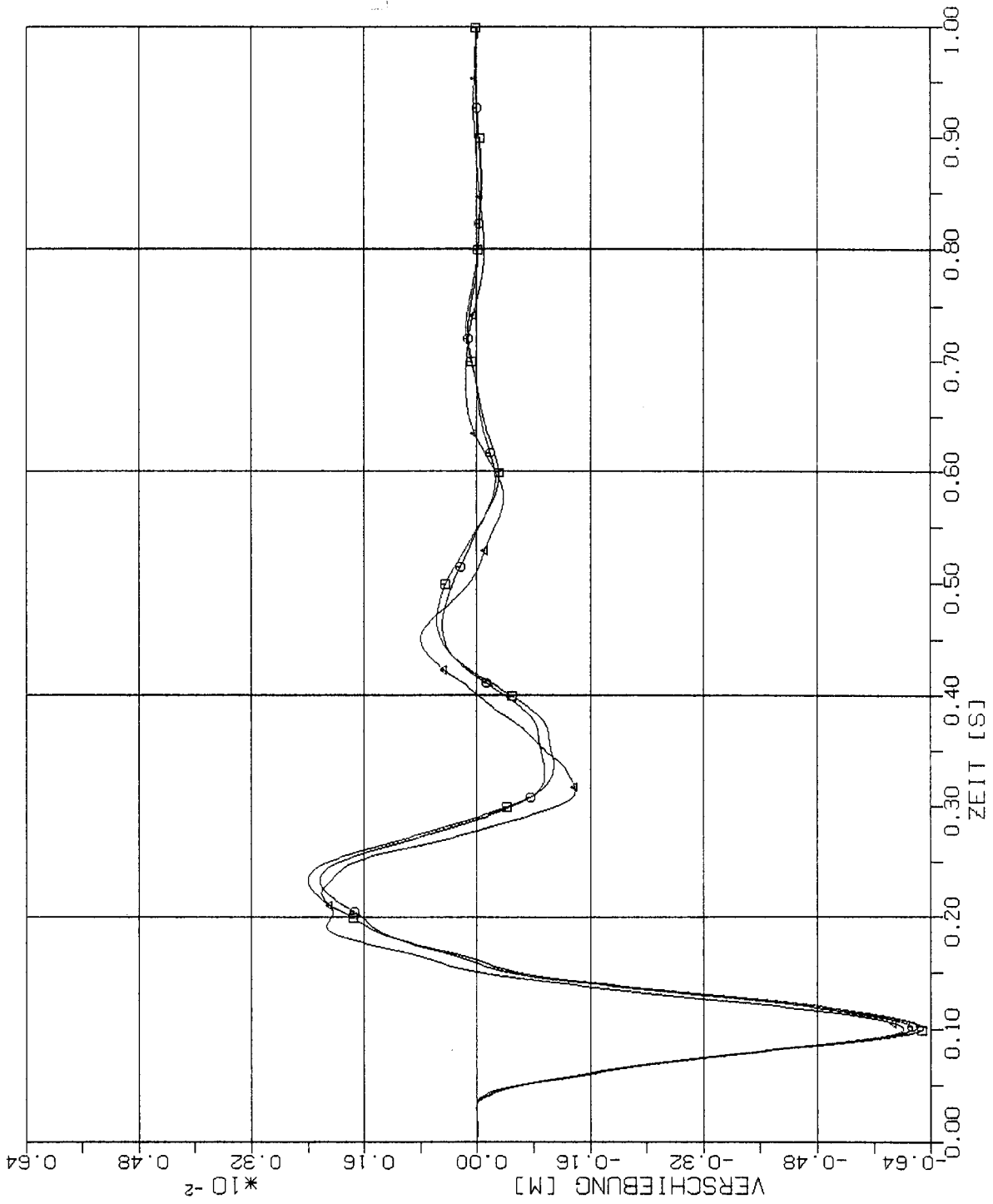
△ 8m x 8m



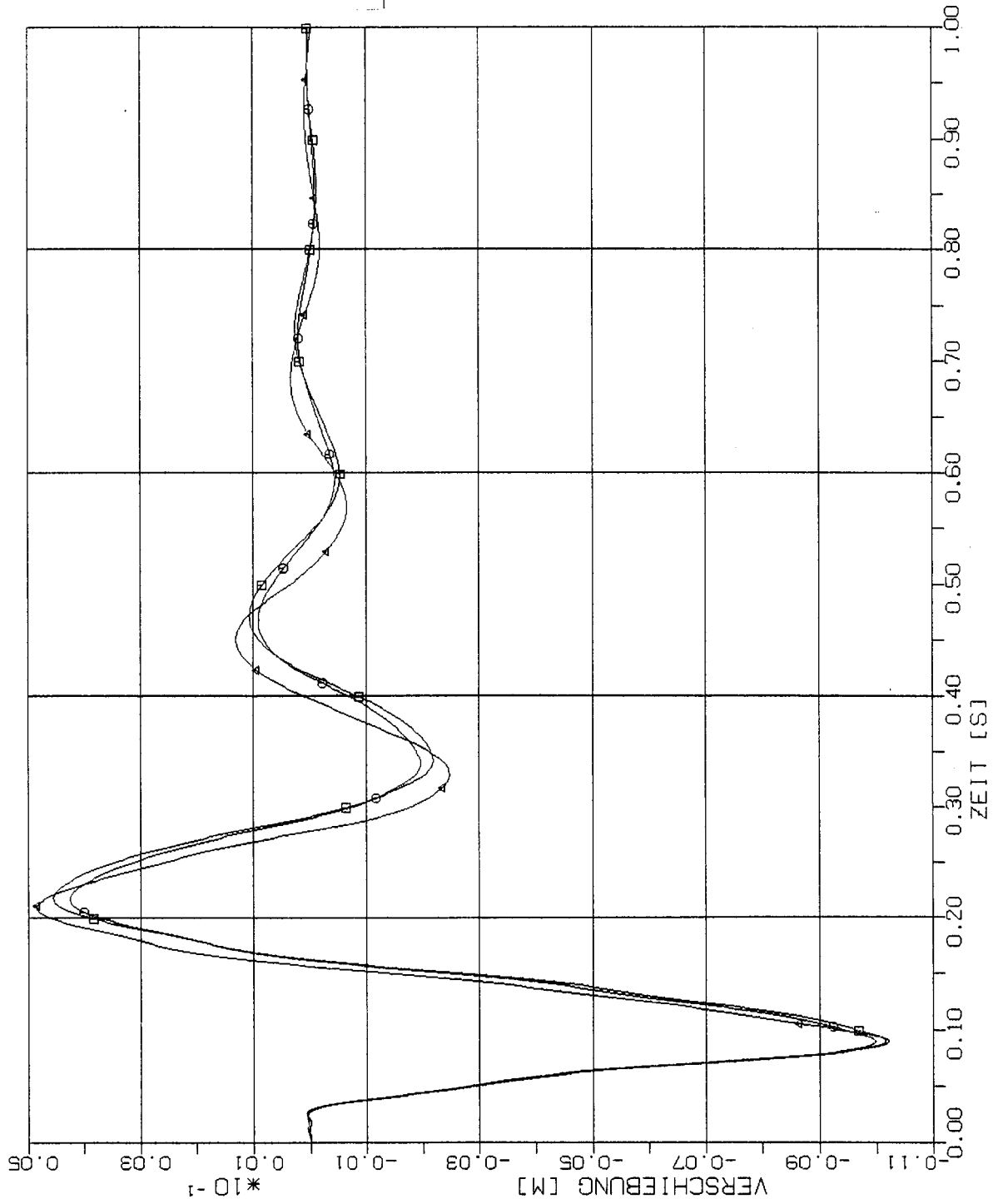
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +4L (209)
 HORIZONTALE (X1) STÖßBELASTUNG (RFL) ANTWJRT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BFWUERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +5L (Z01)
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT III X1-RICHTUNG



Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

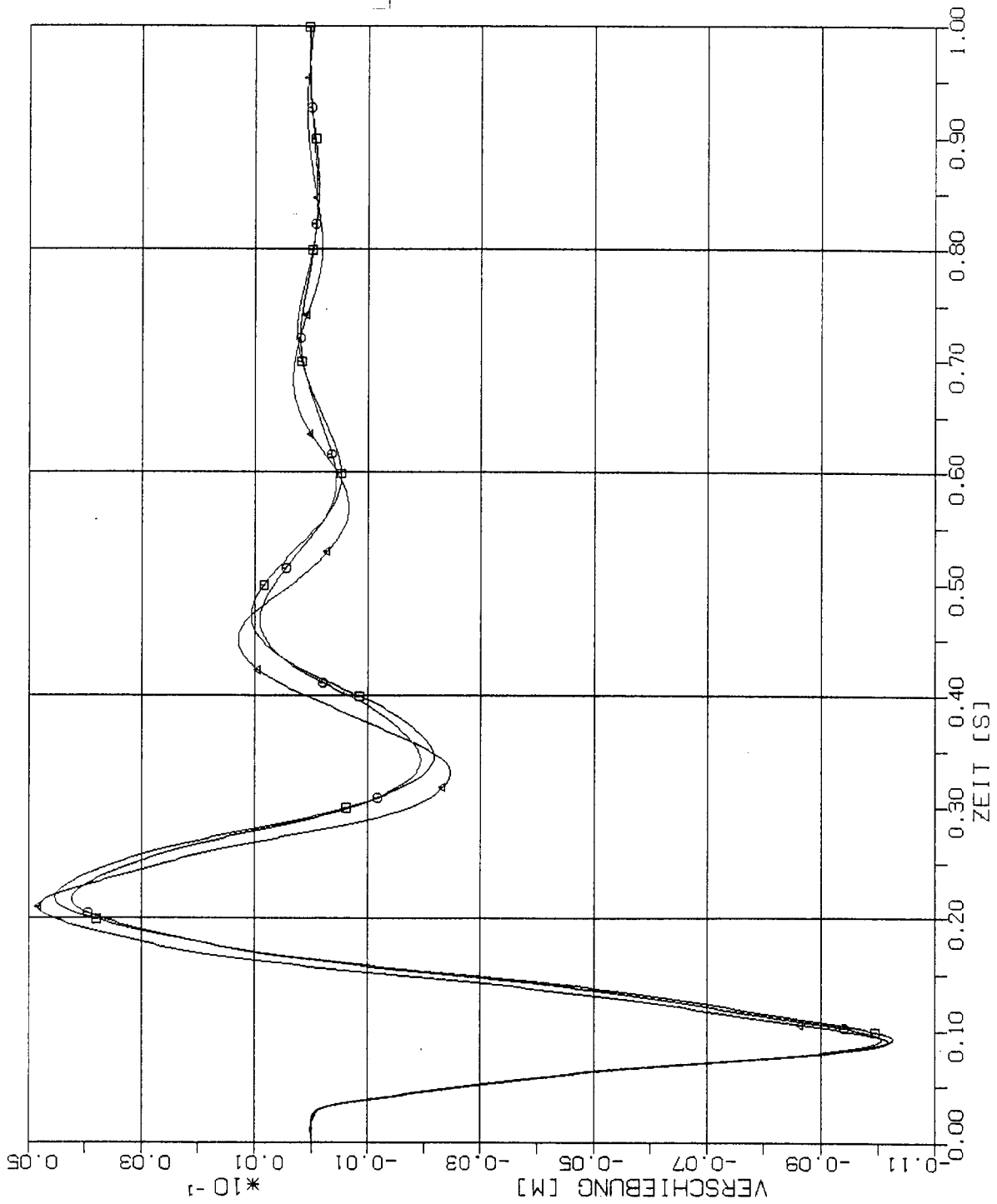
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 1.50 (421)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWÖRT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

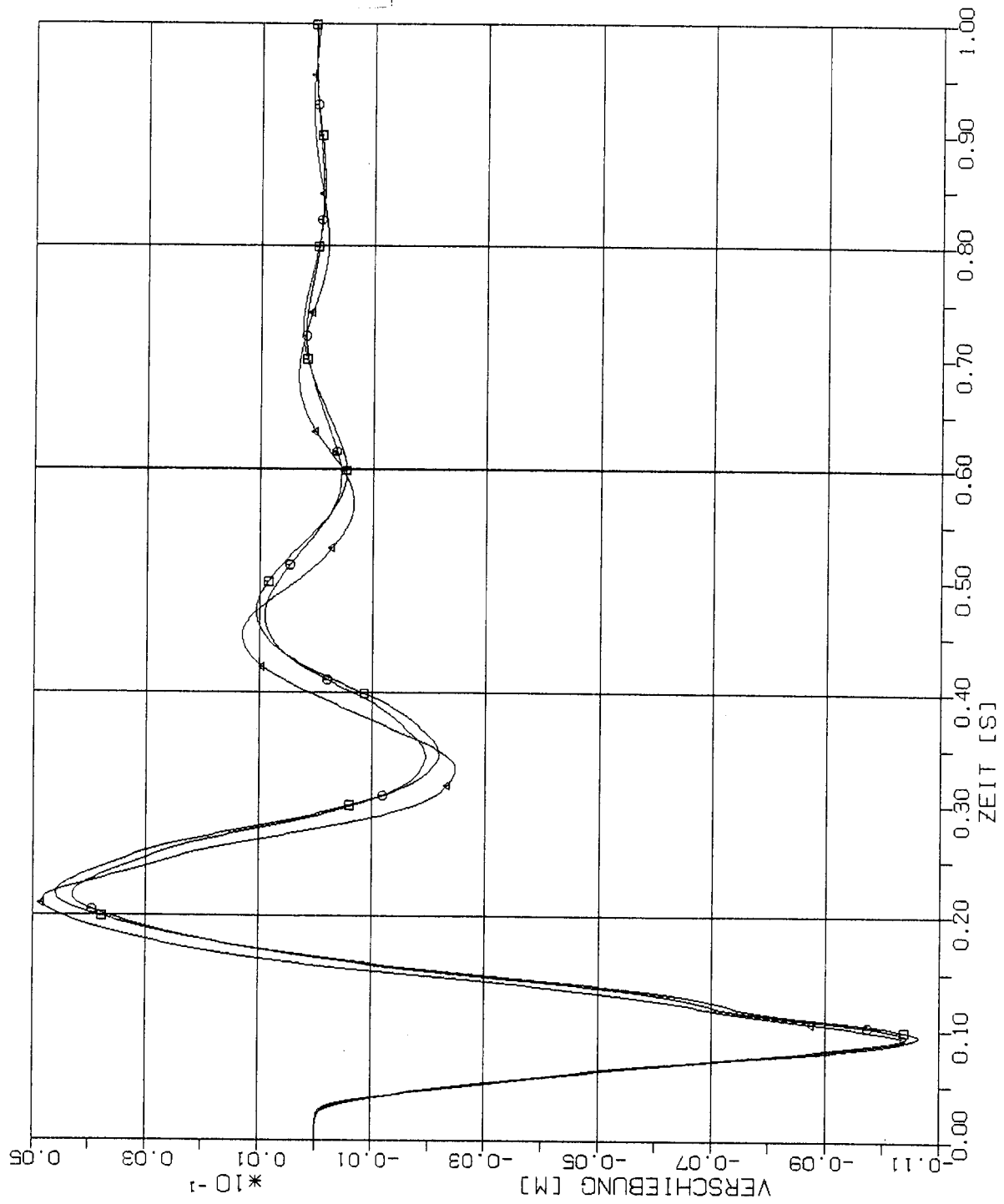
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 2.50 413)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



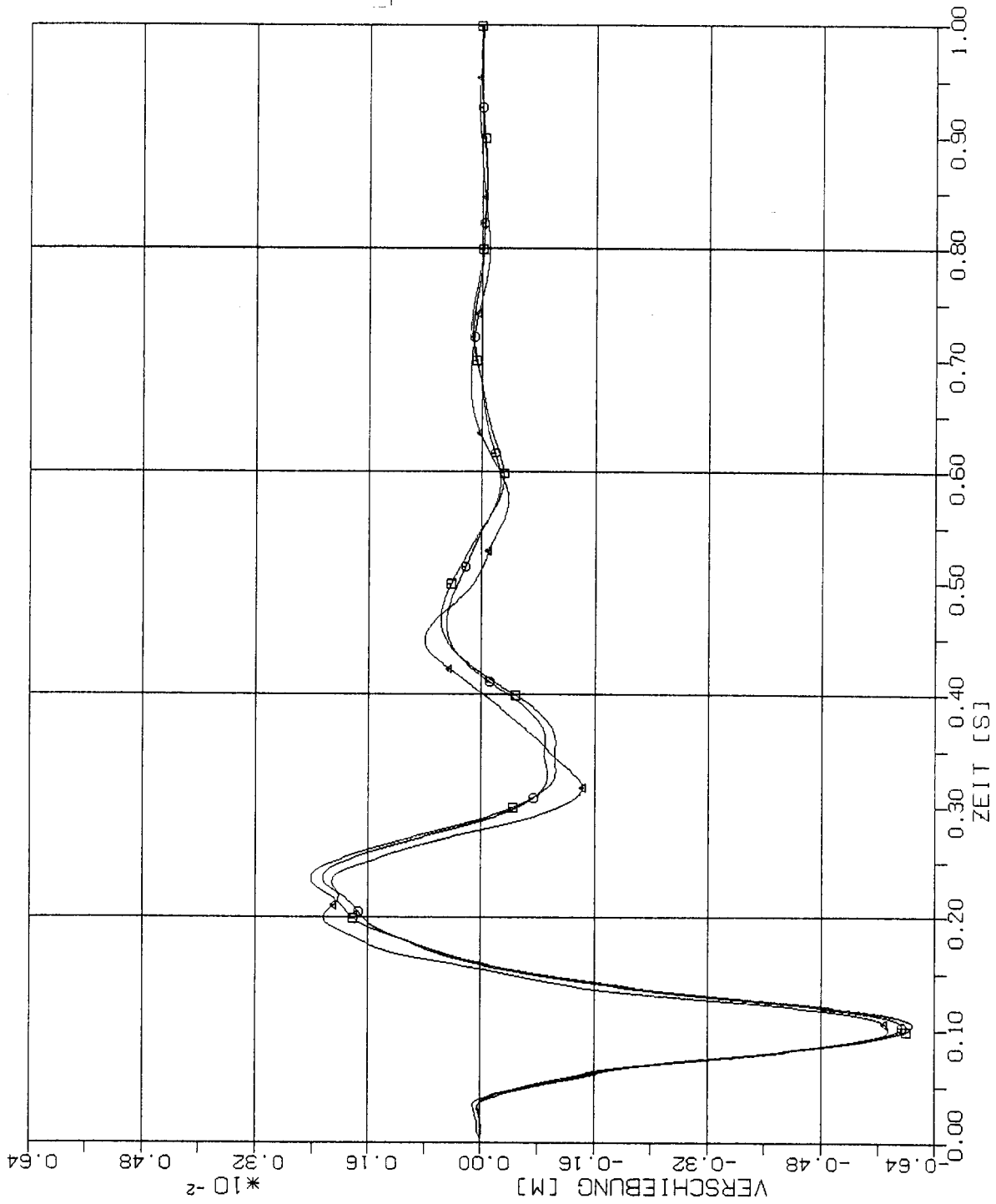
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3,50 (405)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

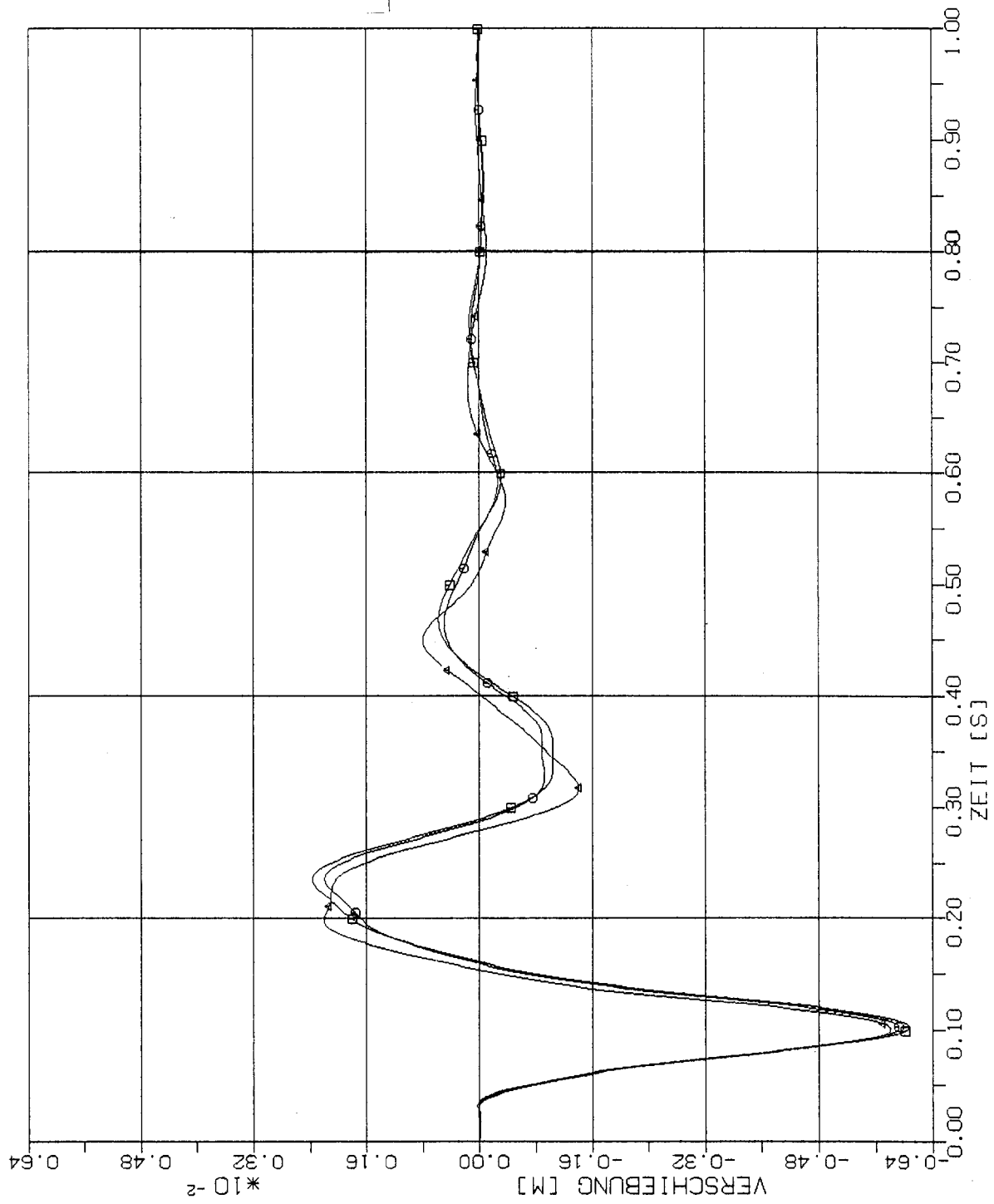
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2,50 (221)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



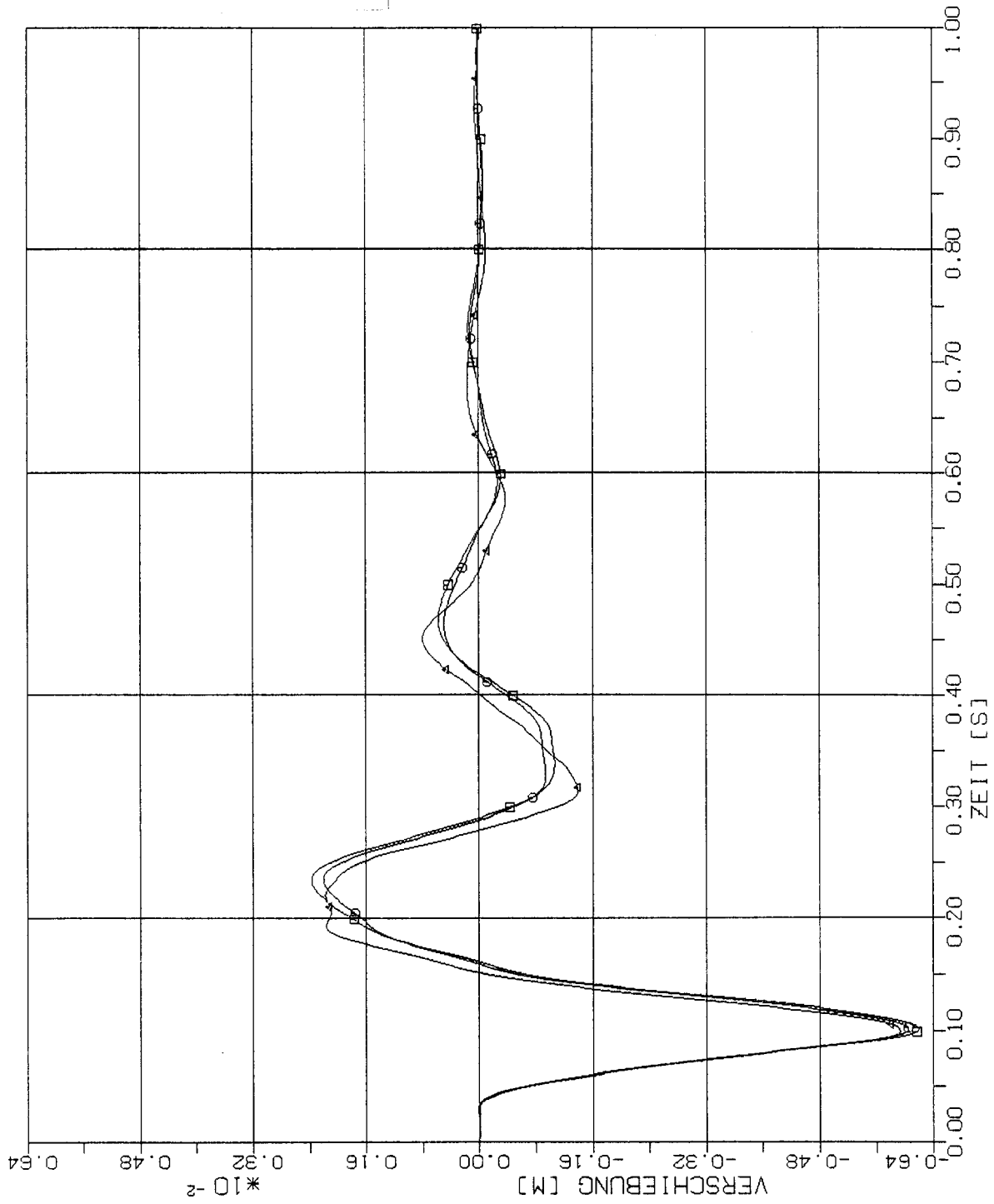
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHLEIBUNGSGEHTVERLAEFUE PUNKT +3.50 (213)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



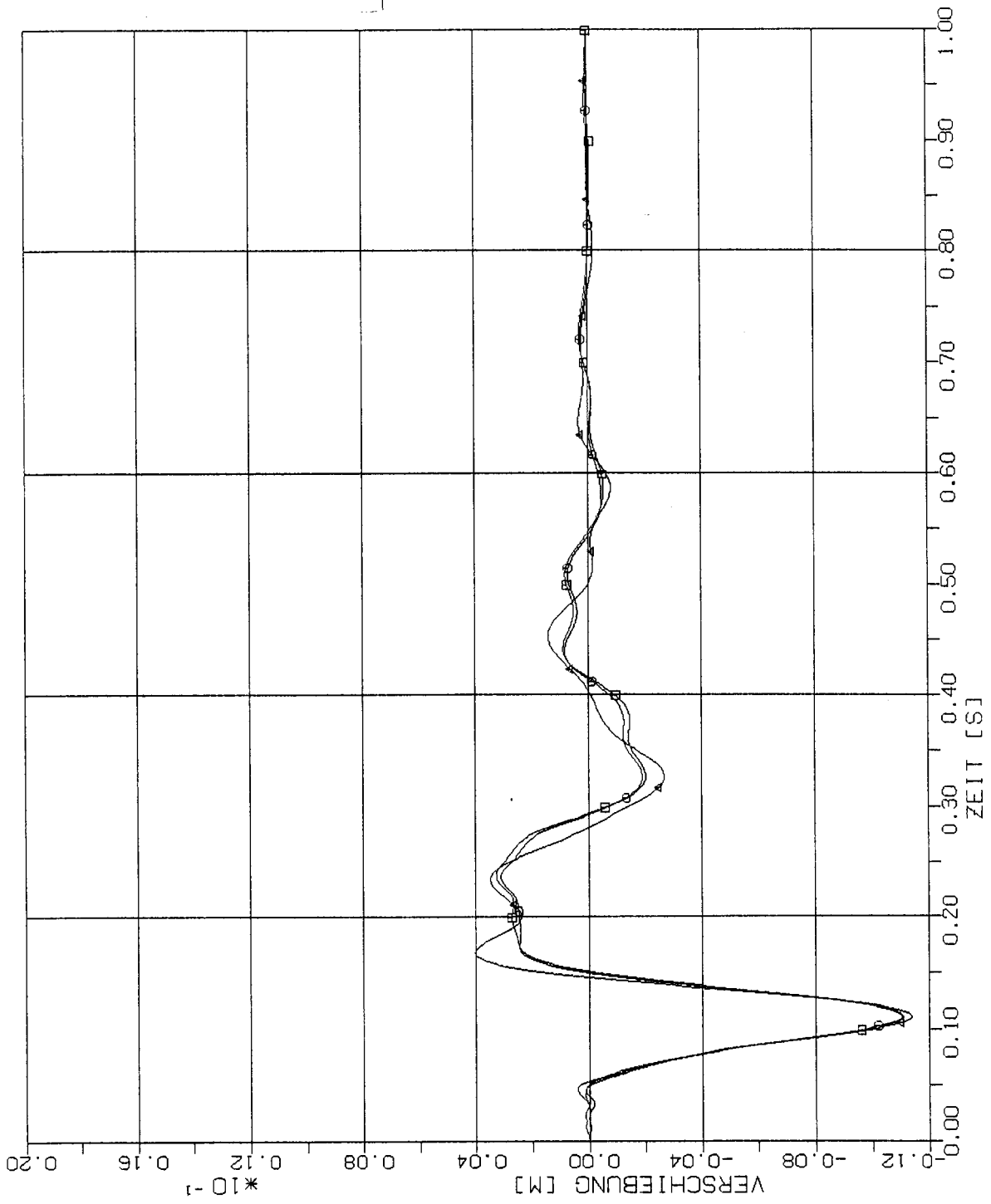
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEUFE PUNKT +4.50 (205)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG R1-L) ANTWORT IN XI-RICHTUNG

Elementgröße:

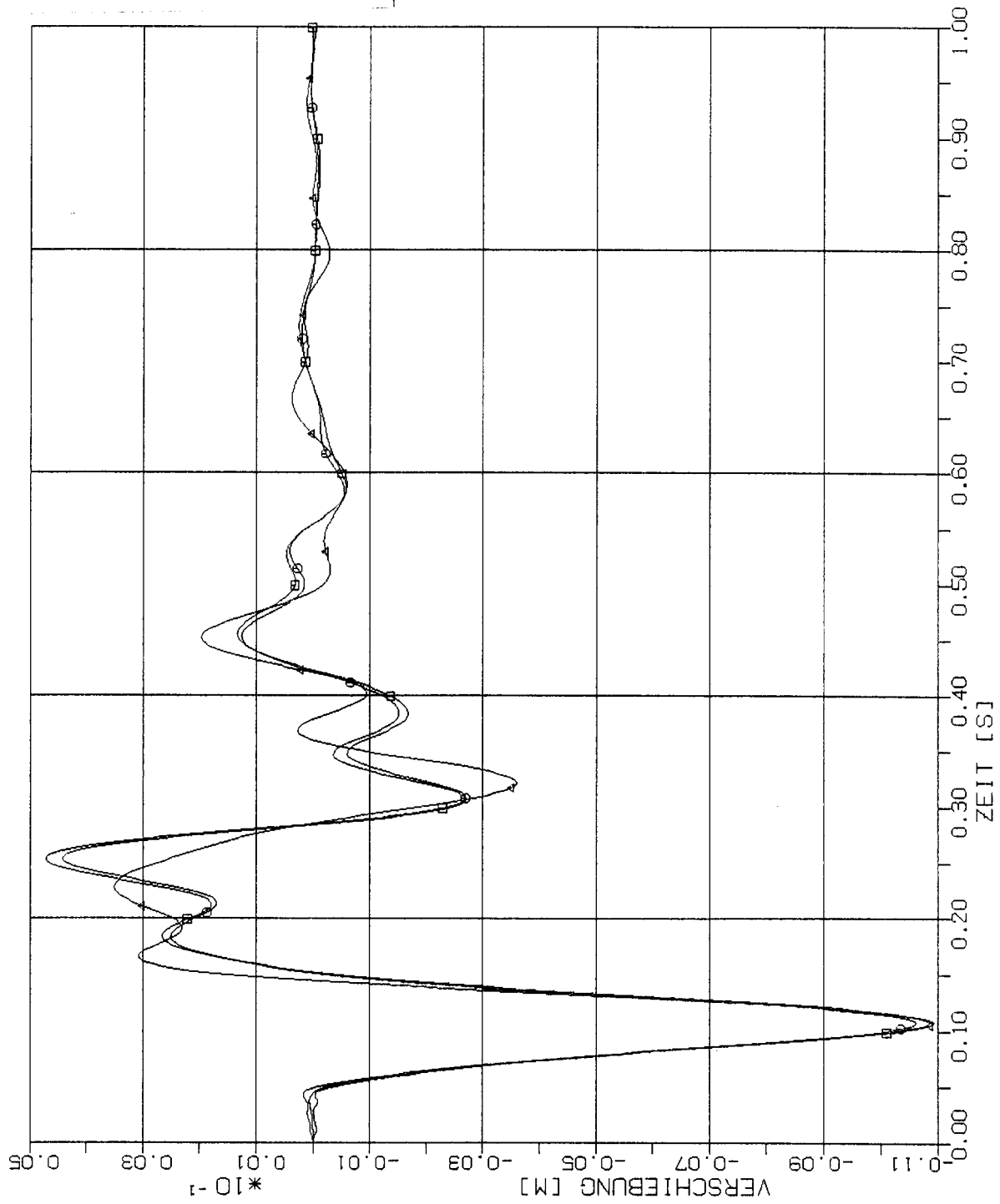
□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



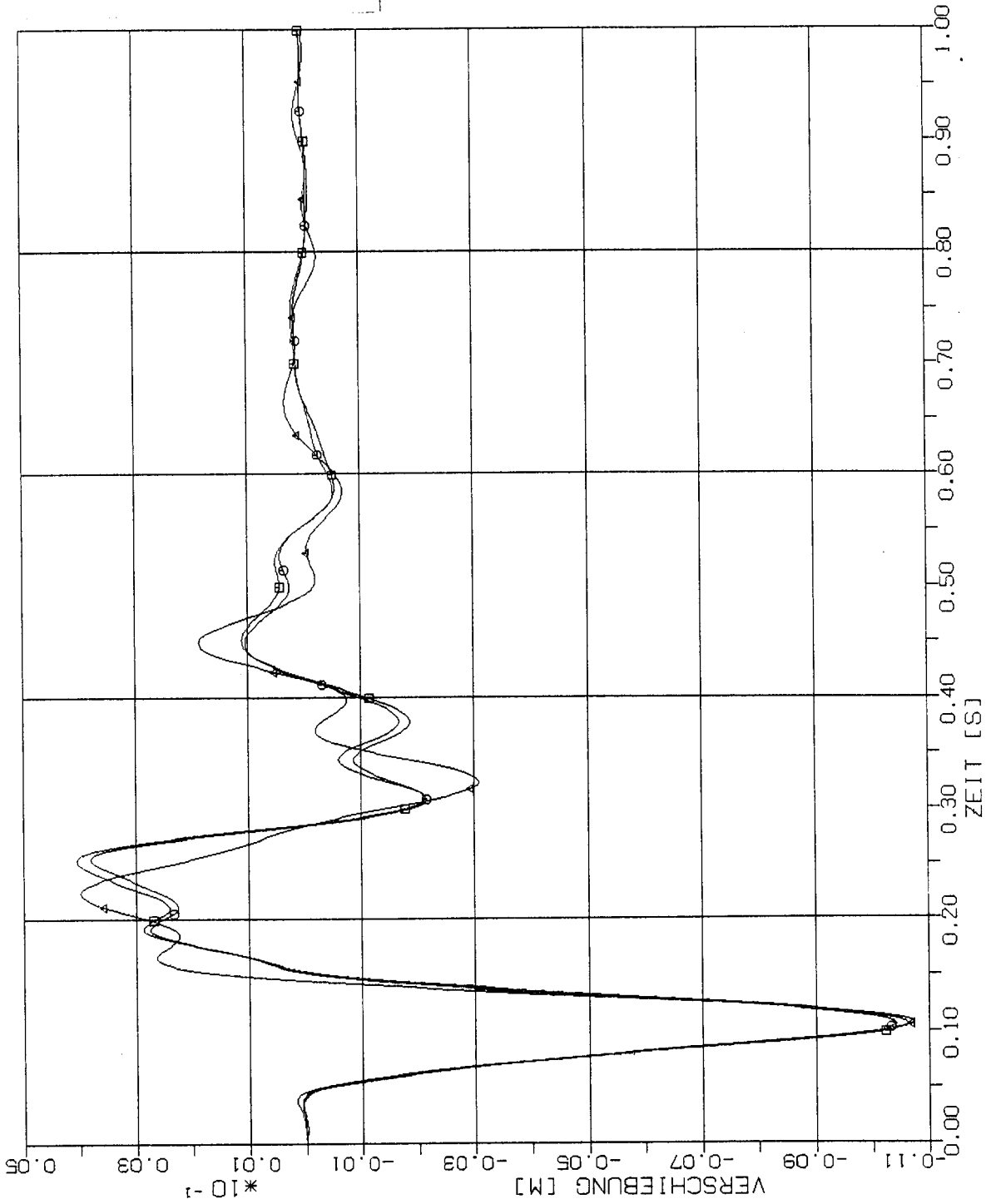
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +1.5I: (325.)
HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN XI-RICHTUNG



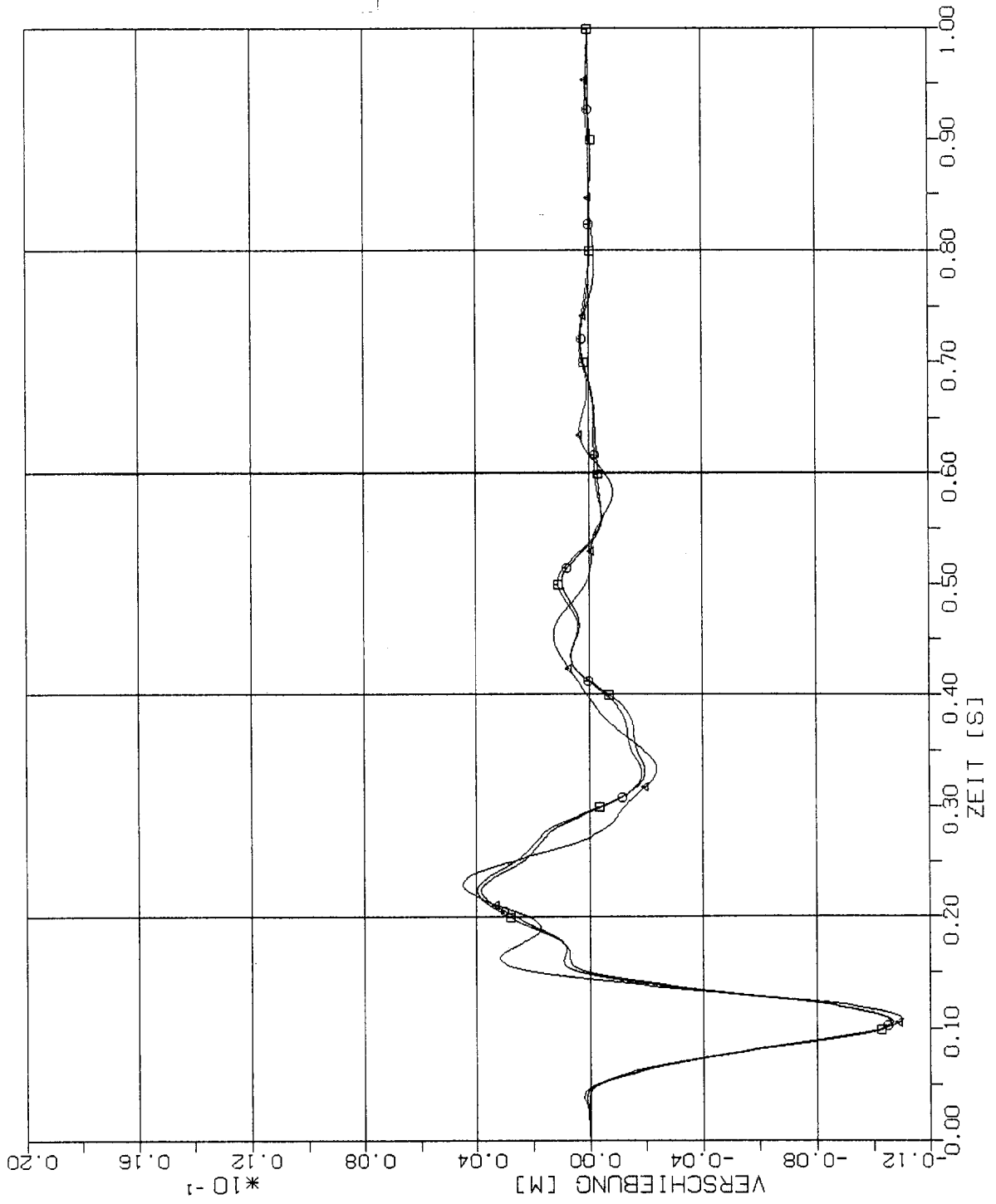
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMTIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEUFE PUNKT +2.5M (317)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANIWOERT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.5W (309)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBEI LASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



Elementgröße:

□ 2m x 2m

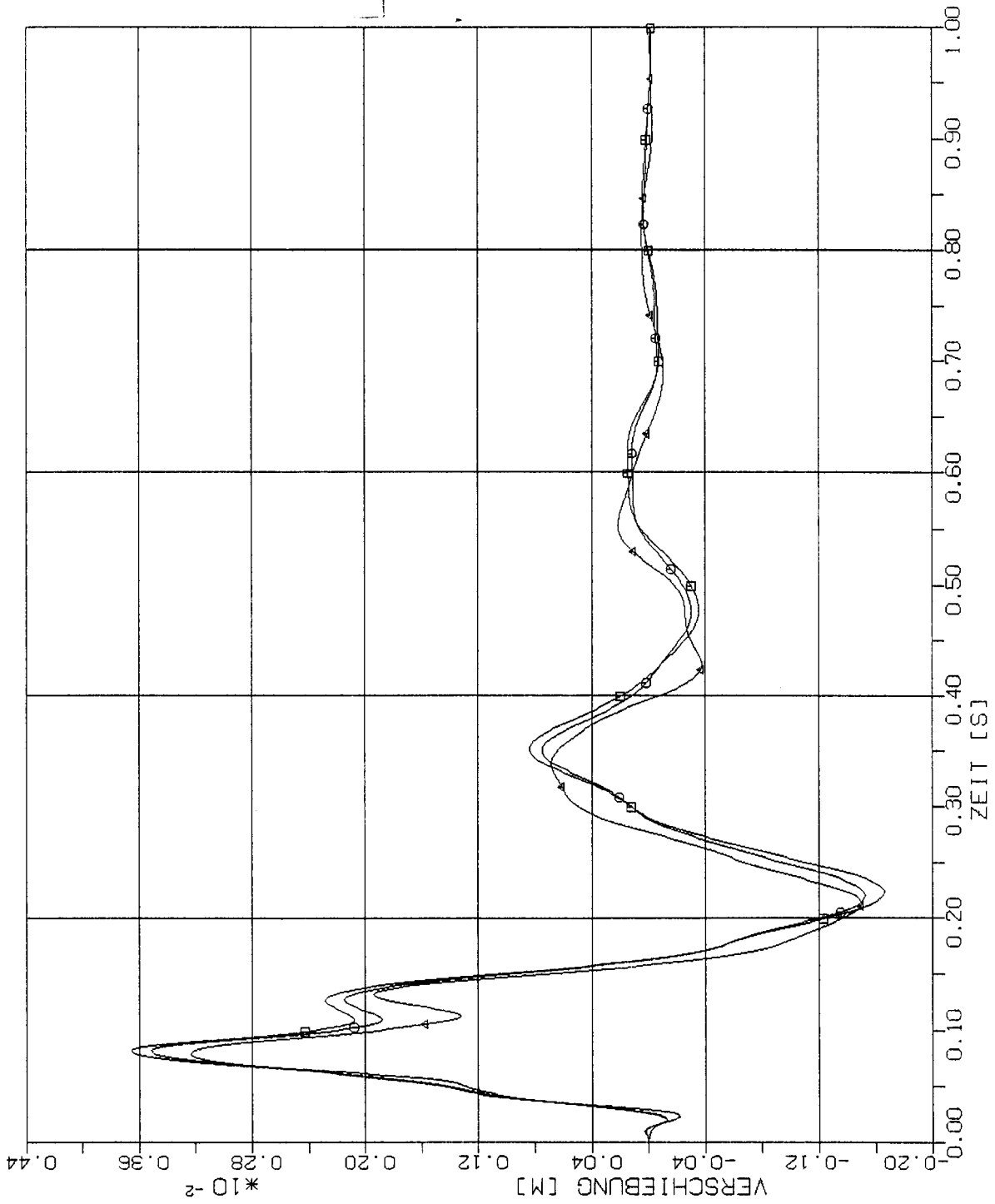
○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGEBENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE PUNKT +4.5W (301)
 HORIZONTALE (X1) STOSSELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

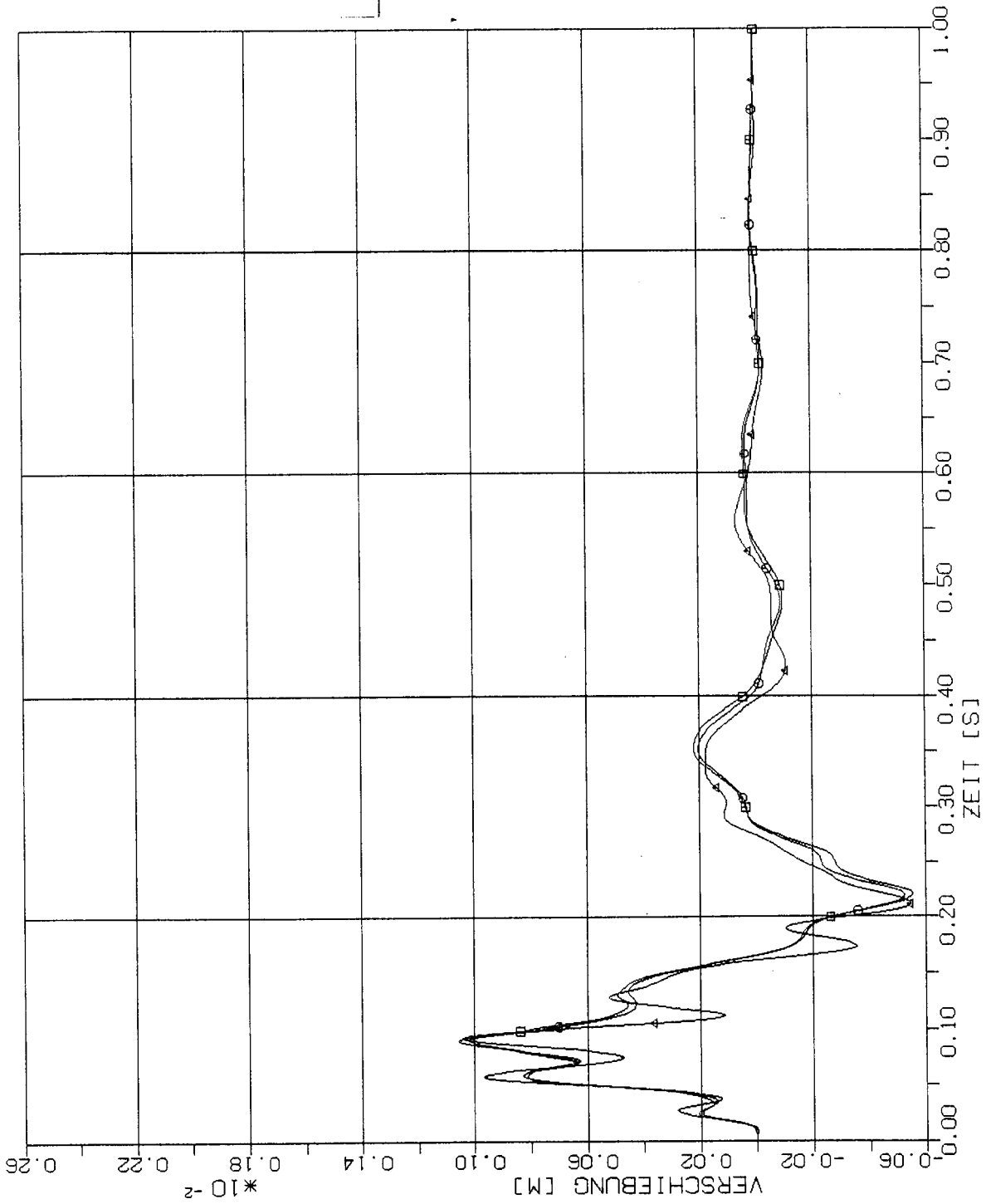
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 1L (425)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



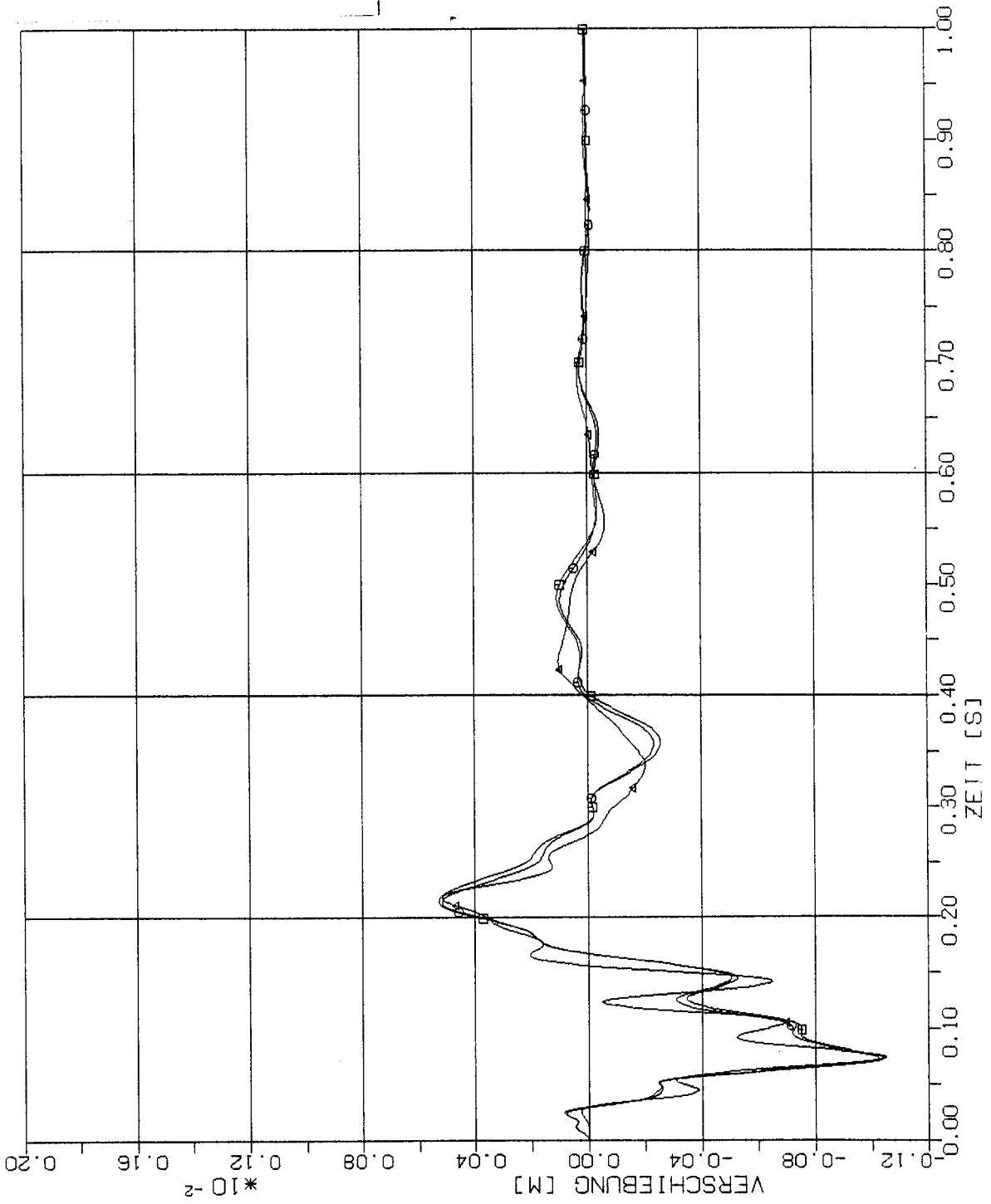
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 2L (417)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELAESTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

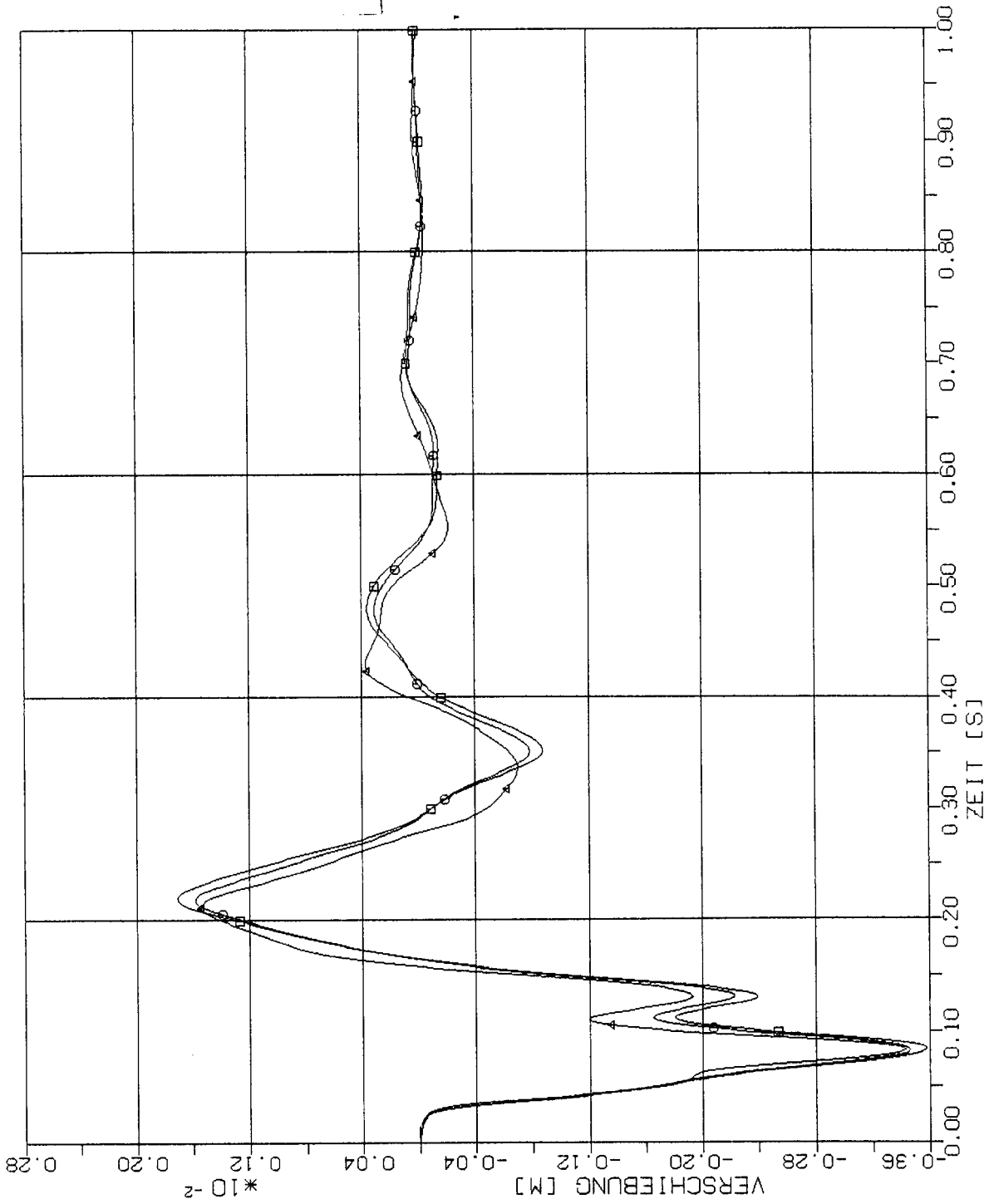
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 3L (409)
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



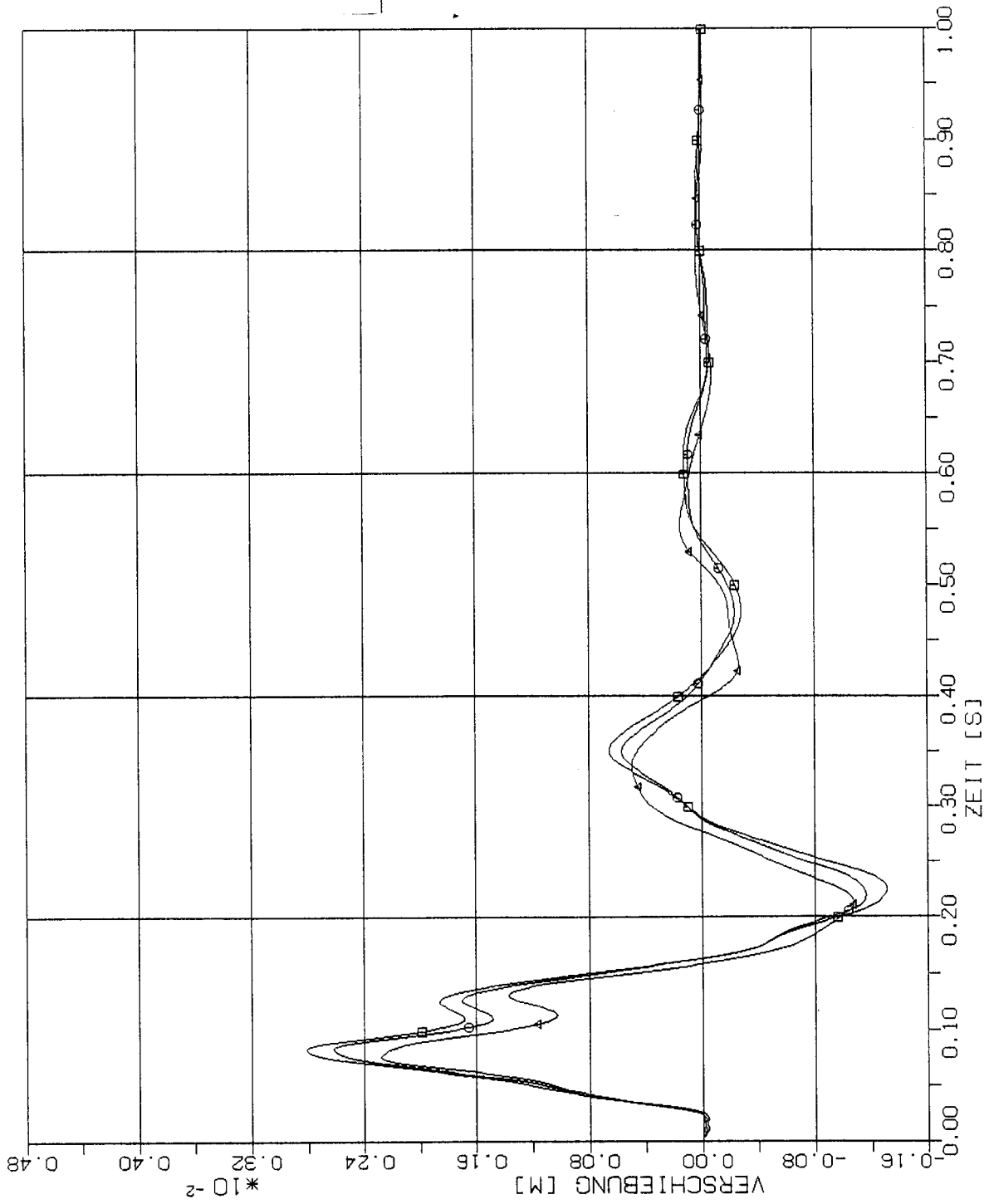
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 4L (401)
 HORIZONTIALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

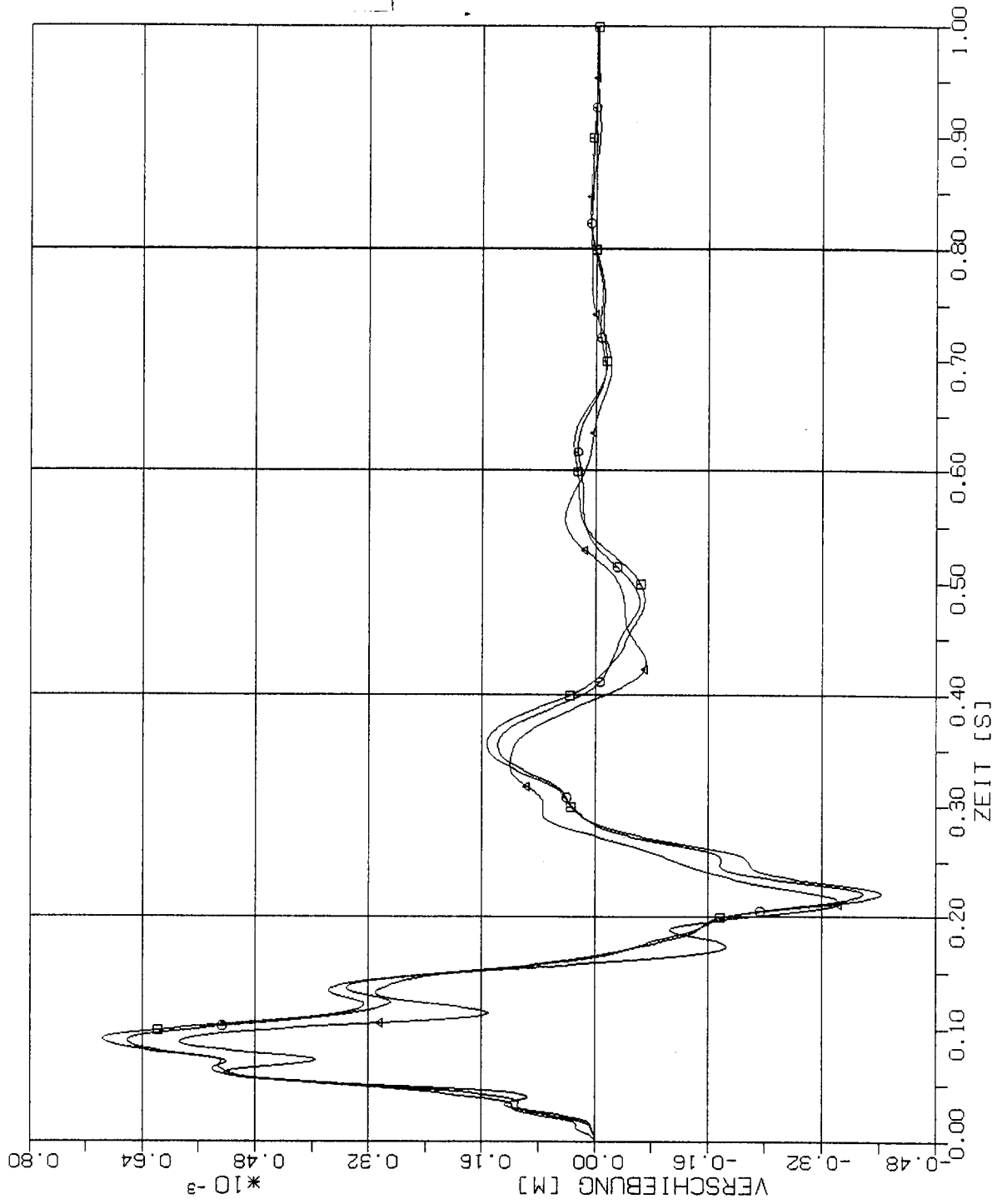
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +2L (225)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



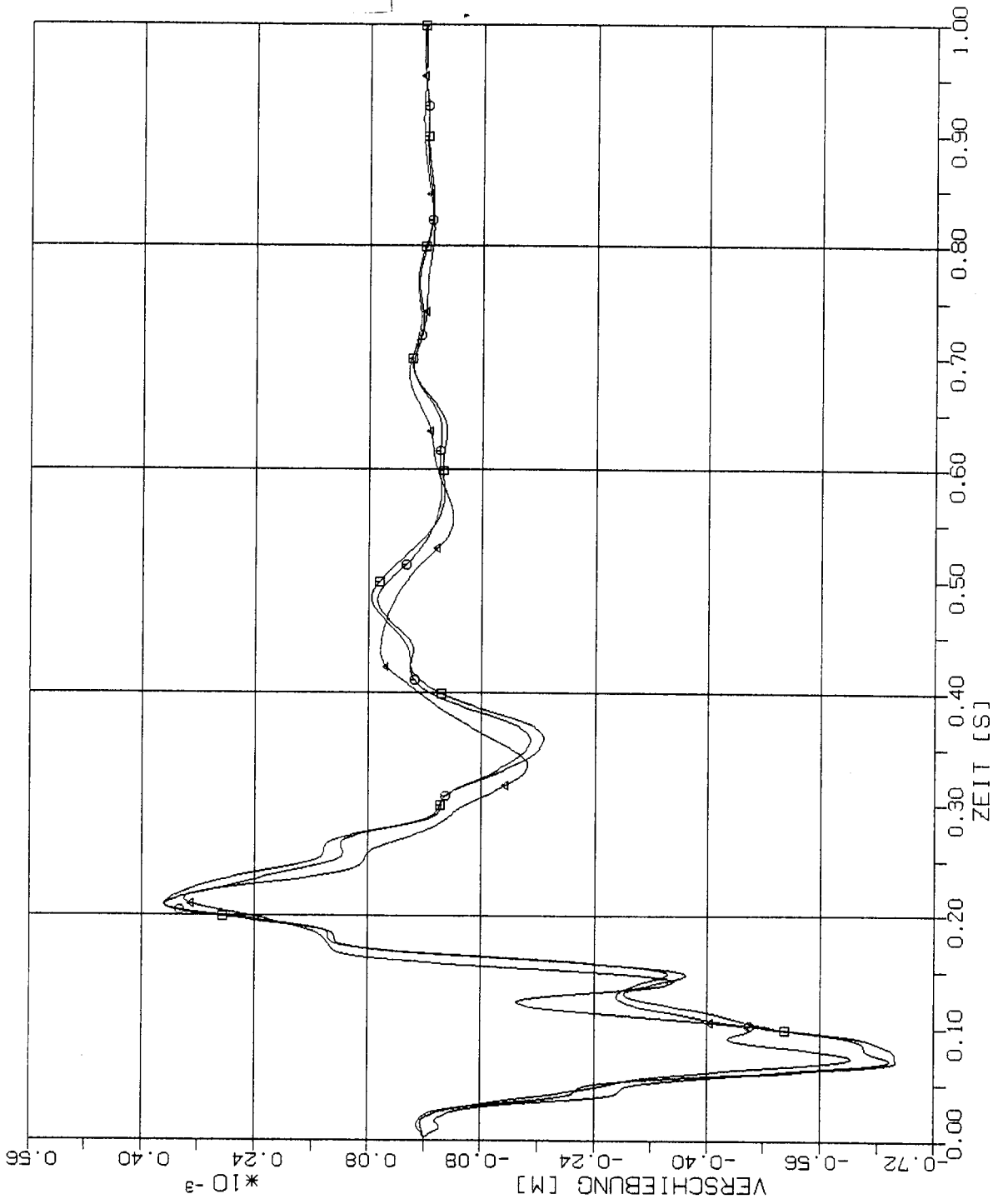
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +3L (Z17)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



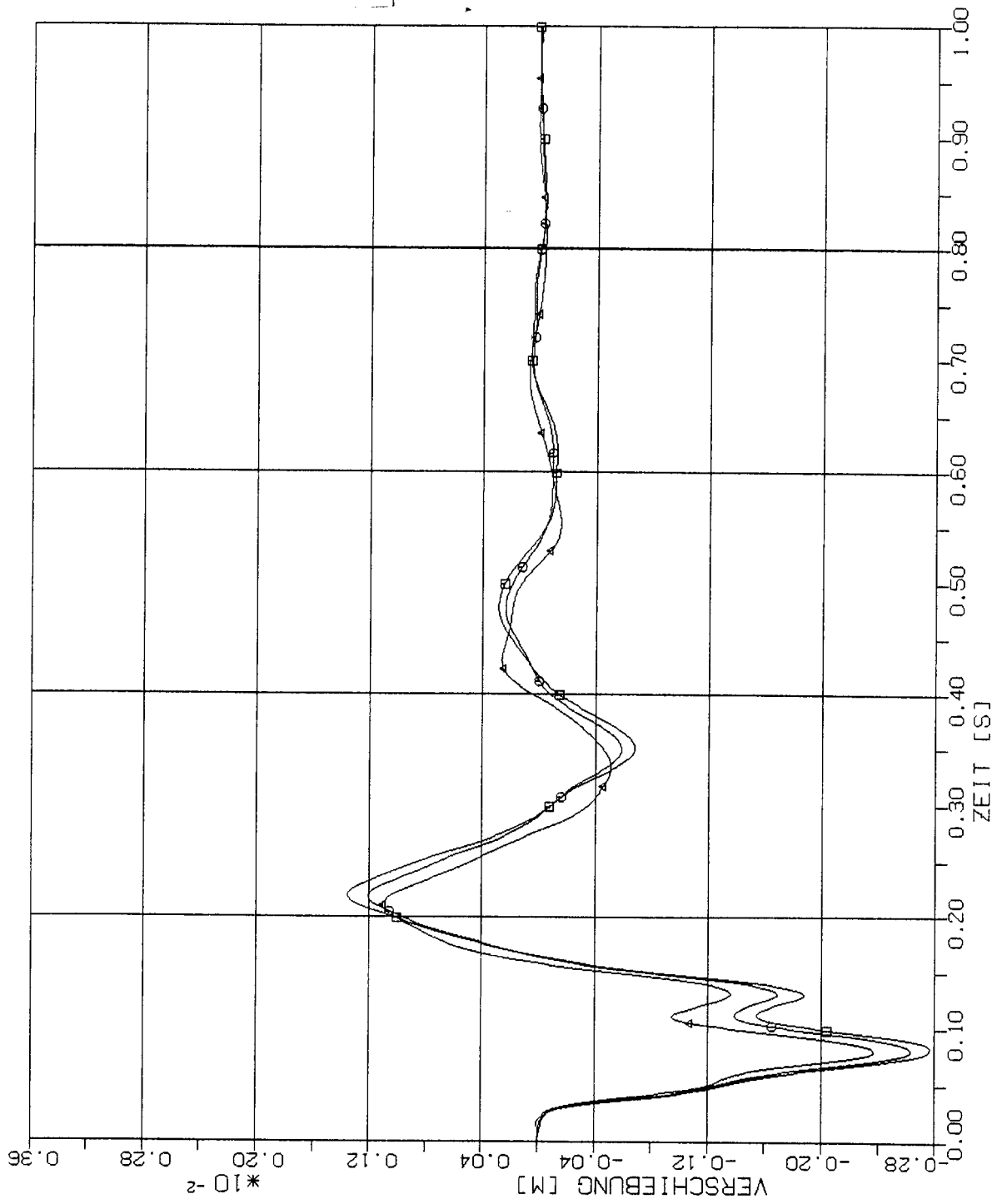
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4L (209)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

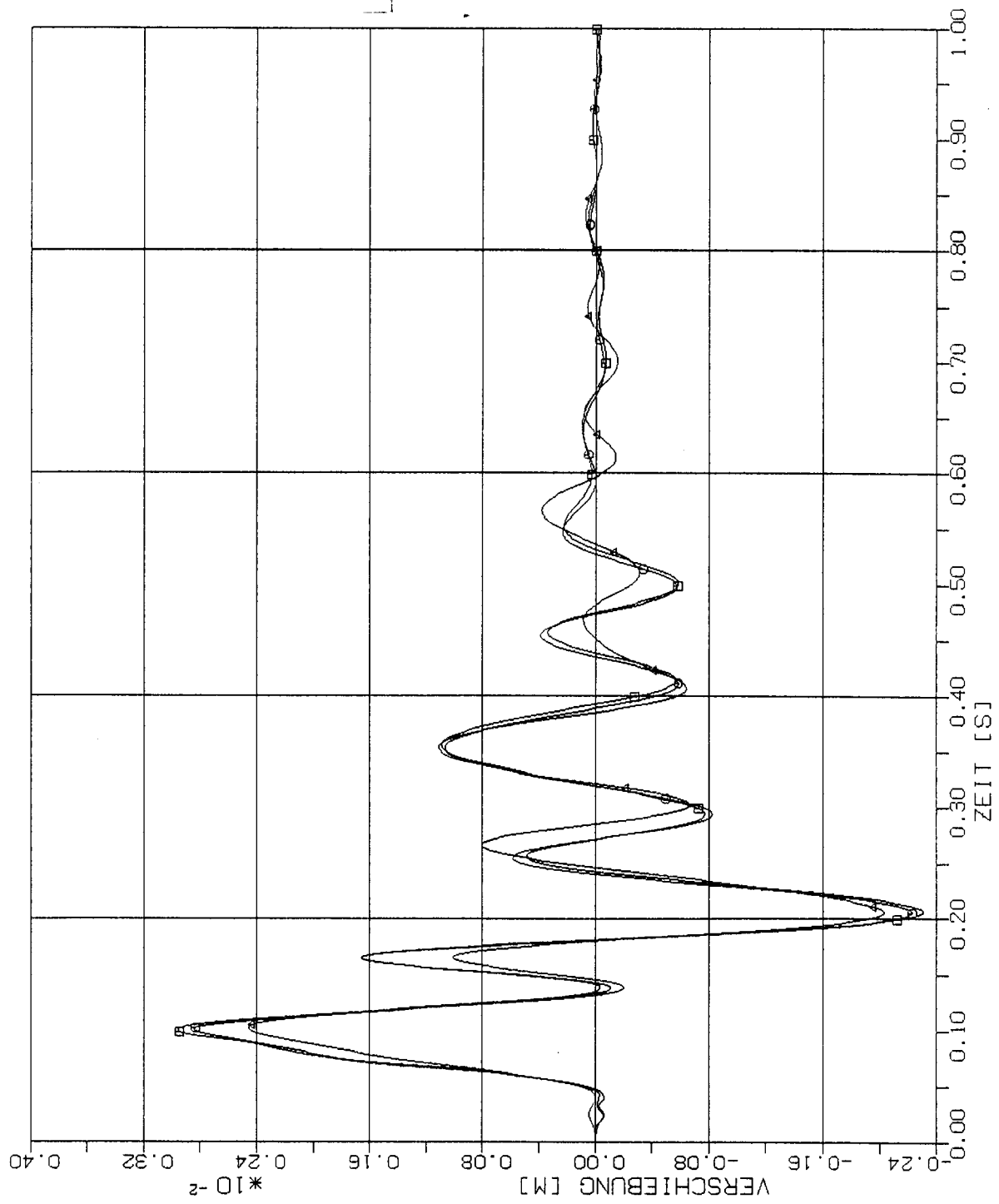
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +5L (201)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



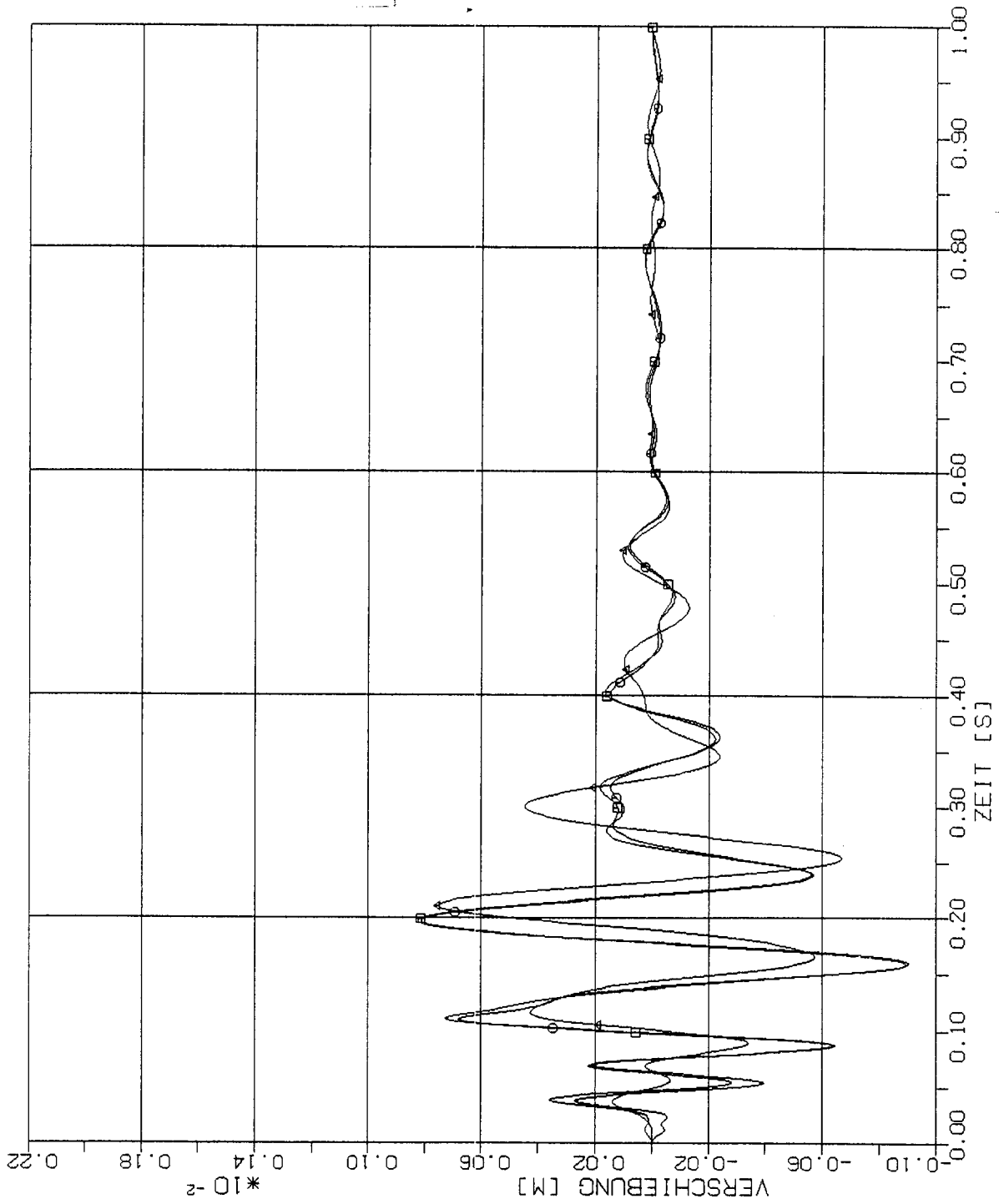
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 1.50 (421)
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



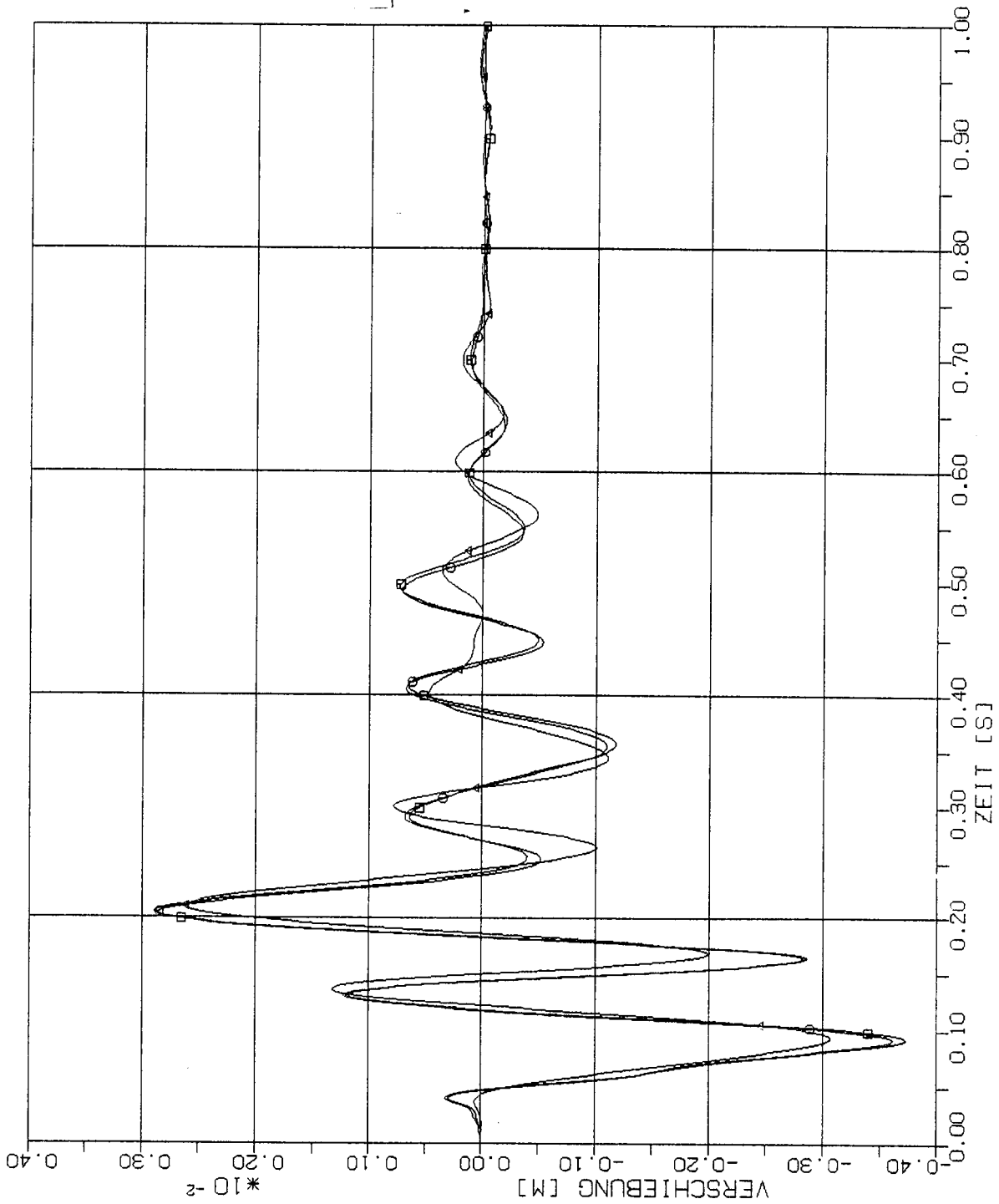
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSVERLAEUFE PUNKT 2.5D (413)
 HORIZONTALE (X) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

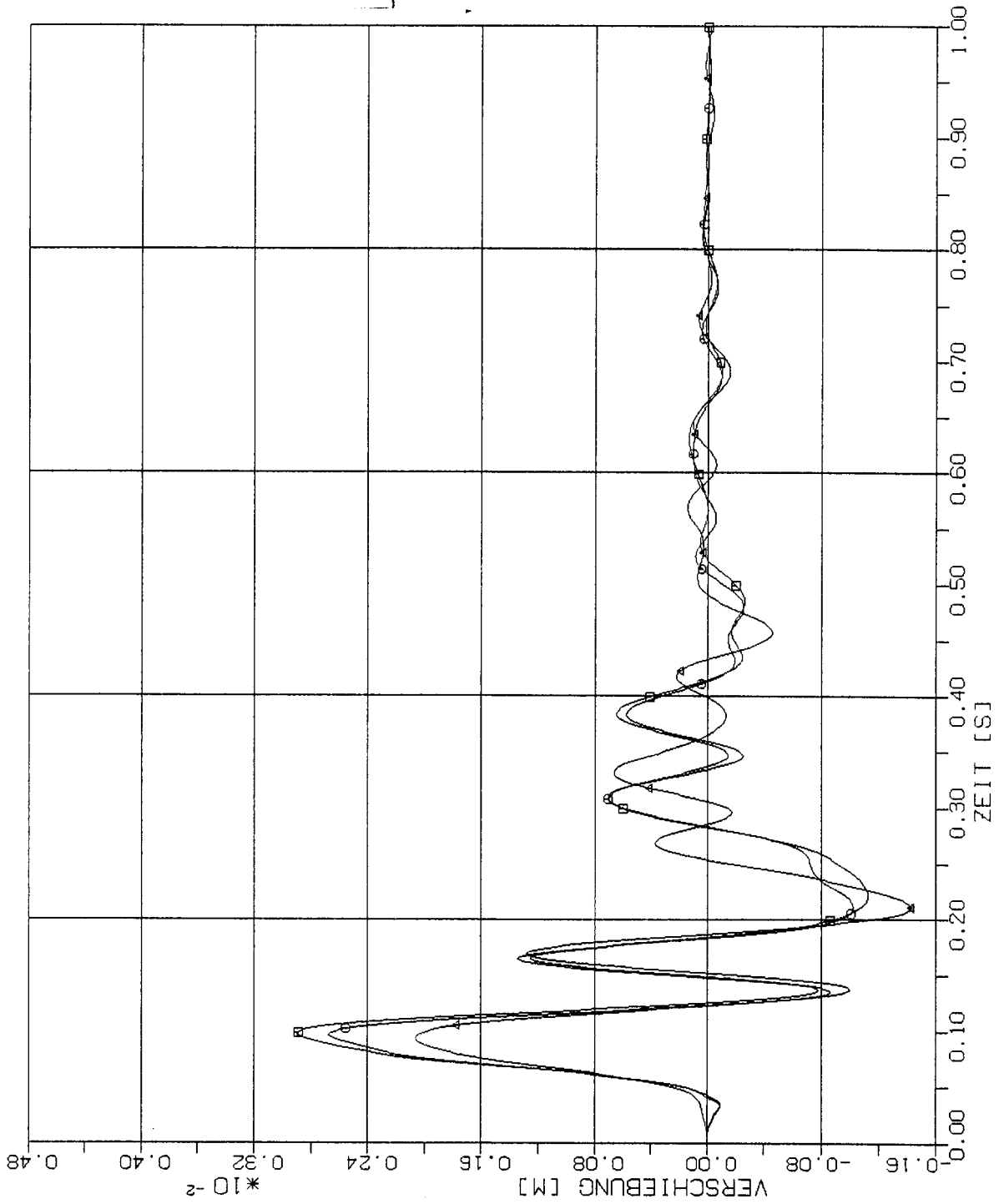
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 3,50 (405)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

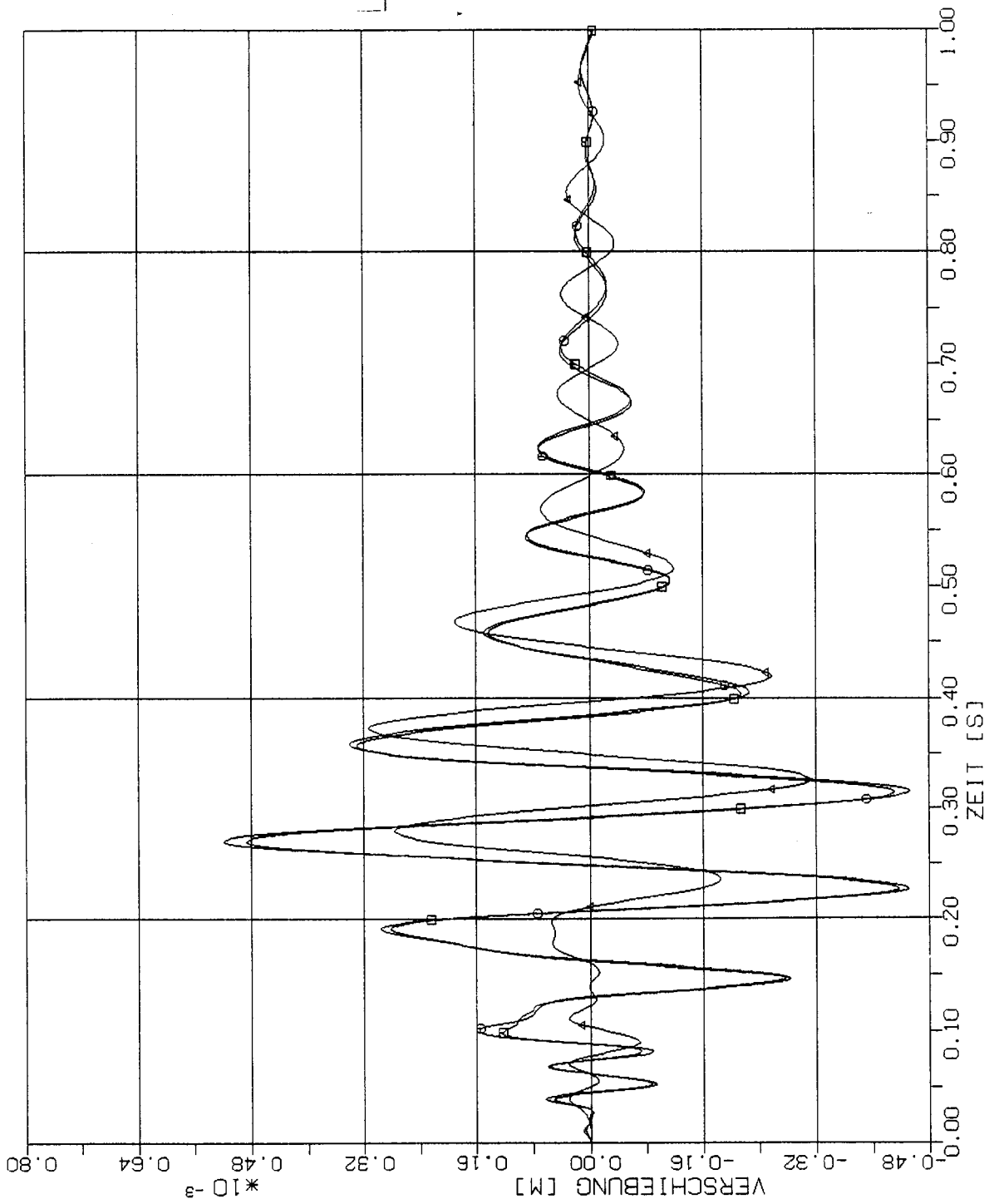
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFÖRMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLÄUFE PUNKT +2.50 (221)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

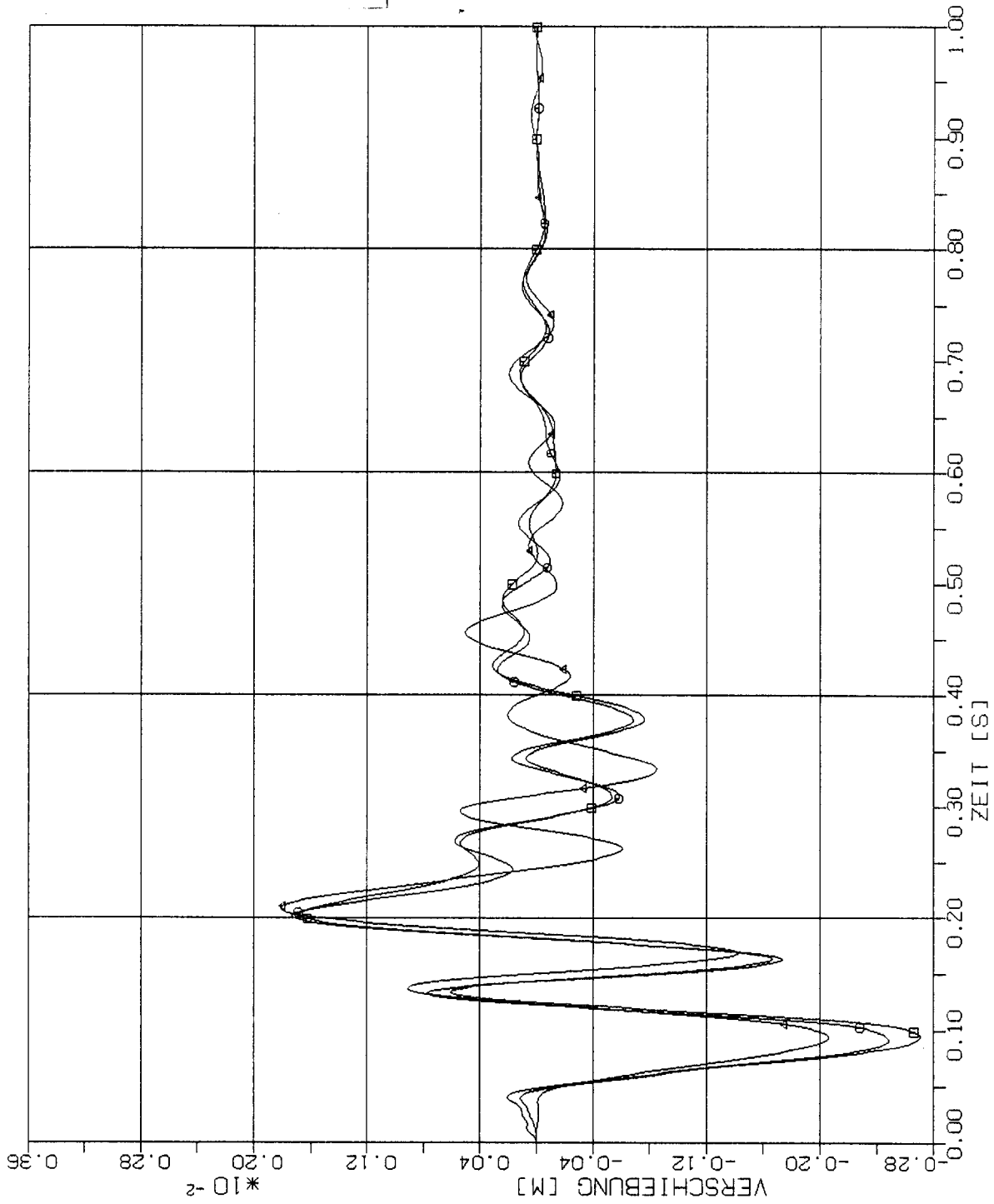
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.5D (Z13)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWURT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



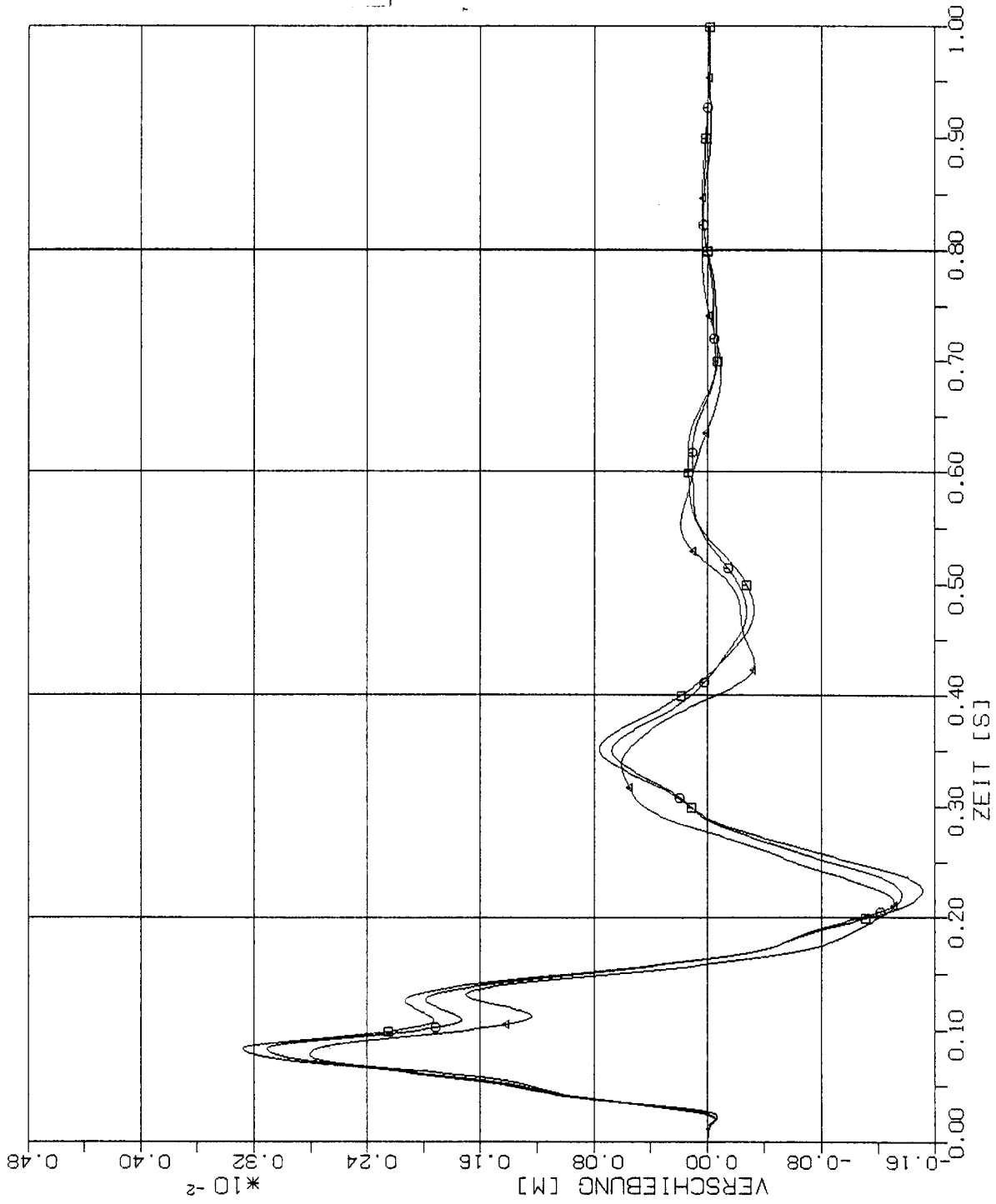
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4.50 (205)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



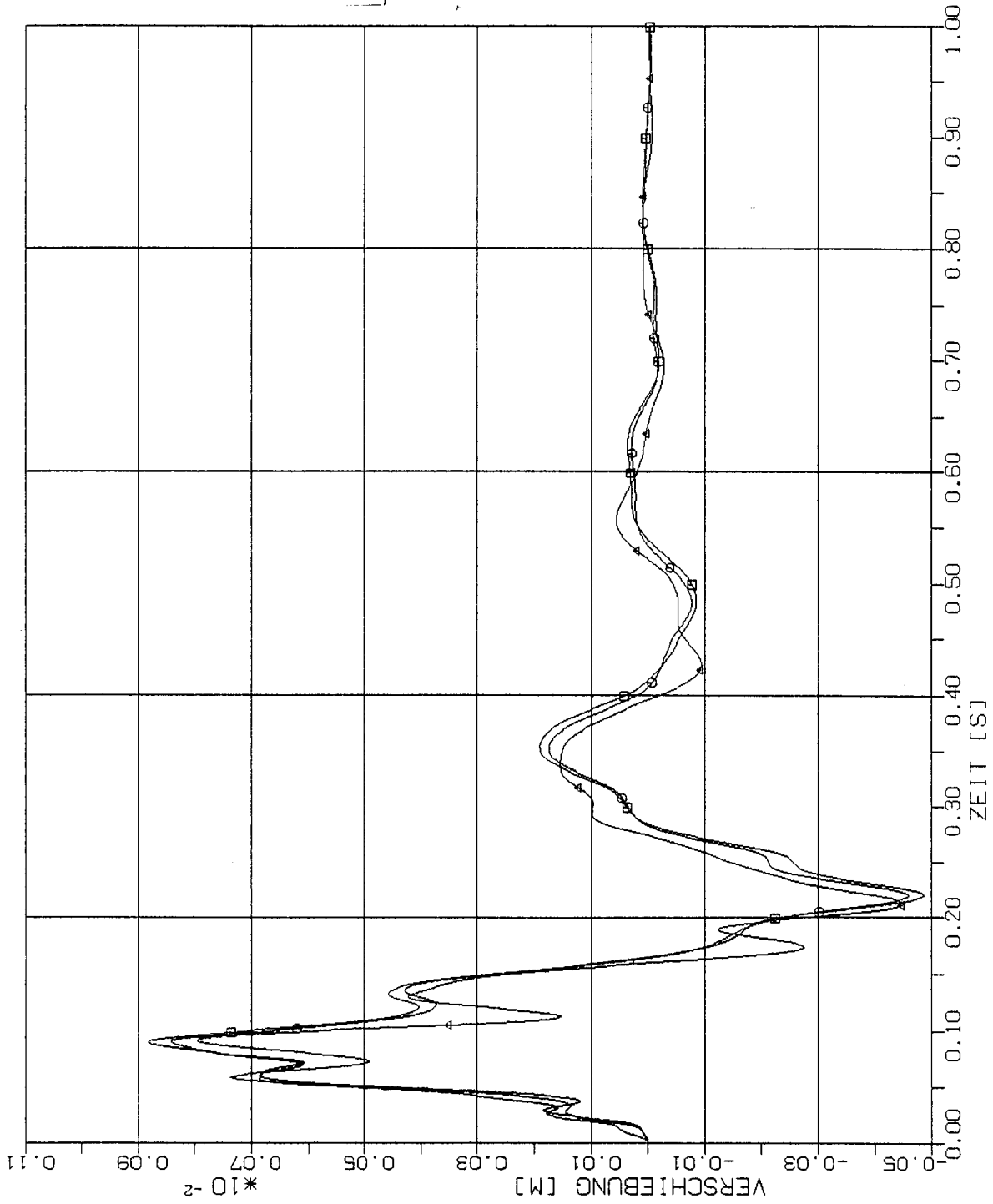
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +1.5M (325)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



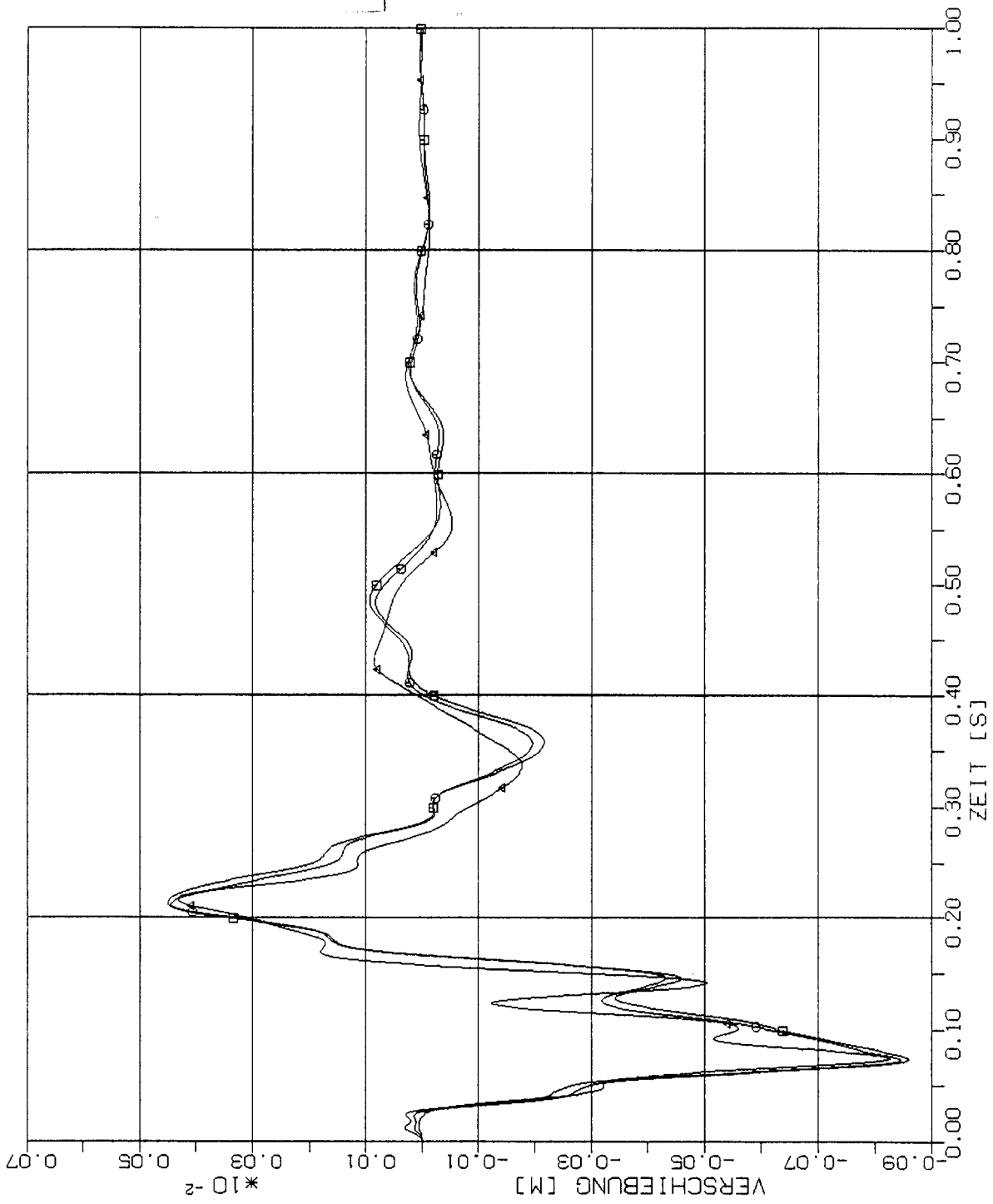
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +2.5M (317)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



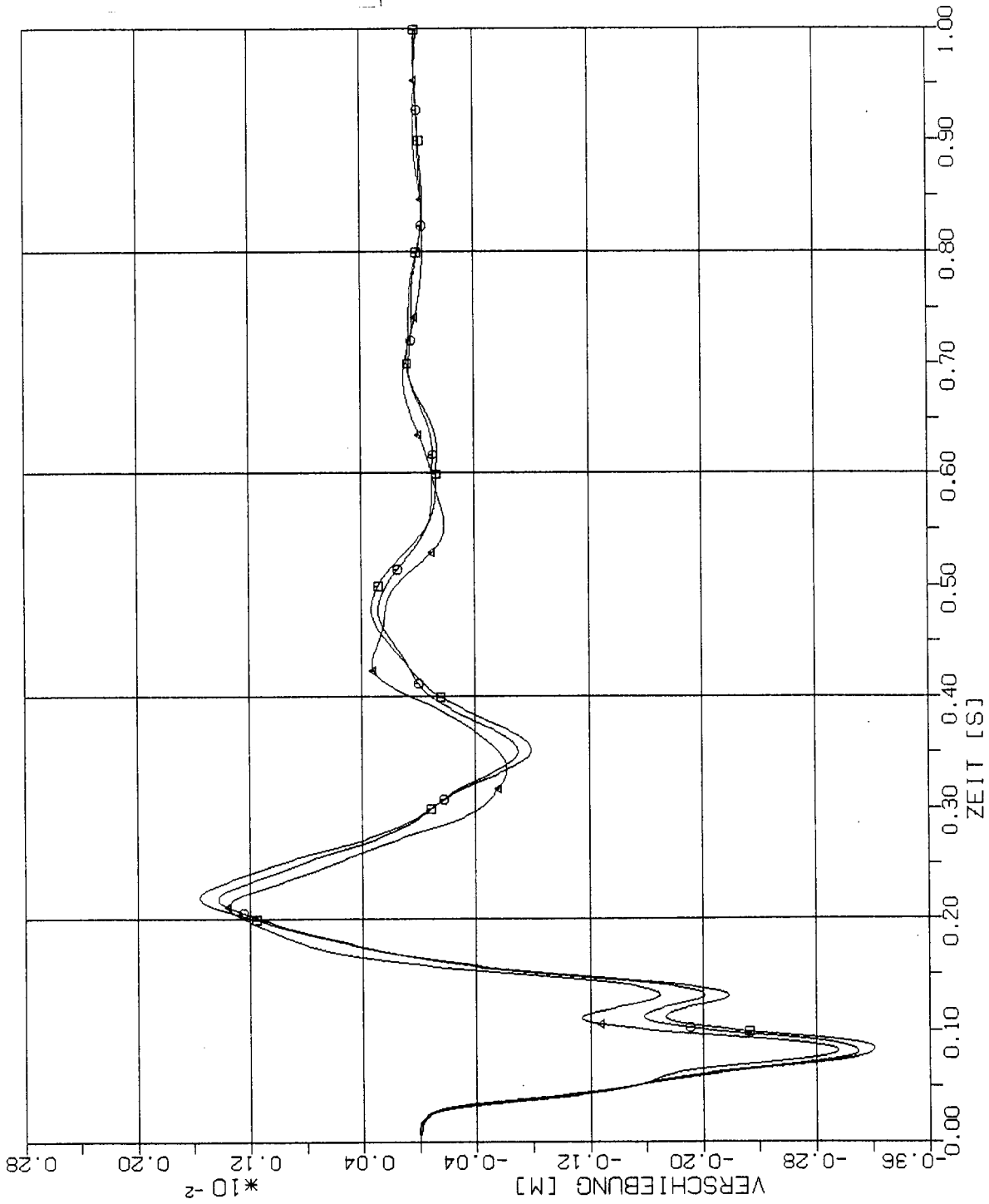
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.5W (309)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

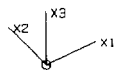
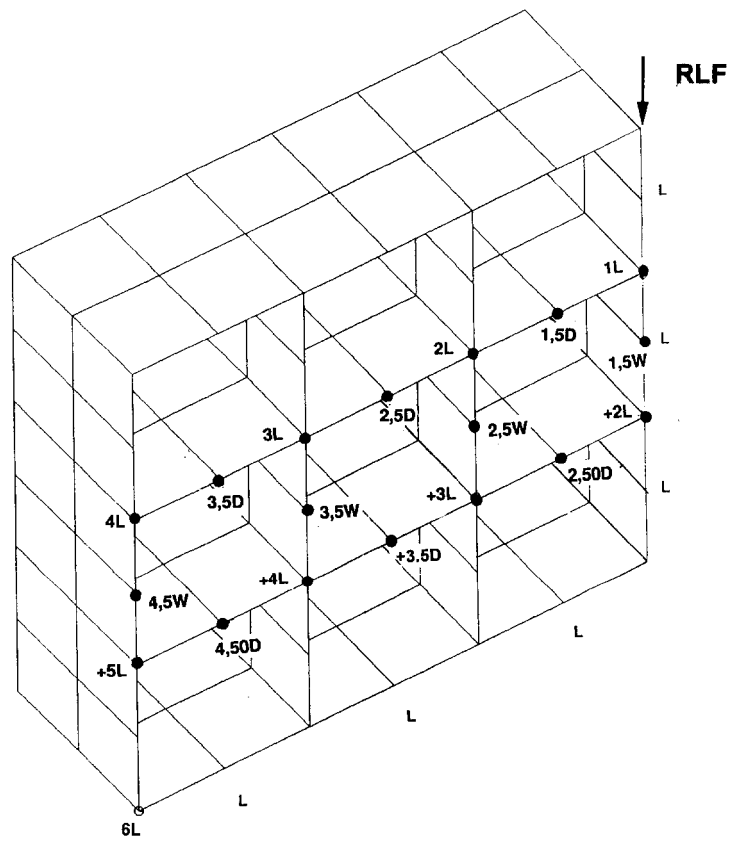
○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +4.5M (301)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

2.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung

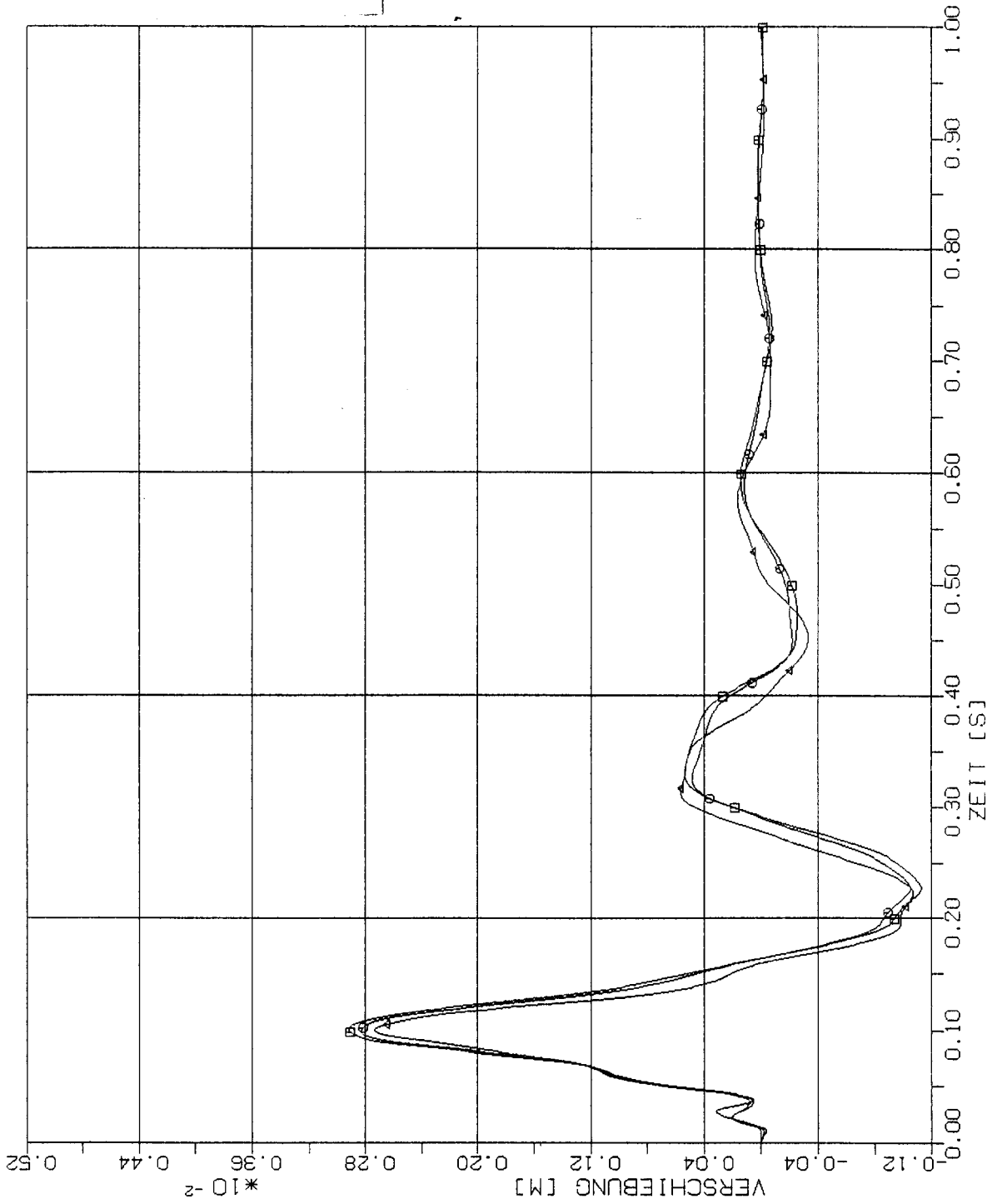


Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



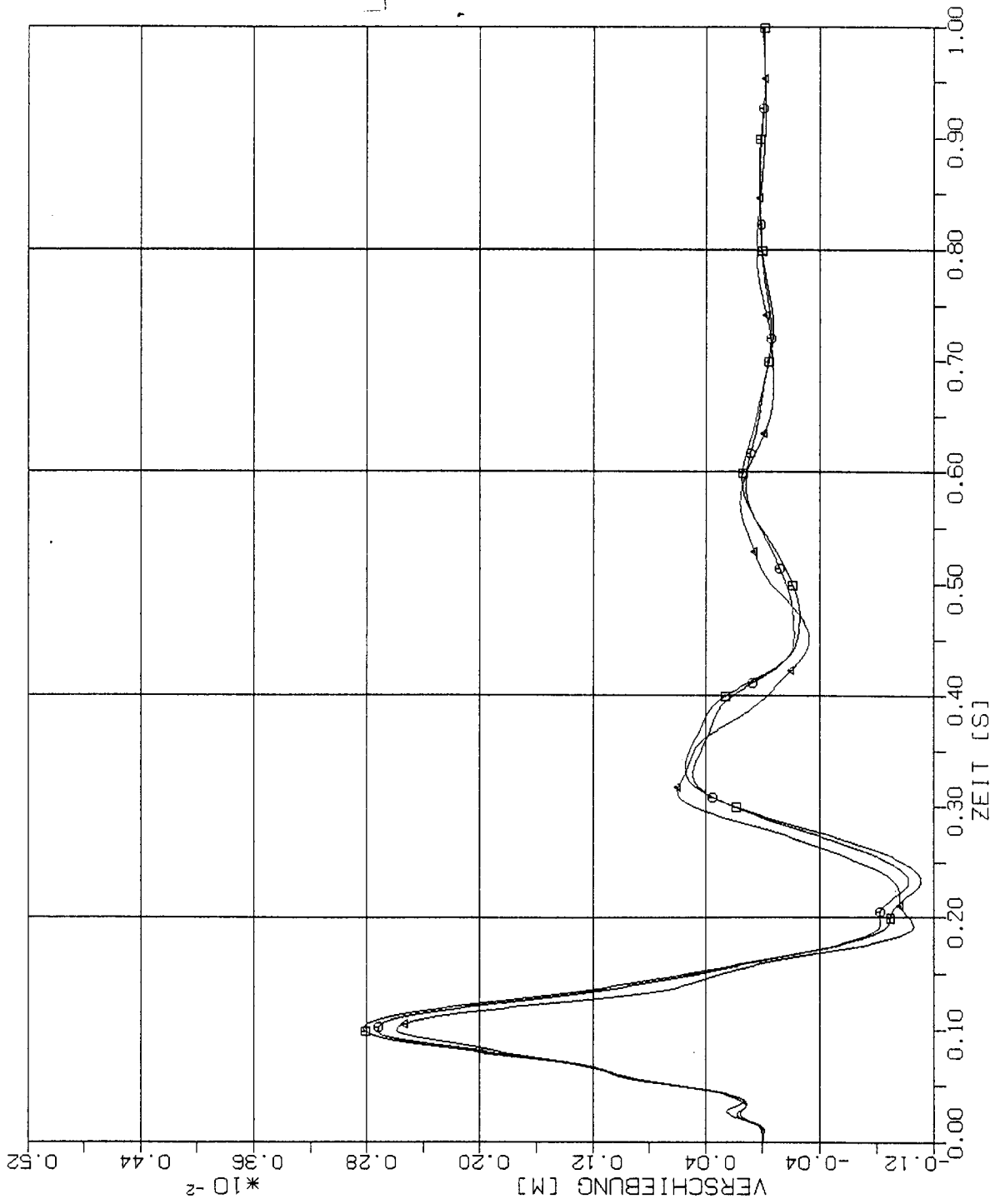
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER VERSCHLEIBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 1L (425)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

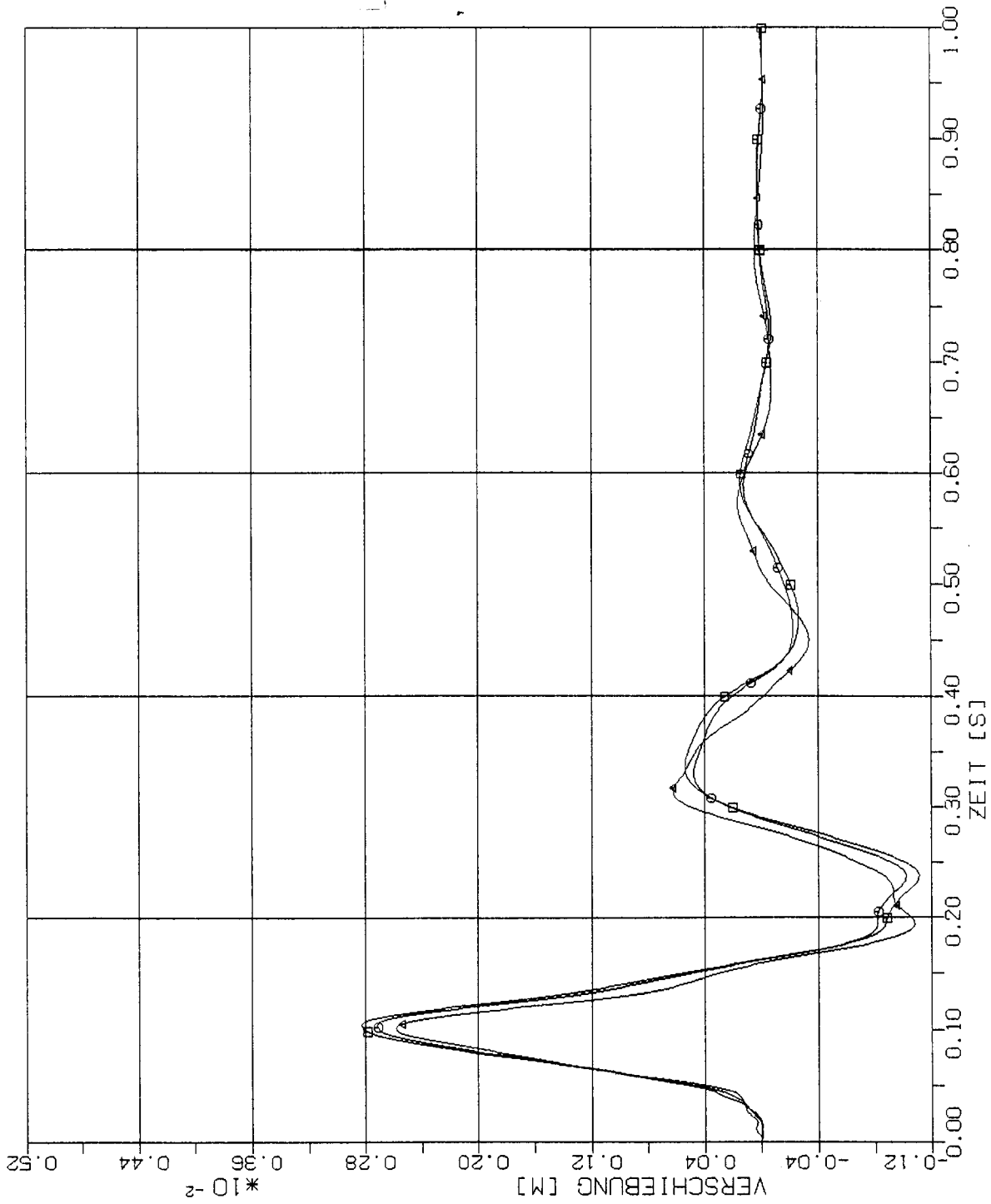
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 2L (417)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



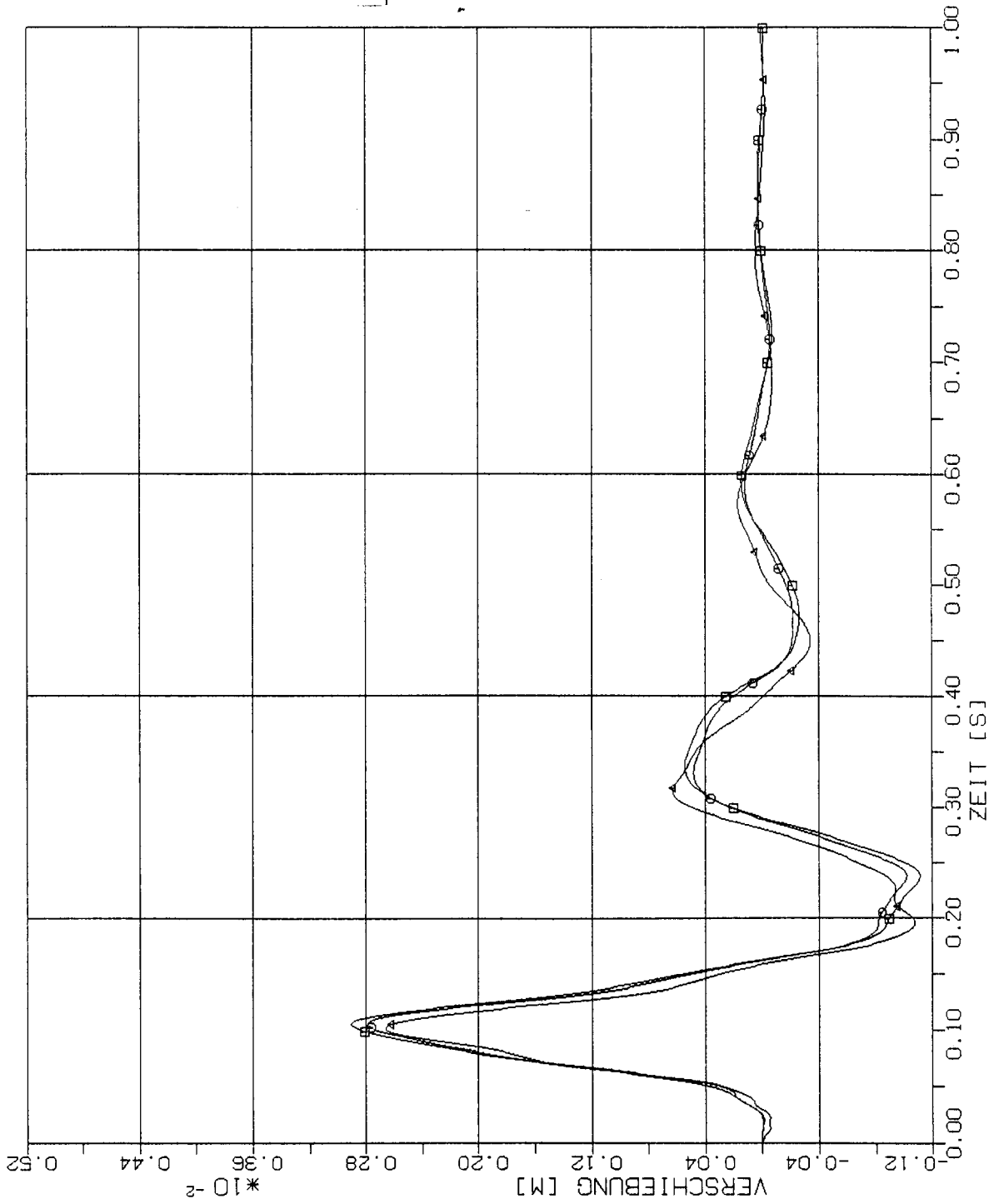
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3L (409)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



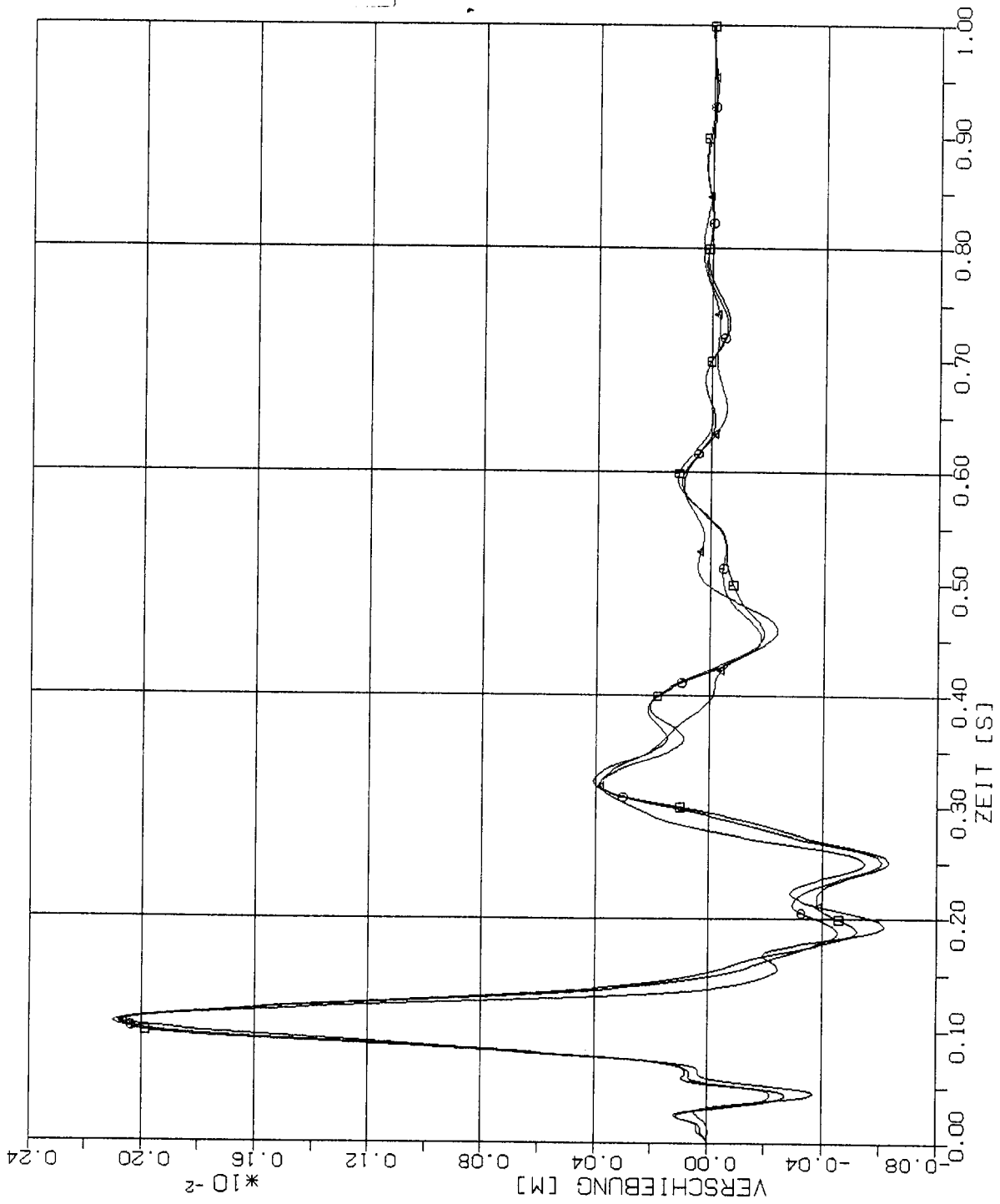
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 4L (401)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



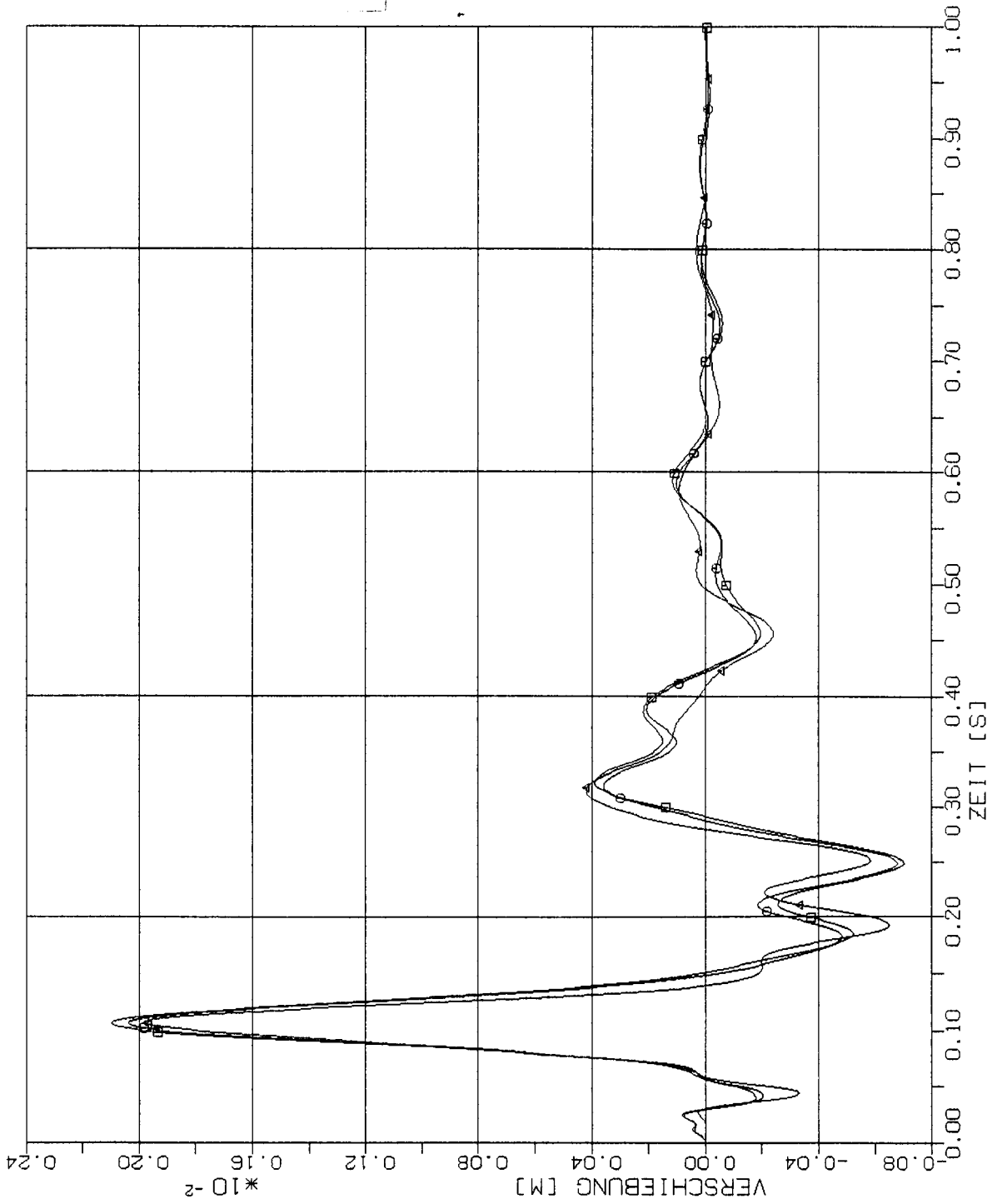
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +2L (225)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



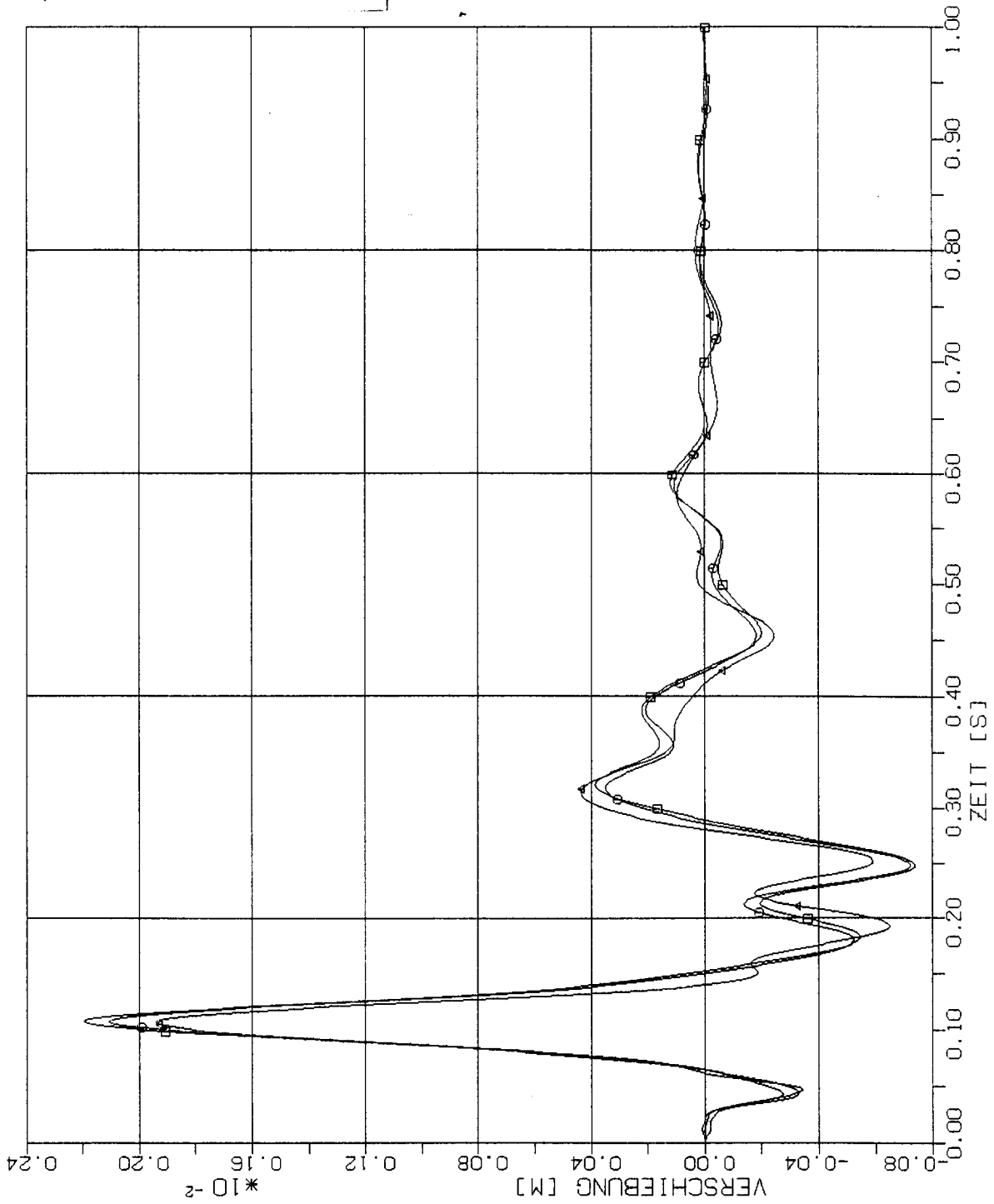
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +3L (217)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



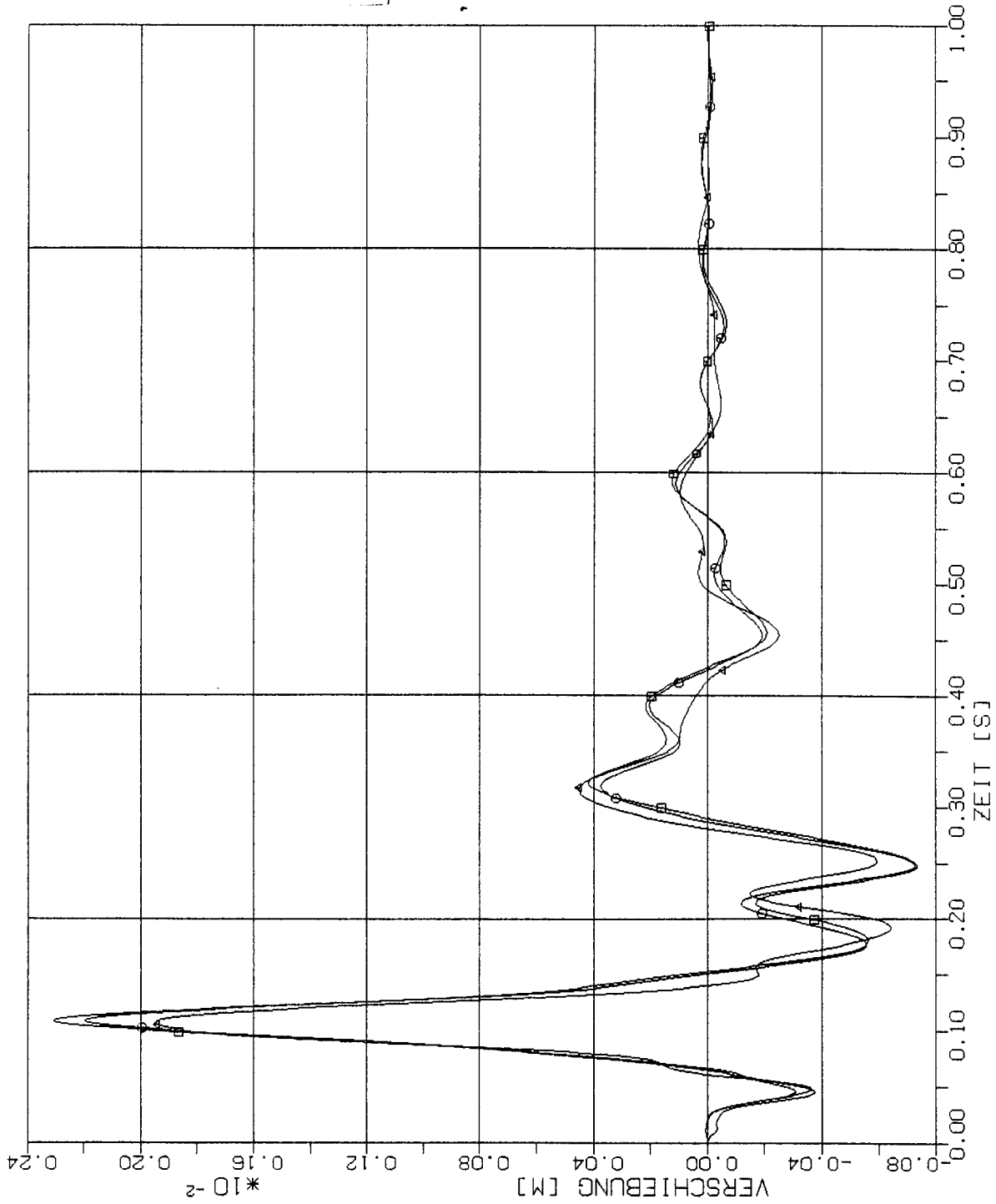
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4L (209)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



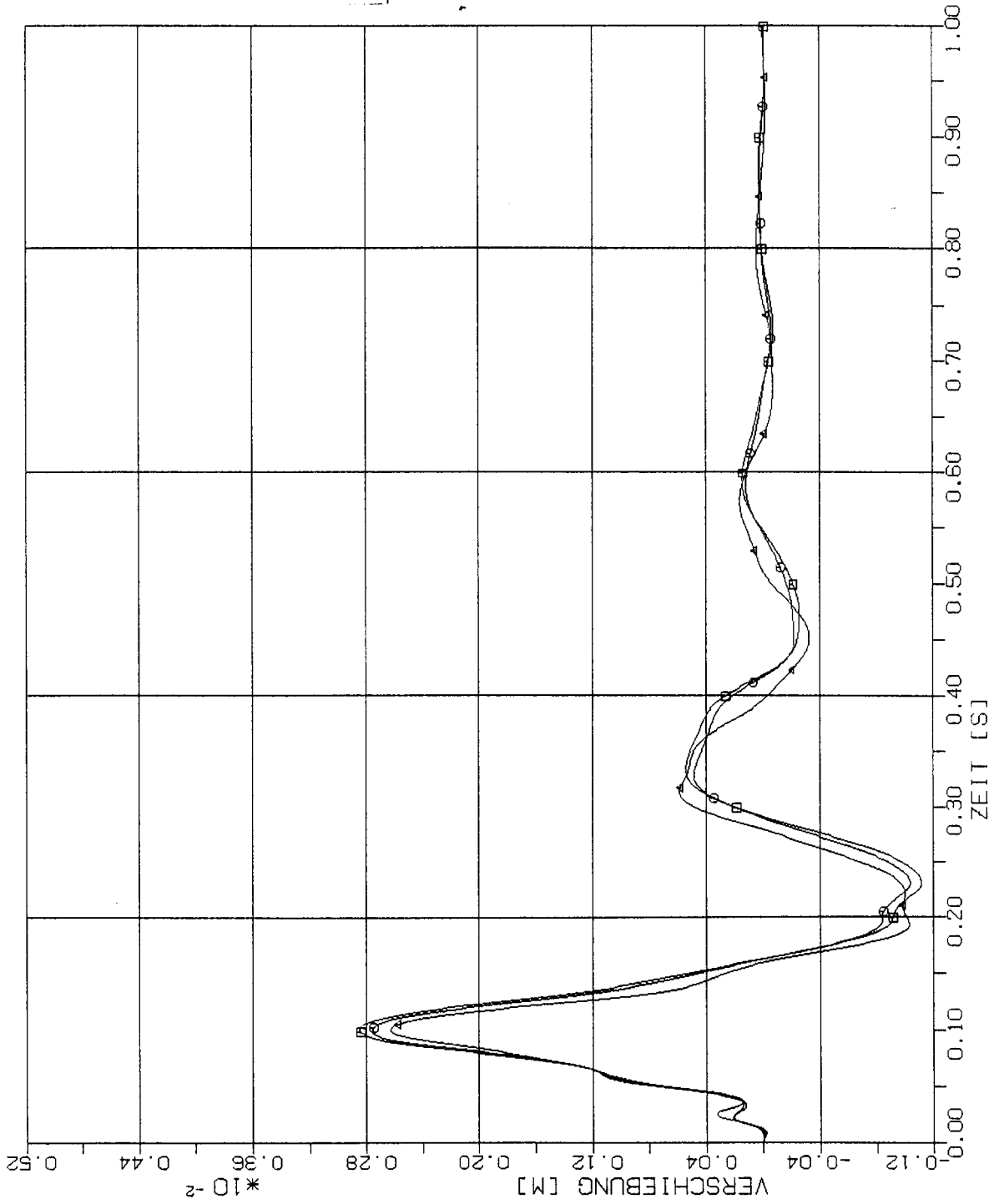
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +5L (201)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

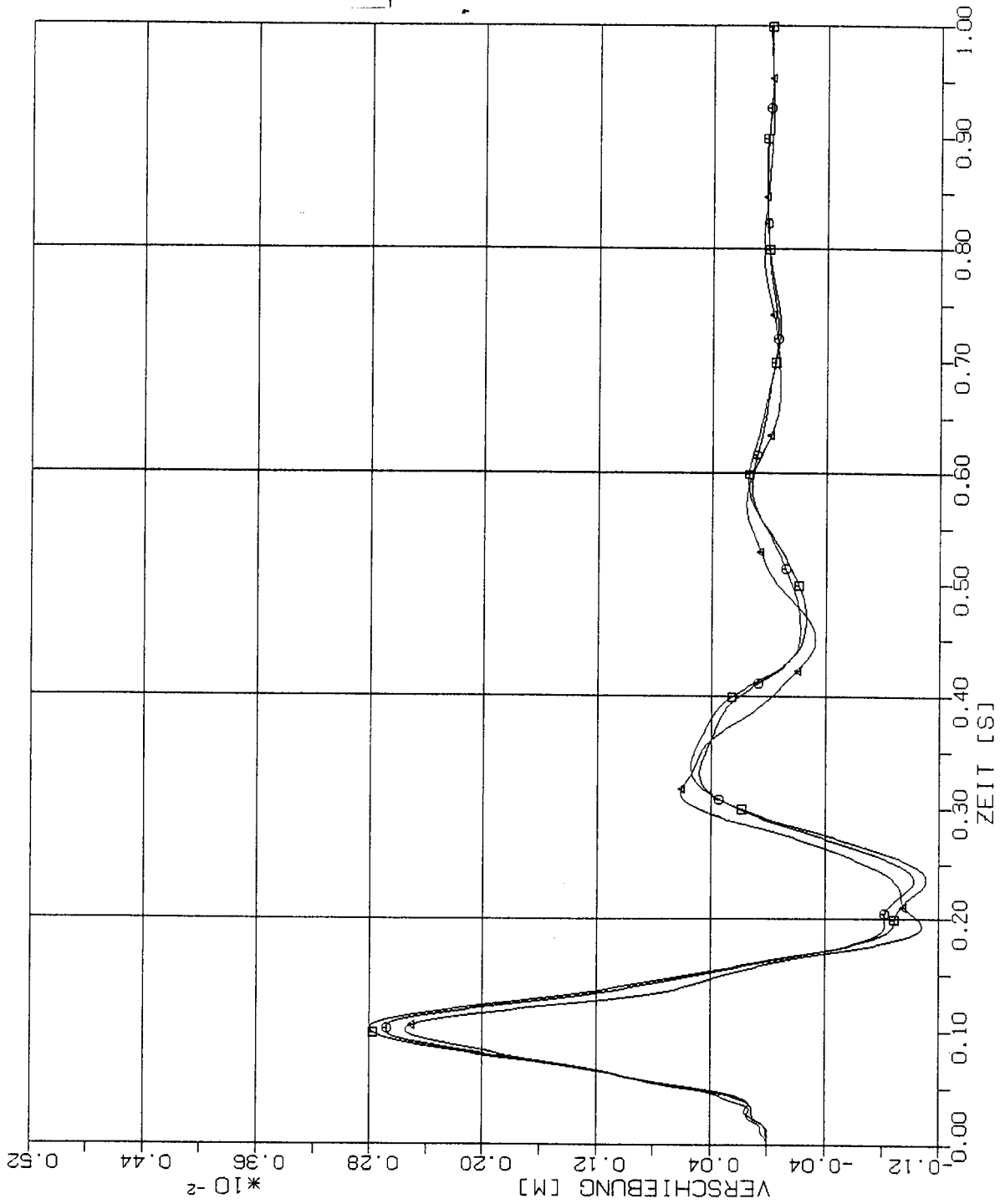
△ 8m x 8m



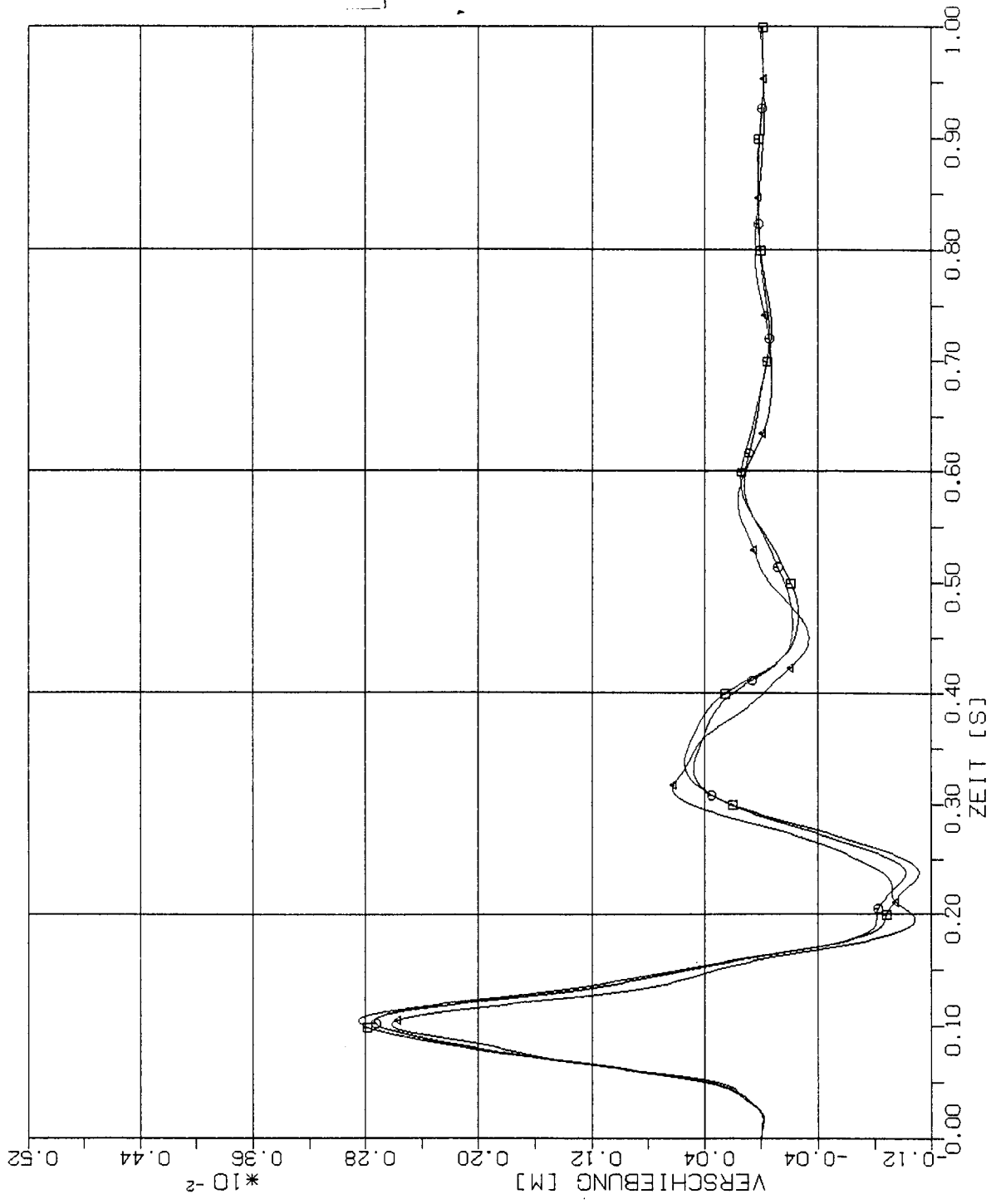
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEUFE PUNKT 1.50 (421)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 2.5D (413)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m

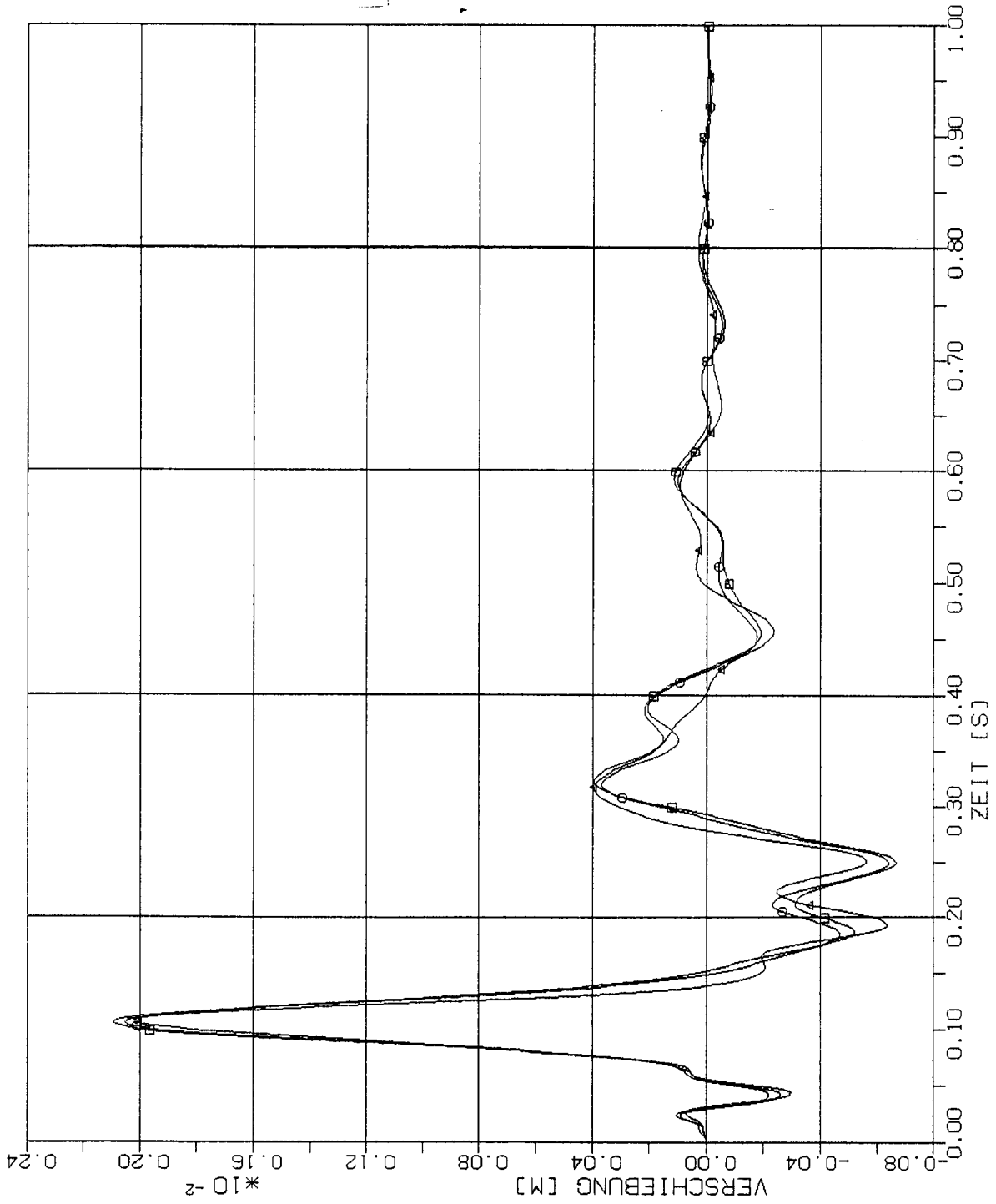
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 3,5D (405)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



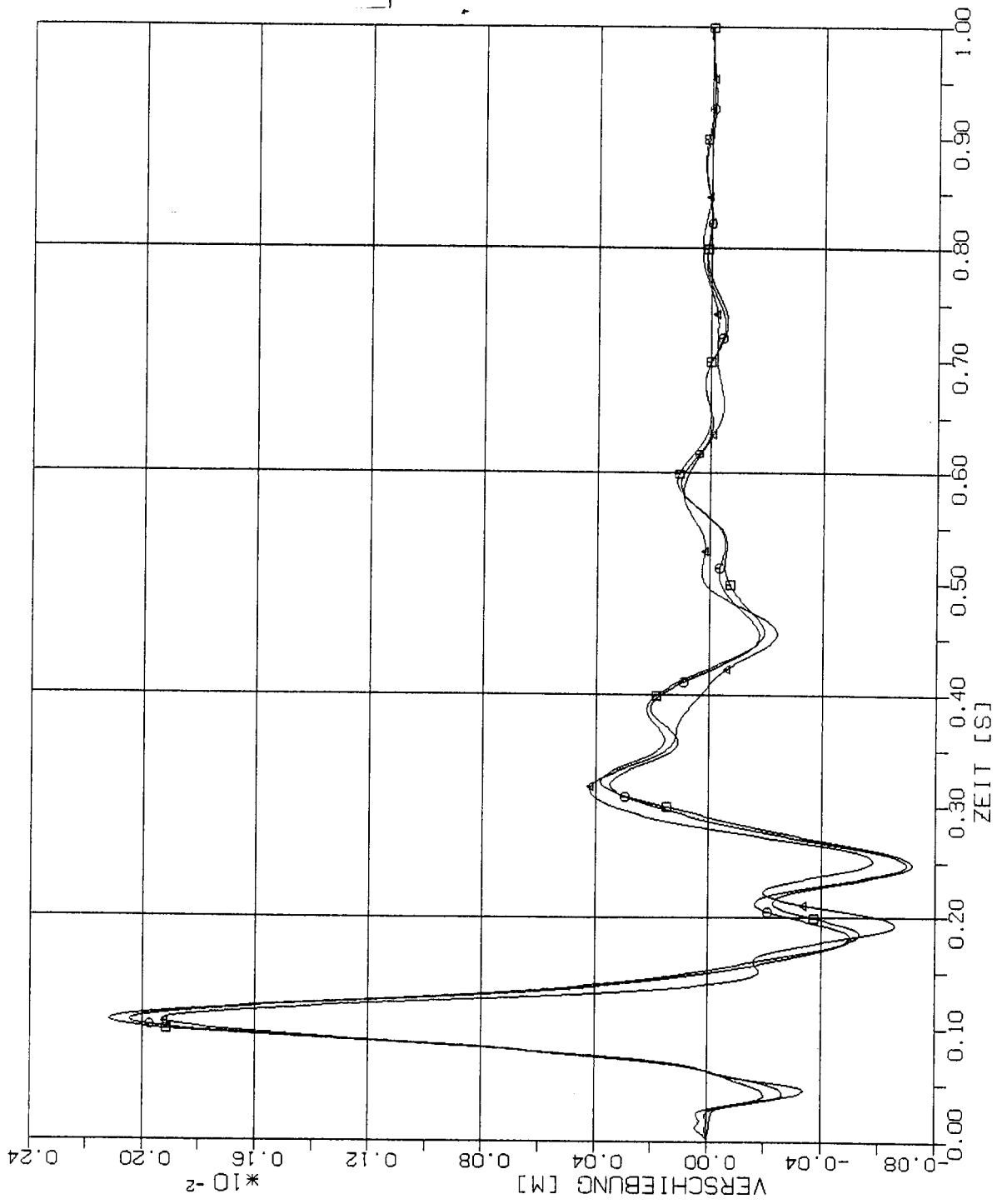
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2.5D (221)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



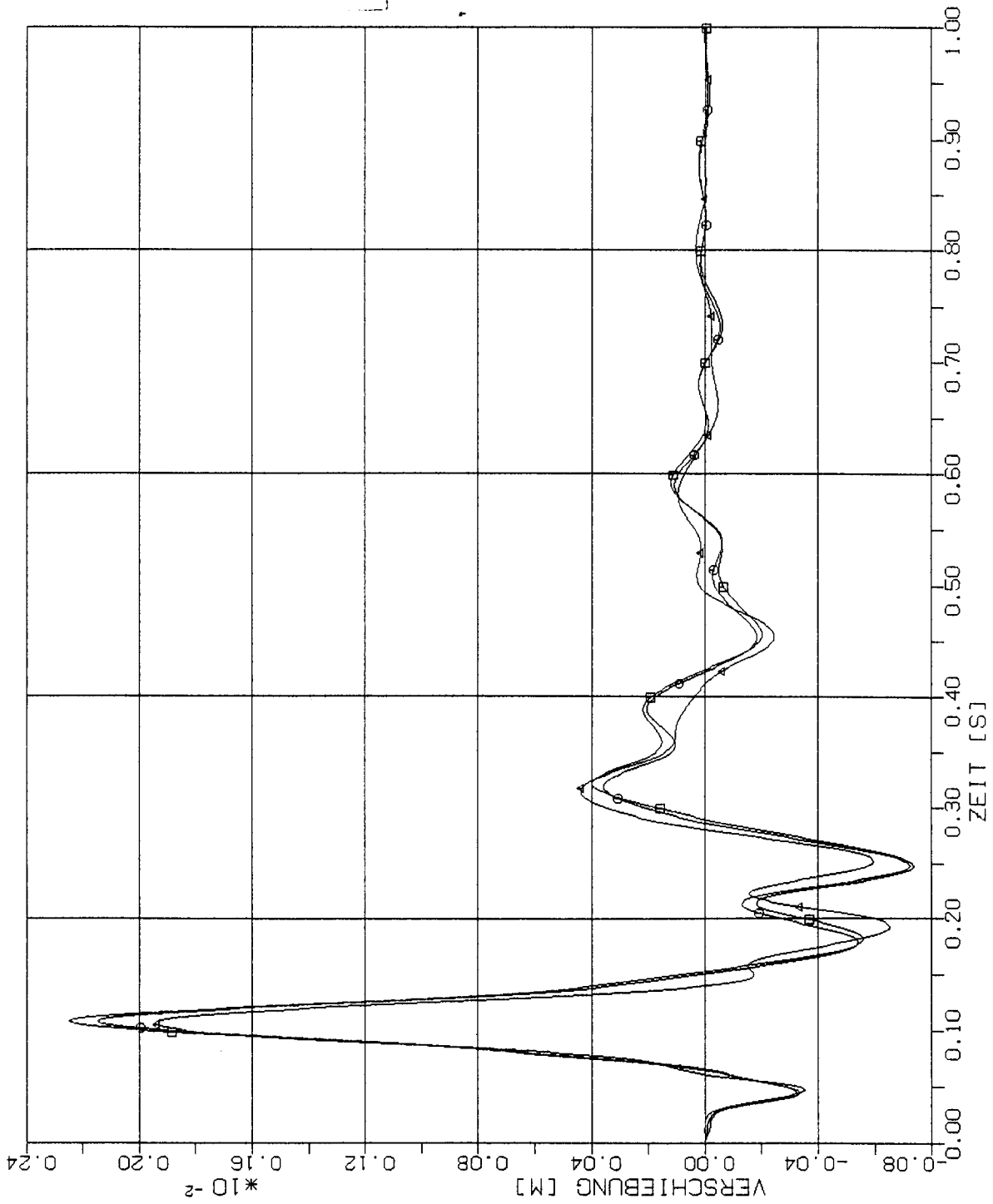
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.50 (213)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

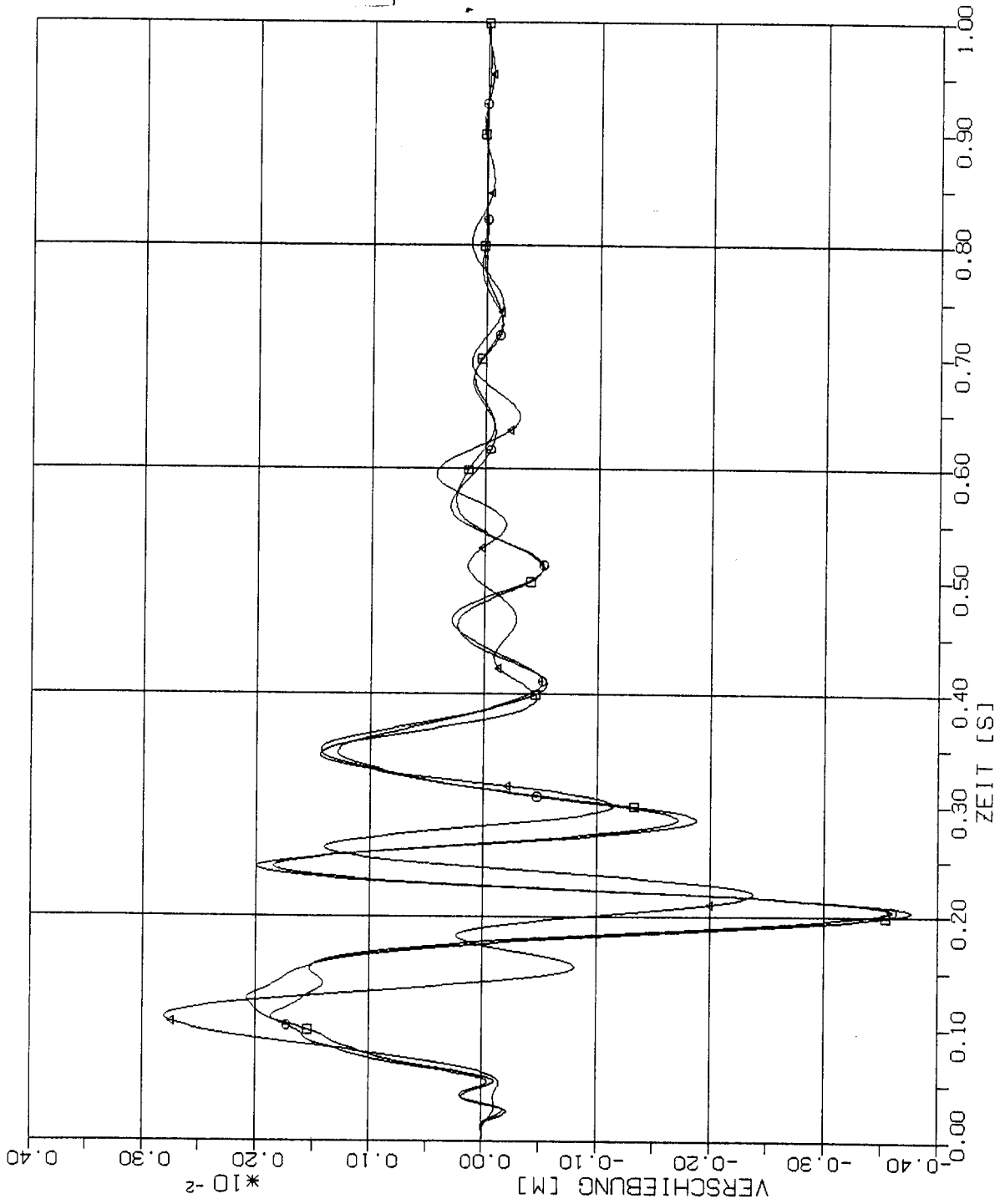
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4.50 (205)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



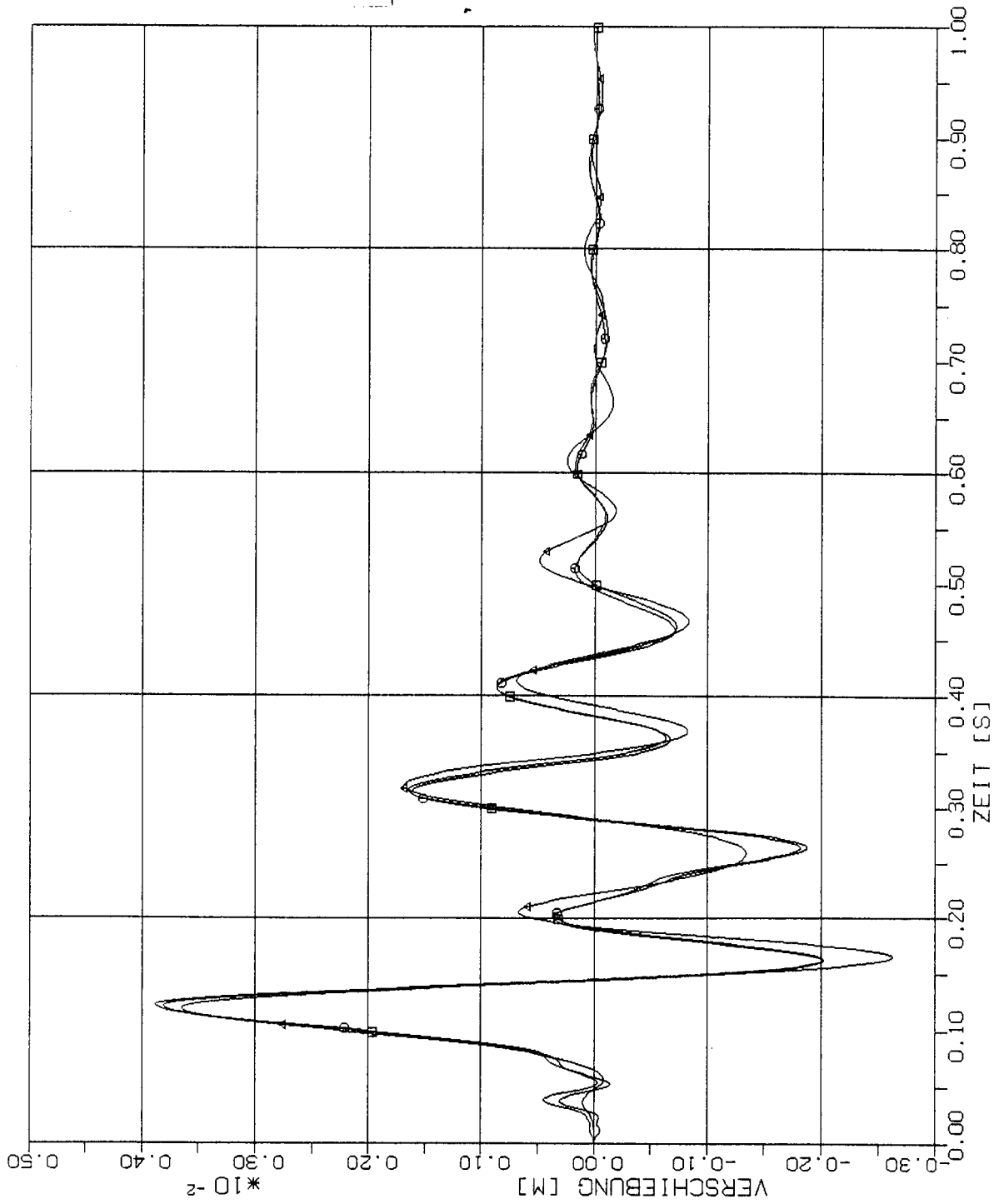
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +1,5M (325)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



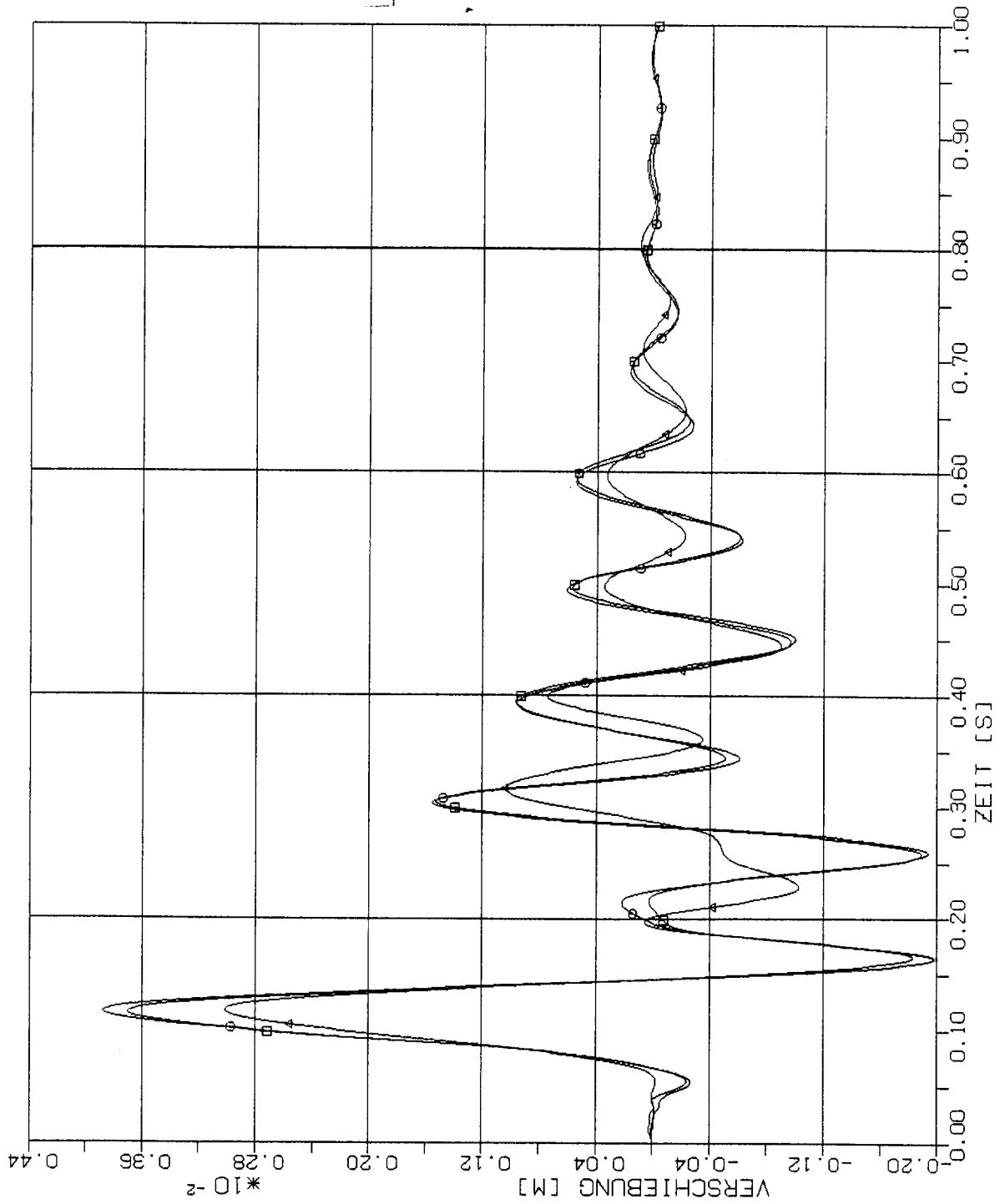
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +2.5W (317)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



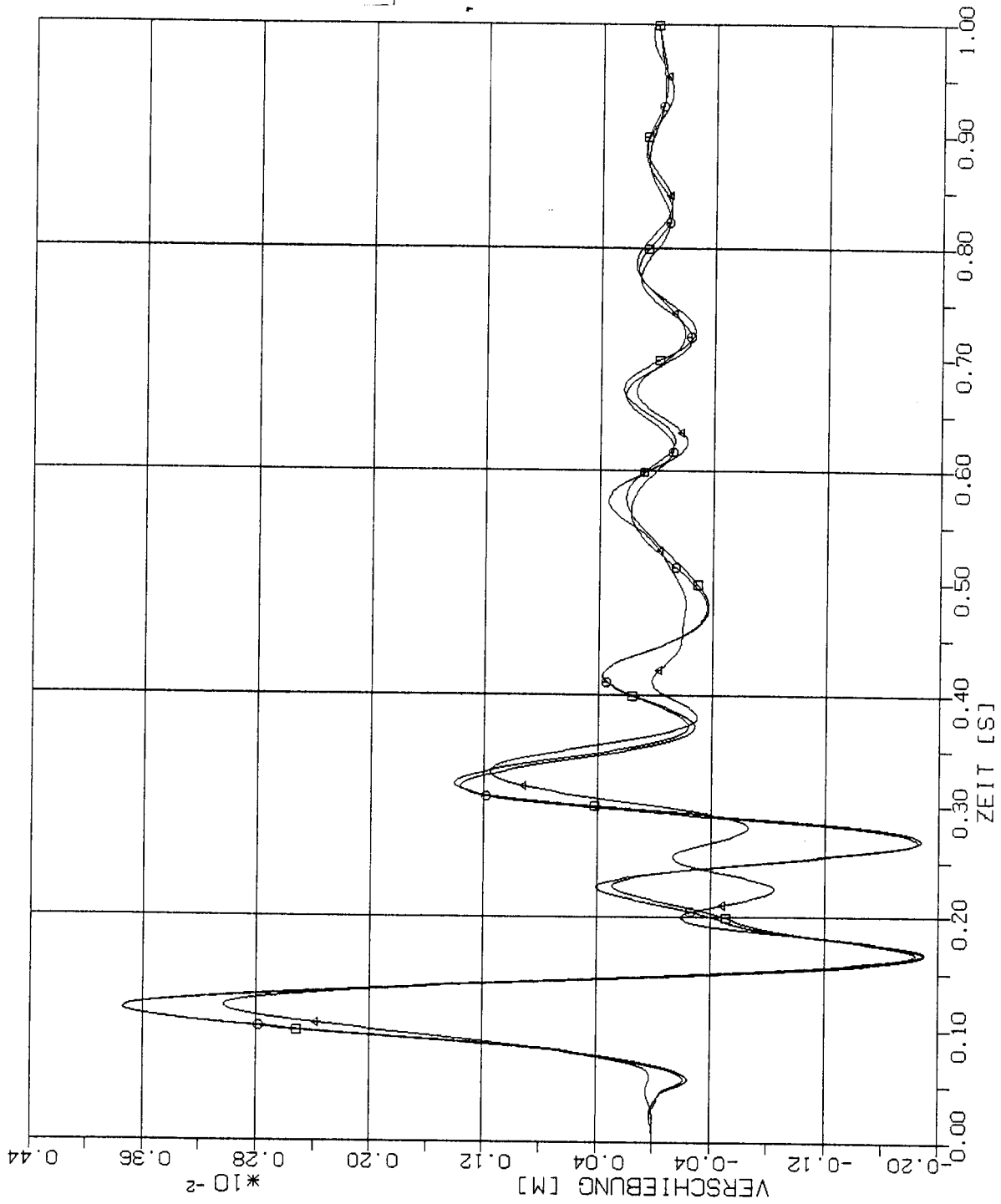
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.5M (309)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



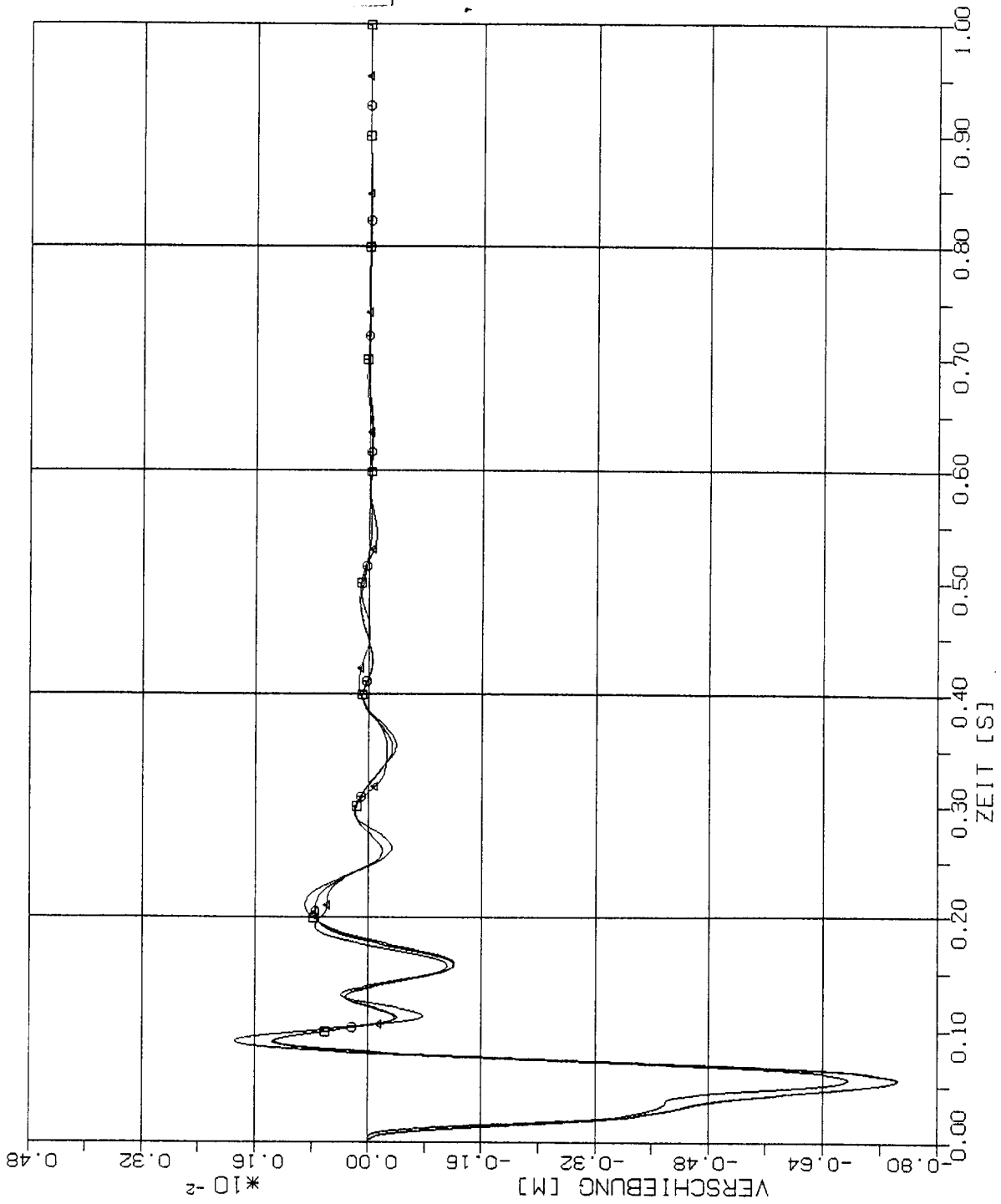
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEUFE PUNKT +4,5M (301)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



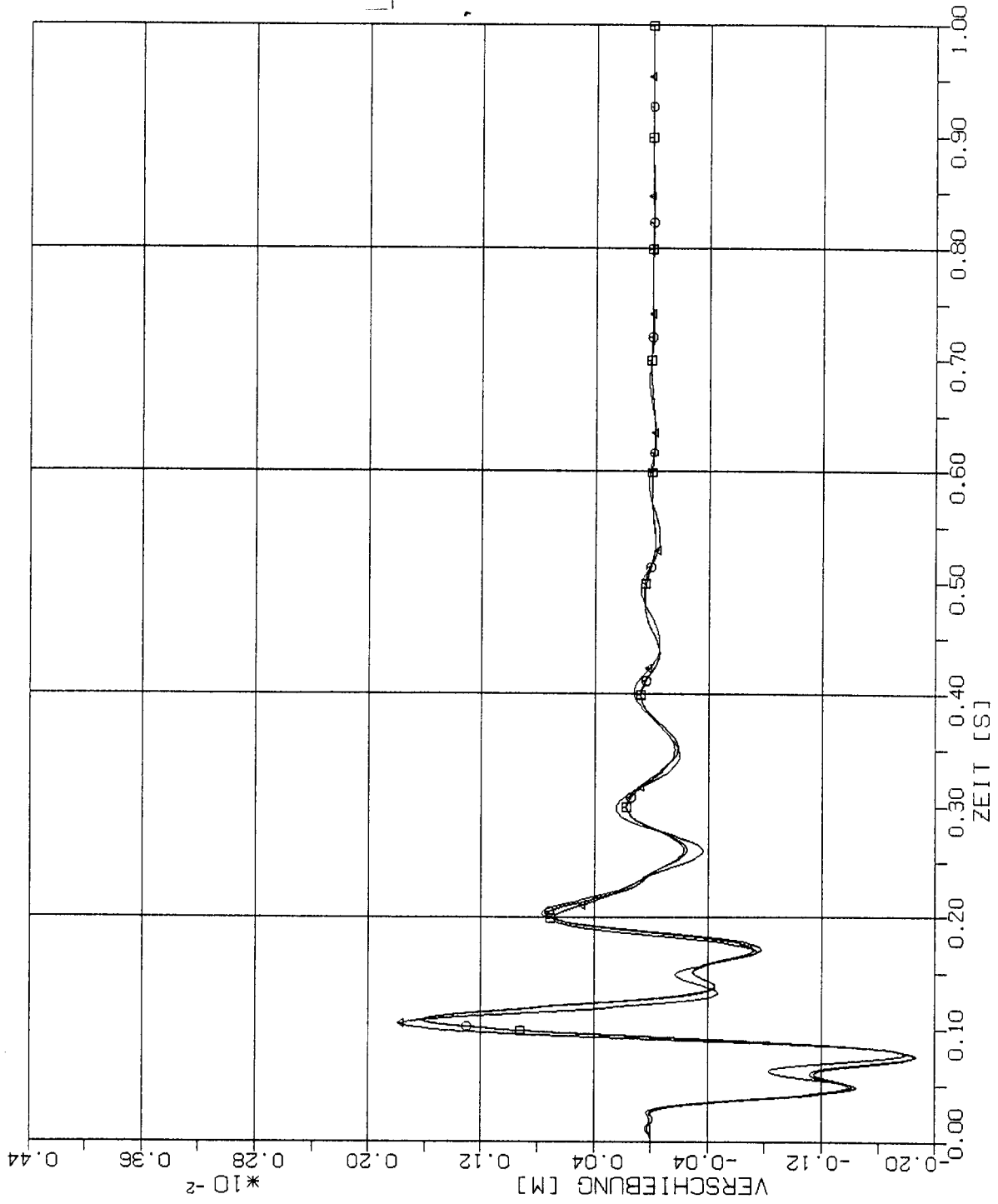
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 \ VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEUFE PUNKT 1L (425)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

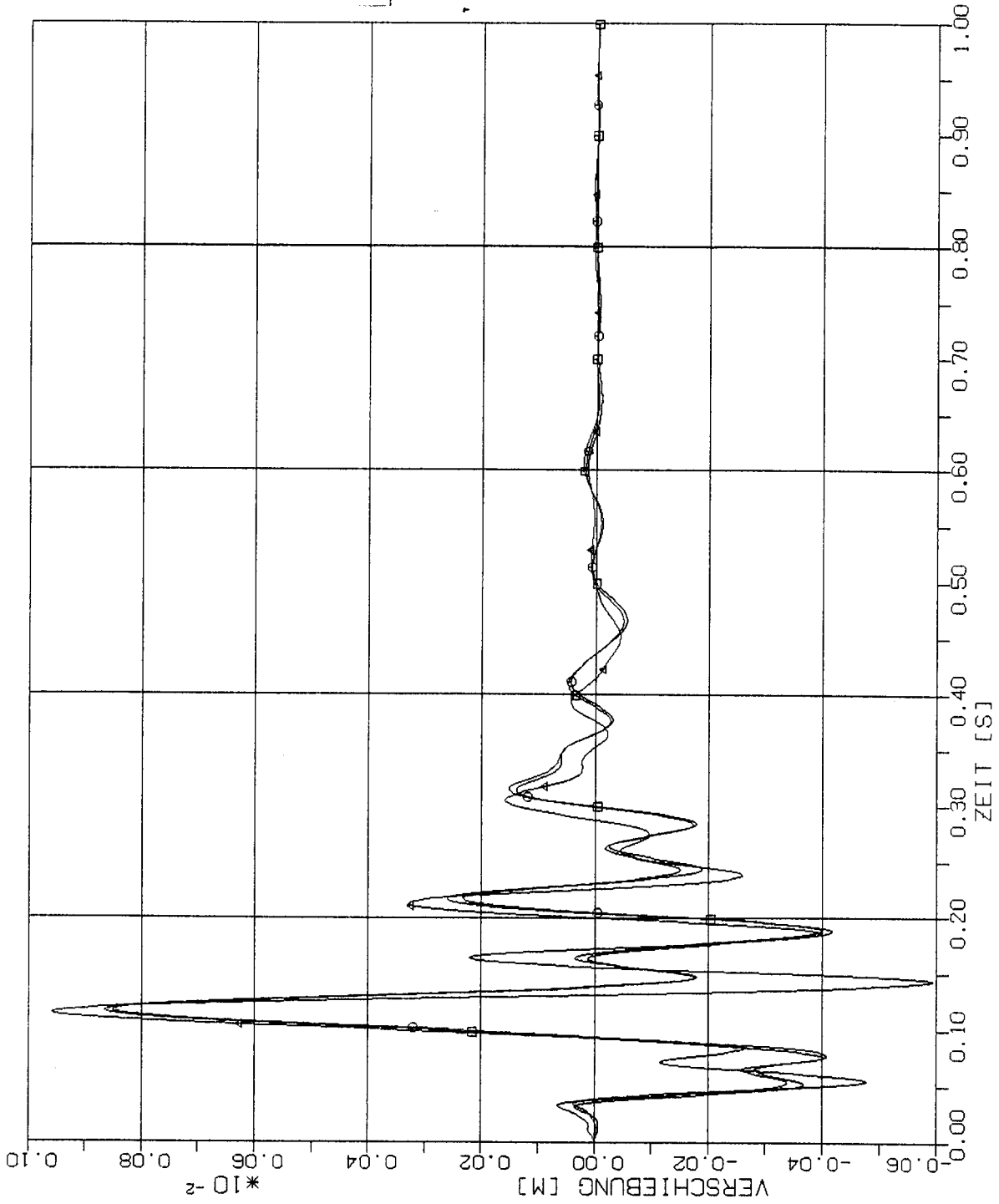
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE FUNKT 2L (4.7
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



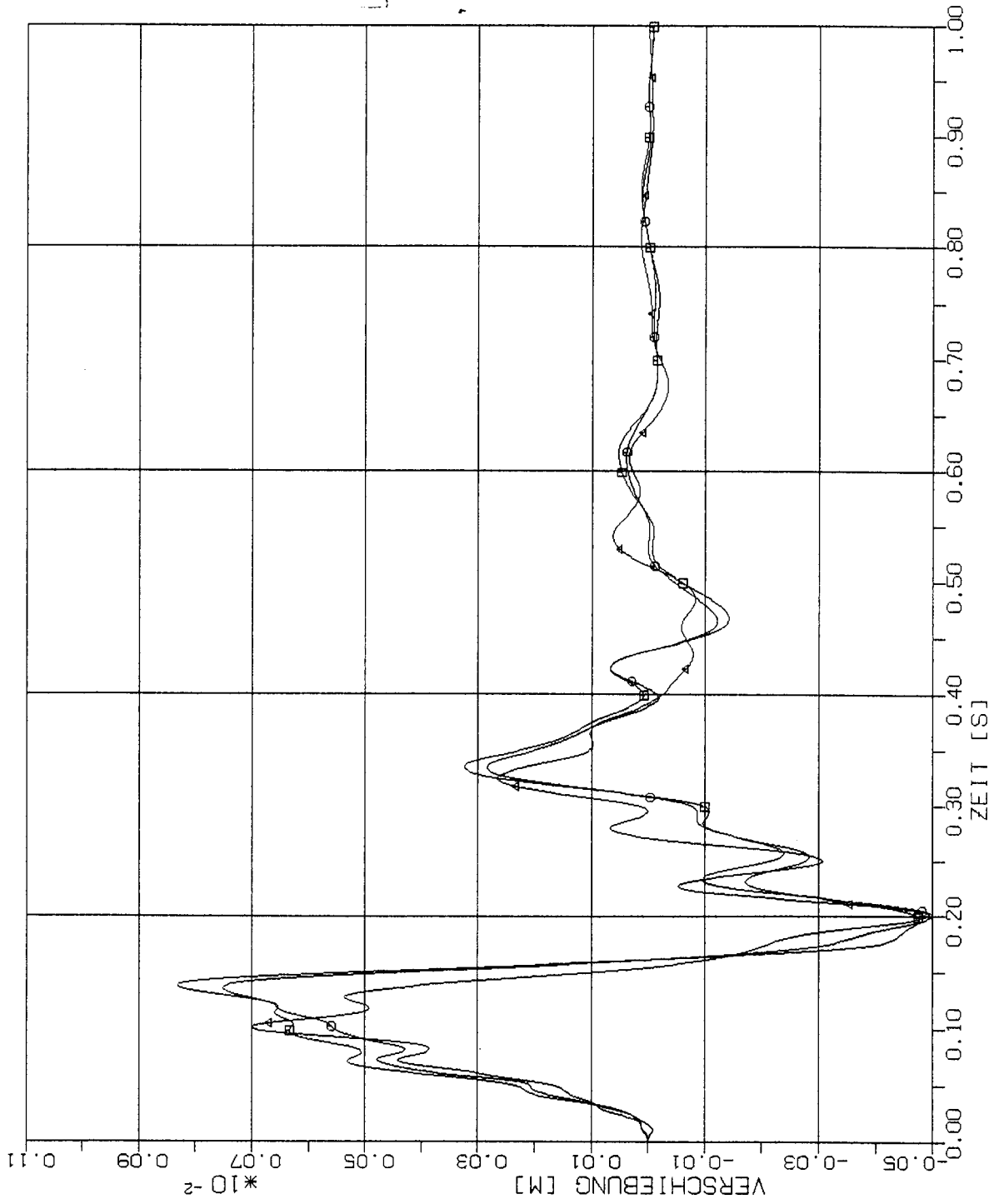
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEUFE PUNKT 3L (409)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

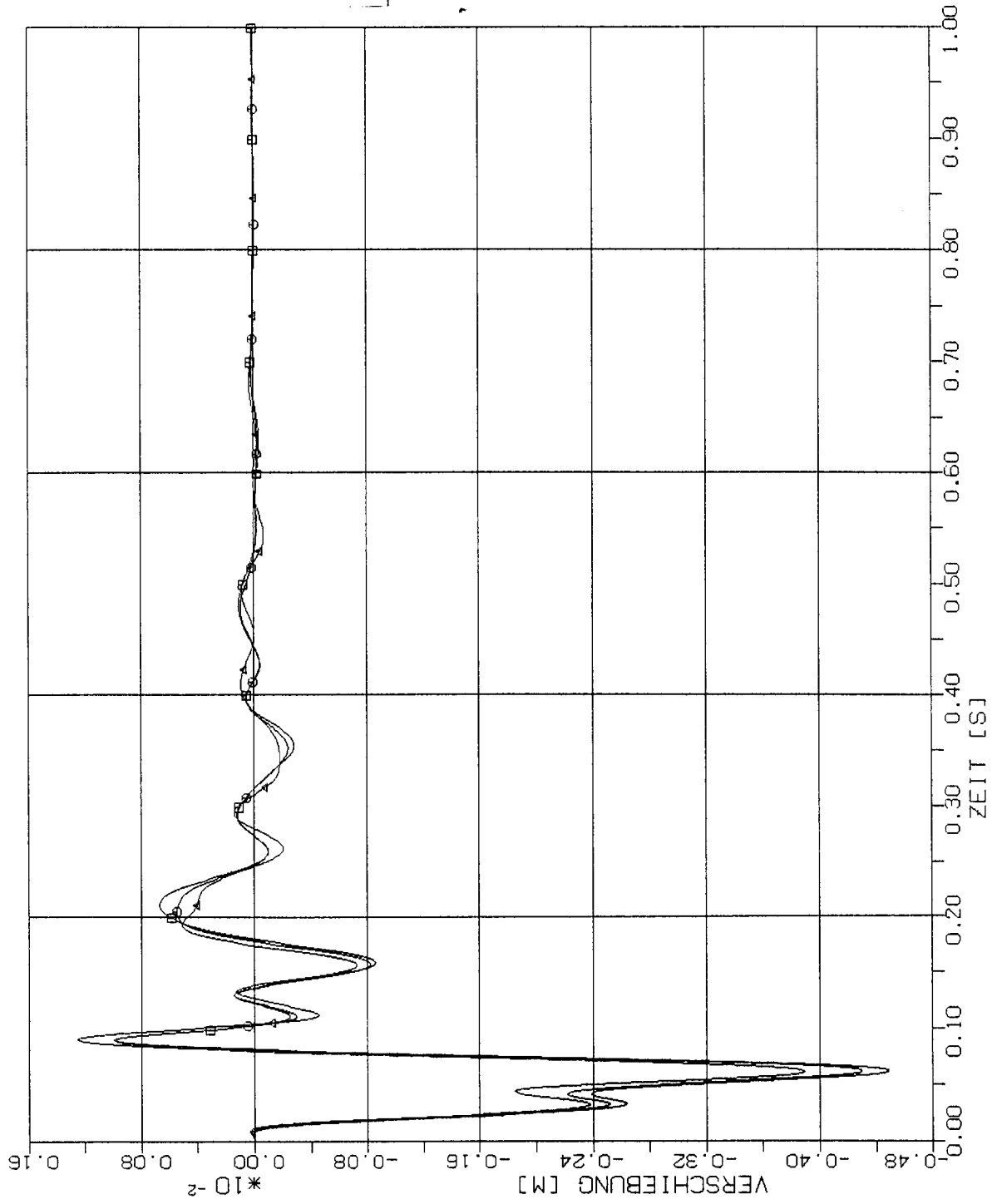
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 4L (401)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m

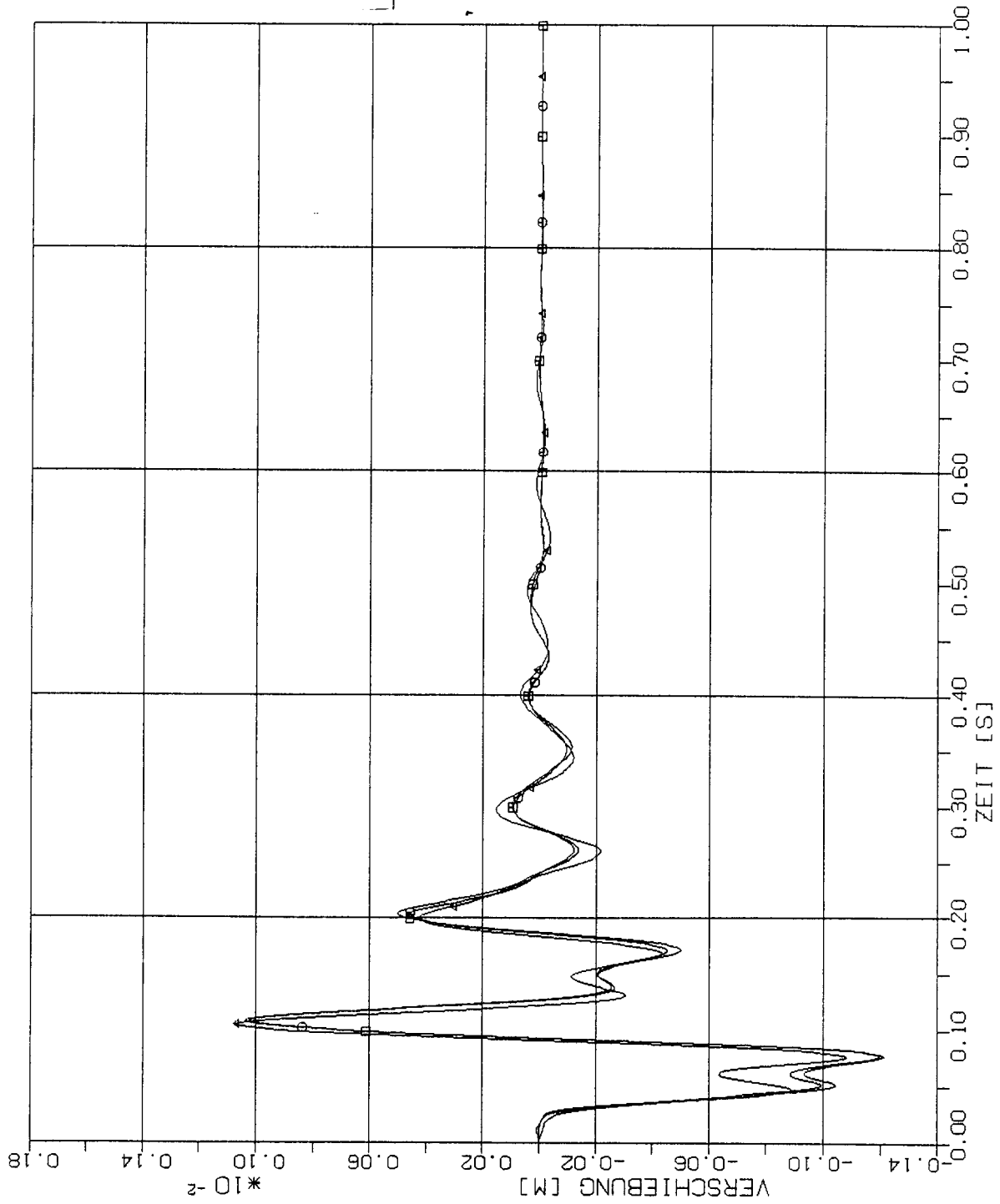
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2L (225)
 VERTIKALE (X3) STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



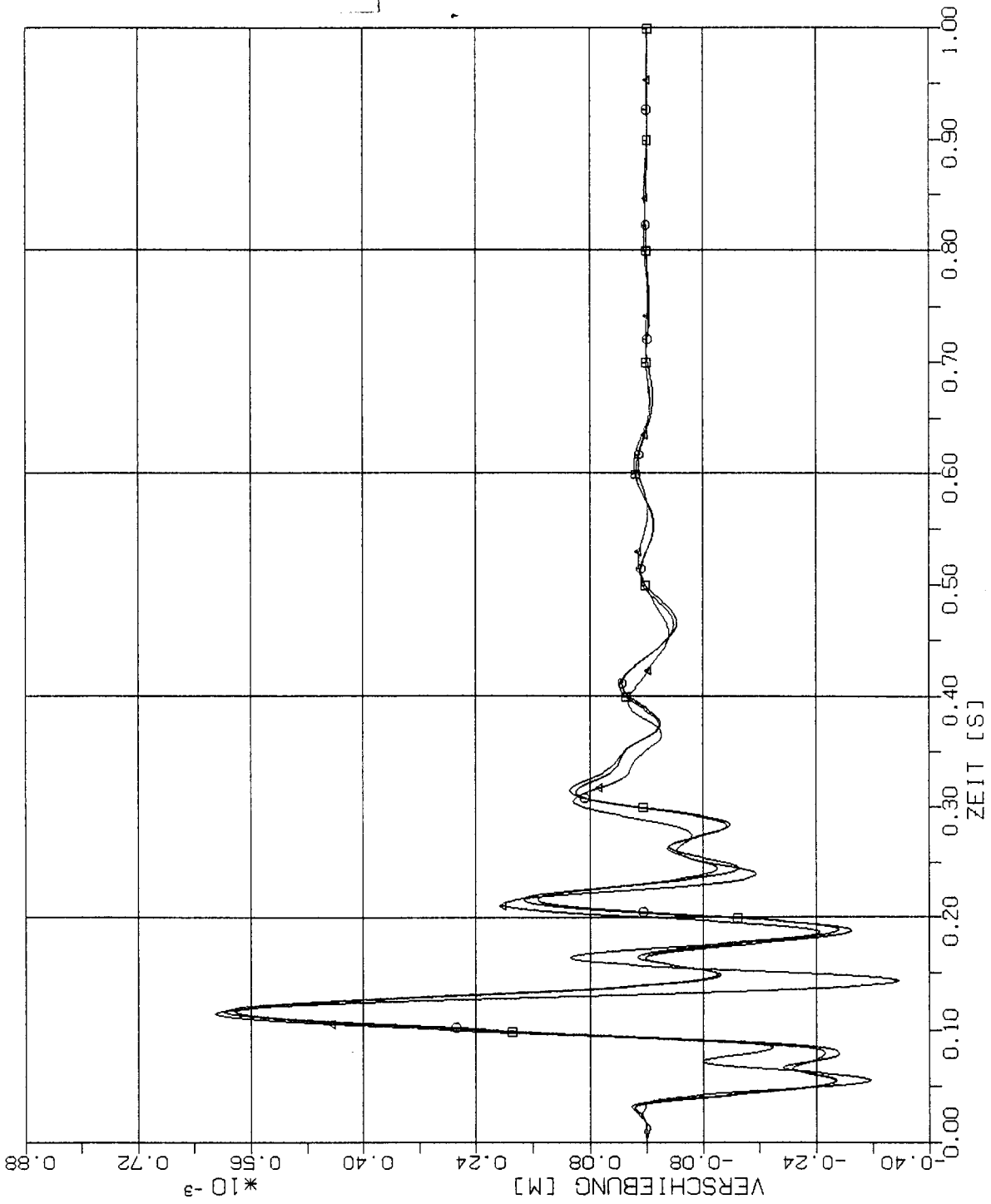
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +3L (217)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



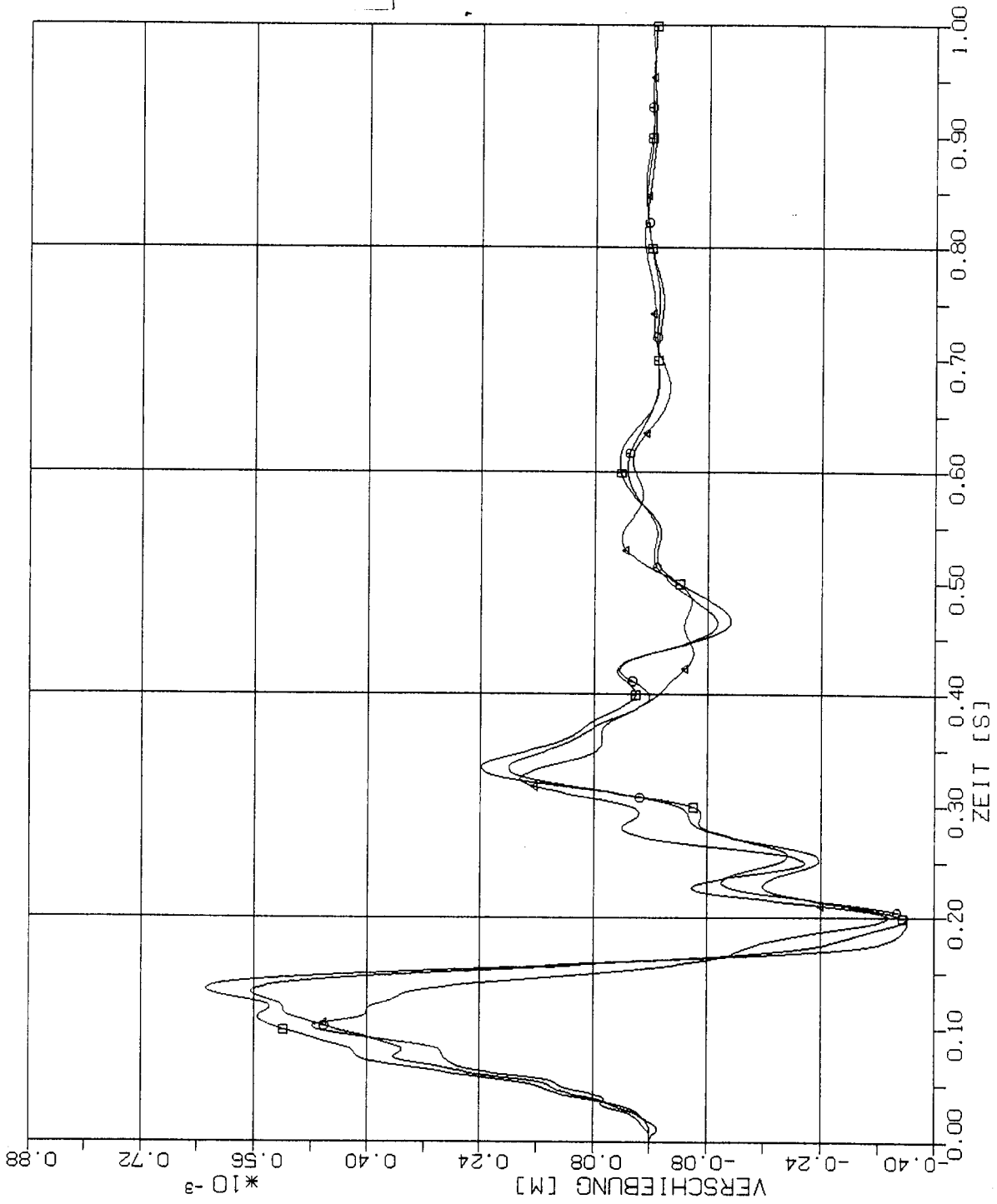
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHLEIBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4L (209)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTIHIRT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



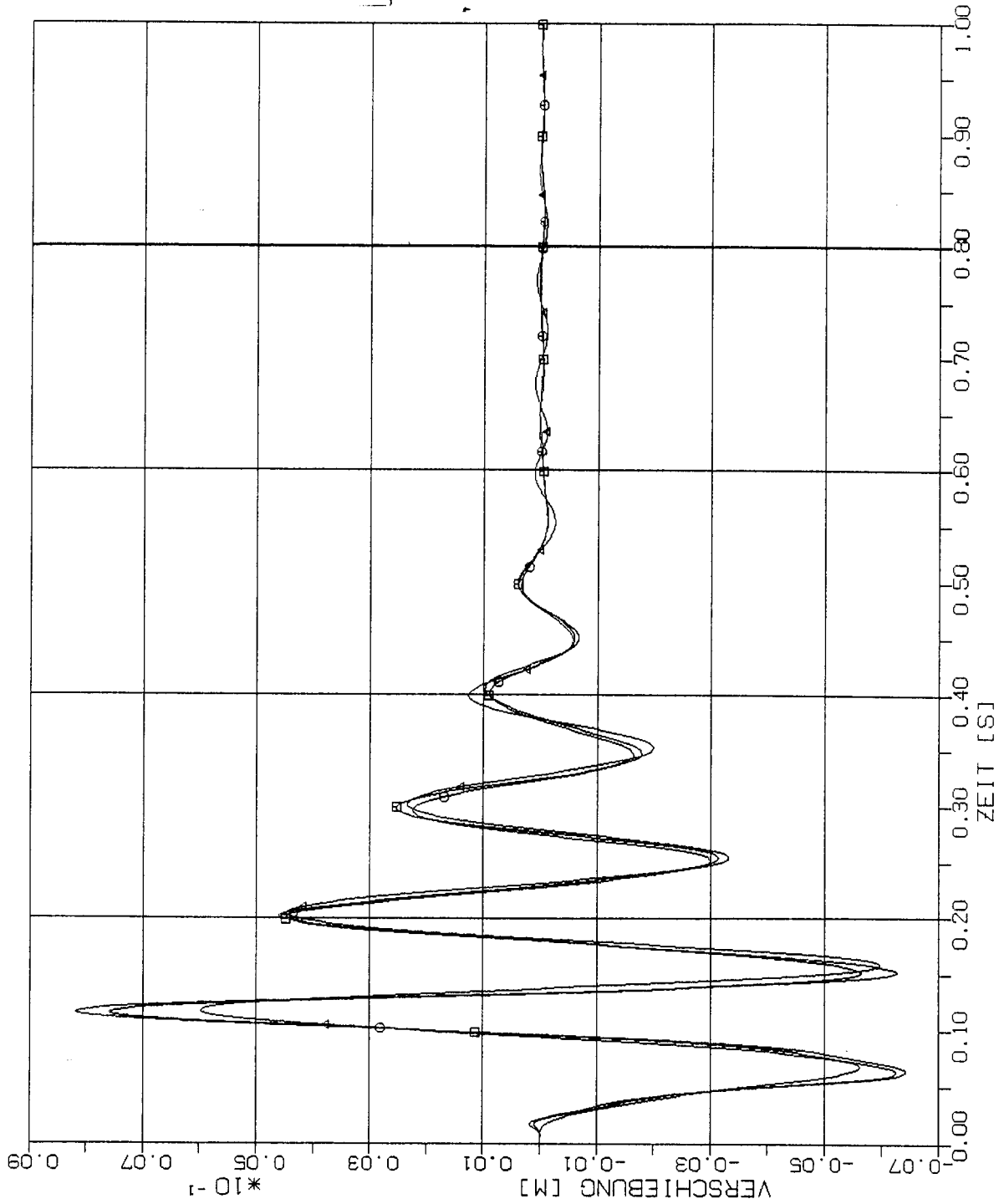
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGANGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +5L (201)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTIQOR IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

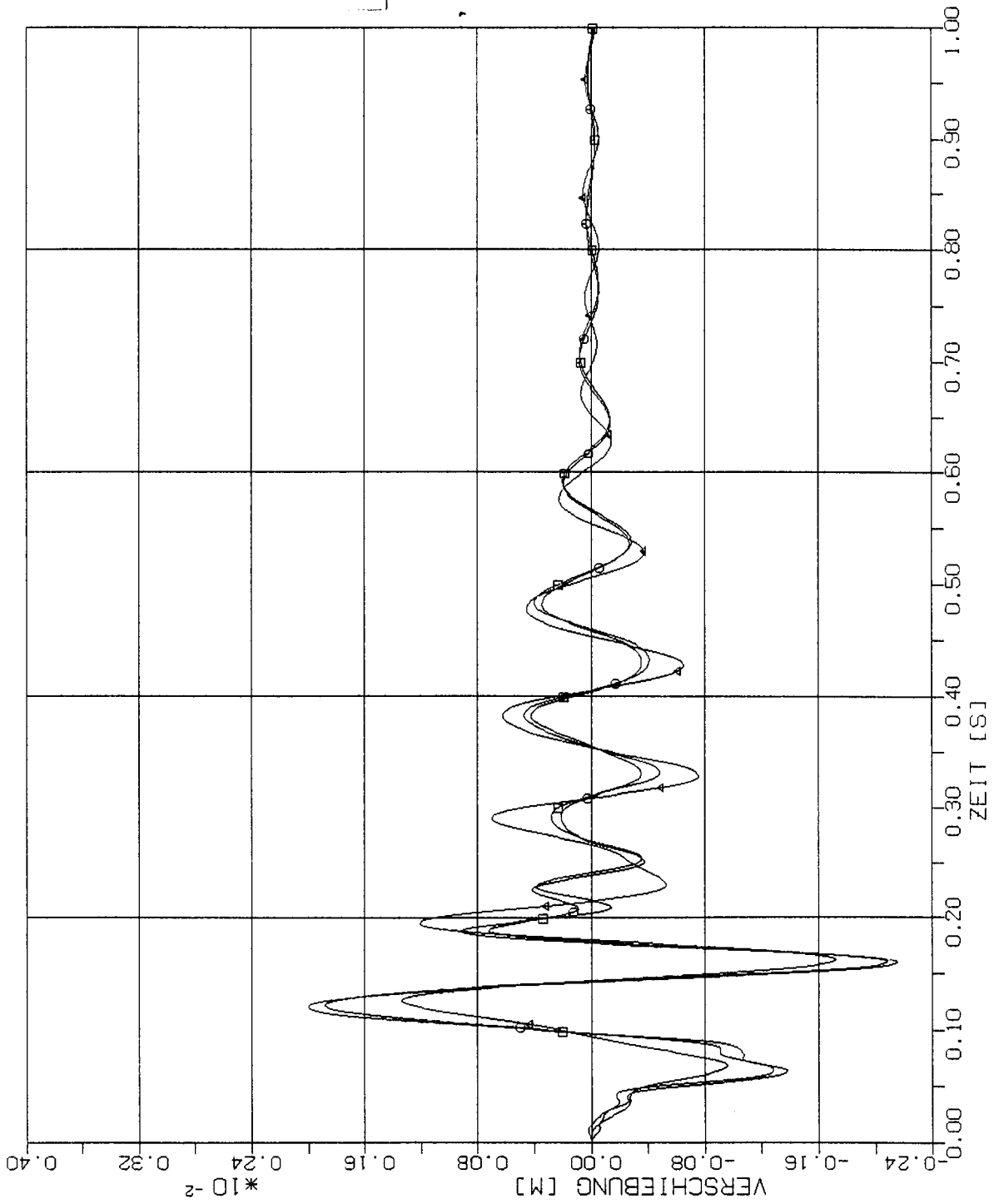
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEUFE PUNKT 1.5D (ZP1)
 VERTIKALE (X3: STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG)

Elementgröße:

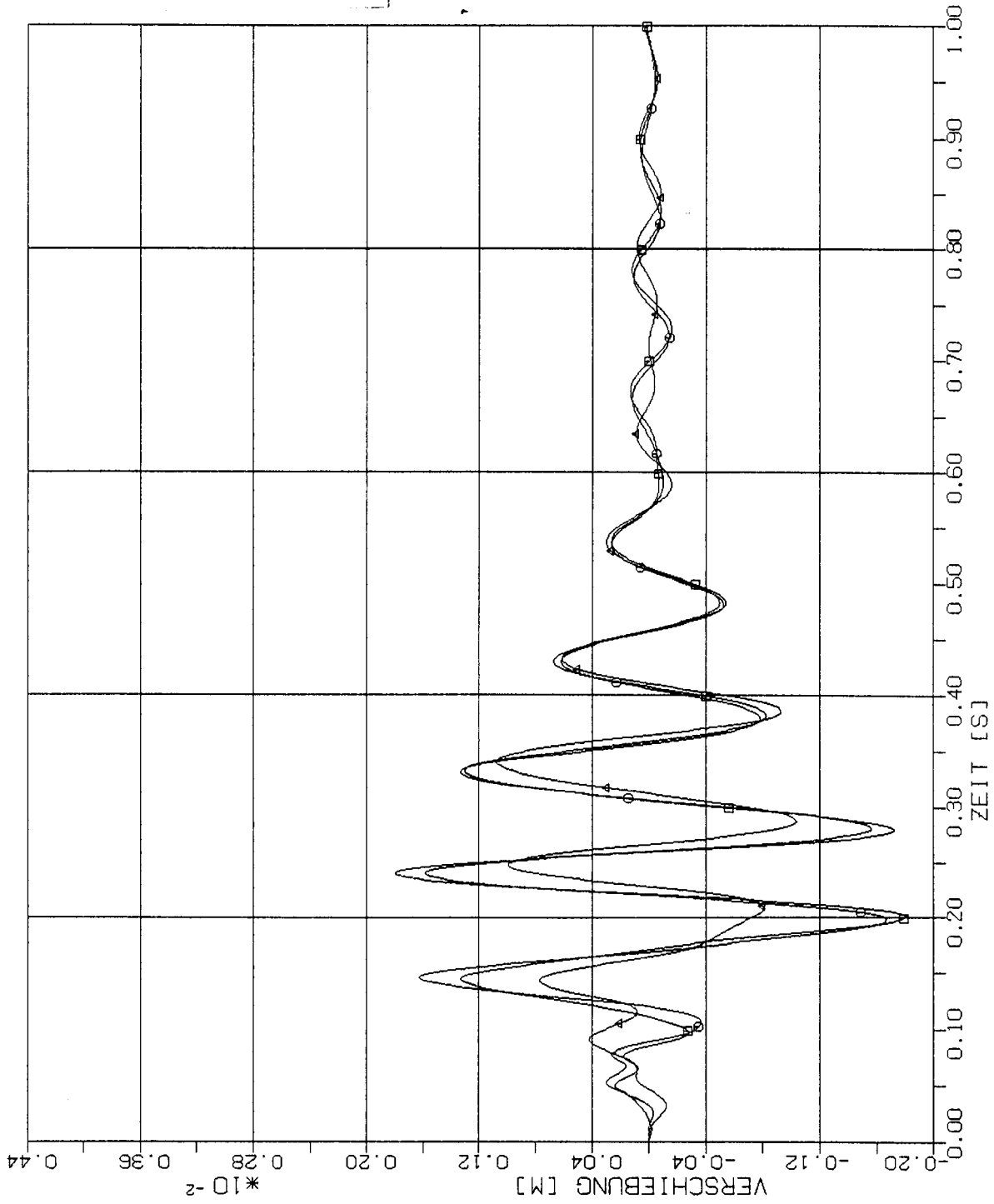
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 2,5D (413)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



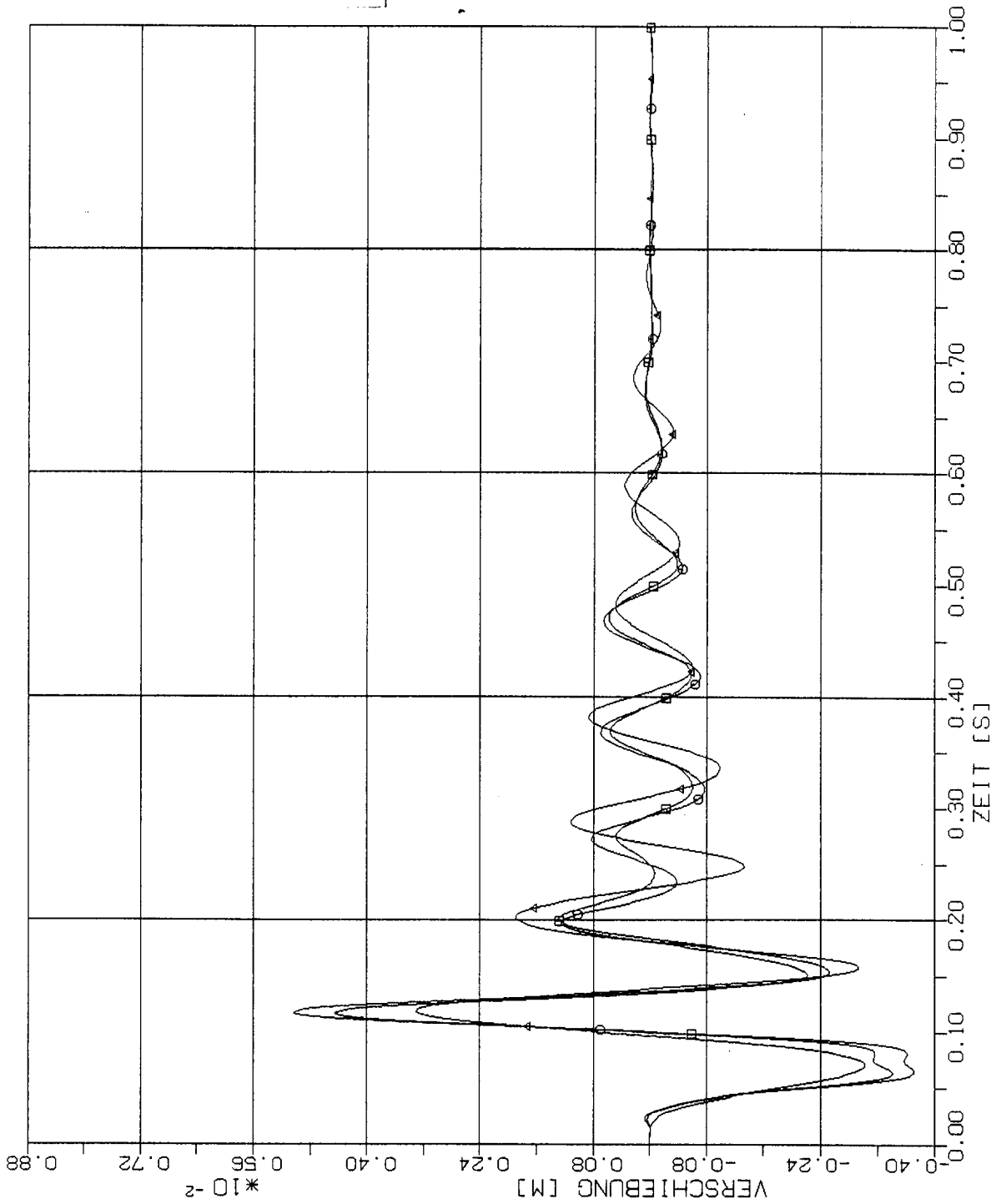
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFUE PUNKT 3.5D (405)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

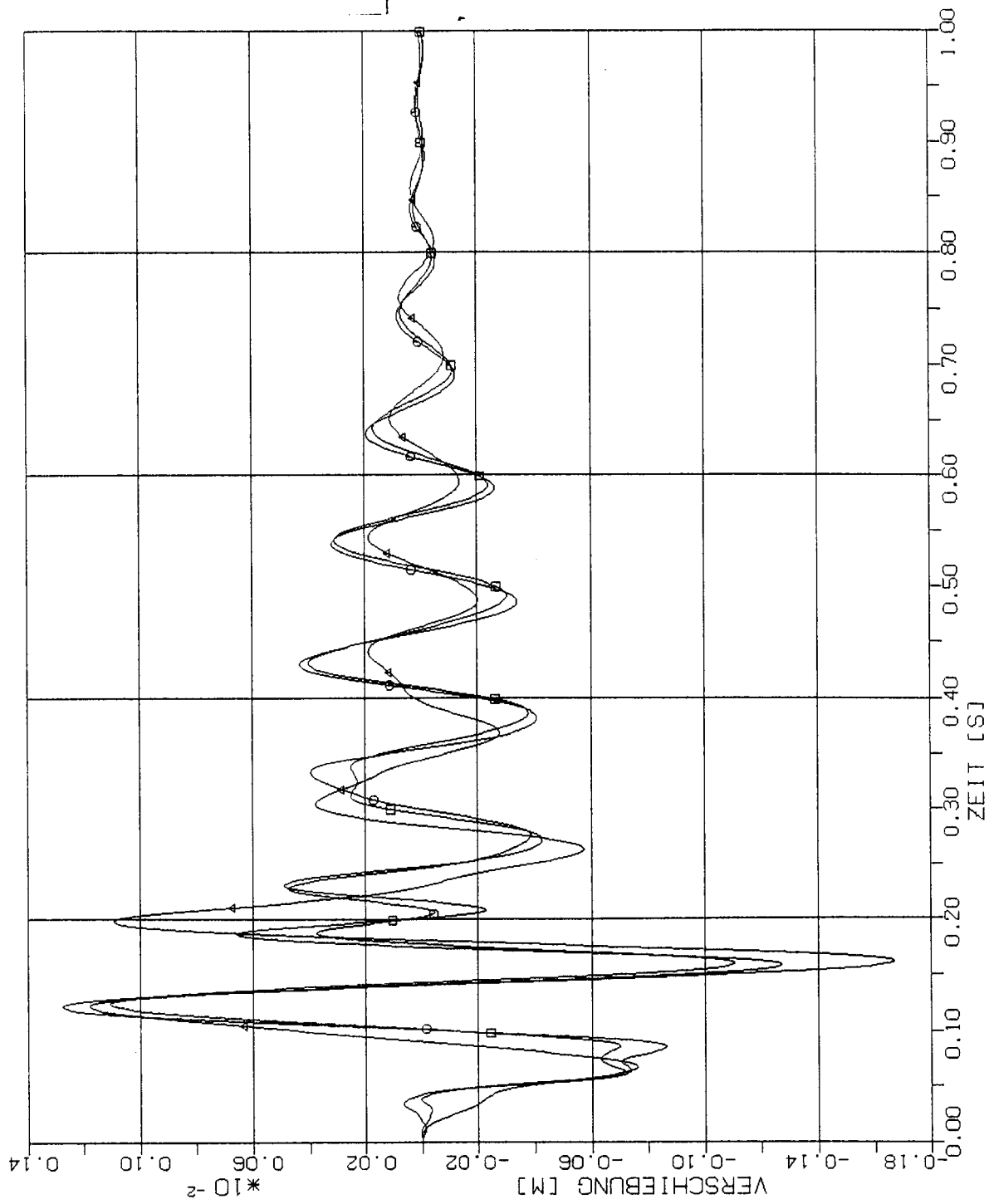
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2.5D (221)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



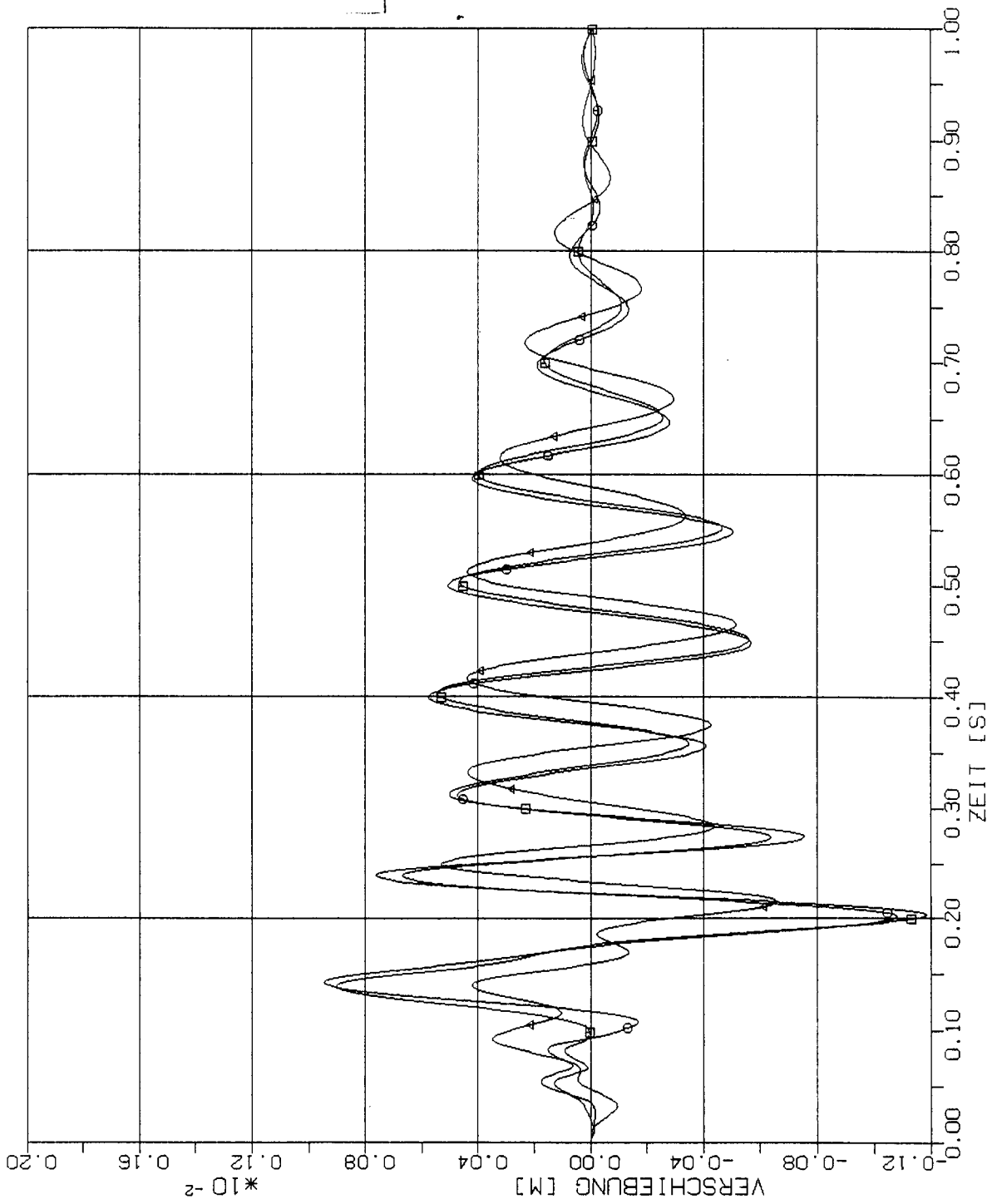
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +3.50 (Z13)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTIKURT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

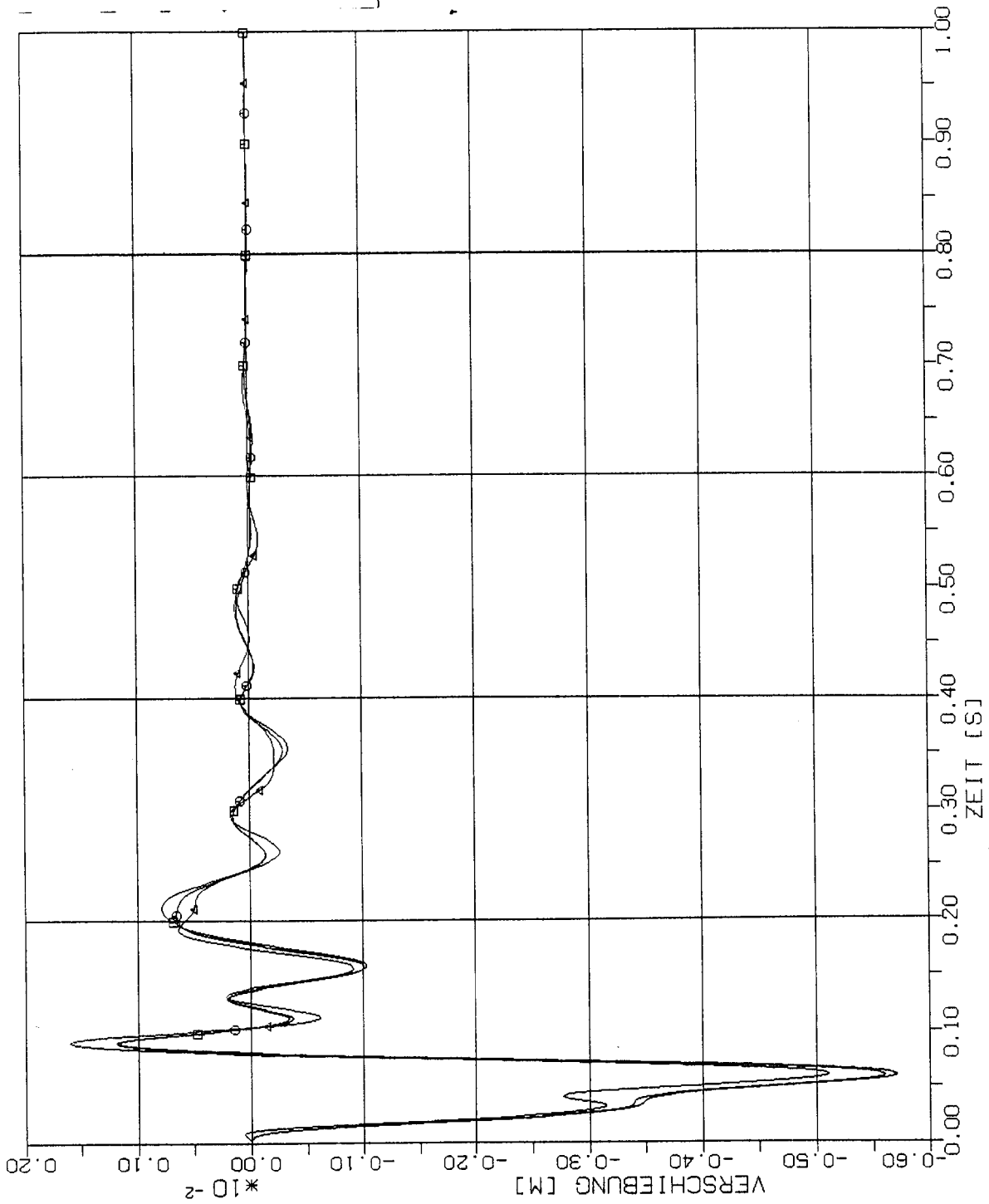
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



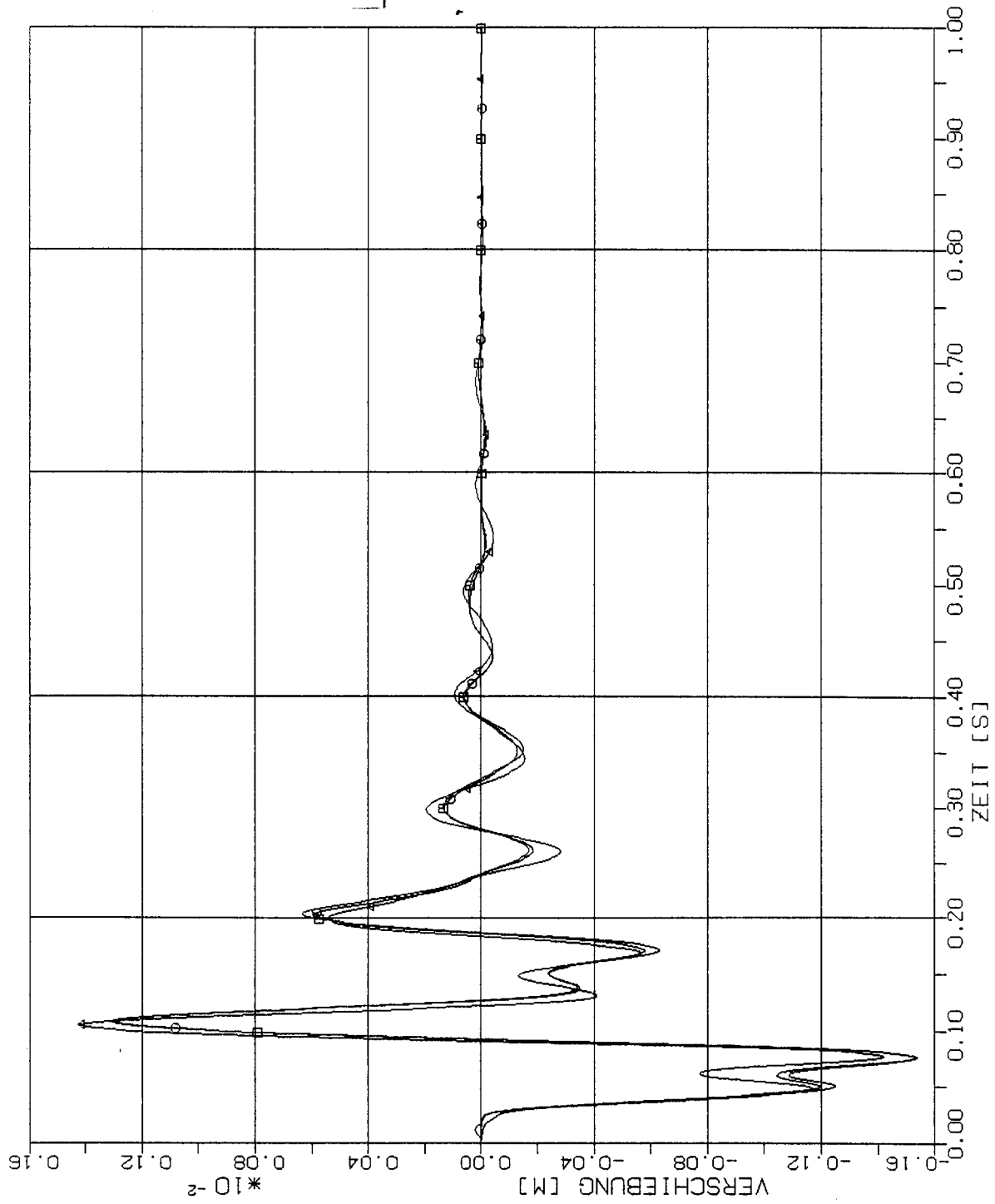
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +4,5D (205)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAEufe PUNKT +1,5H (325)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTIHORT IN X3-RICHTUNG



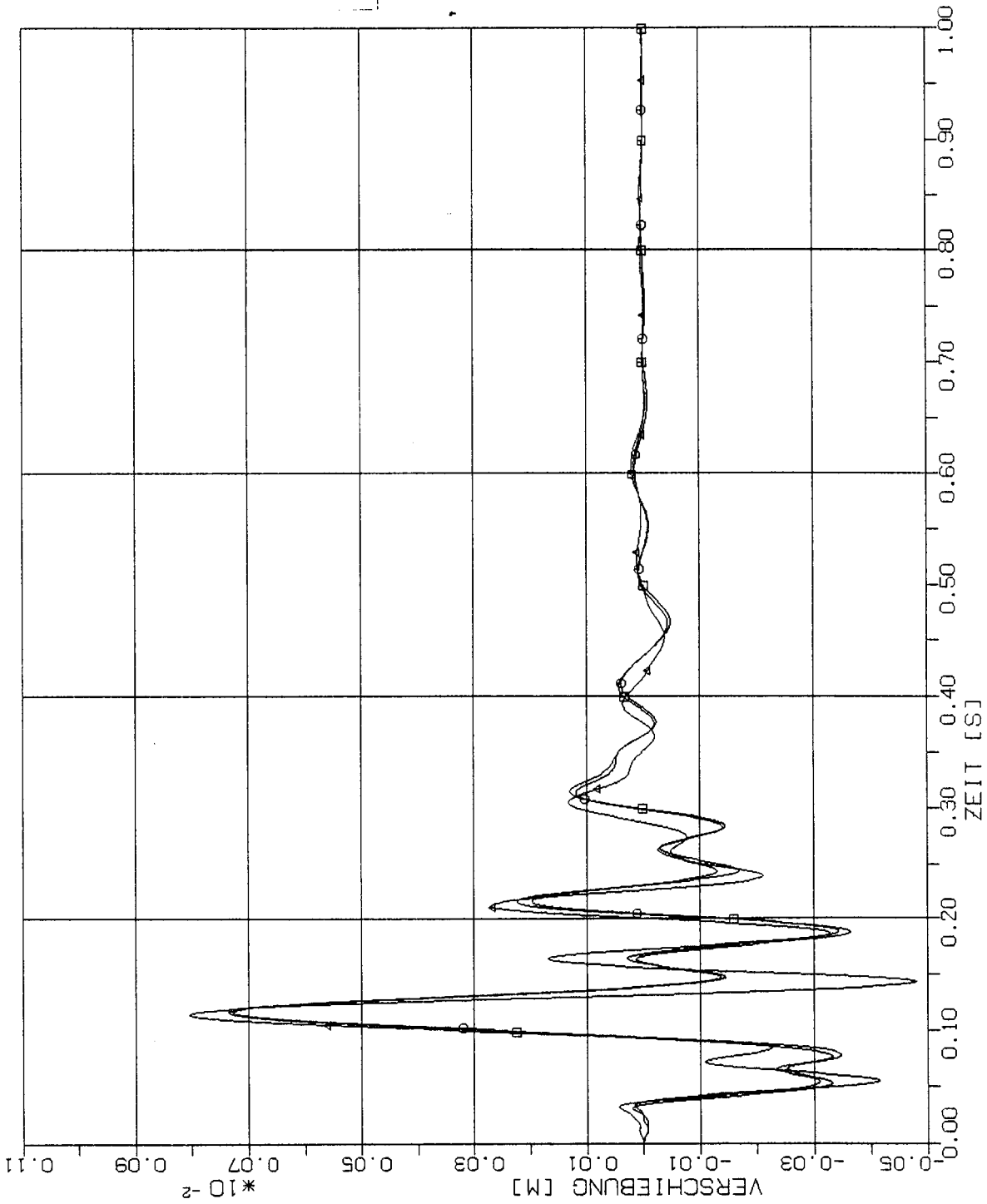
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2.5W (317)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

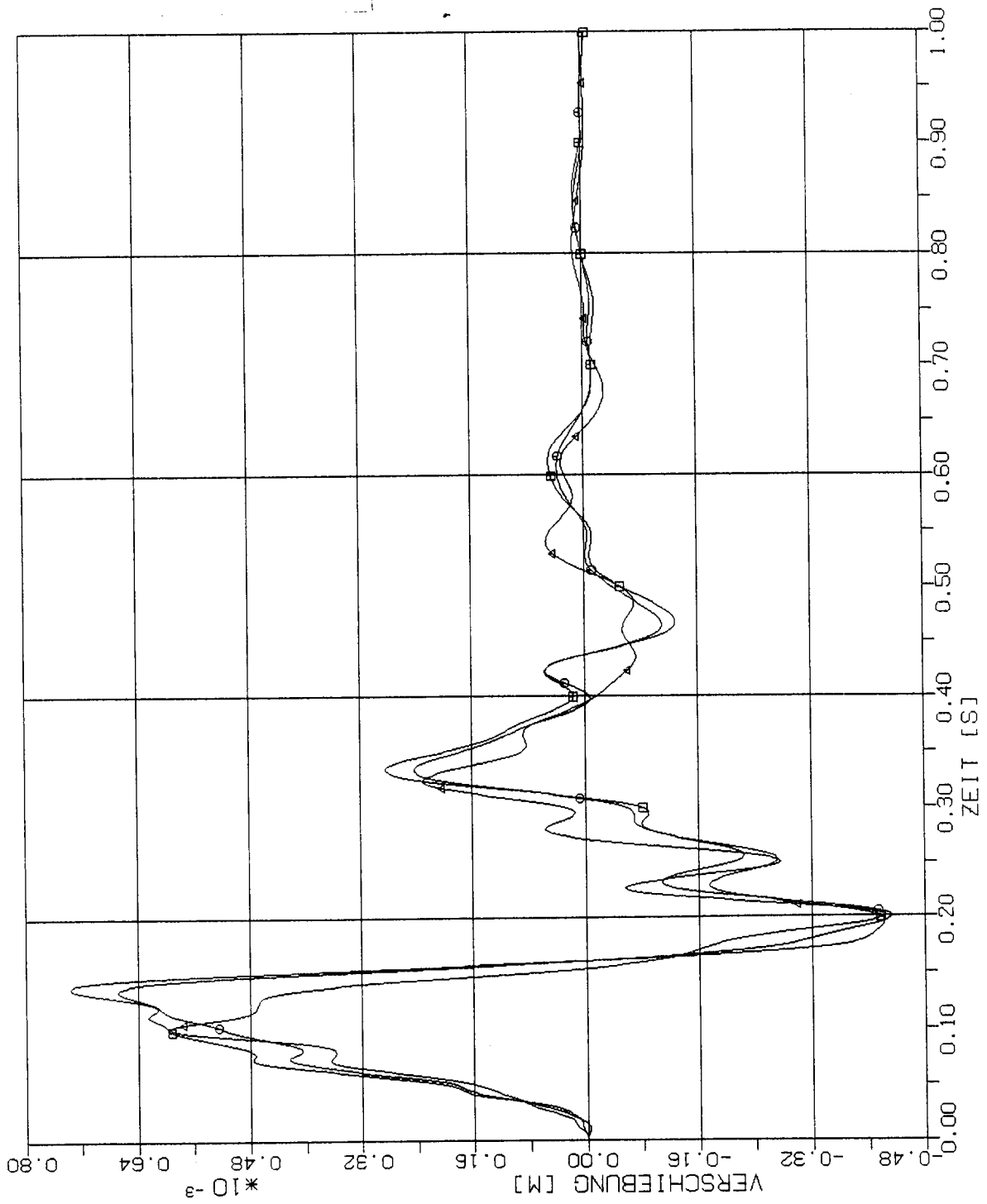
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEUGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.5W (309)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



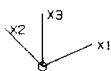
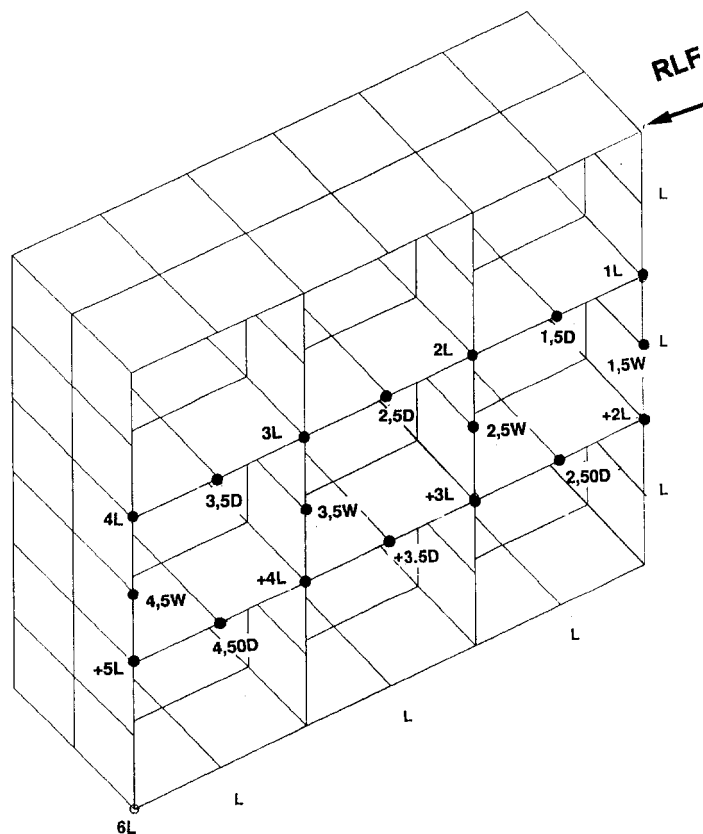
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE PUNKT +4.5M (301)
 VERTIKALE (X3) STOSSELÄSTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Zwischenblatt

3

**Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in
den charakteristischen Beobachtungspunkten des
kastenförmigen Modellbauwerks bei
verschiedenen Diskretisierungen**

3.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung

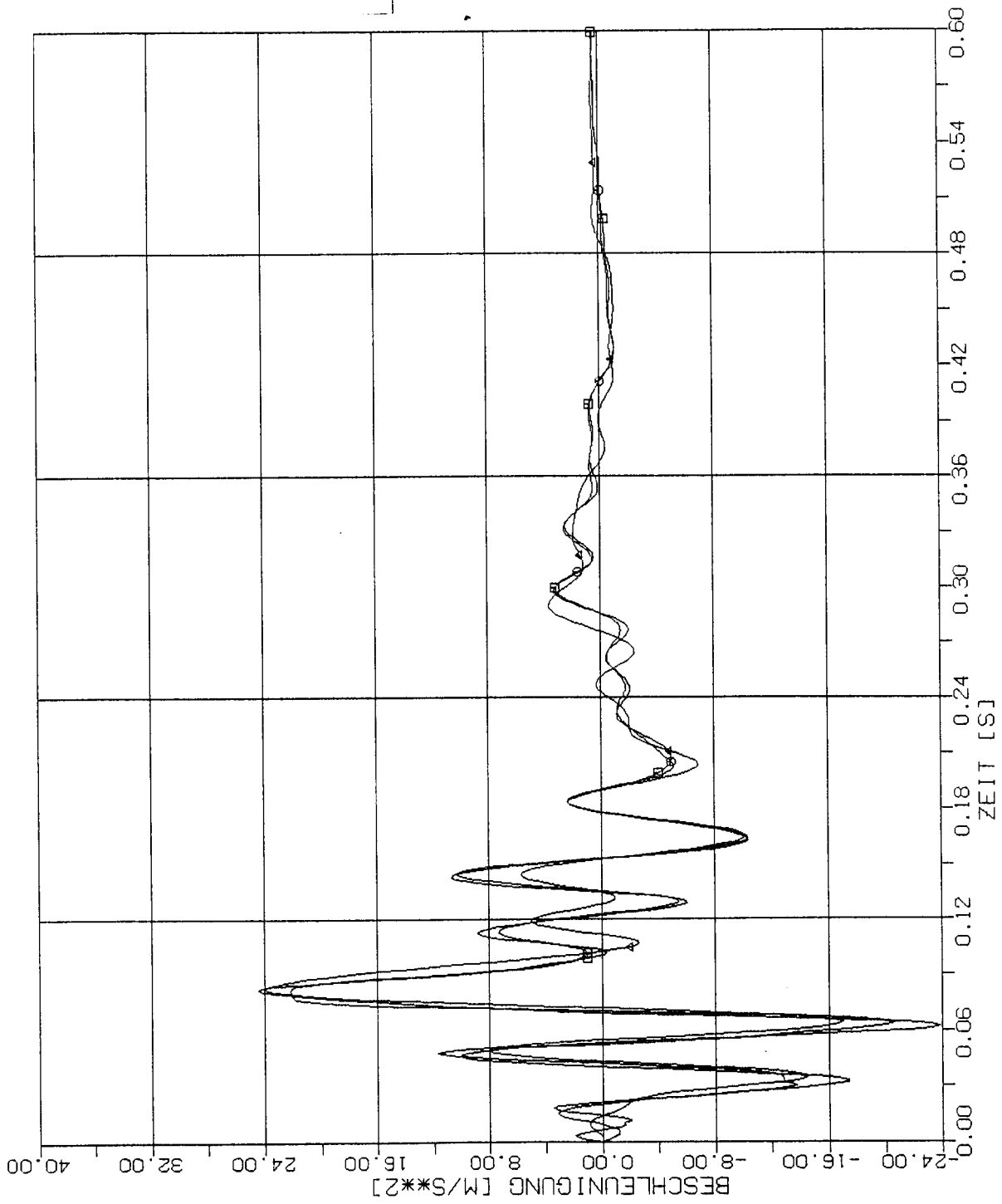


Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

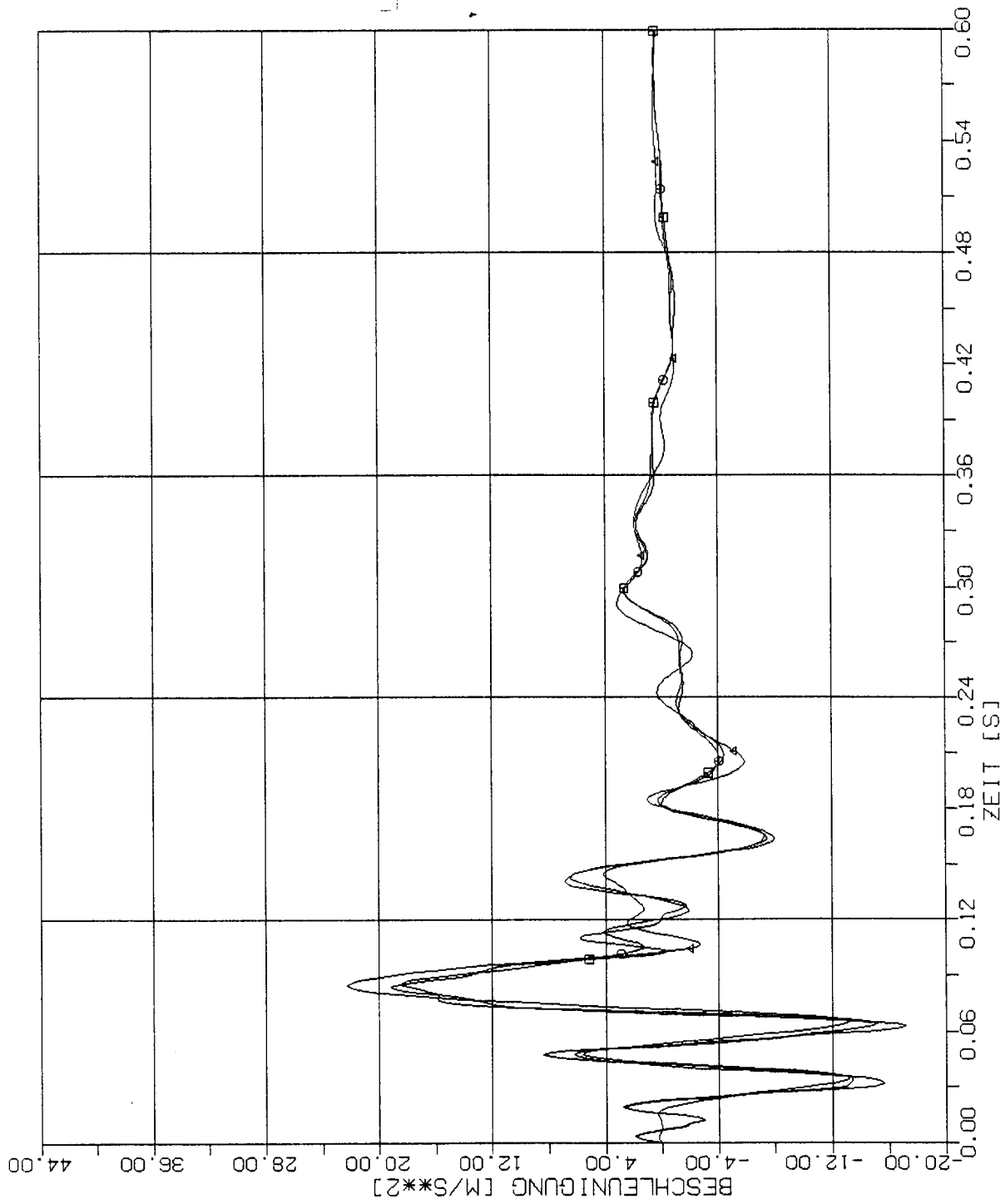
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 1L (425)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



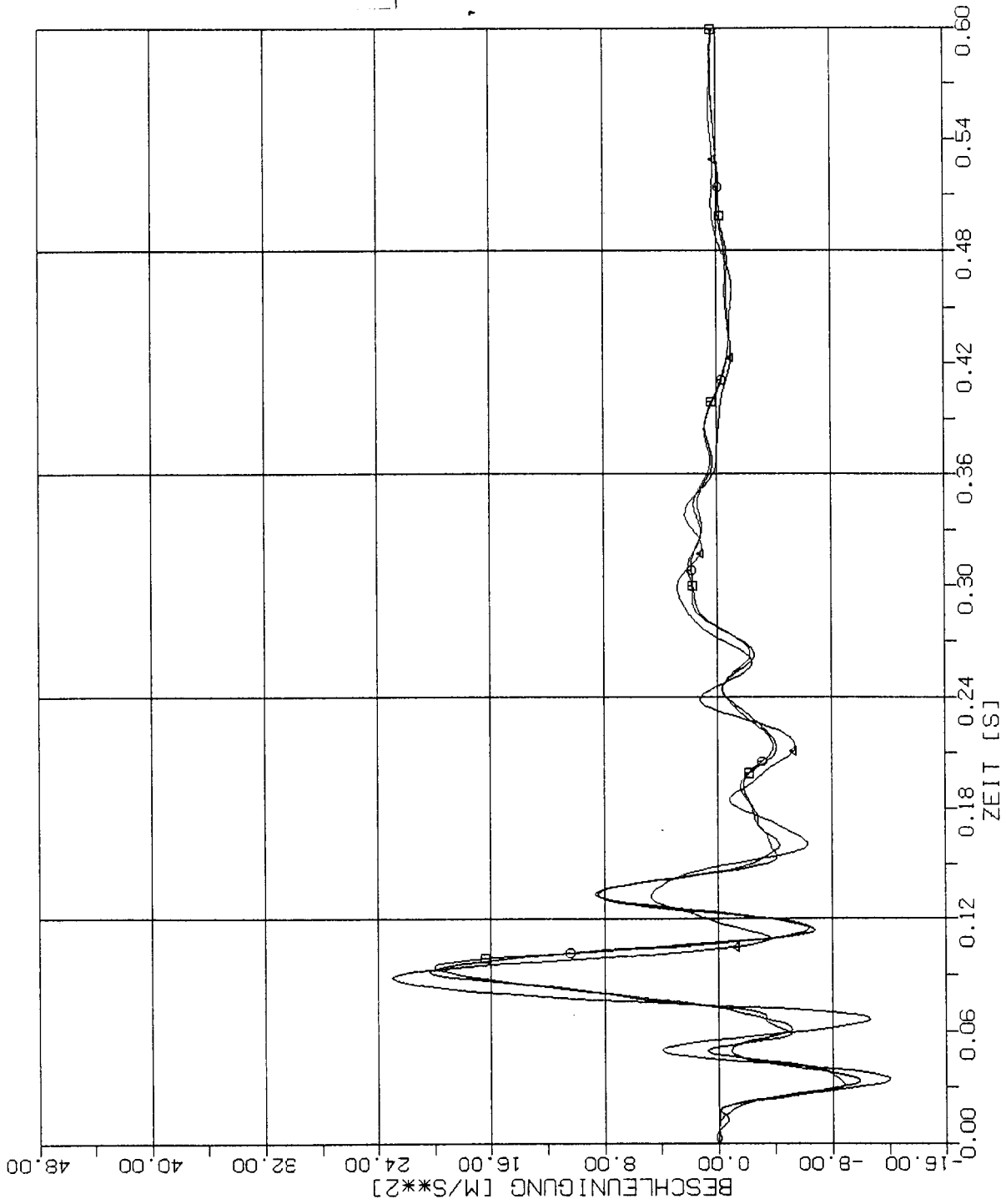
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT ZL (417)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

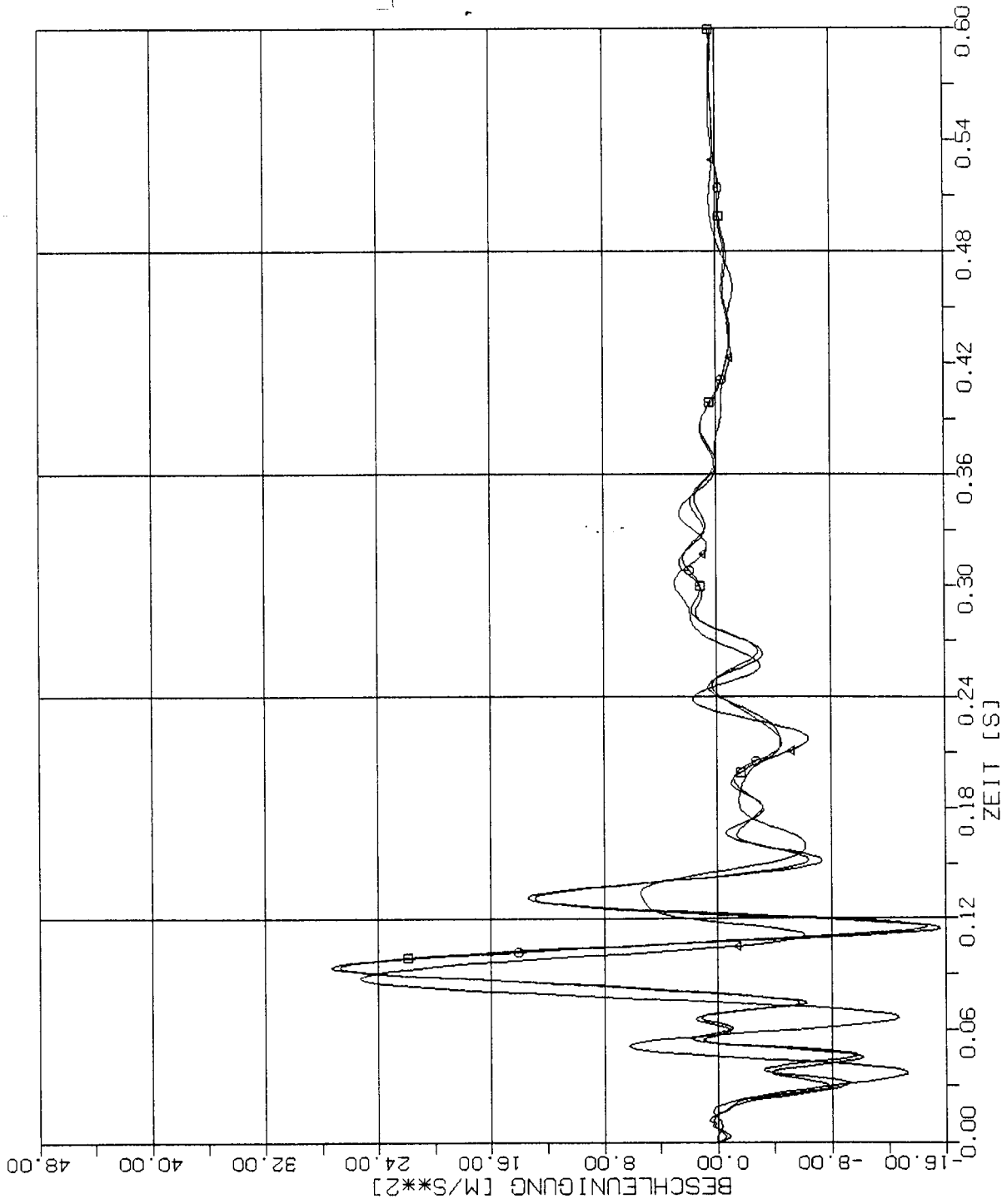
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3L (409)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



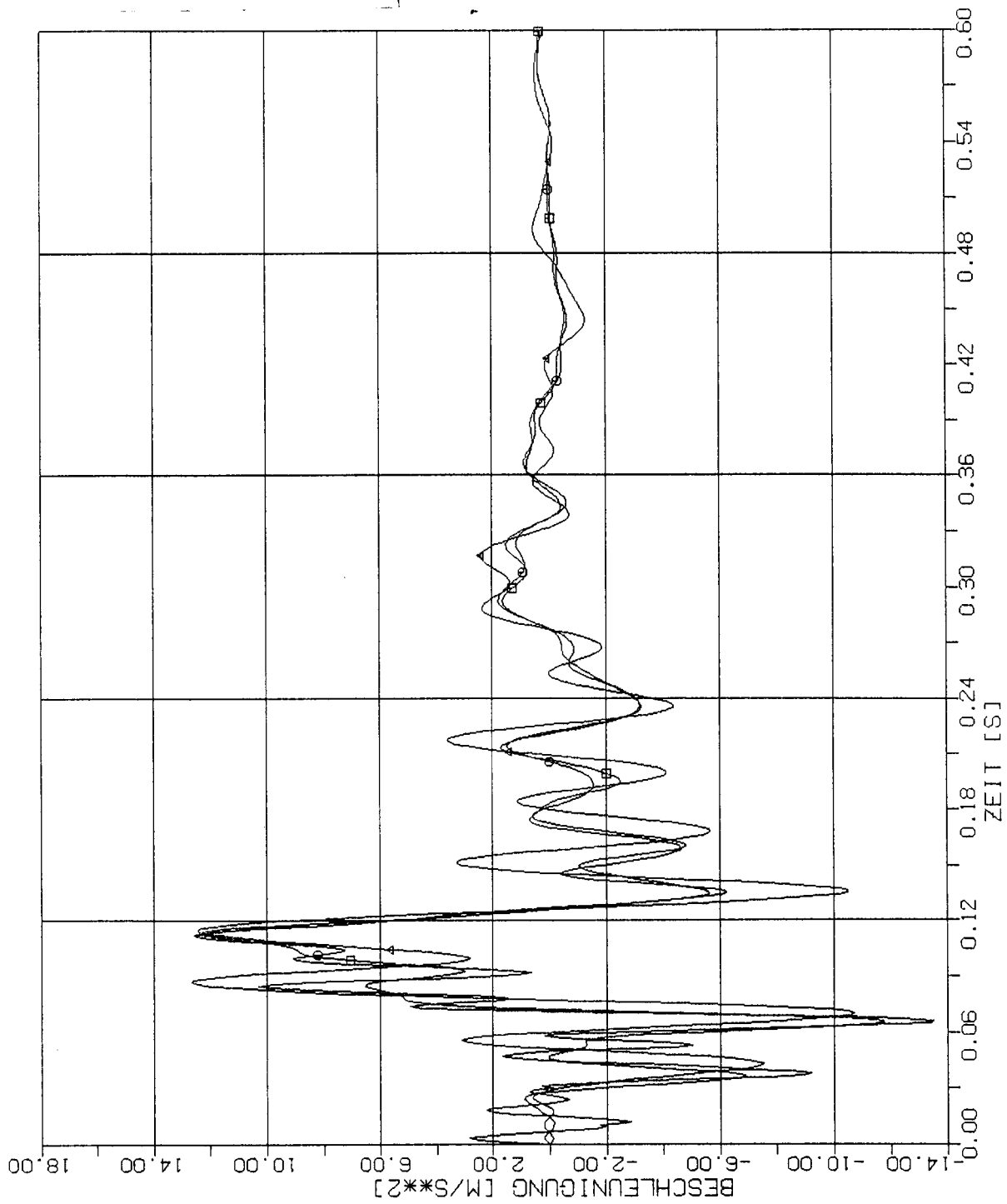
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 4L (401)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



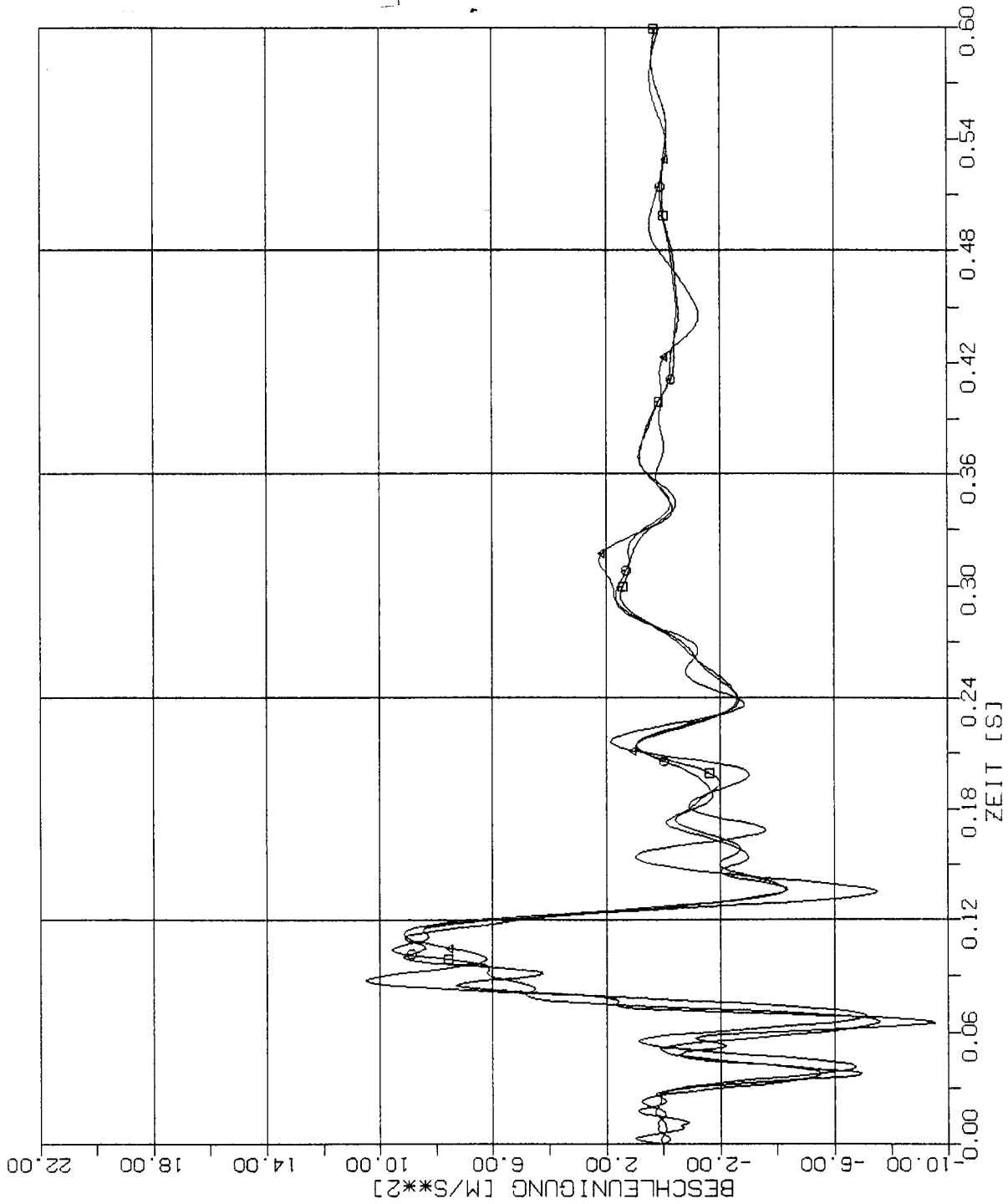
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFUE PUNKT +2L (225)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



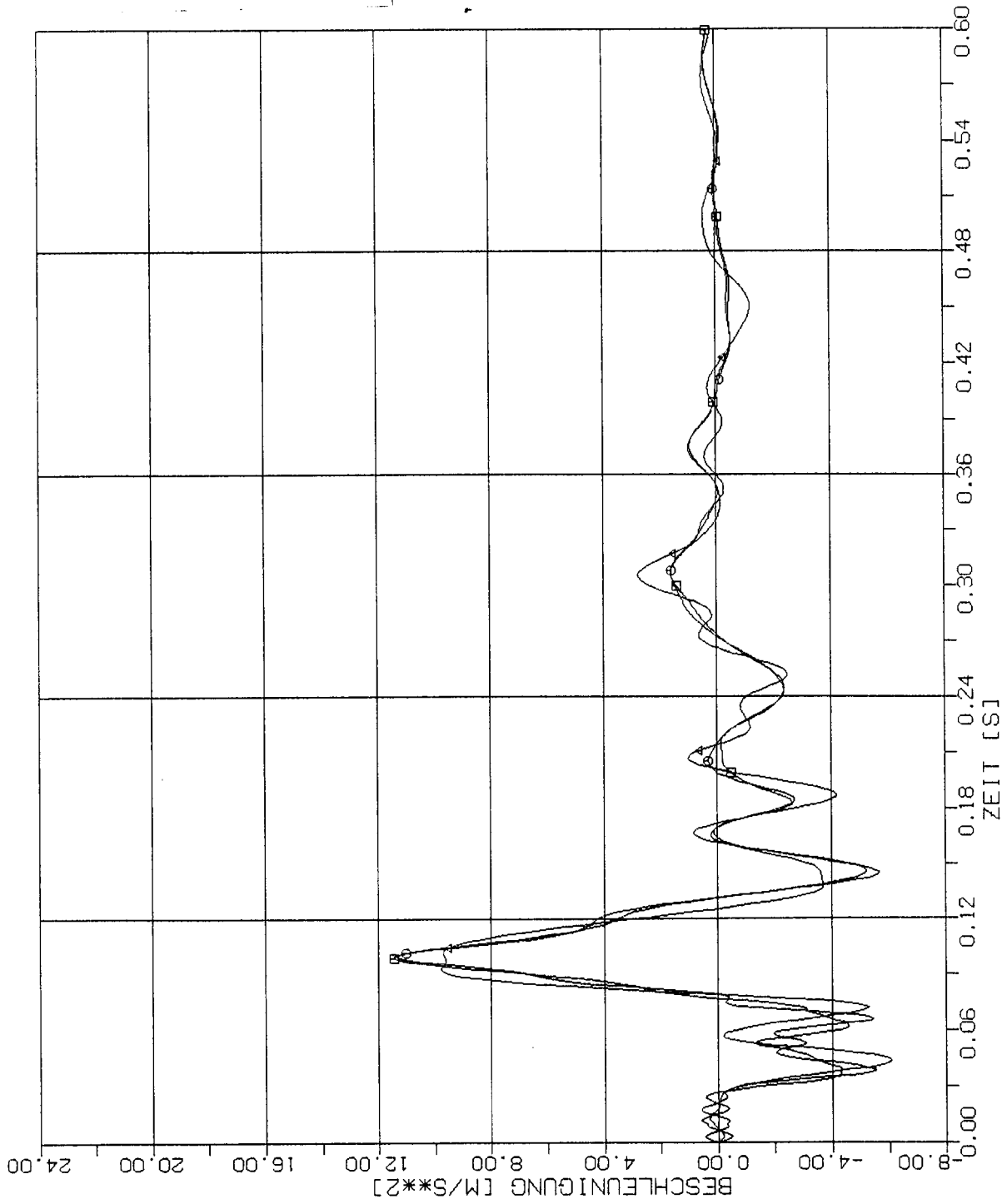
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +3L (217)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

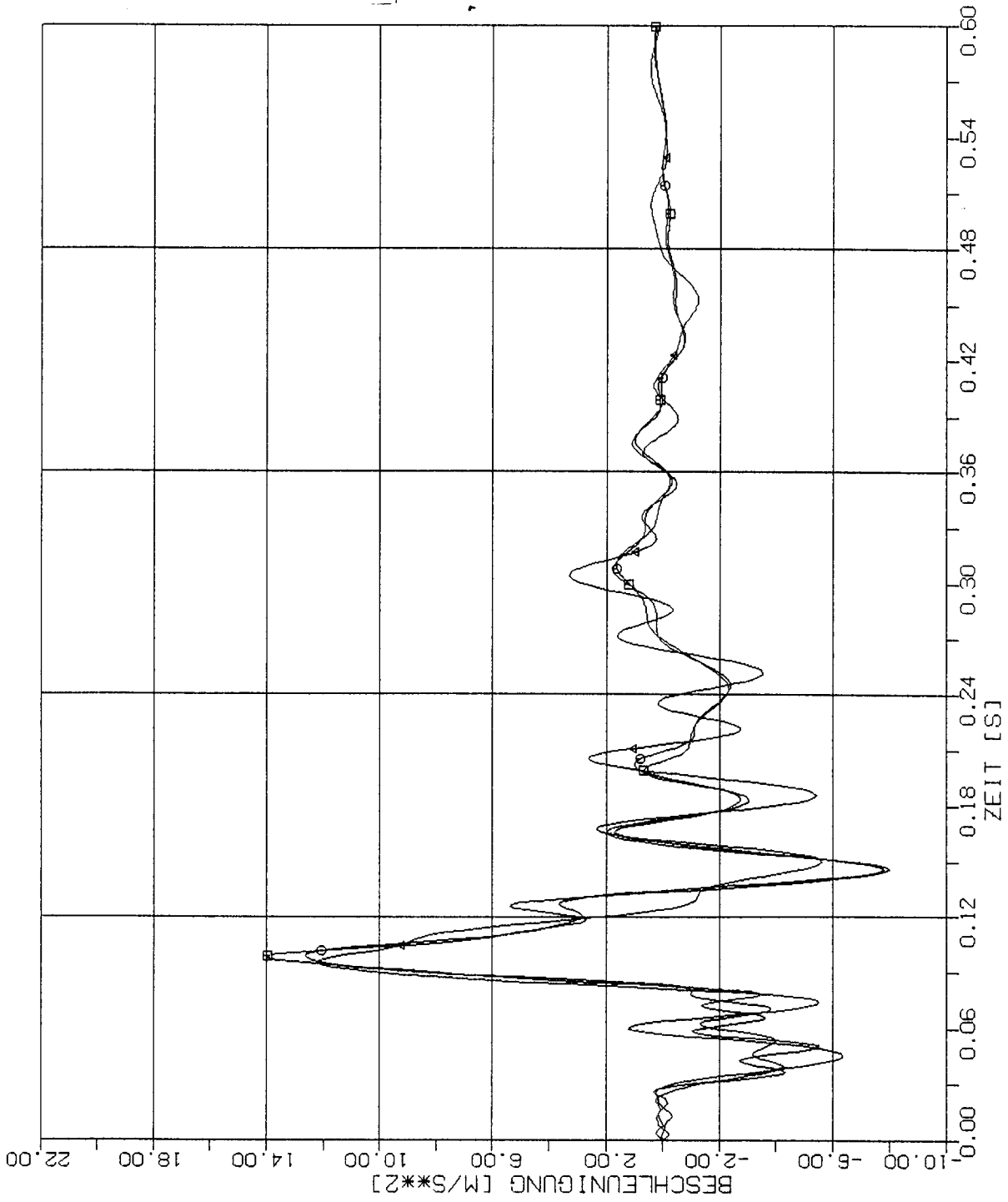
△-△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4L (209)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

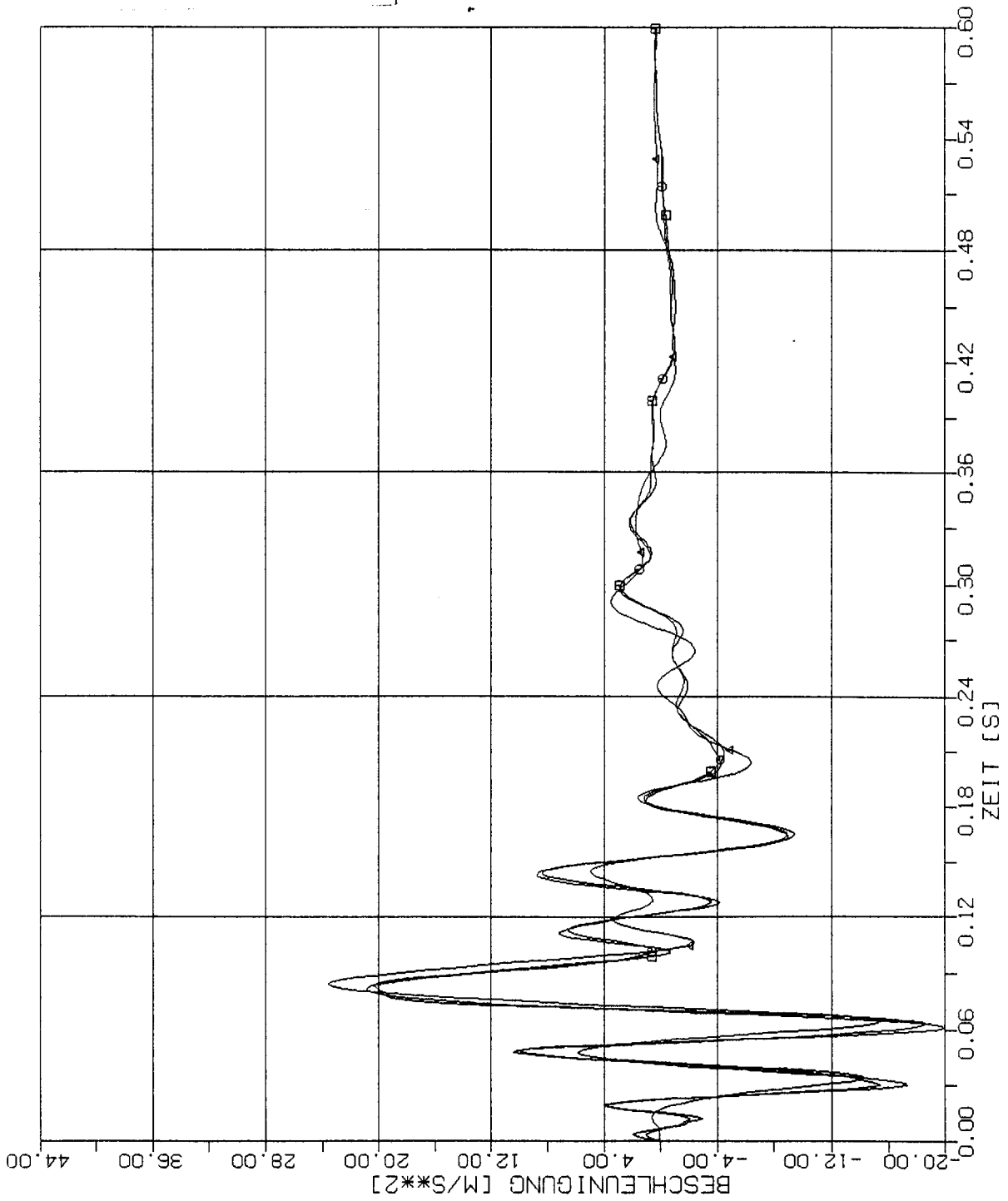
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +5L (201)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

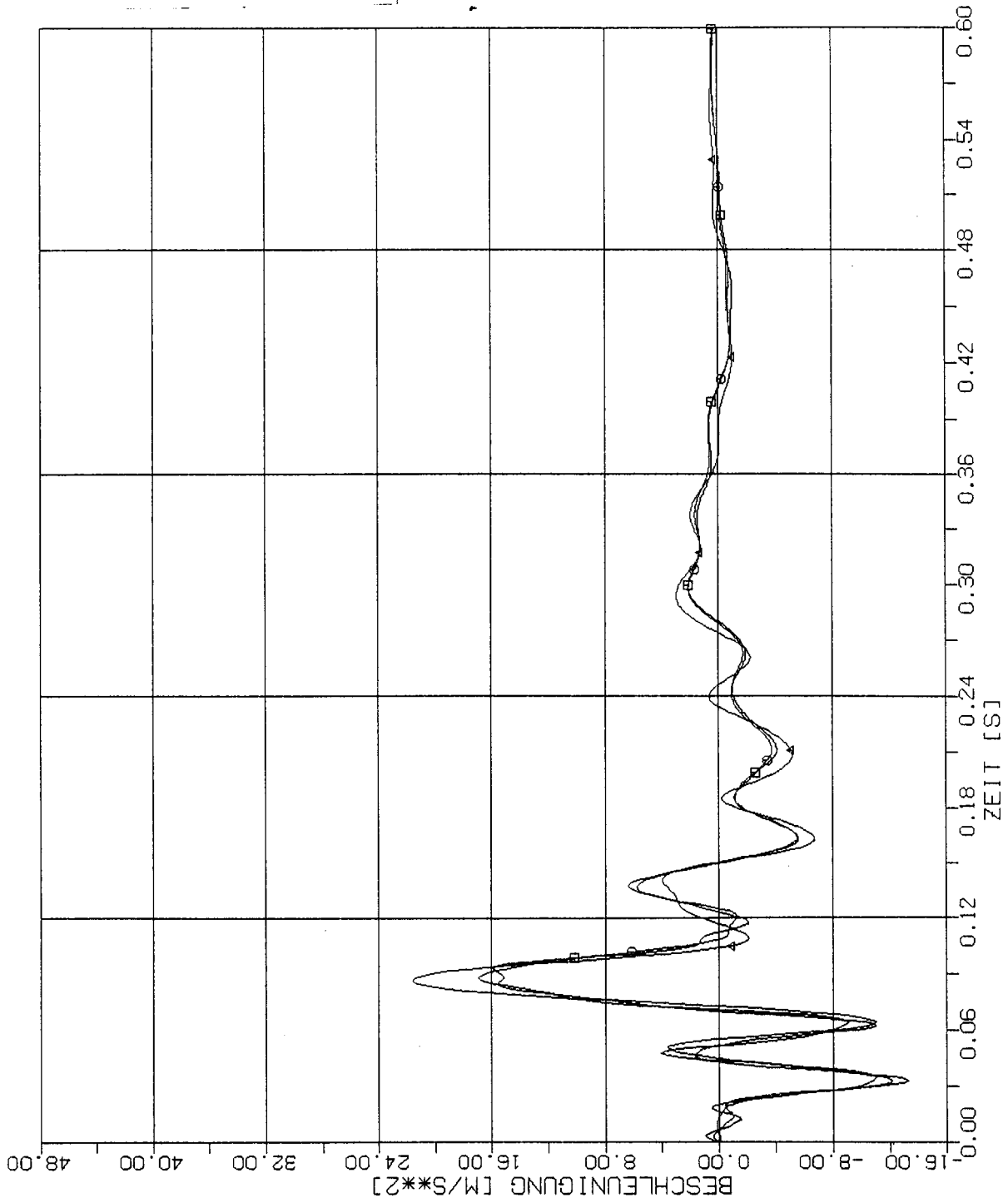
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 1.50 (421)
HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



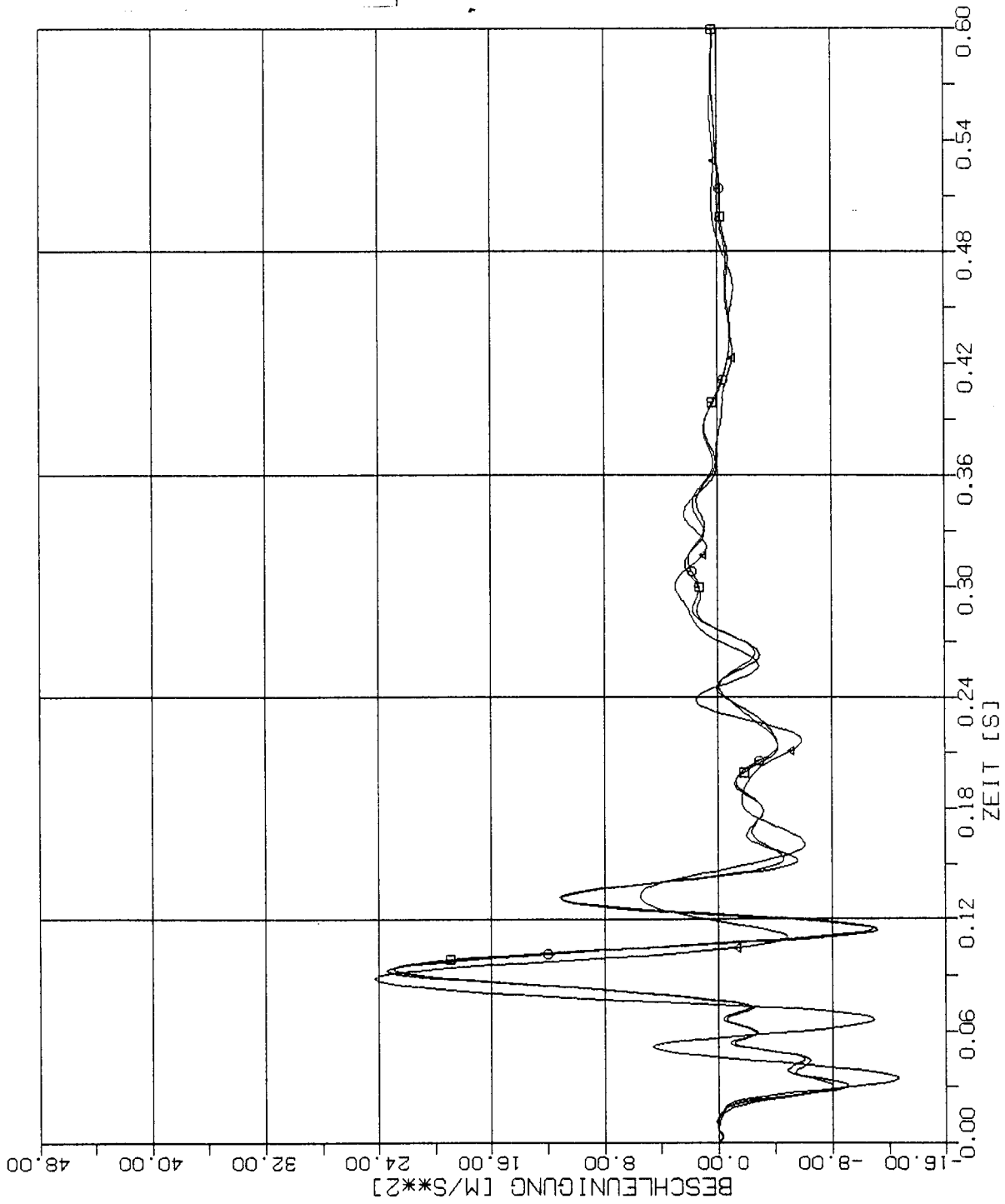
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 2.50 (413)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

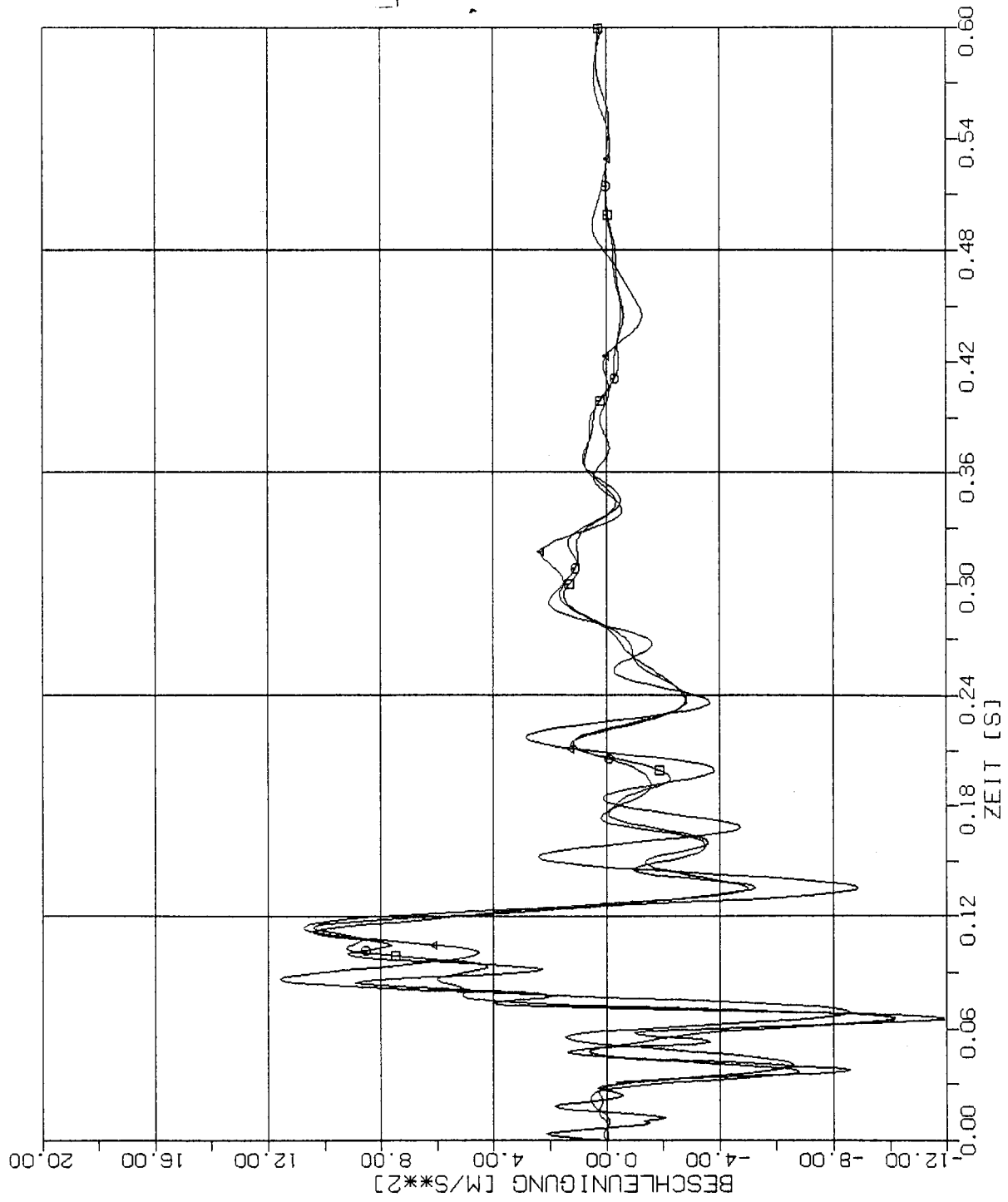
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



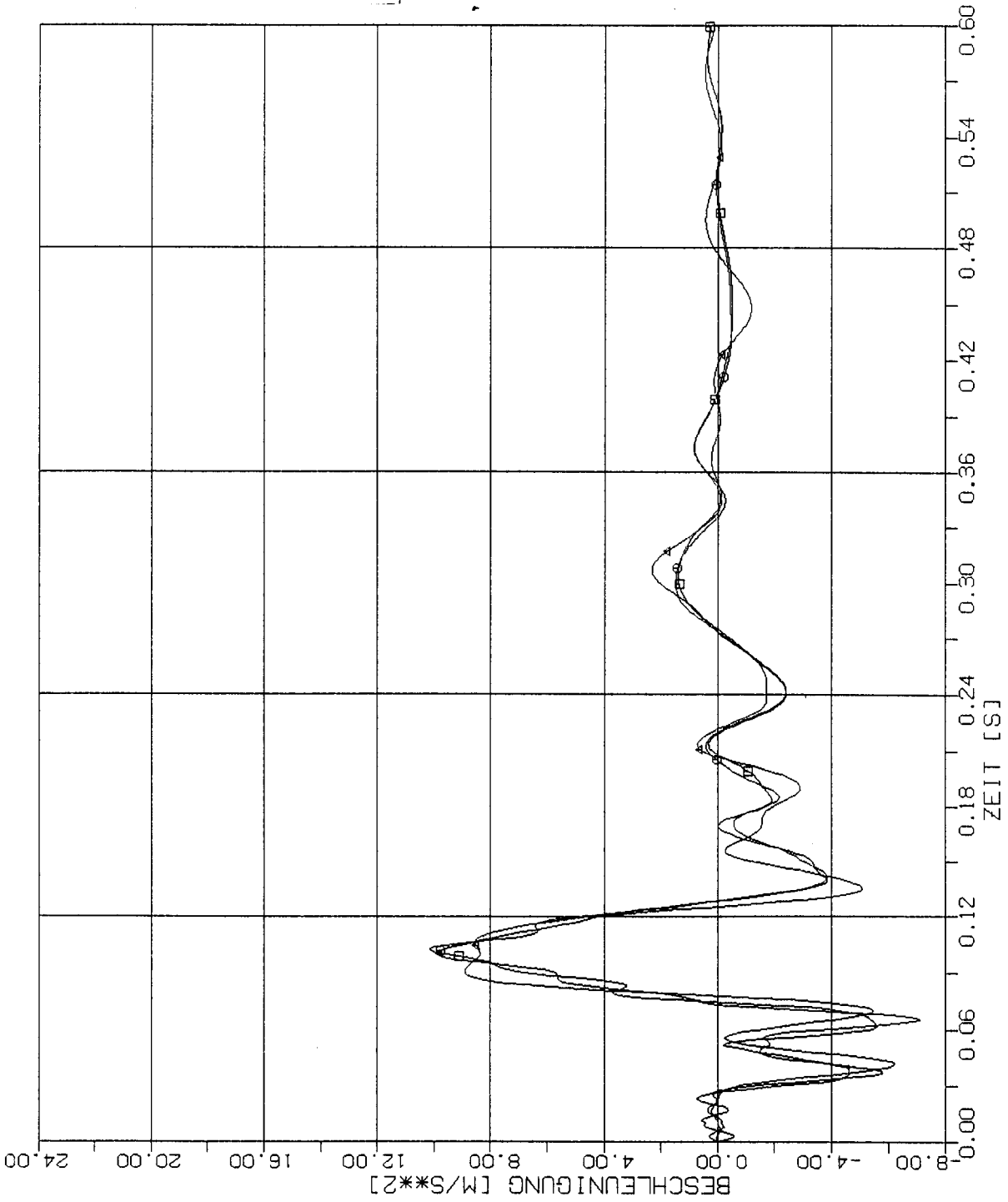
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3.50 (405)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BEACHELEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2.50 (221)
HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



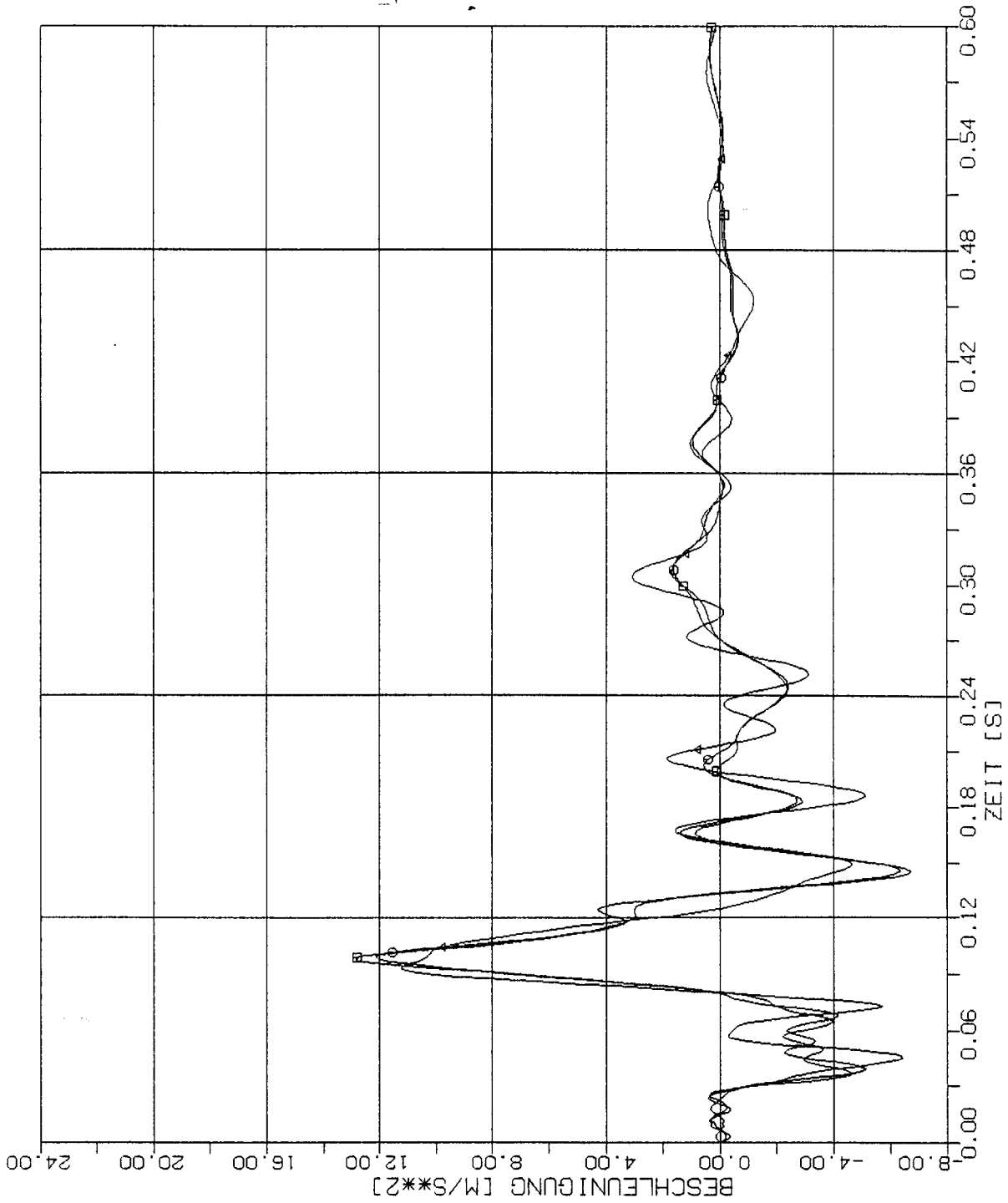
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.50 (213)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



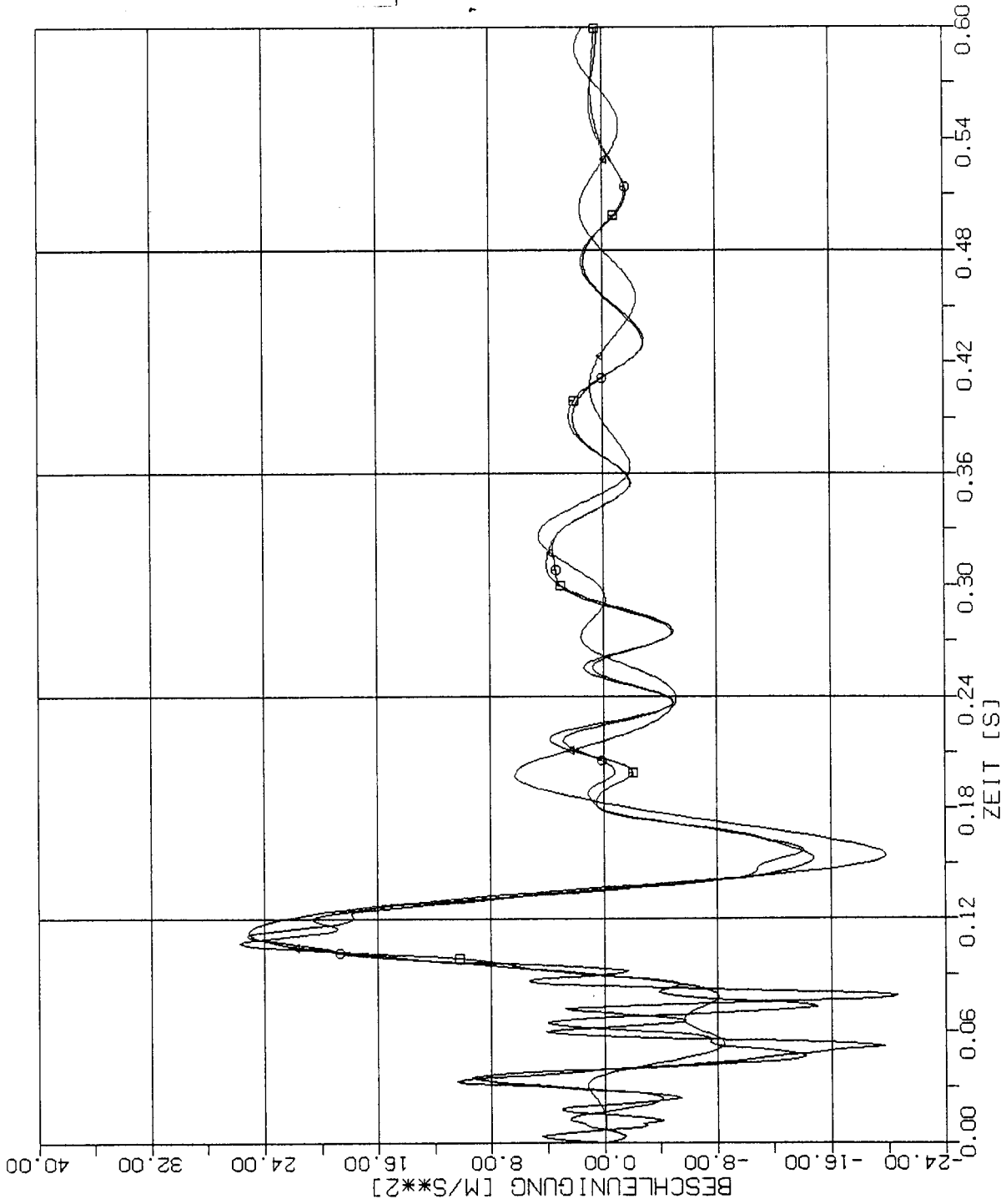
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +4.50 (205)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



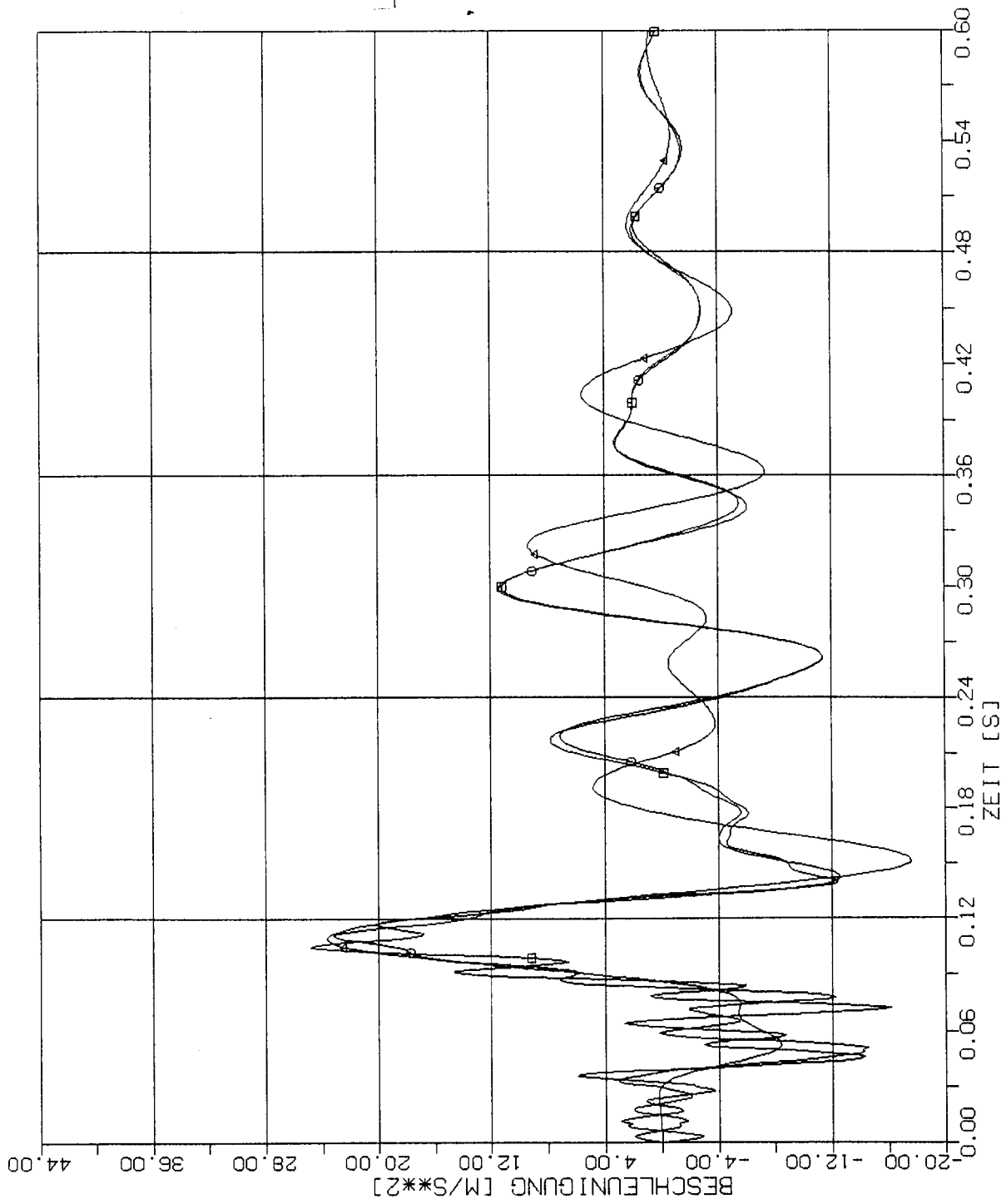
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +1.5W (325)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN XL-RICHTUNG

Elementgröße:

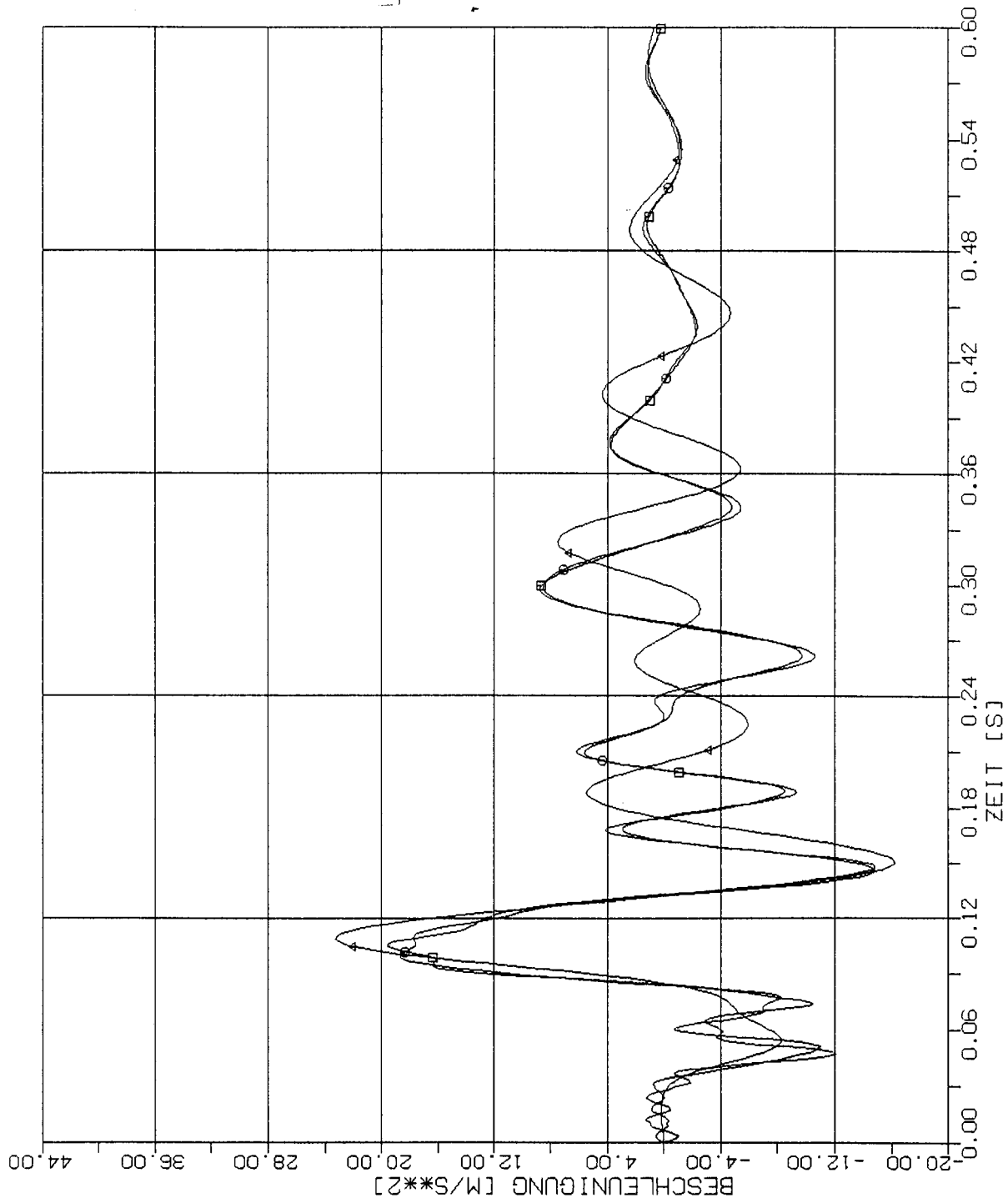
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE PUNKT +2.5W (317)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



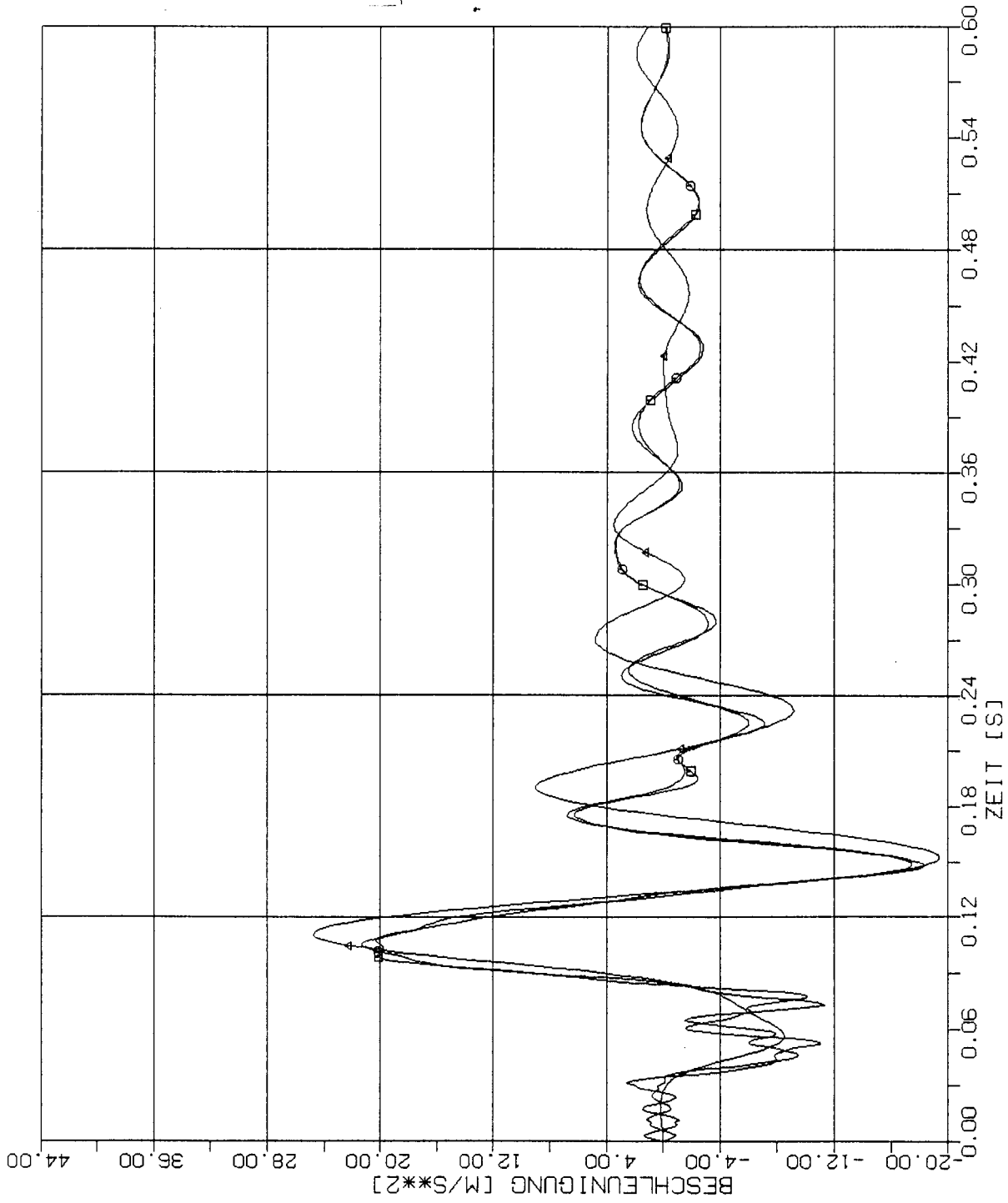
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.5M (309)
 HORIZONTALE (X1): STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



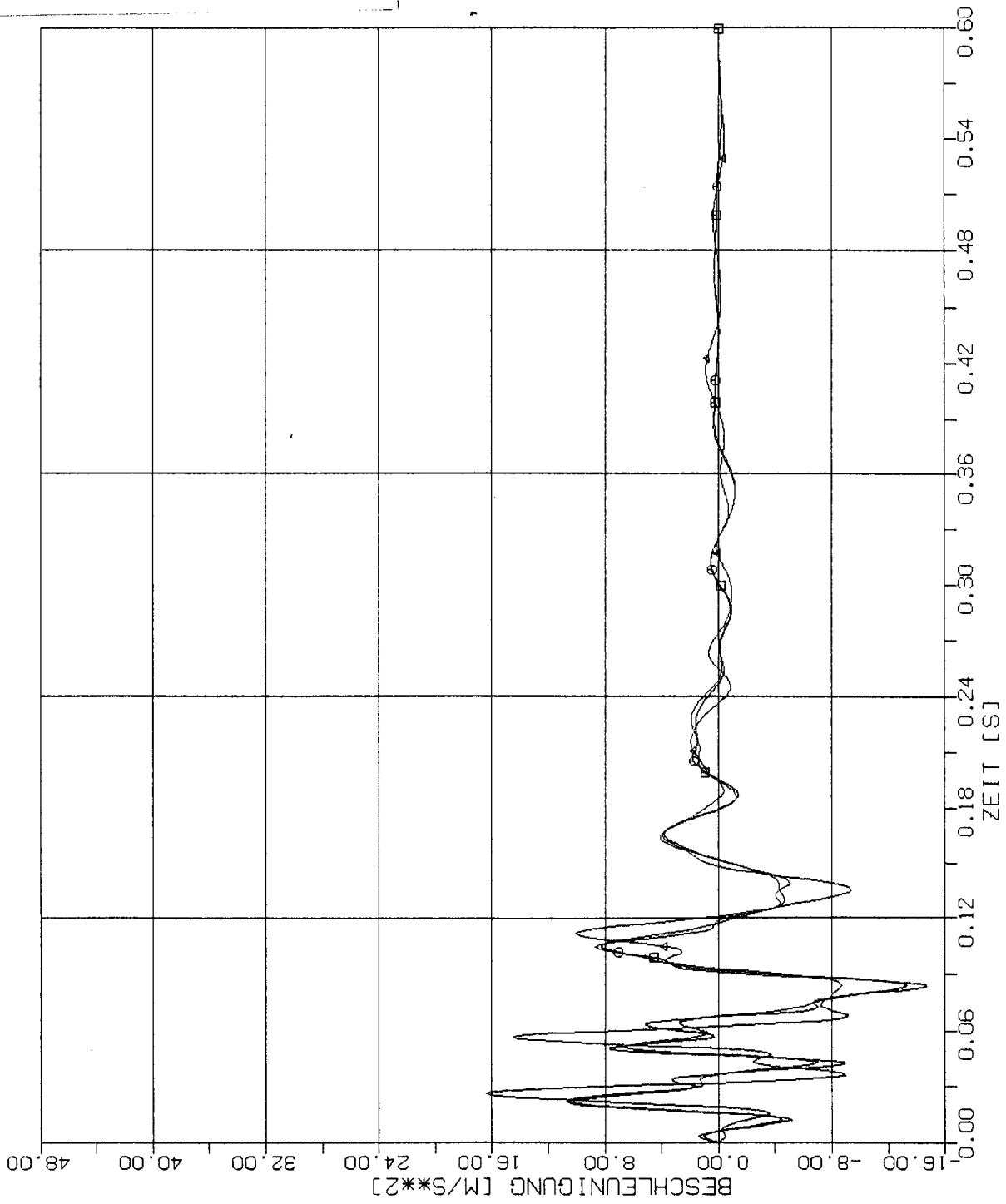
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4,5W (301)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



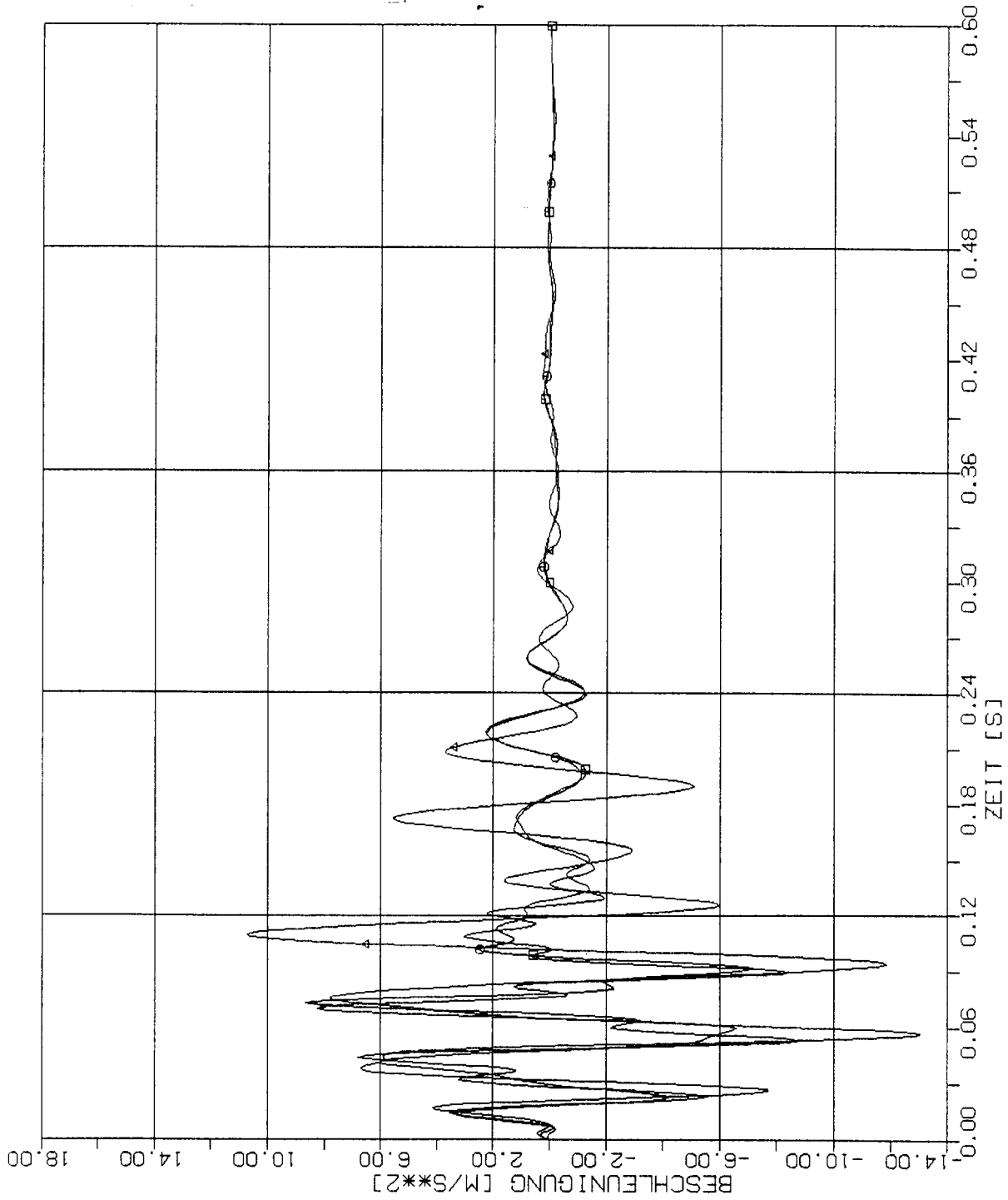
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 1L (425)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



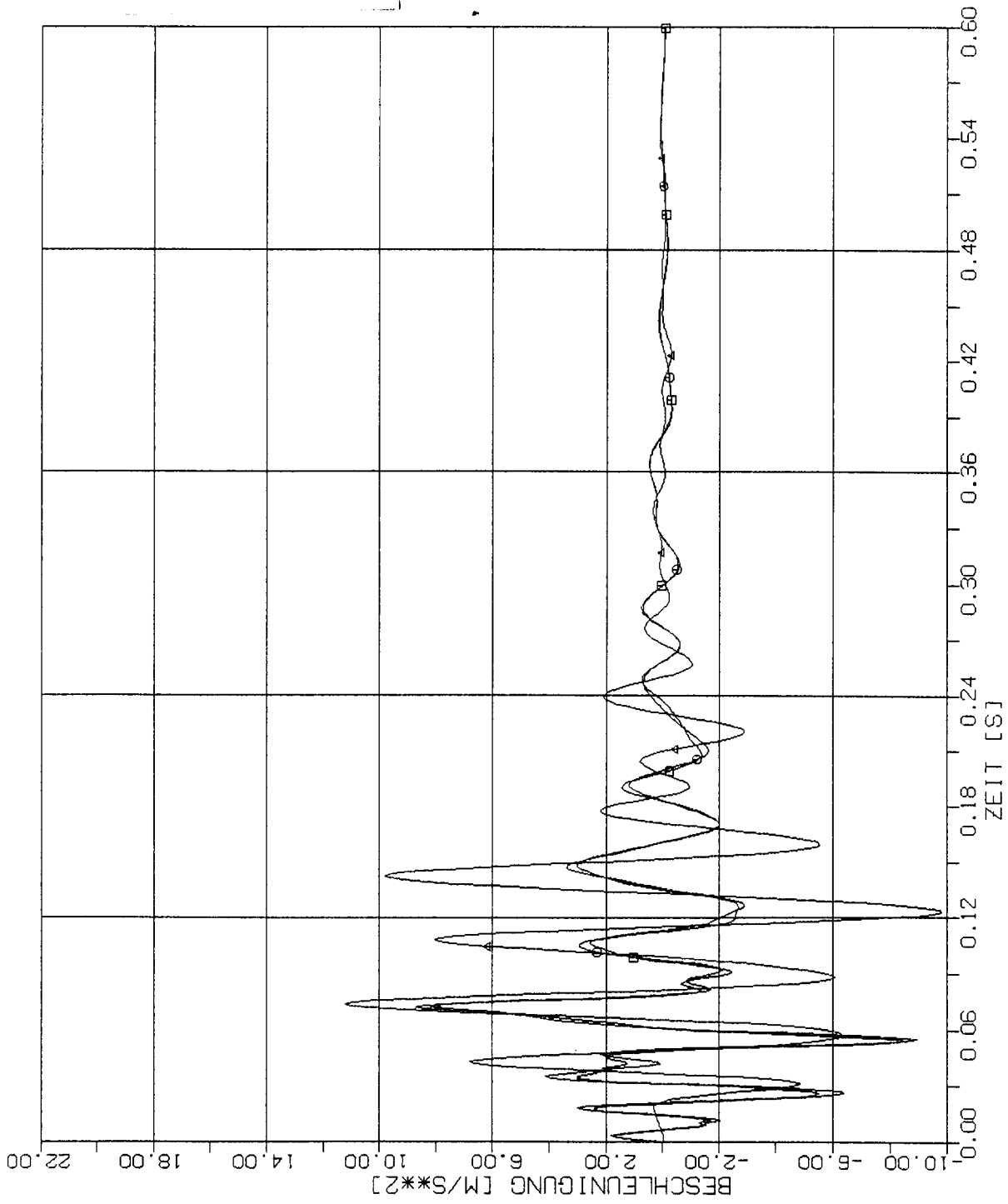
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 2L (417)
HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



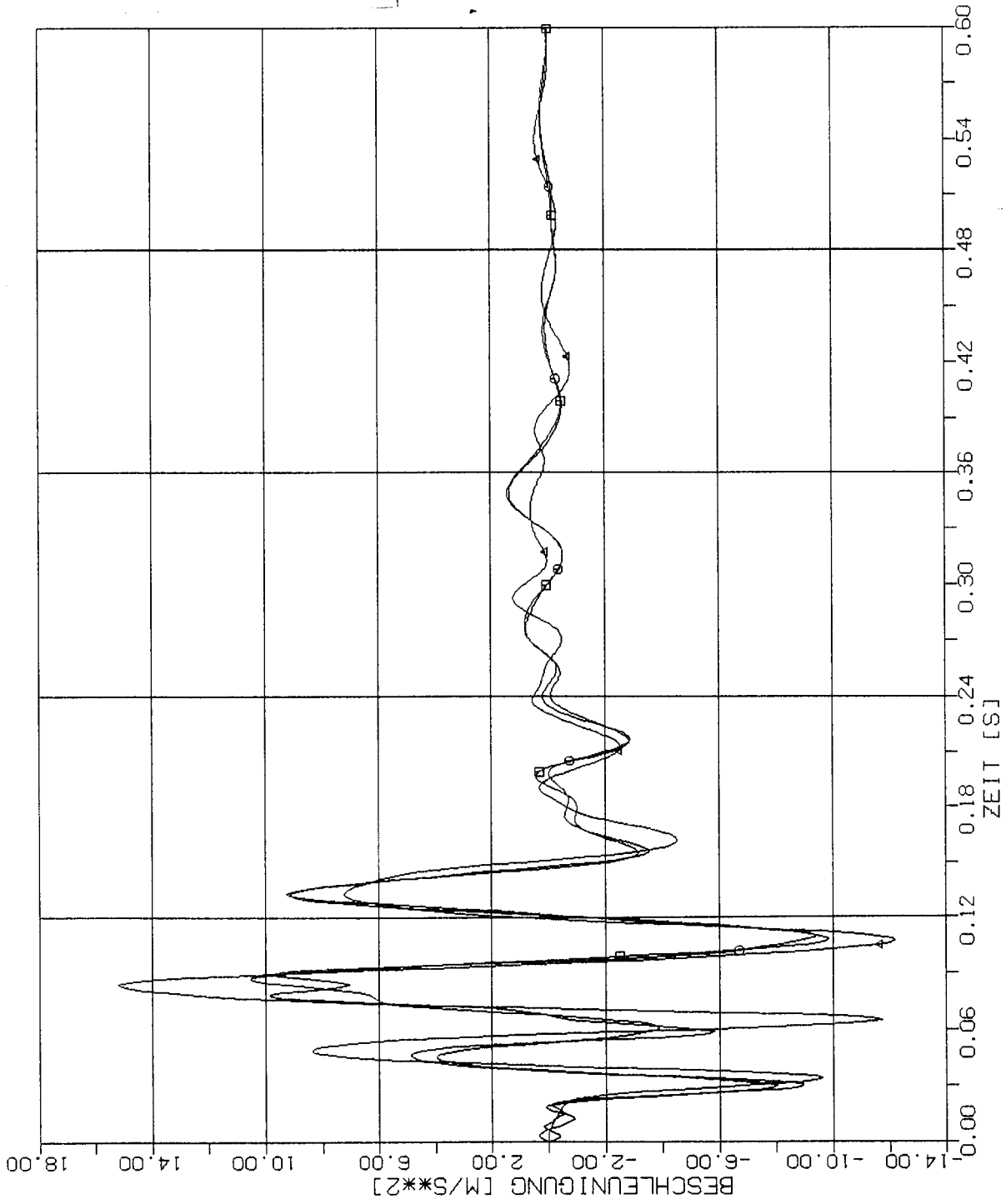
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3L (409)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



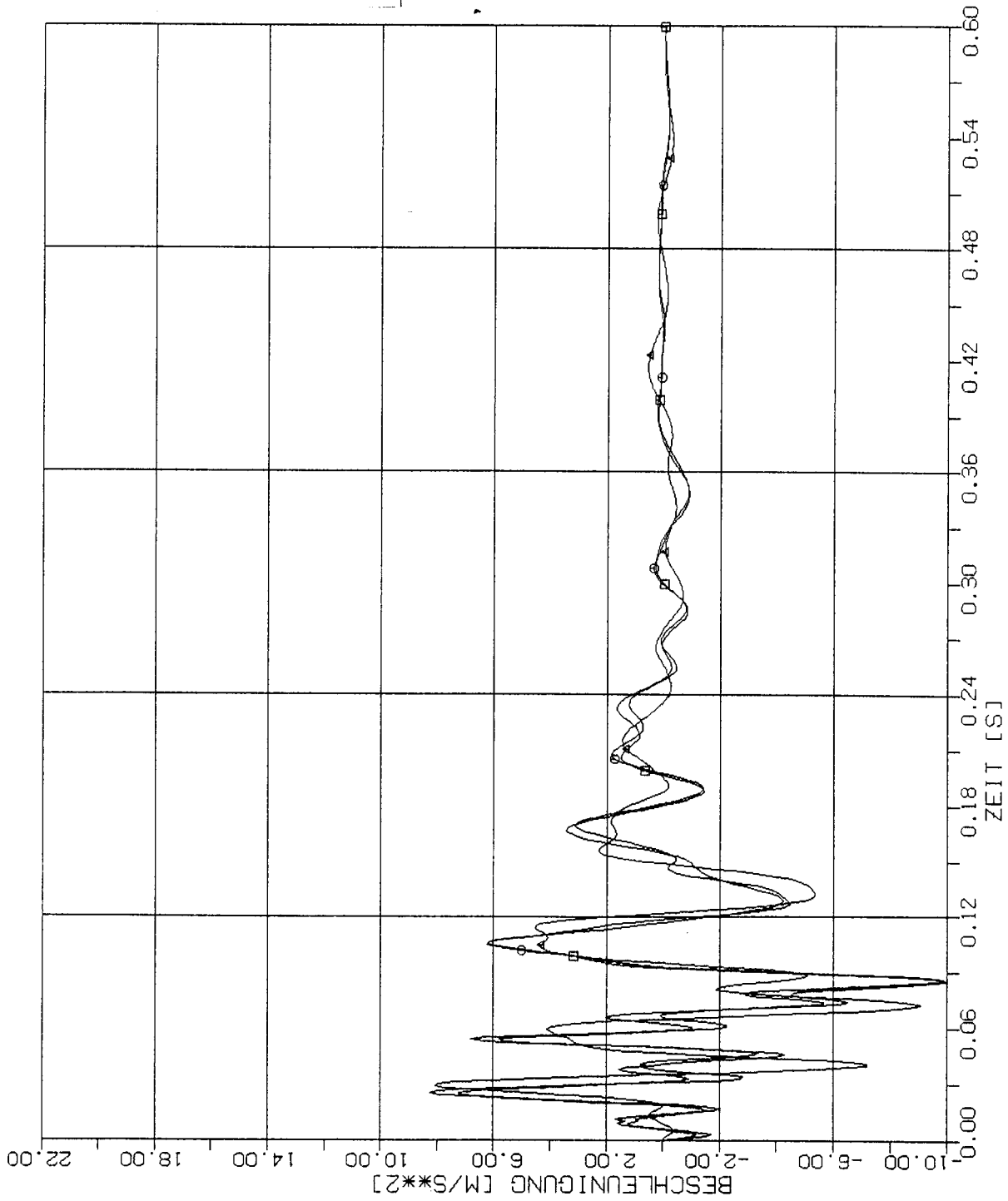
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 4L (401)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



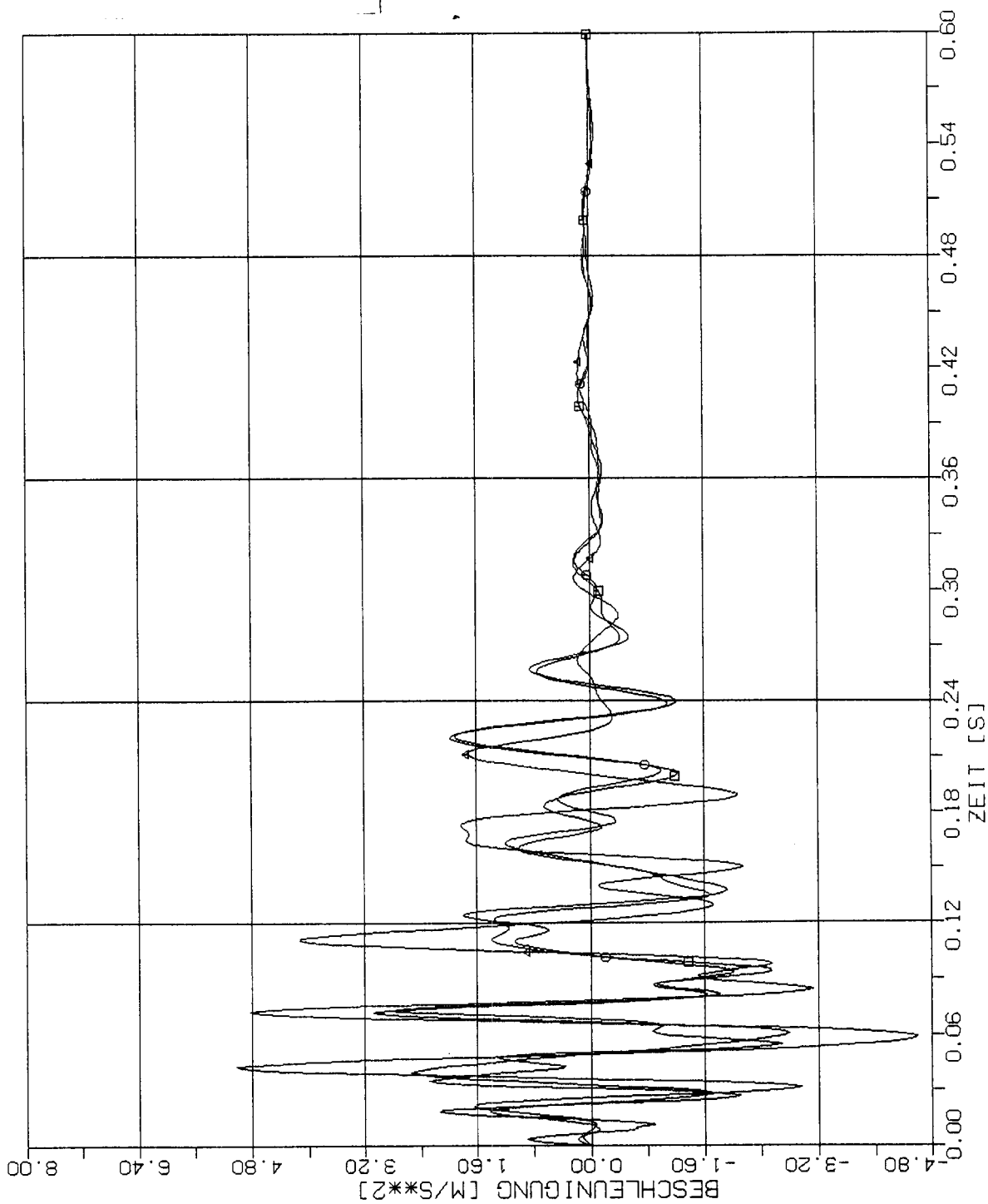
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2L (225)
HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



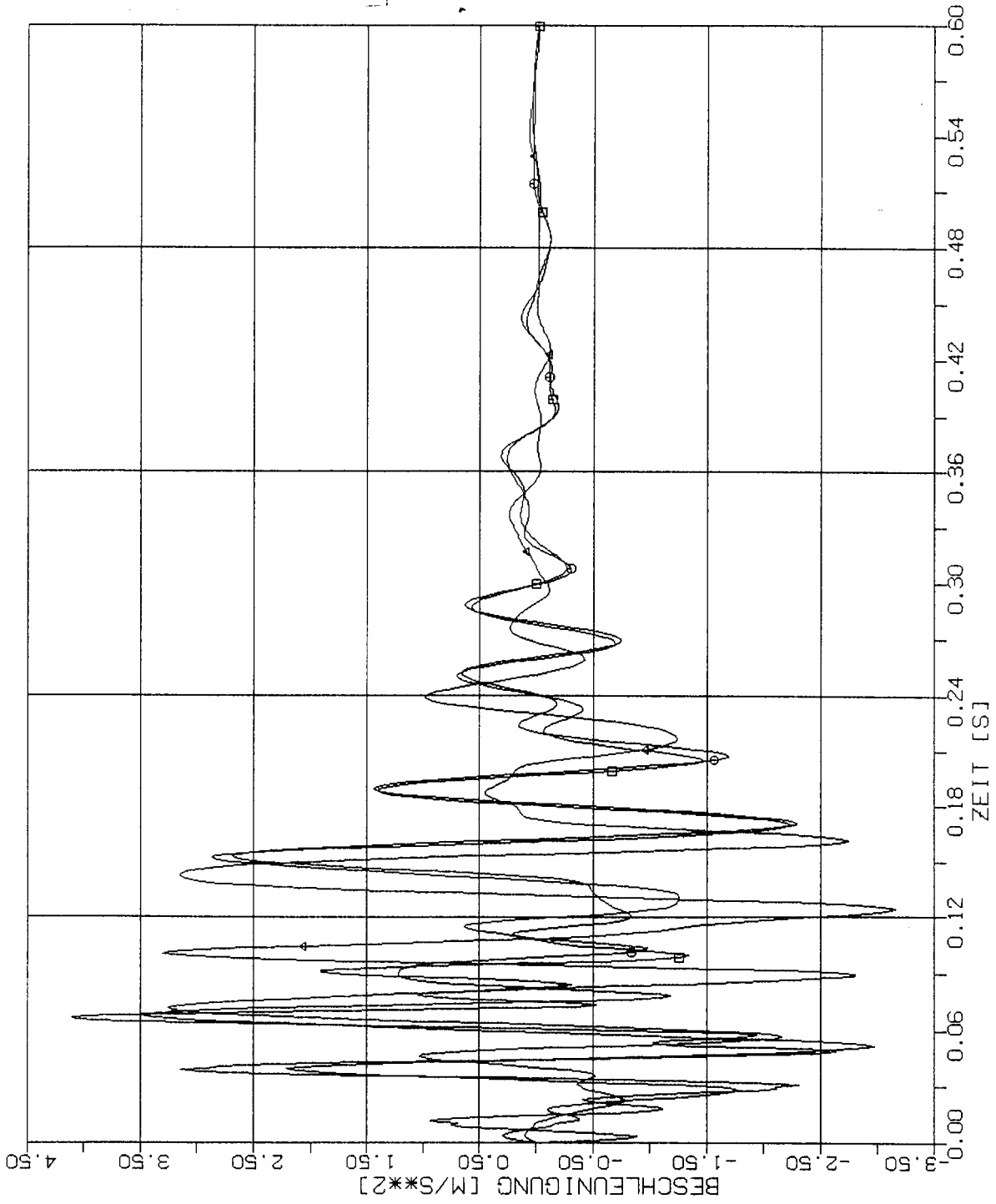
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3L (217)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



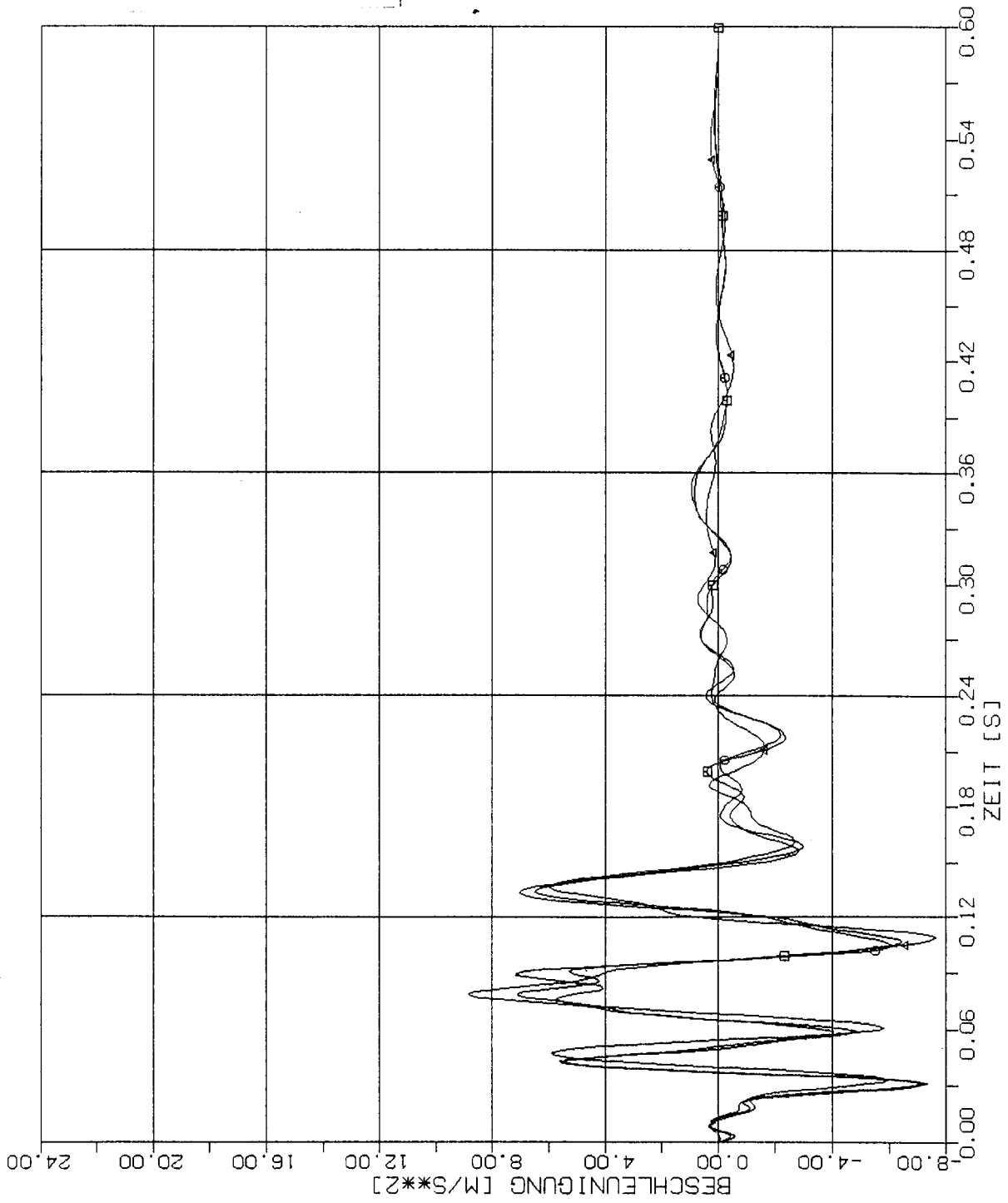
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4L (209)
HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

⊖ 4m x 4m

△ 8m x 8m



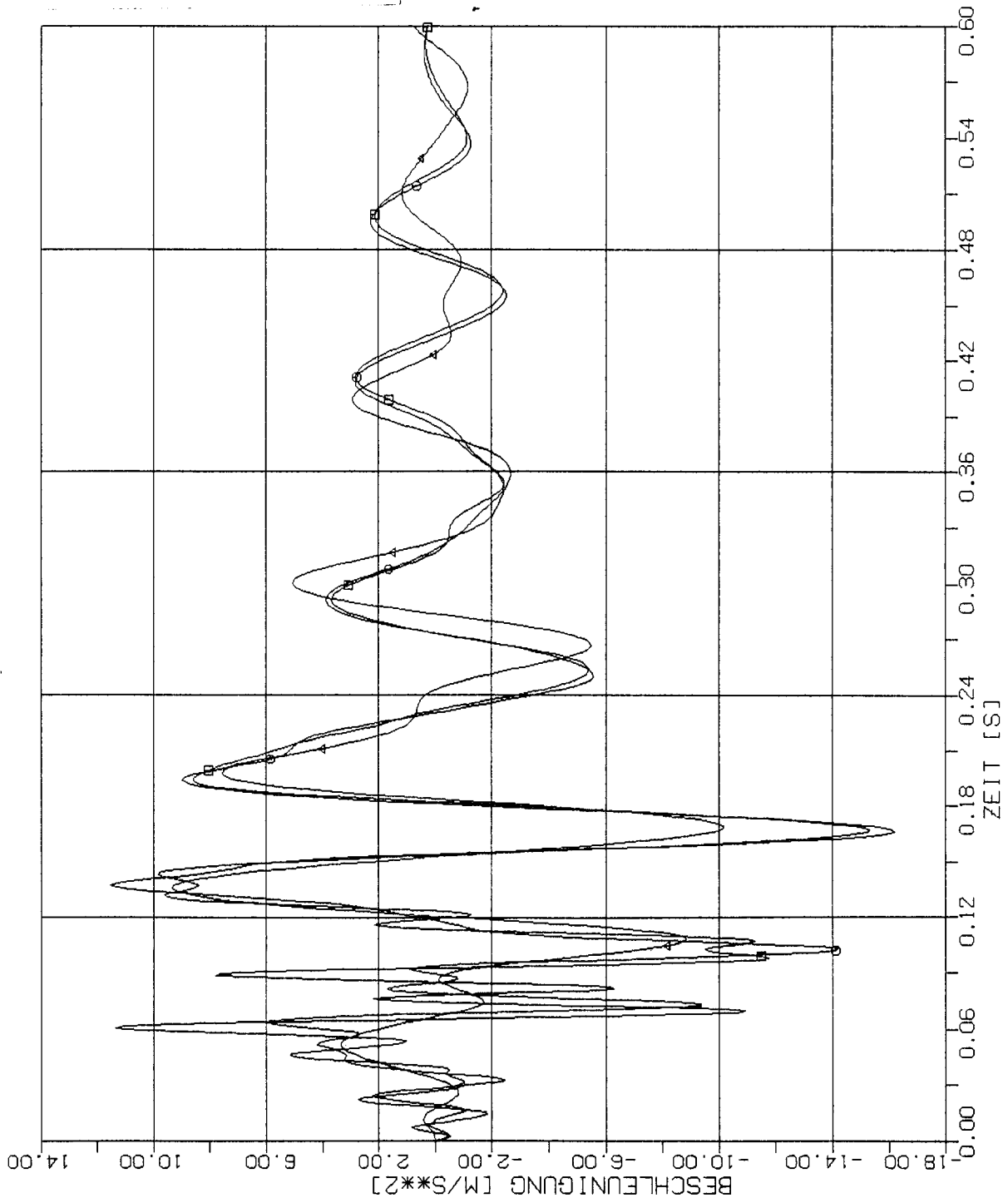
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +5L (201)
HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



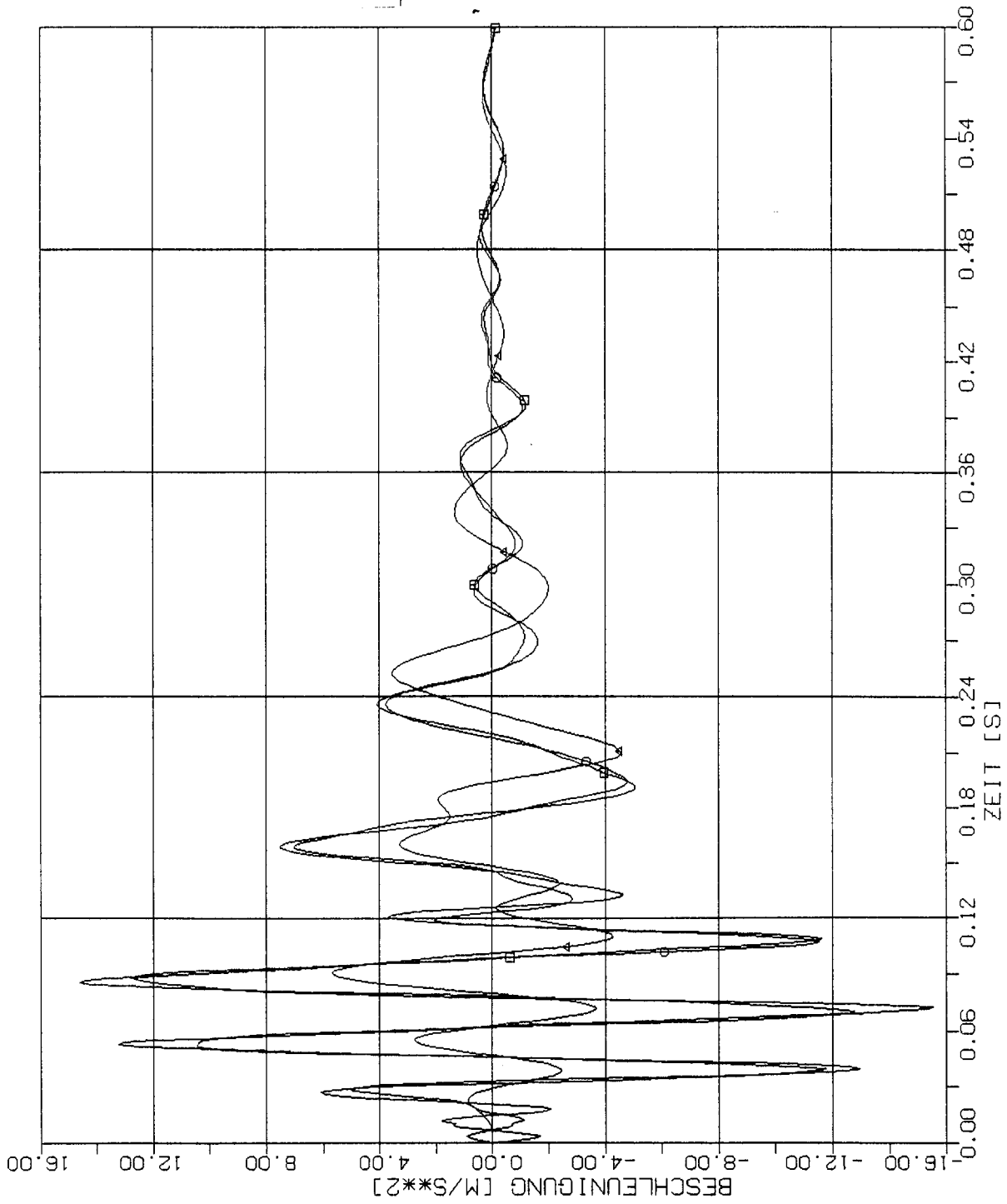
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 1,50 (421)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



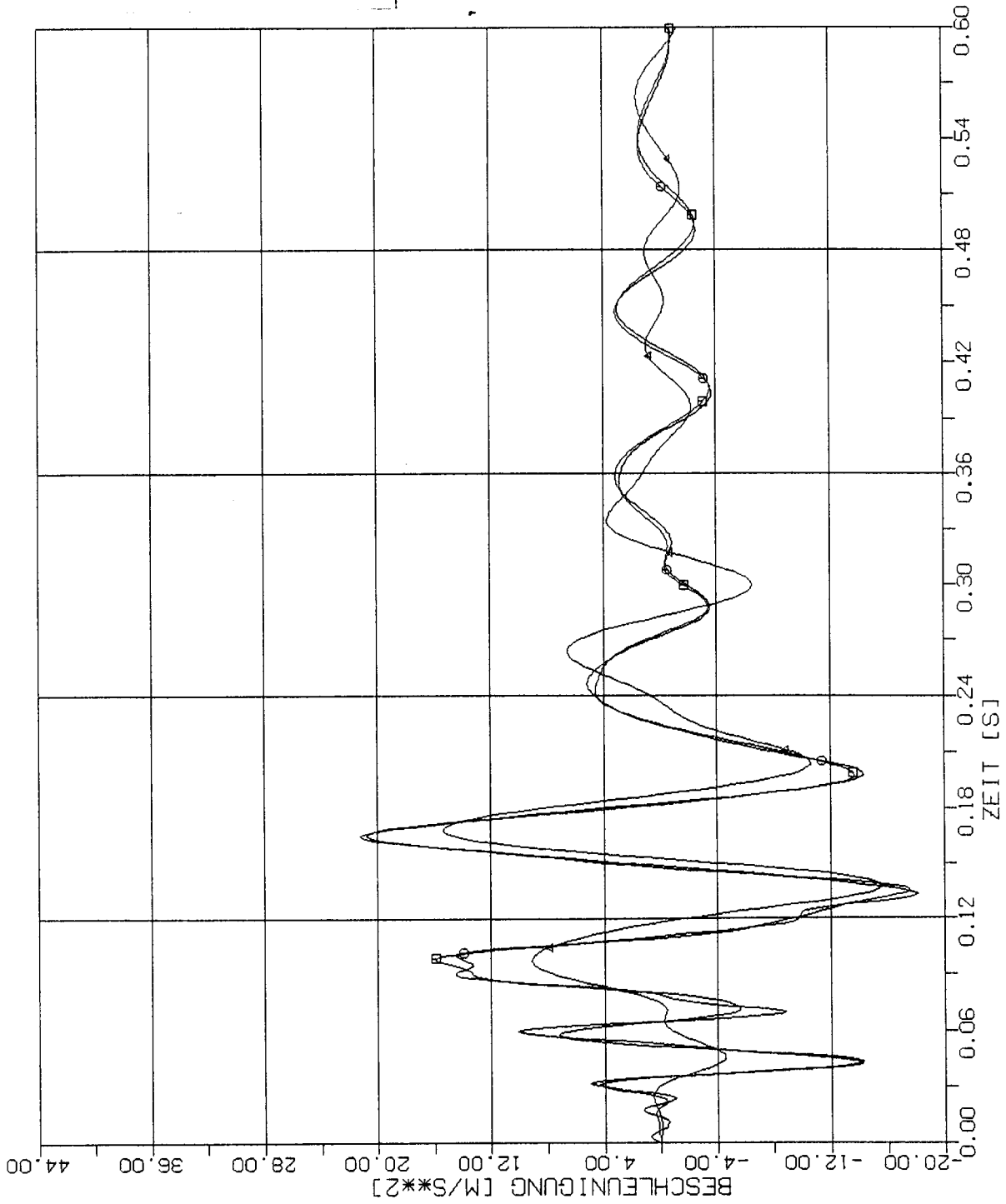
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFUE PUNKT 2.50 (413)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



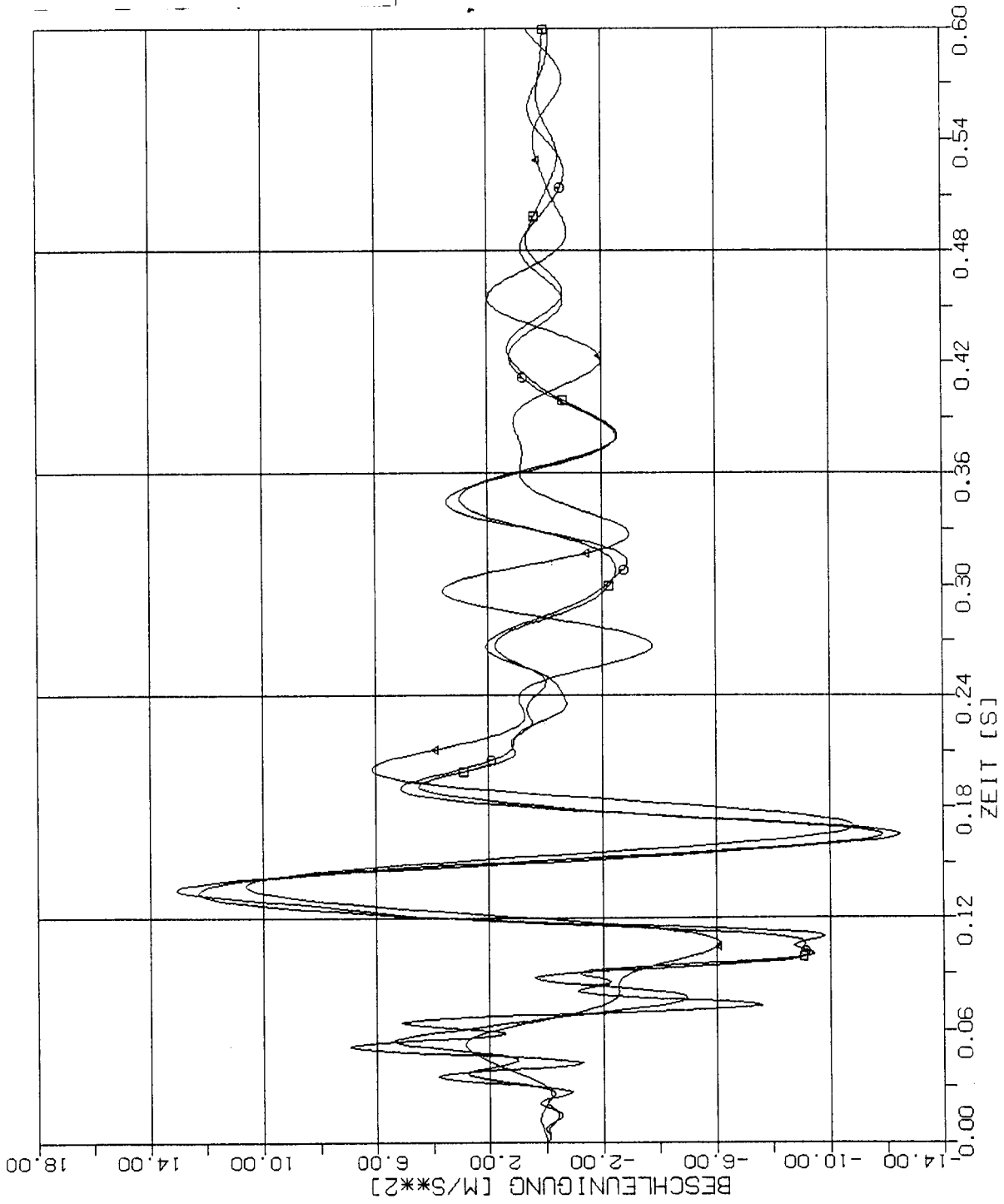
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3.5D (405)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



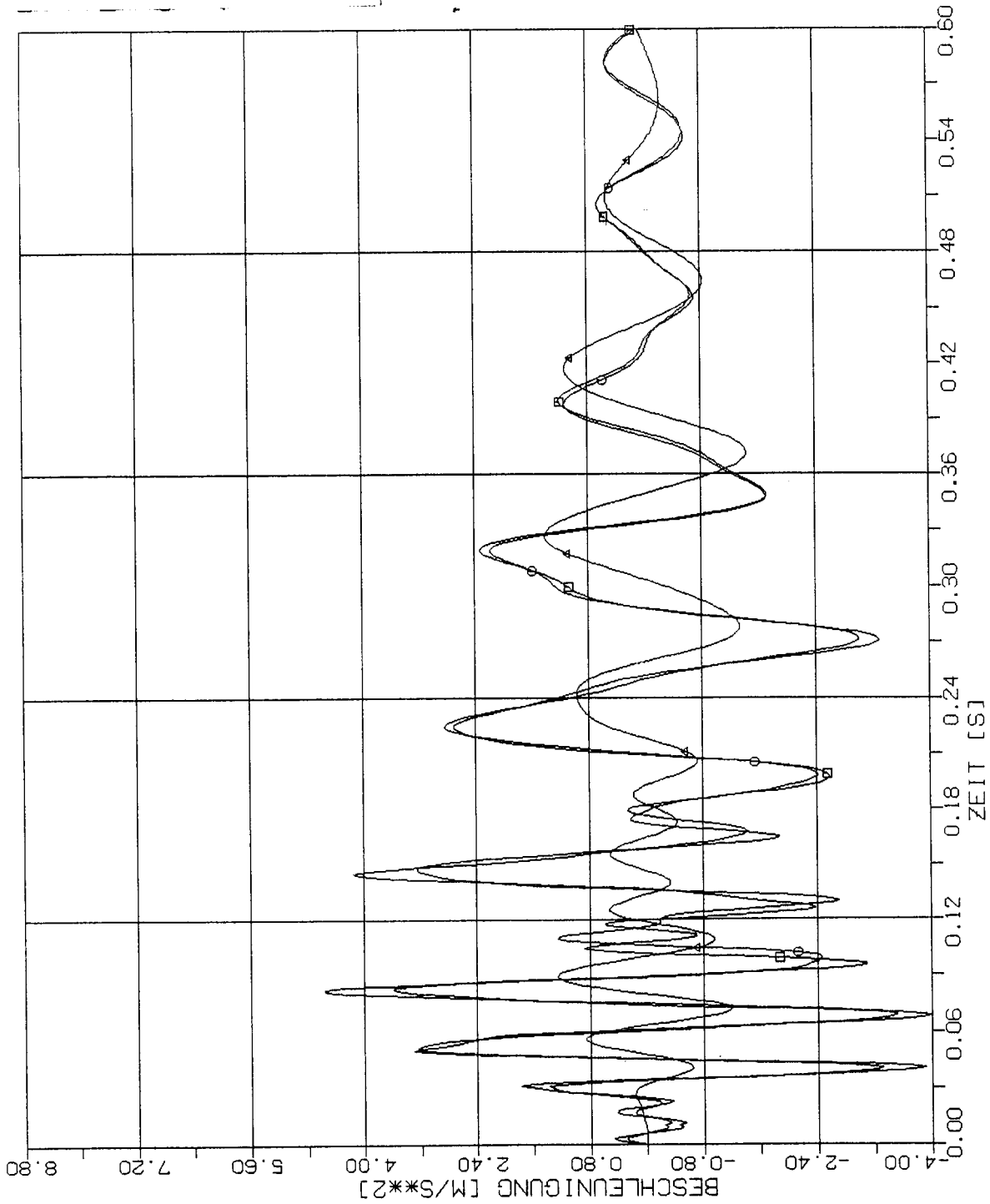
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2.50 (221)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT .IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



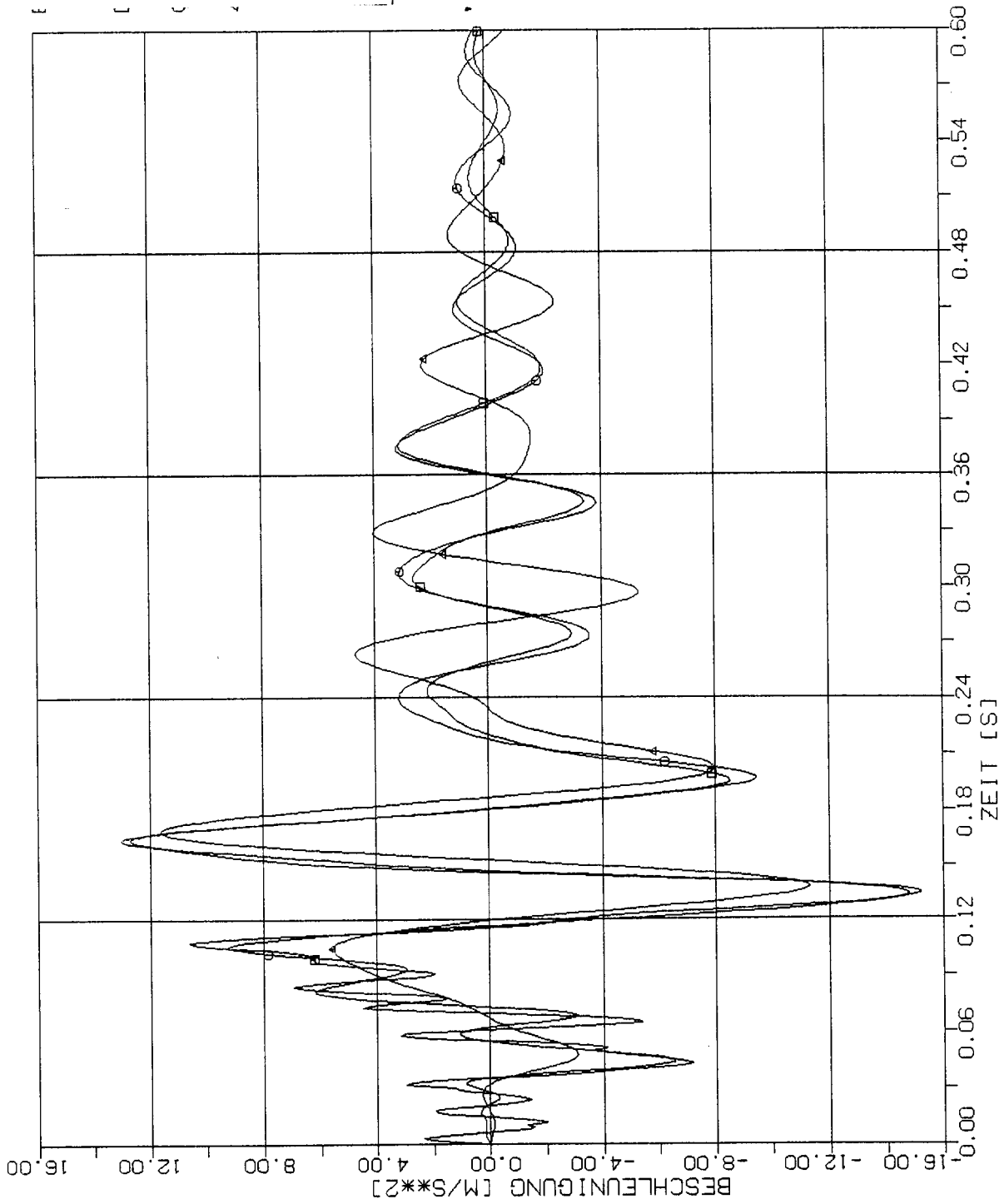
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.50 (213)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

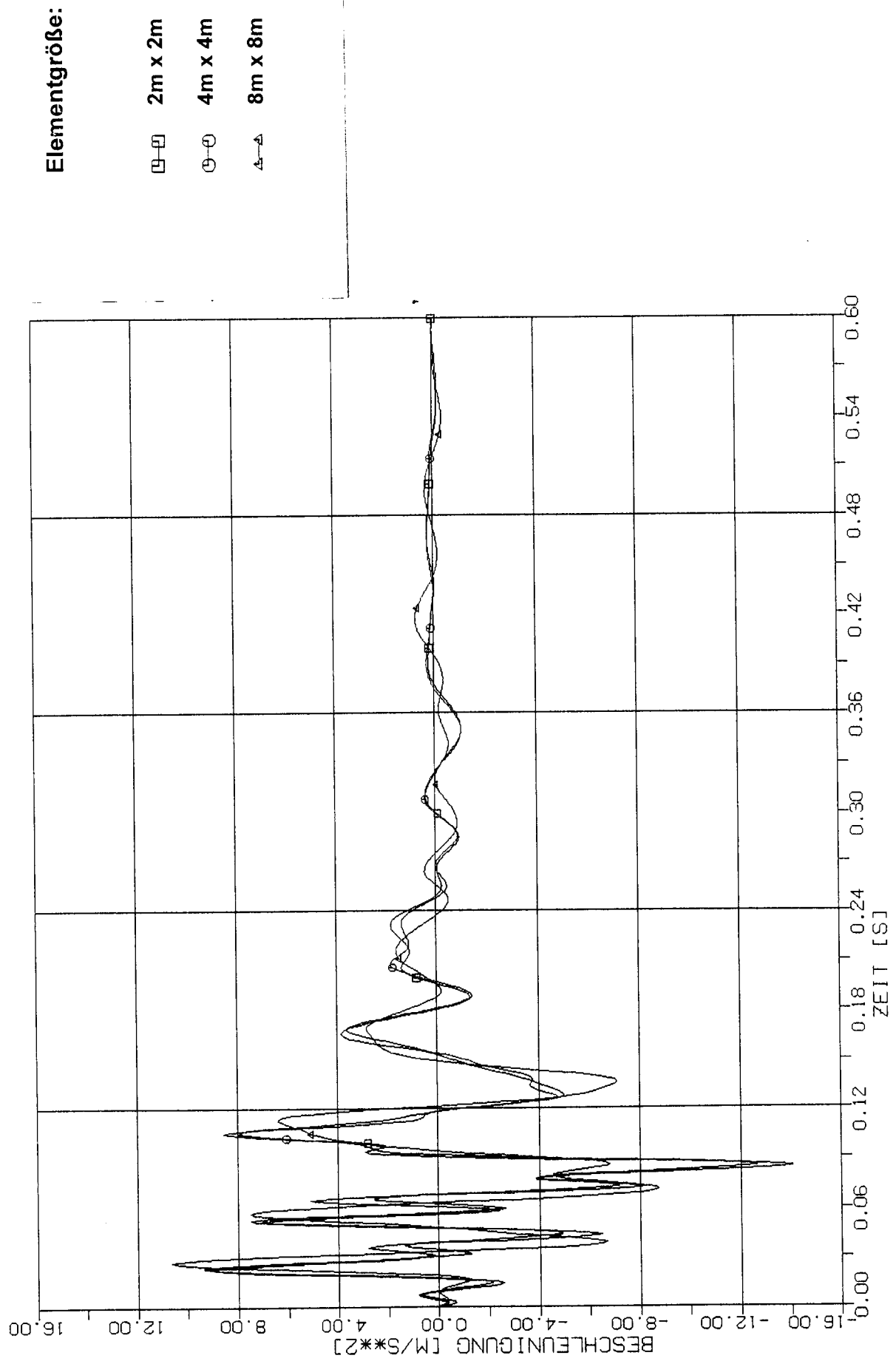
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

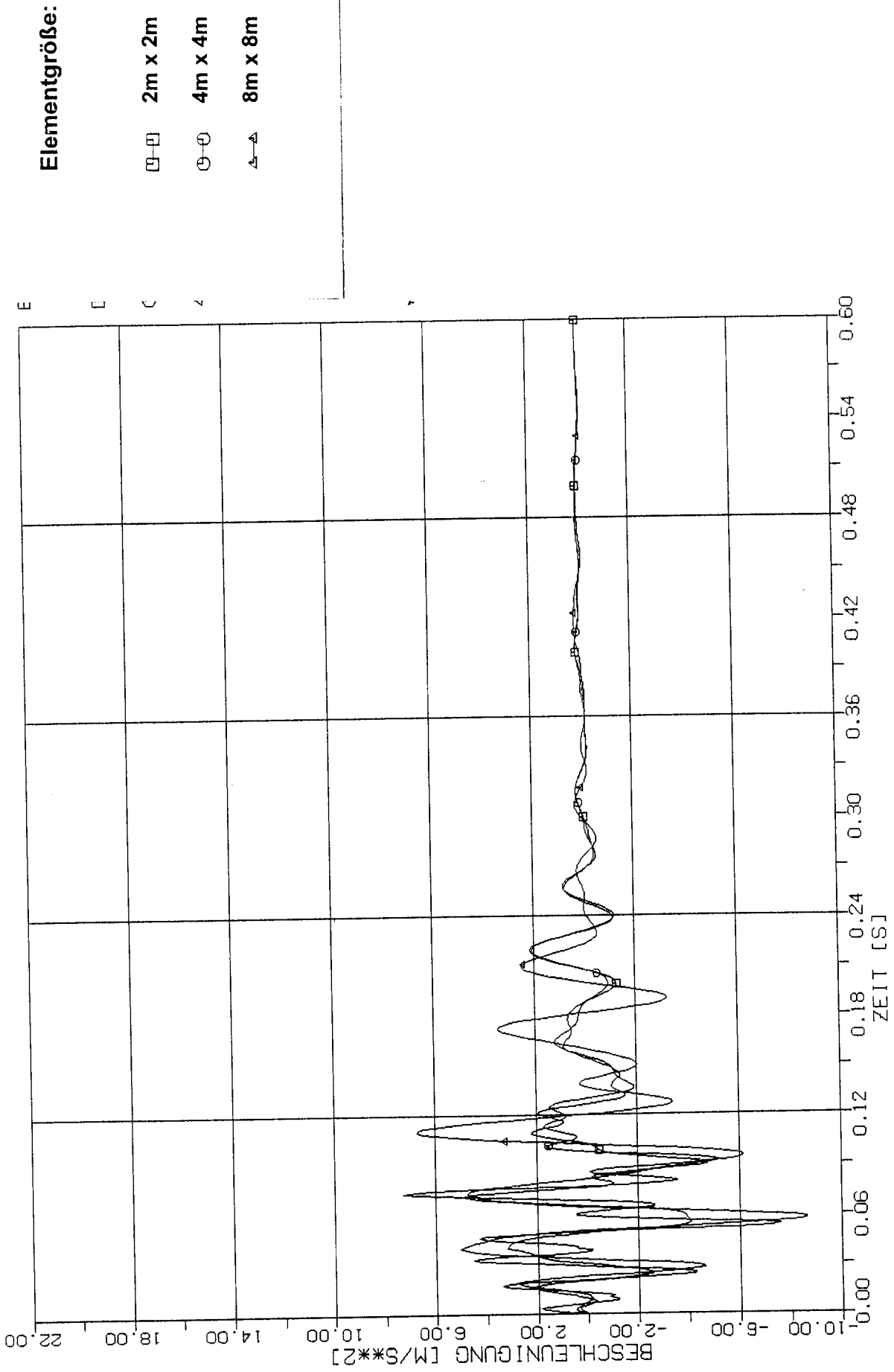
△ 8m x 8m



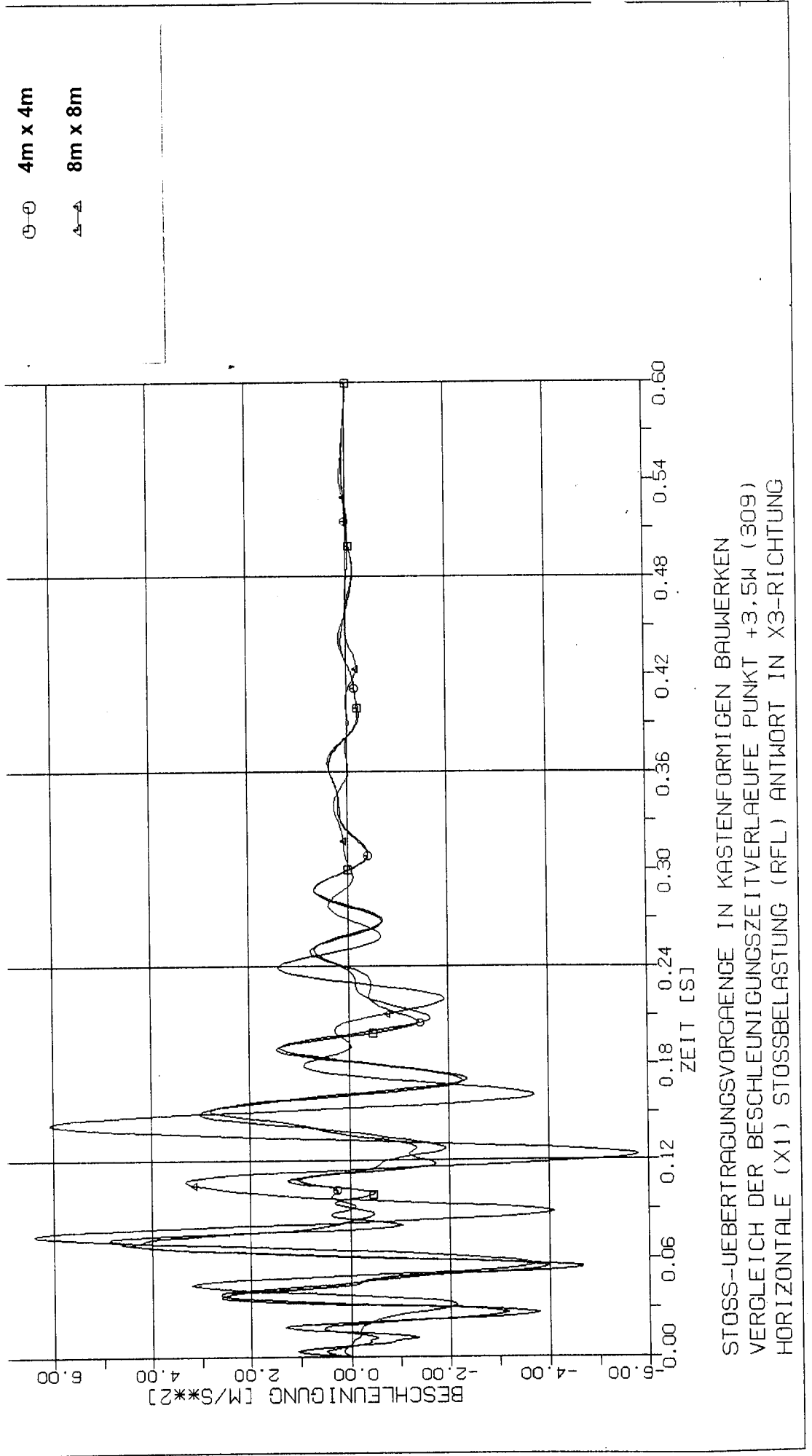
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +4.50 (205)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

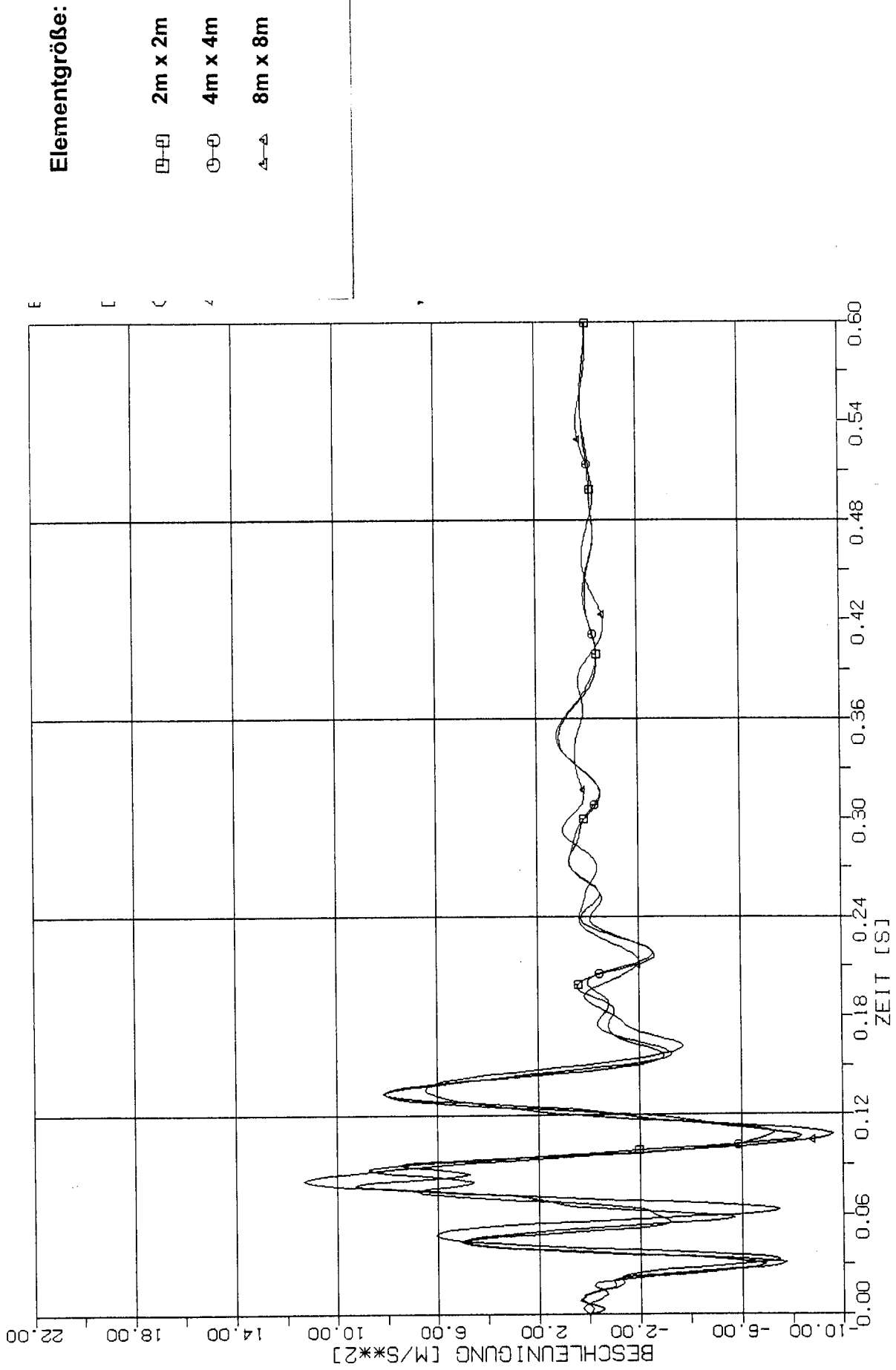


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +1.5W (325)
HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



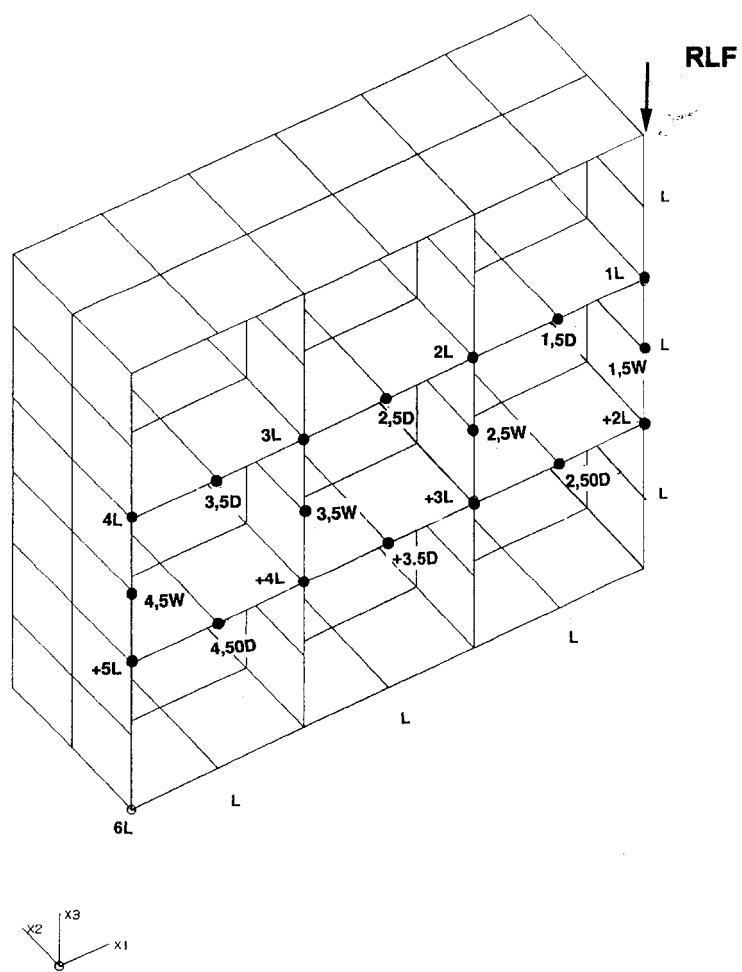
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2.5W (317)
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG





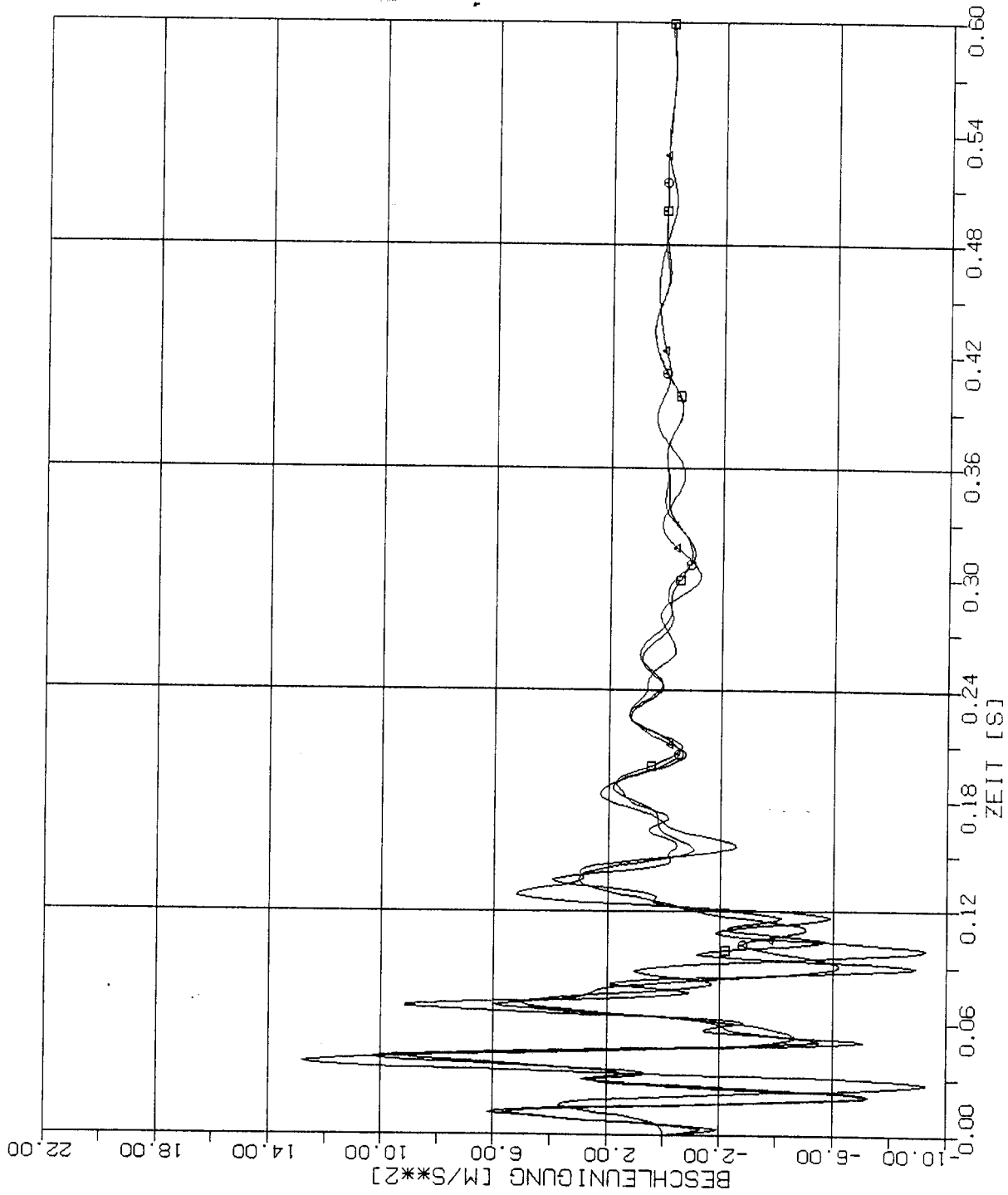
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4.5M (301)
HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

3.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung



Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



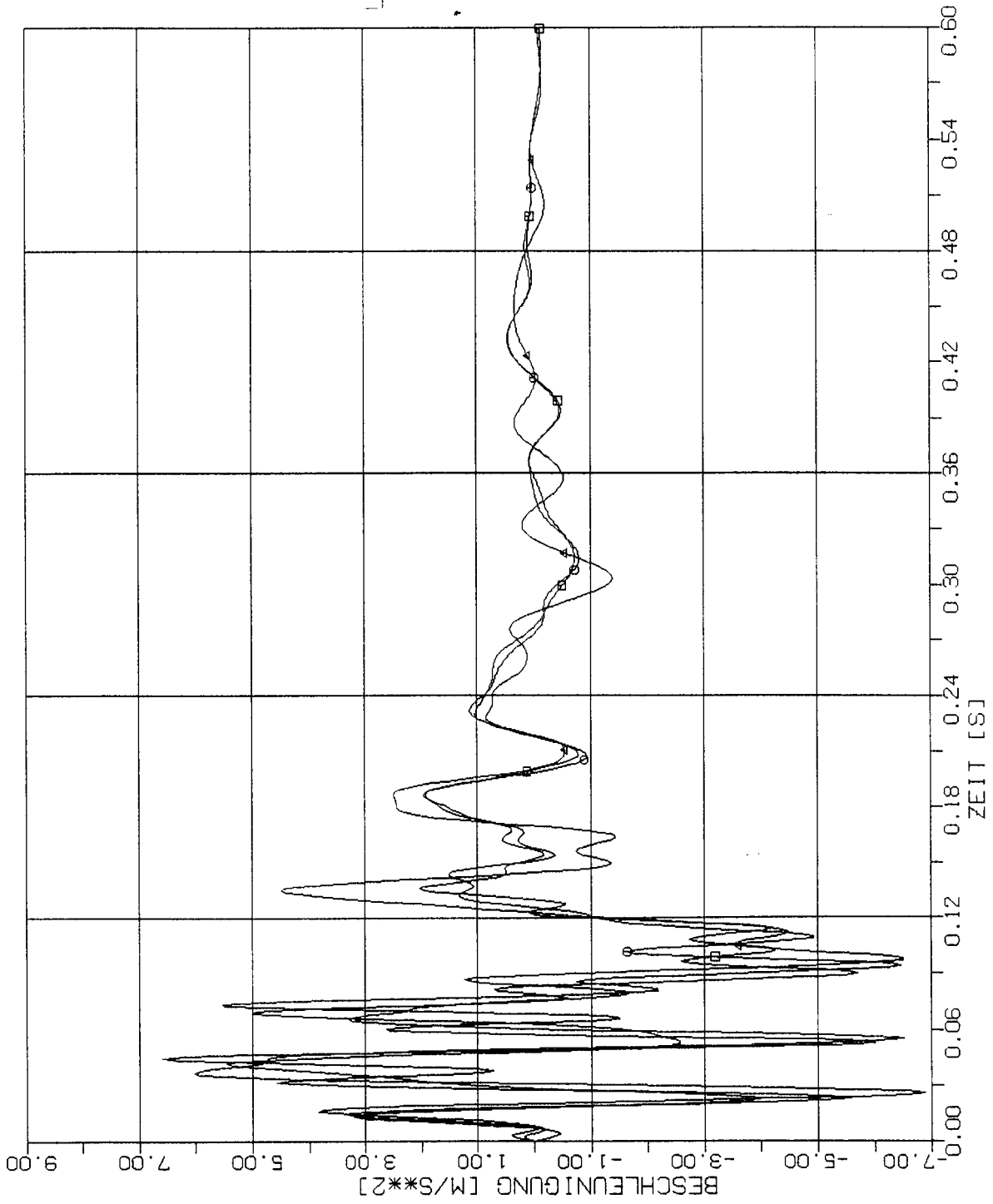
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 1L (425)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



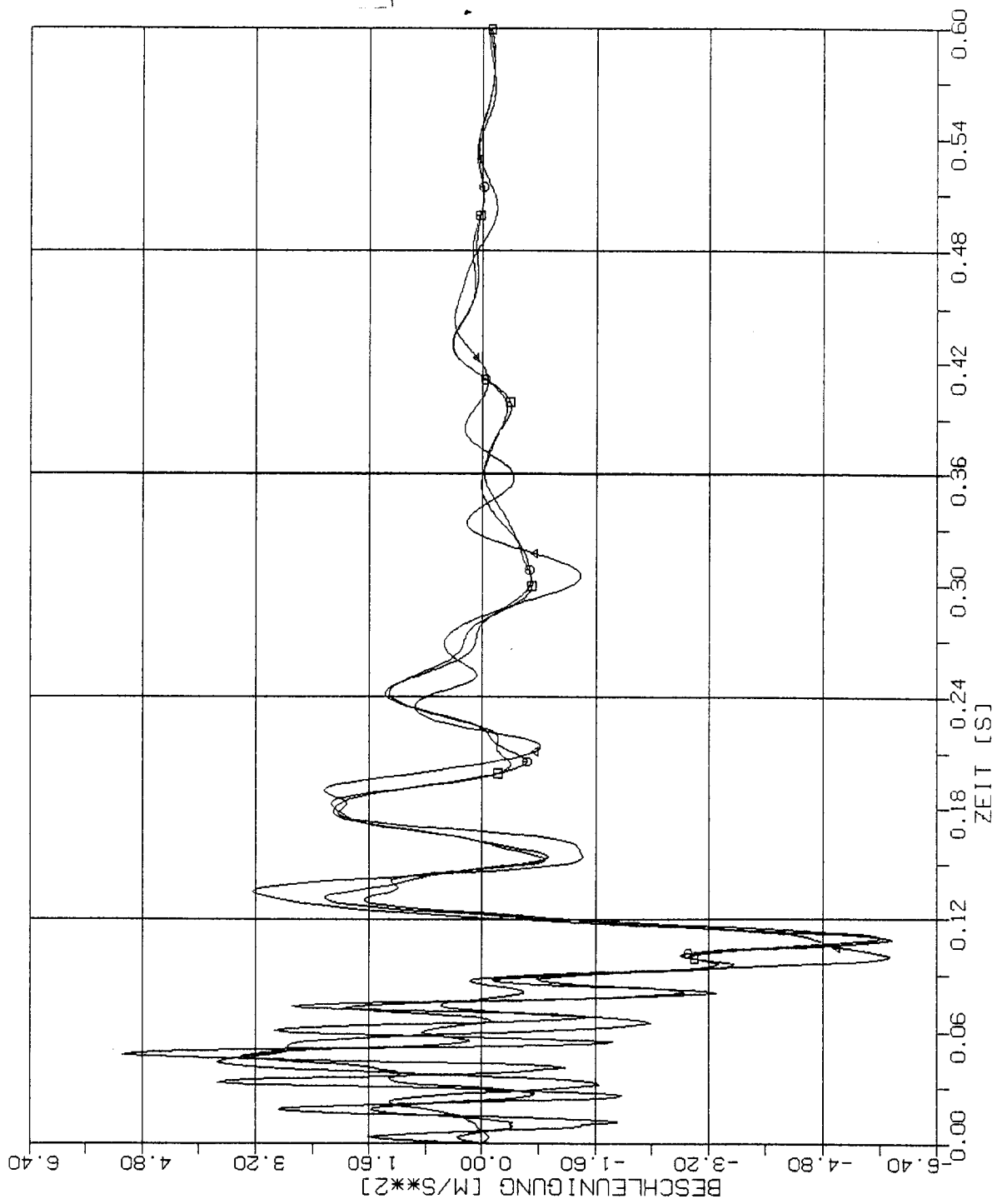
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFUE PUNKT 2L (417)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



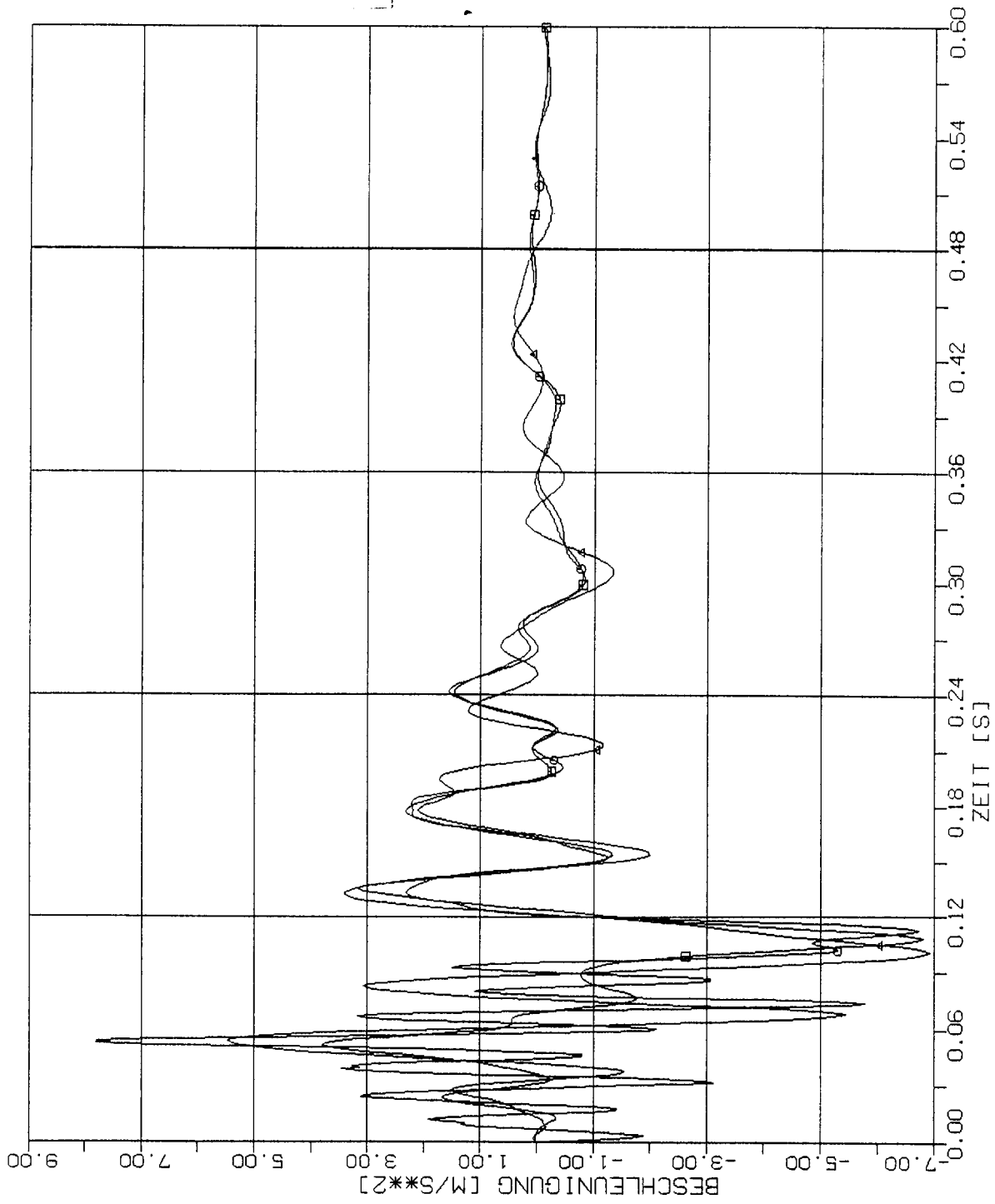
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3L (409)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

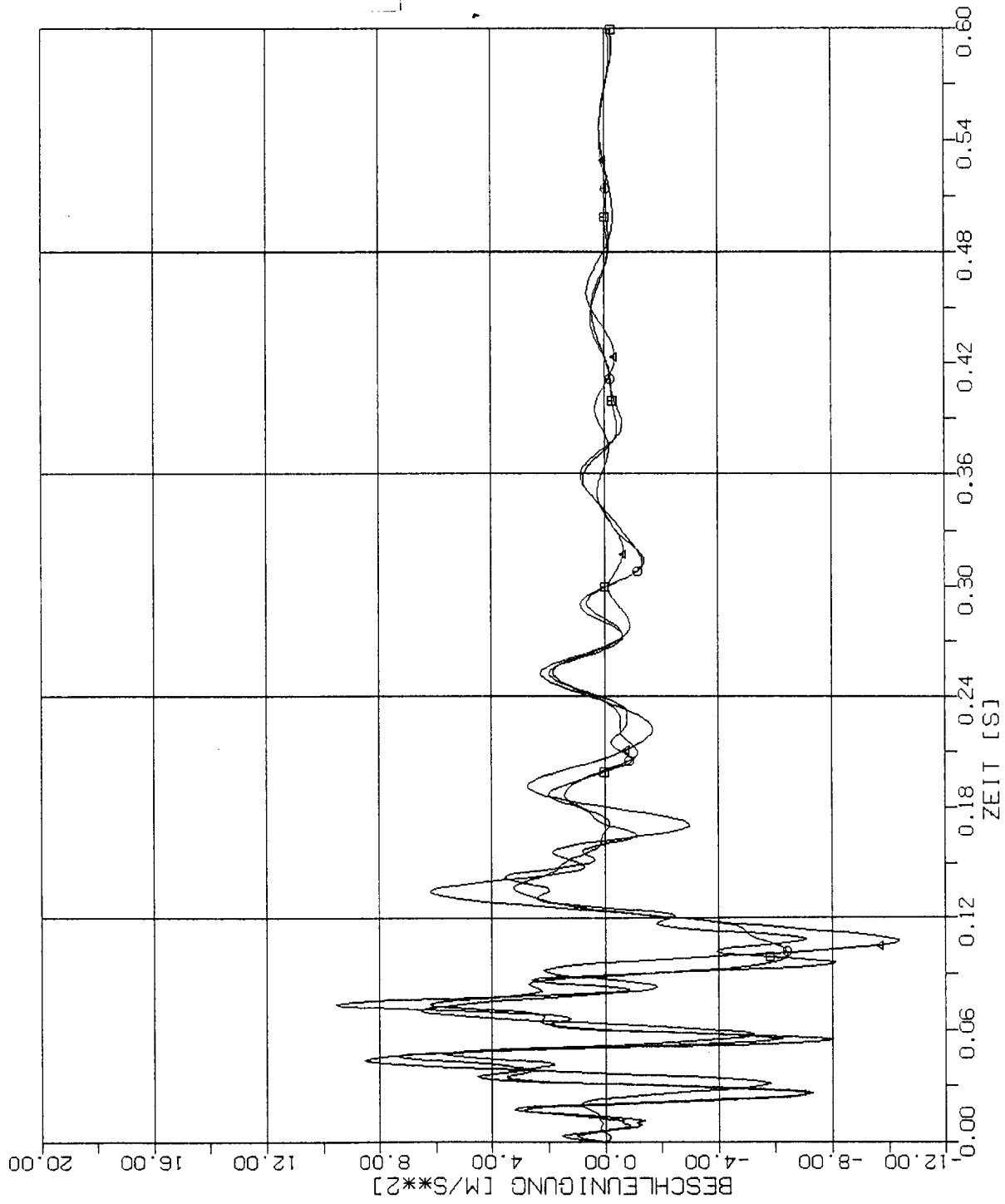
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFUE PUNKT 4L (401)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

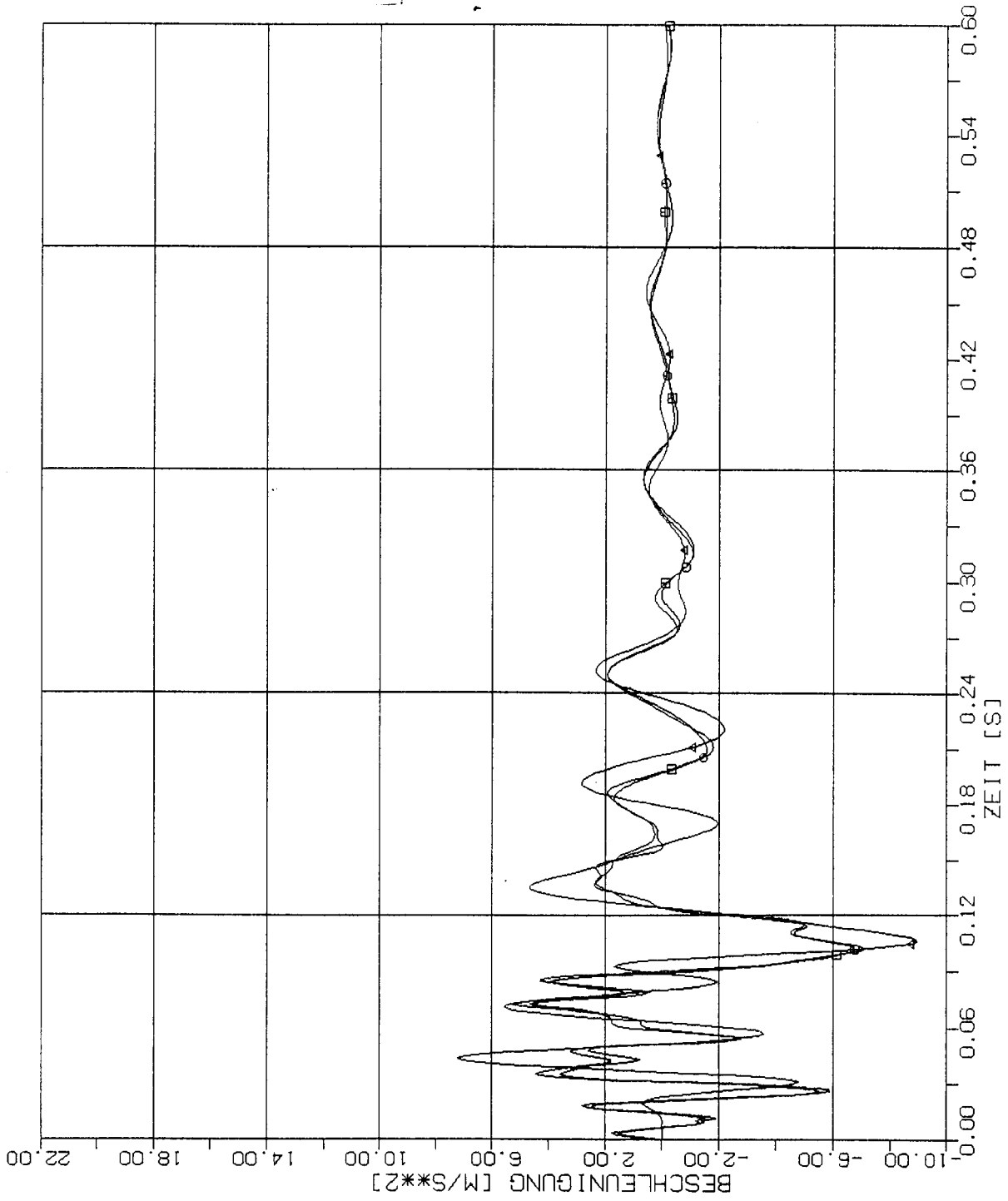
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEUGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2L (225)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



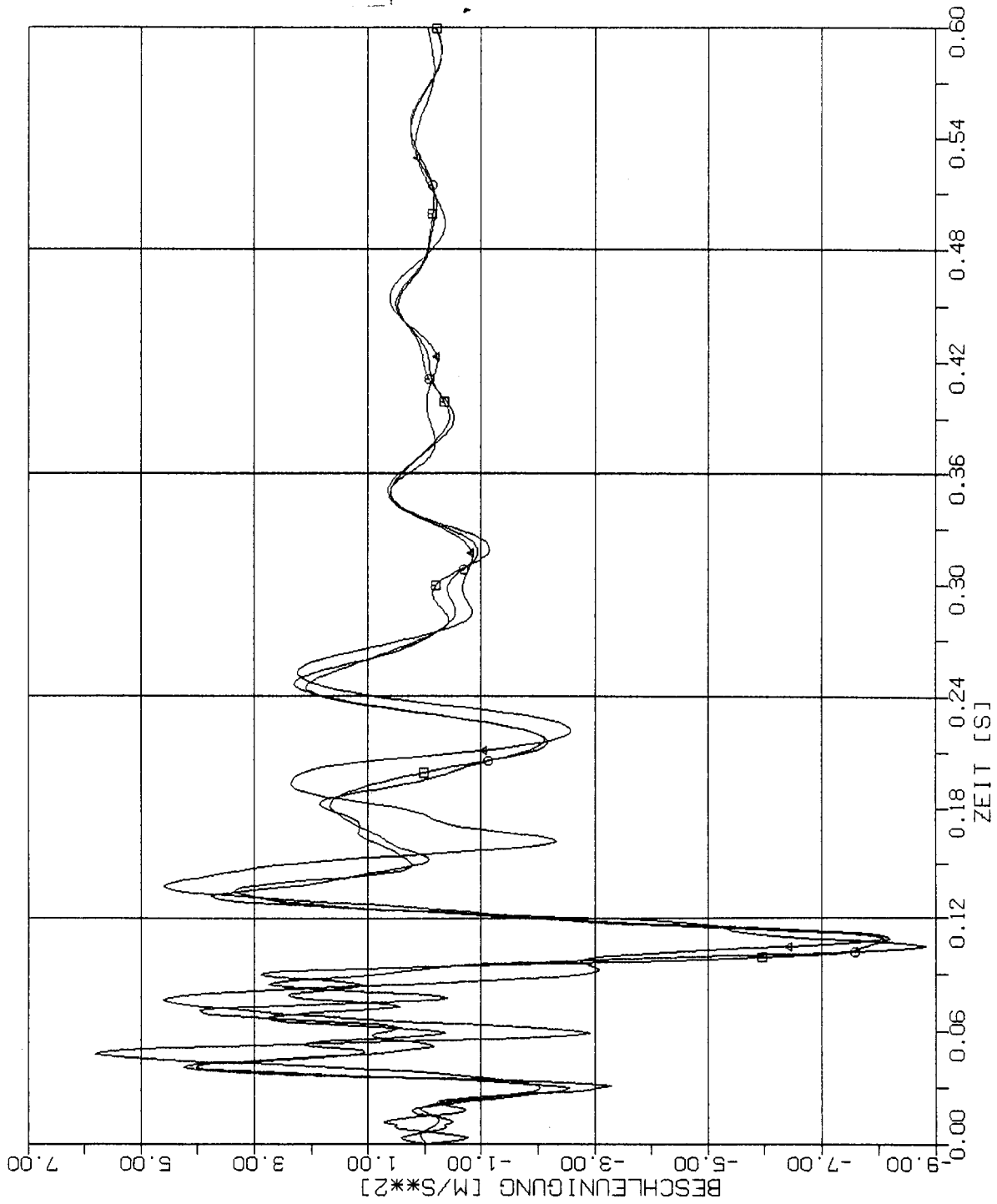
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3L (217)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

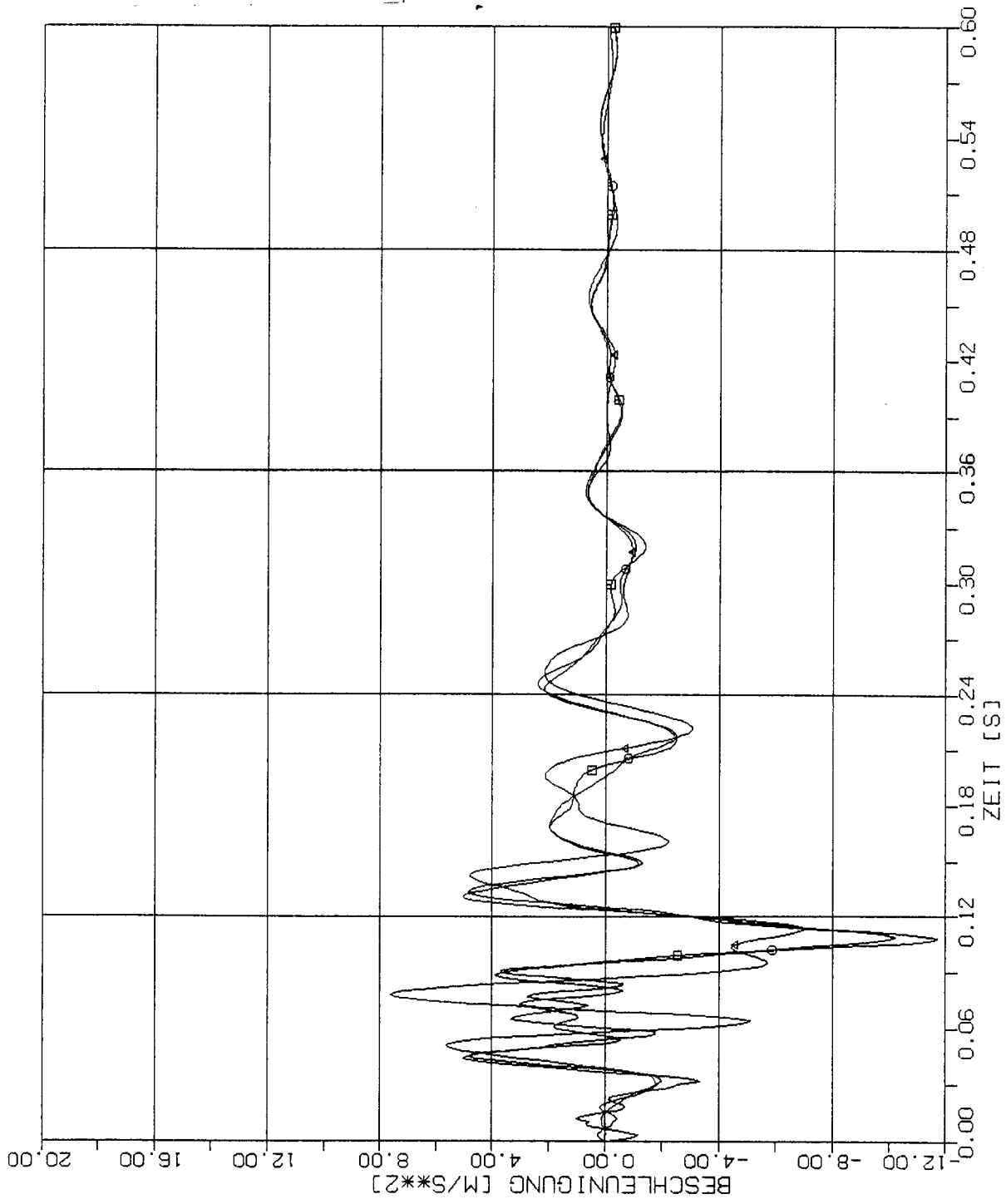
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4L (209)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



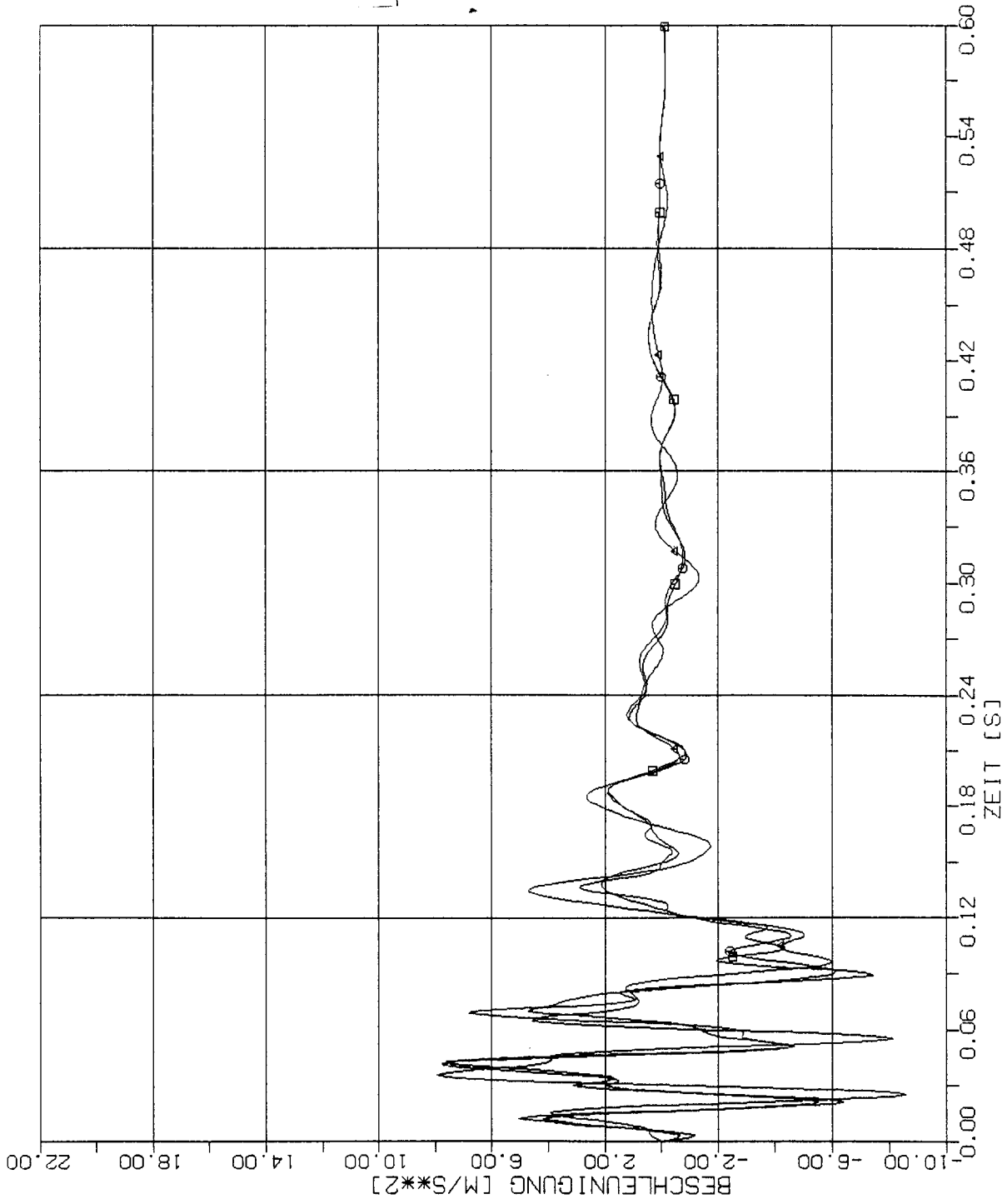
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +5L (201)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

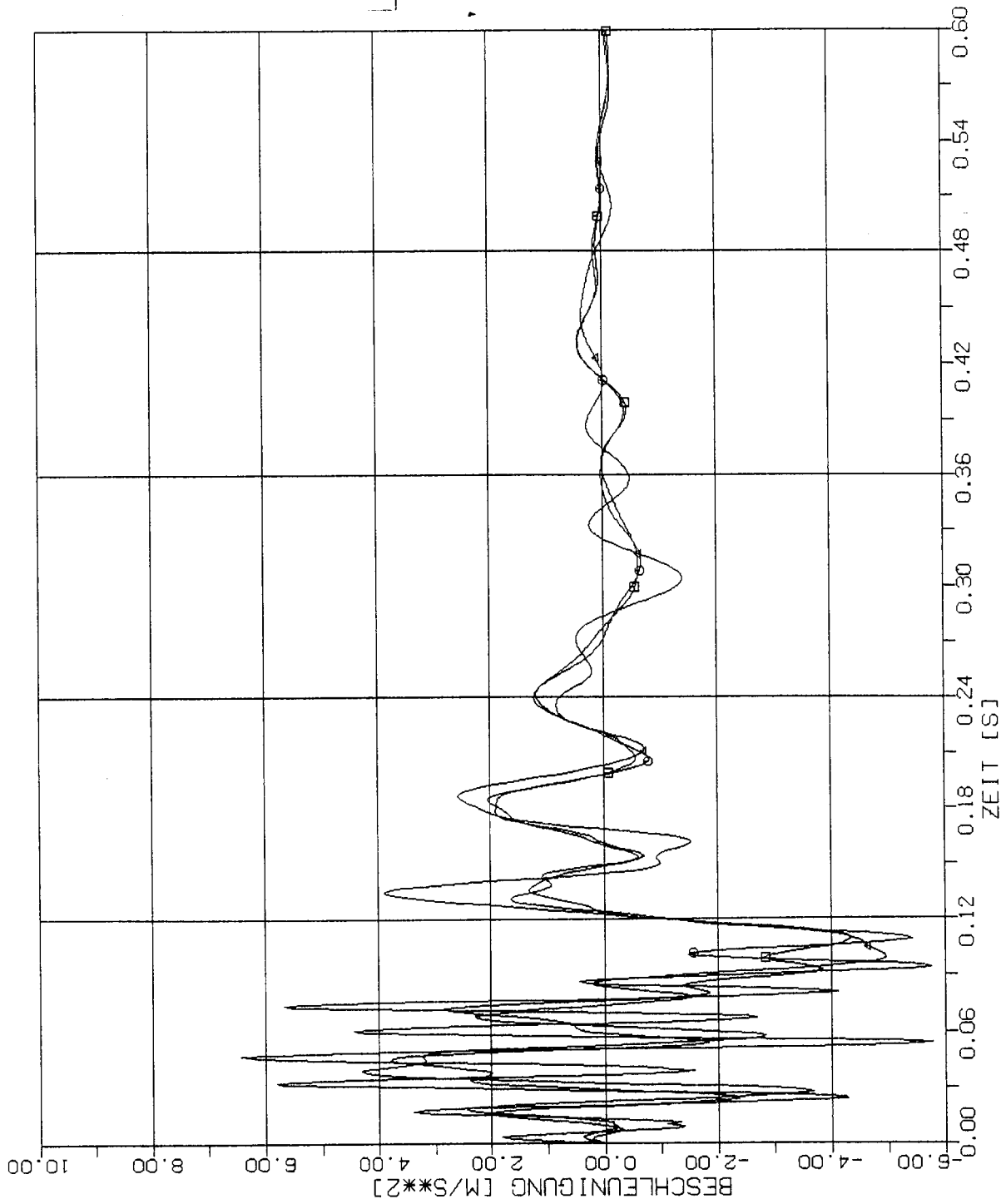
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 1.50 (421)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN XI-RICHTUNG

Elementgröße:

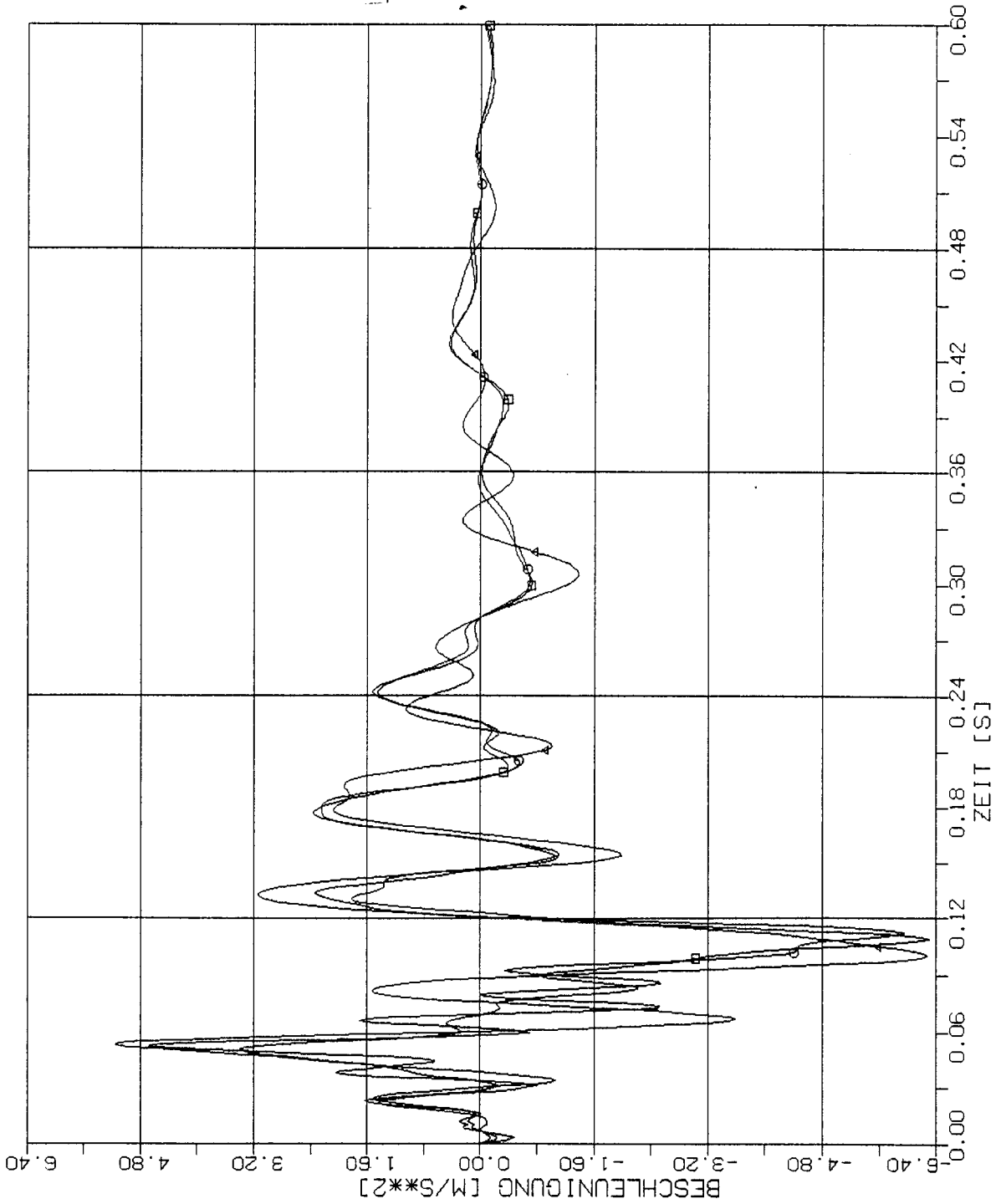
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT. 2.50 (413)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m

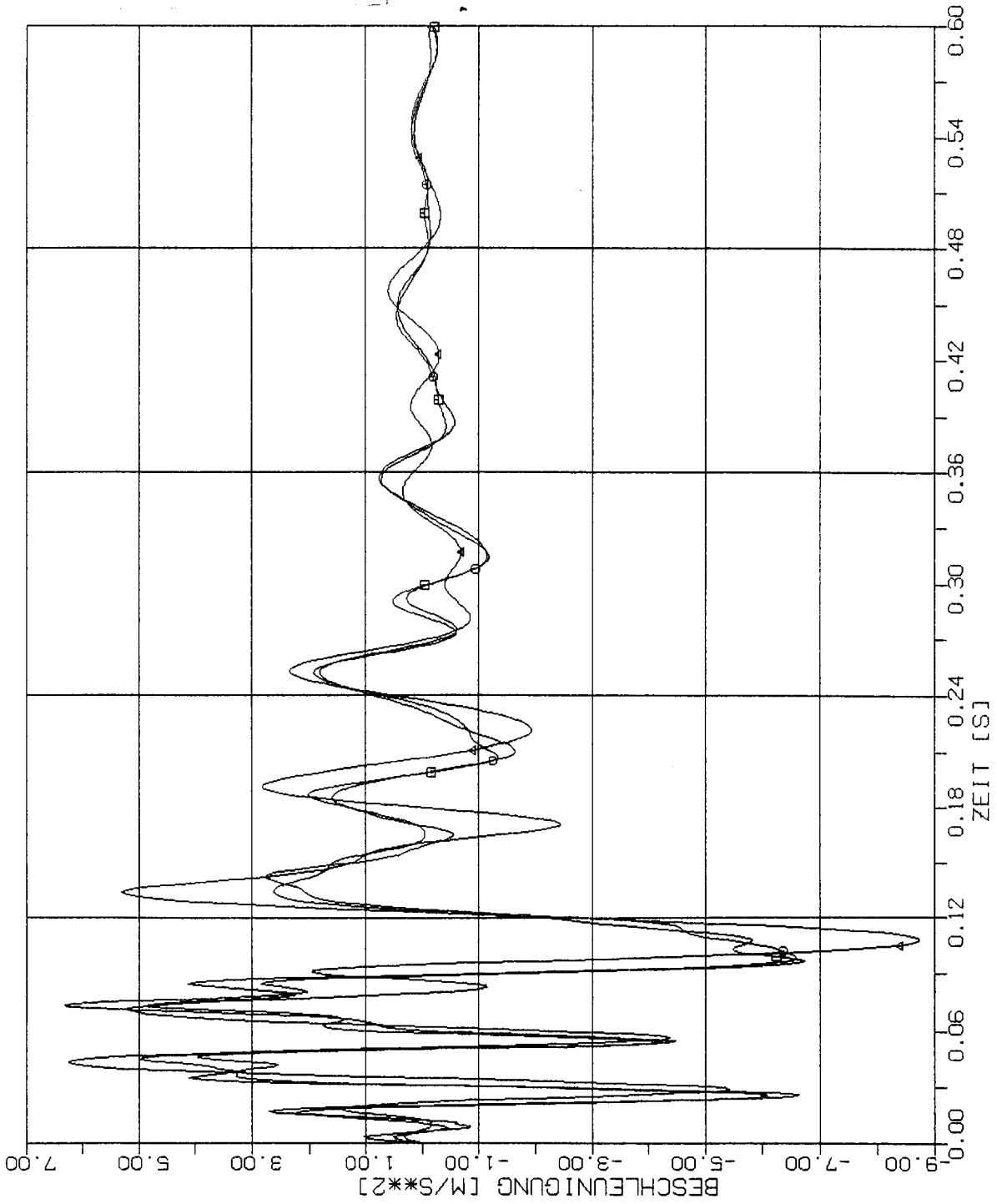


COMPLLOT
VERSION 5.0
DATUM : 9.10.1997
SIEMENS AG

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3.5D (405)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

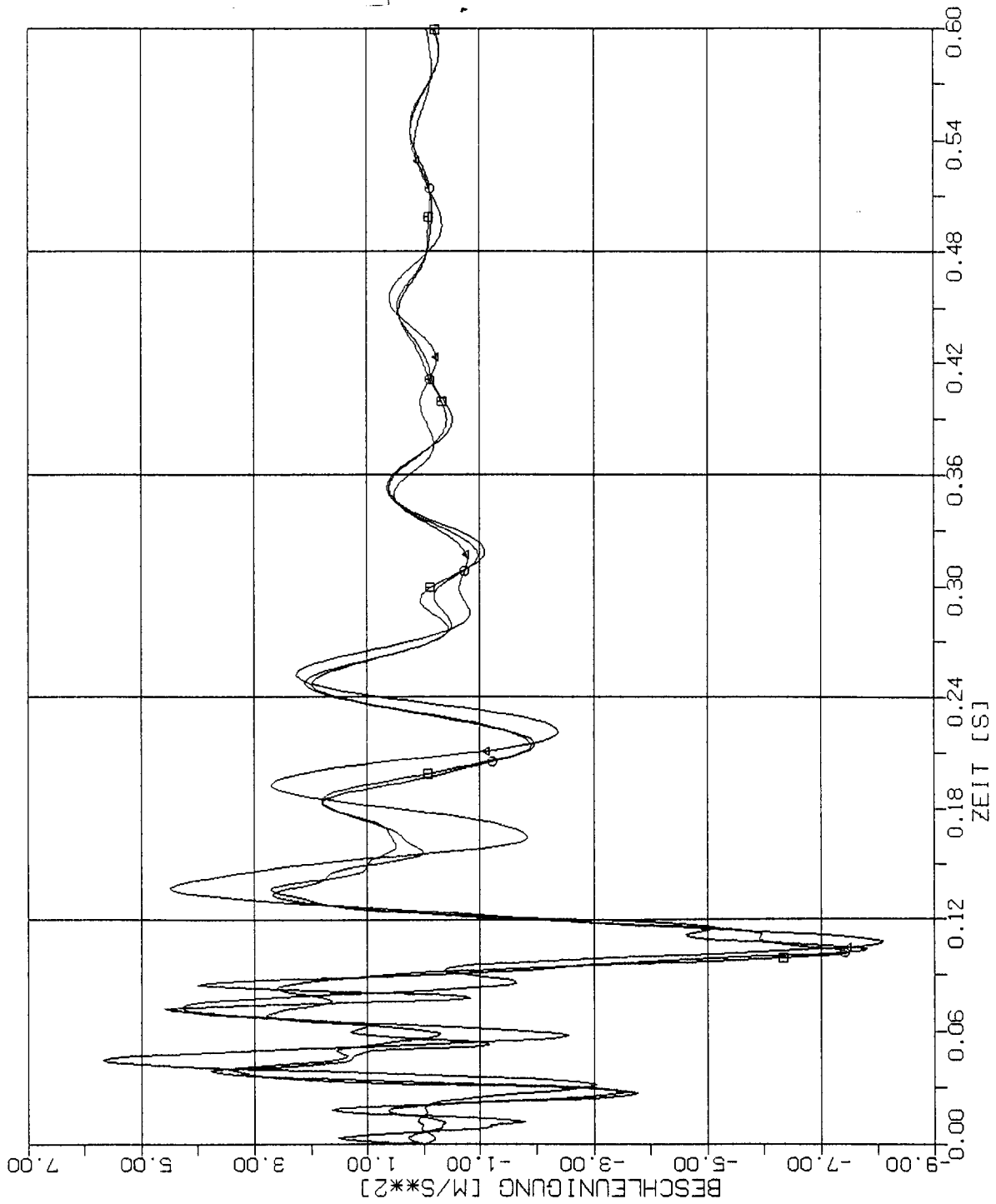
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2.50 (22)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



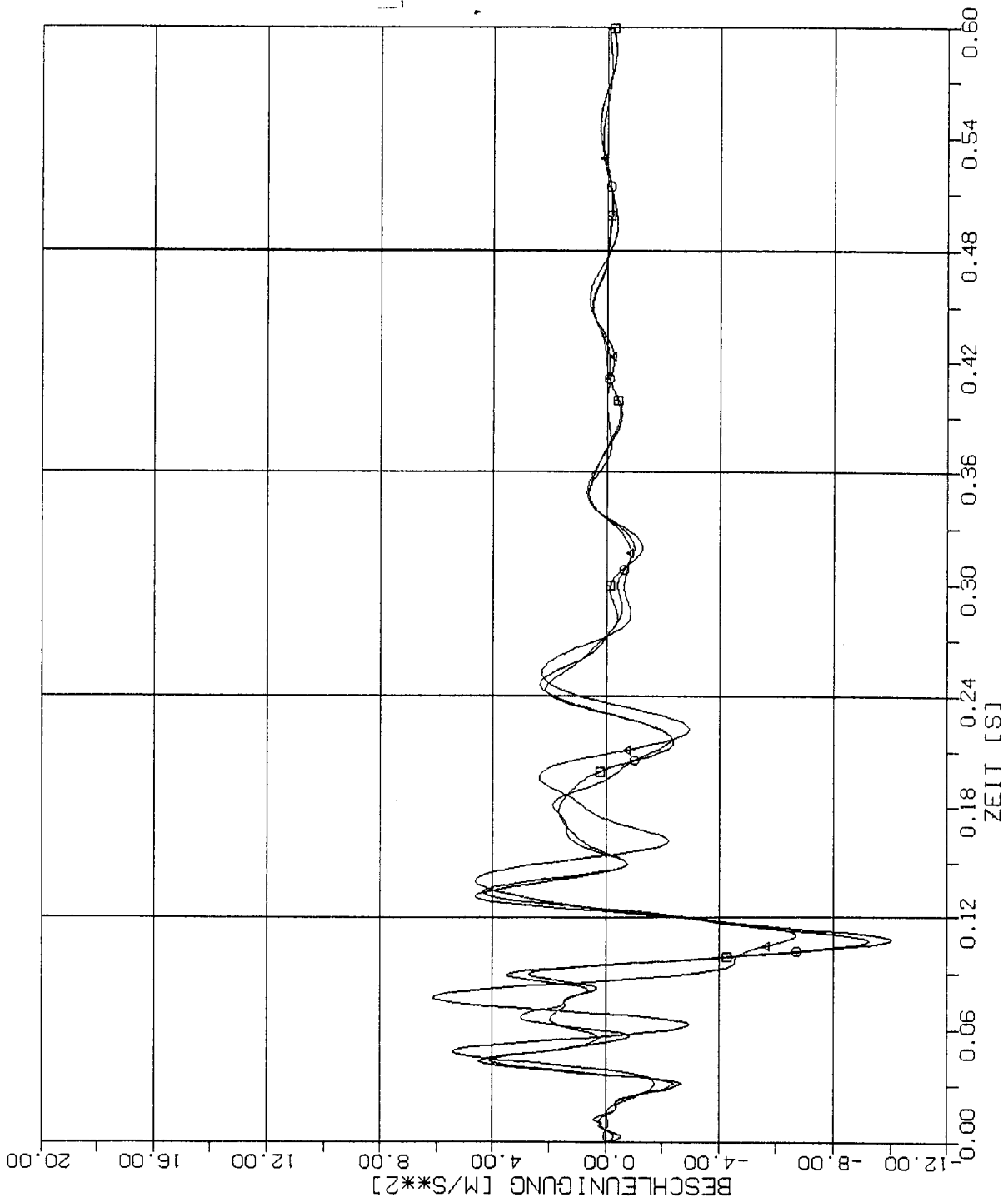
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.50 (213)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

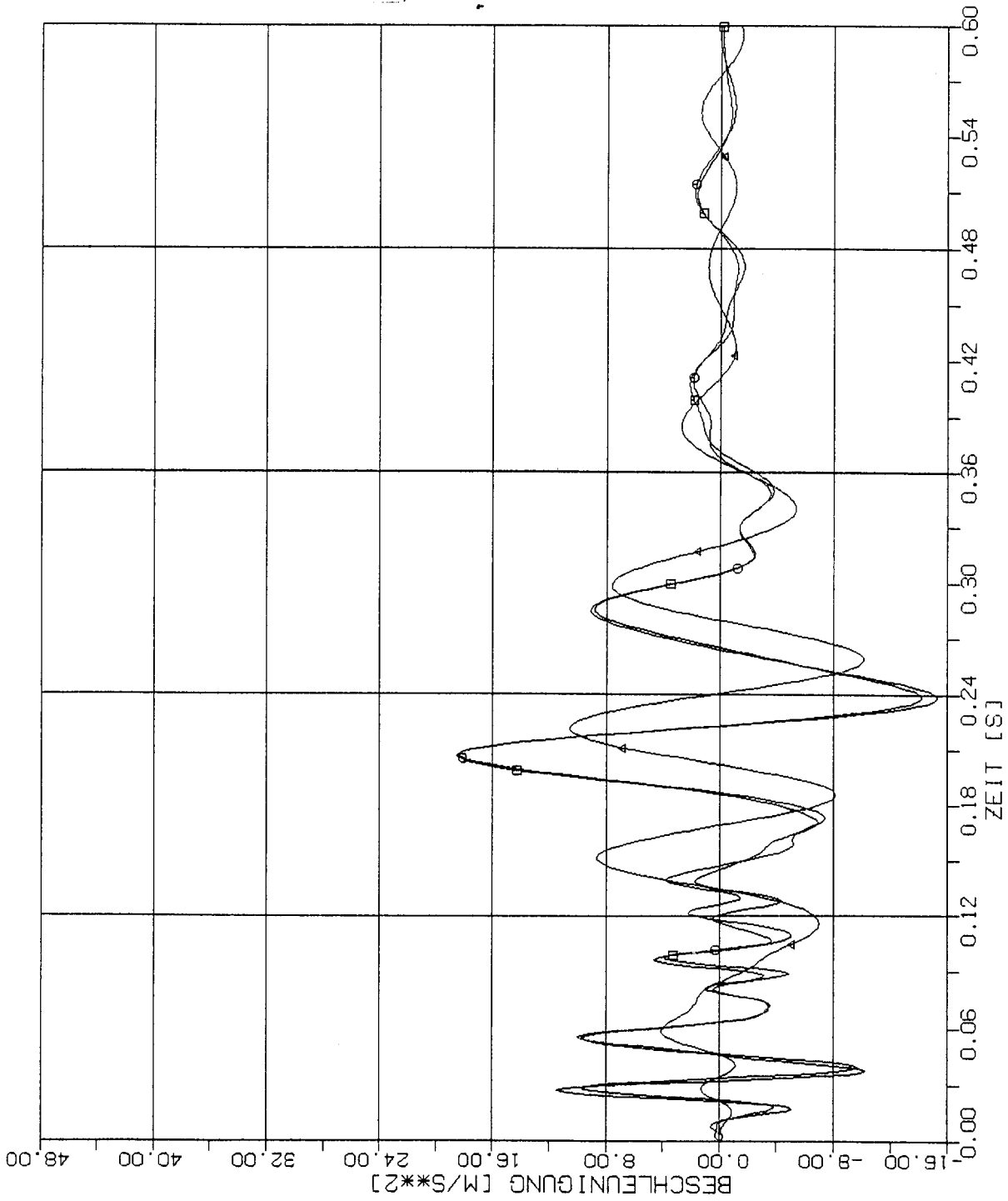
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4.50 (205)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

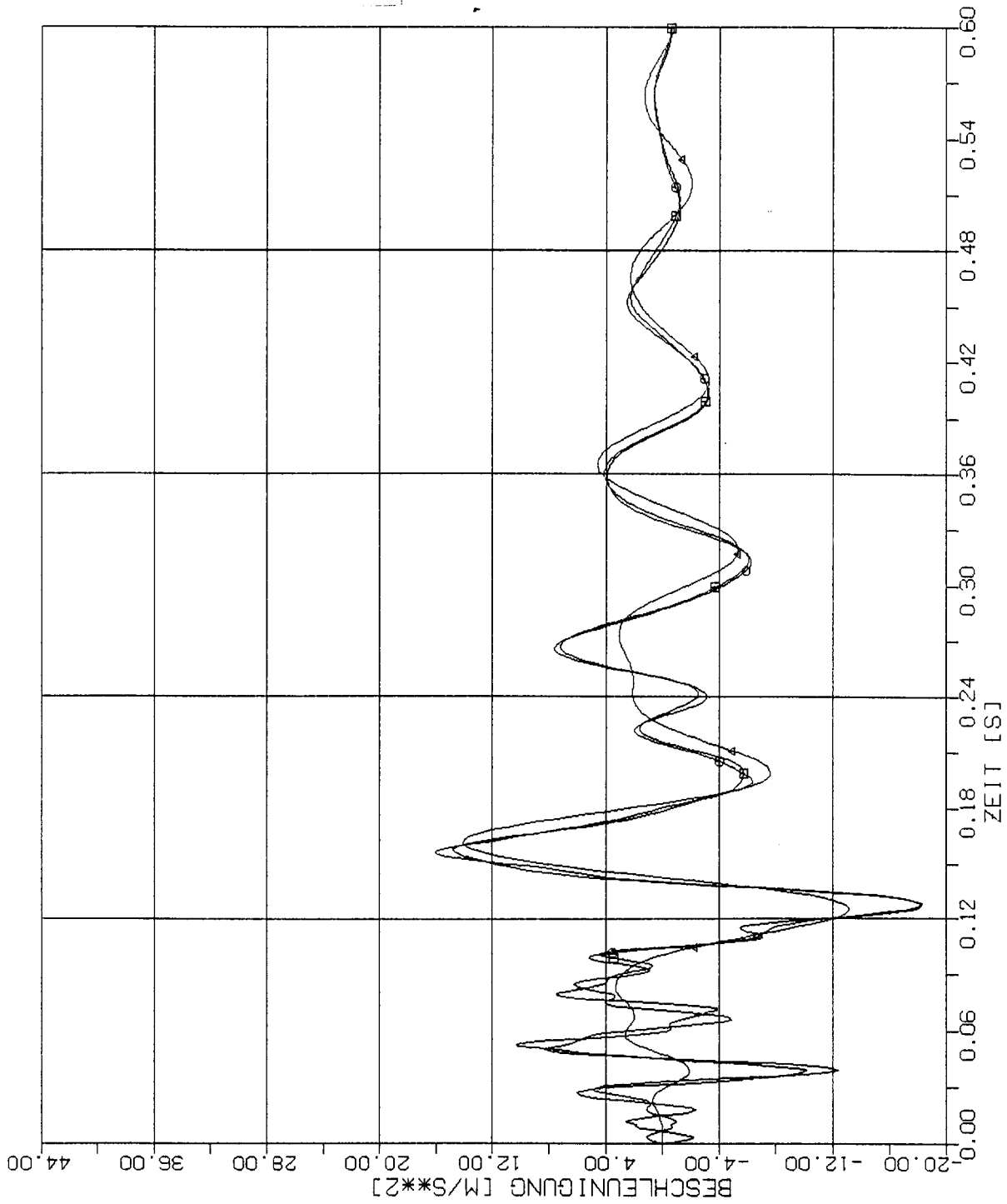
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +1.5W (325)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



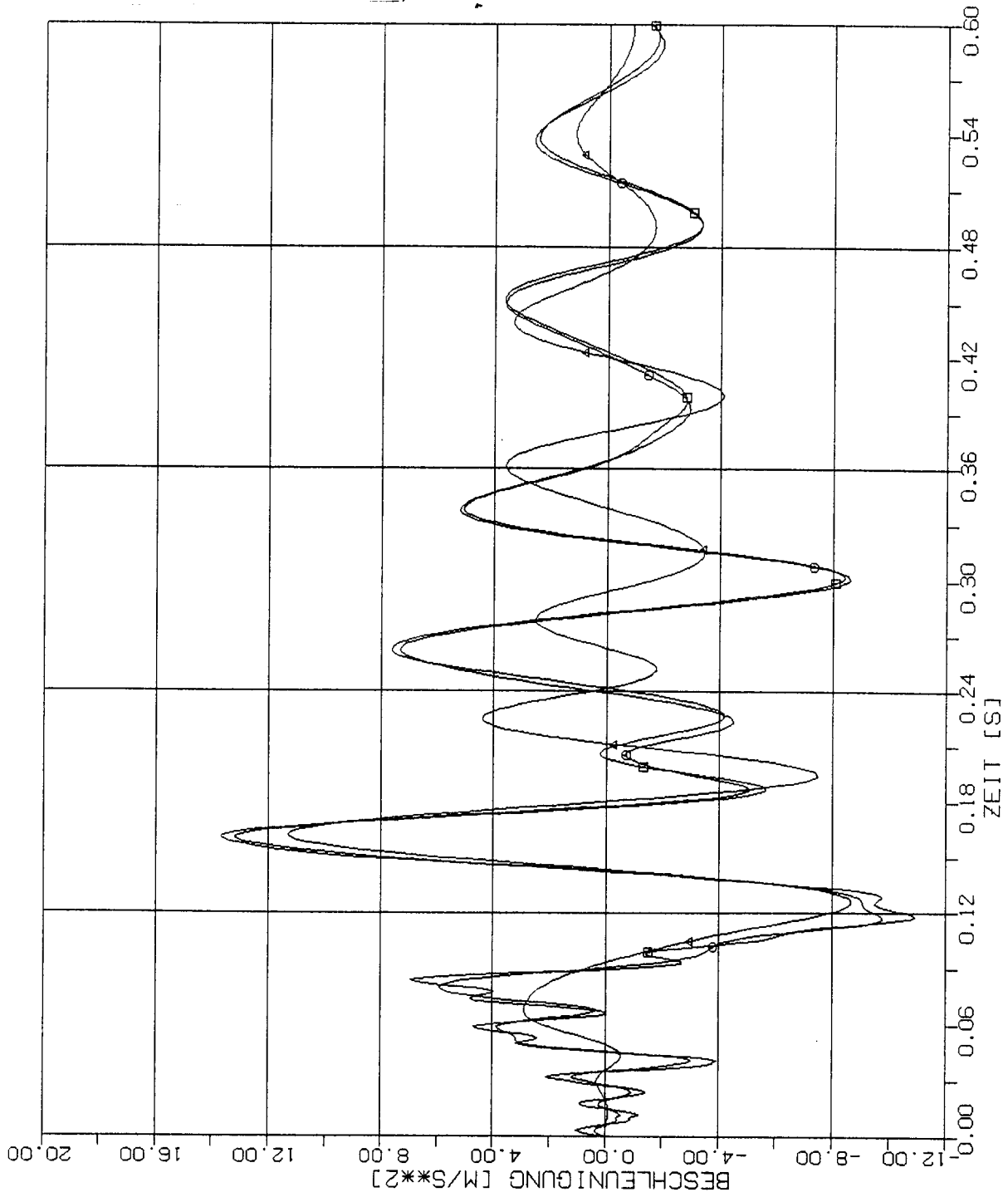
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2.5W (317)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (REF) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

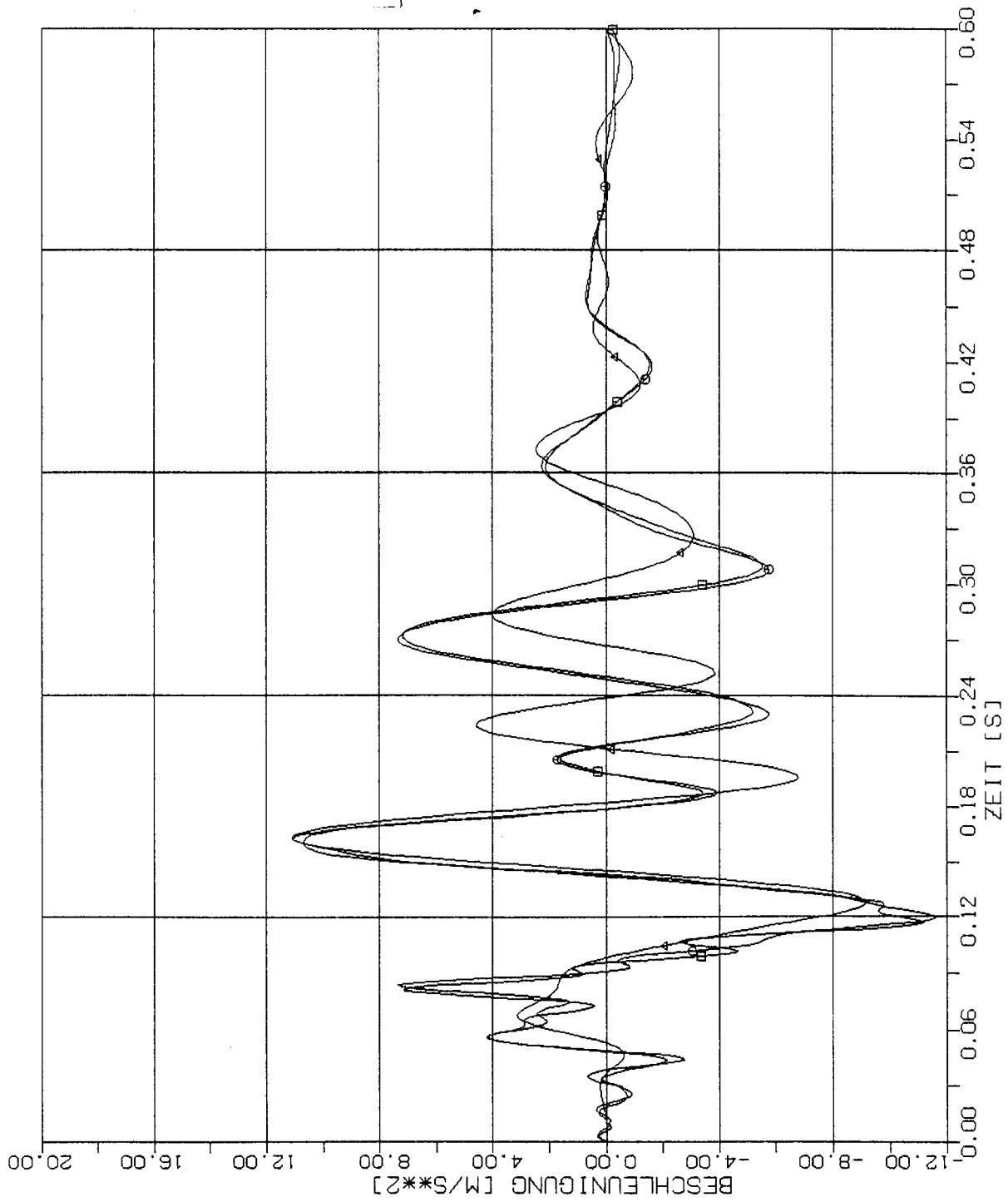
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



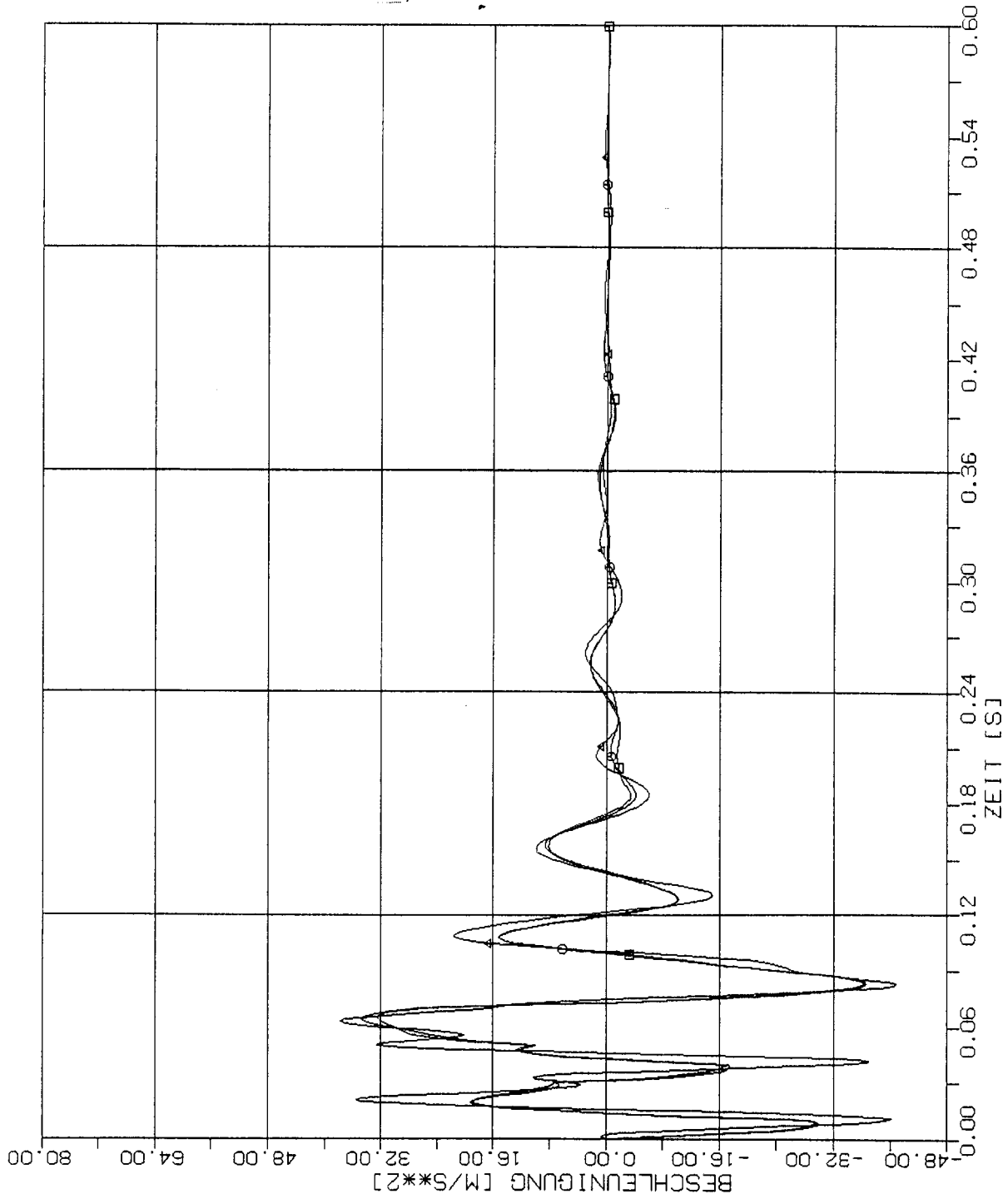
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.5W (309)
 VERTIKALE .(X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +4.5W (301)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



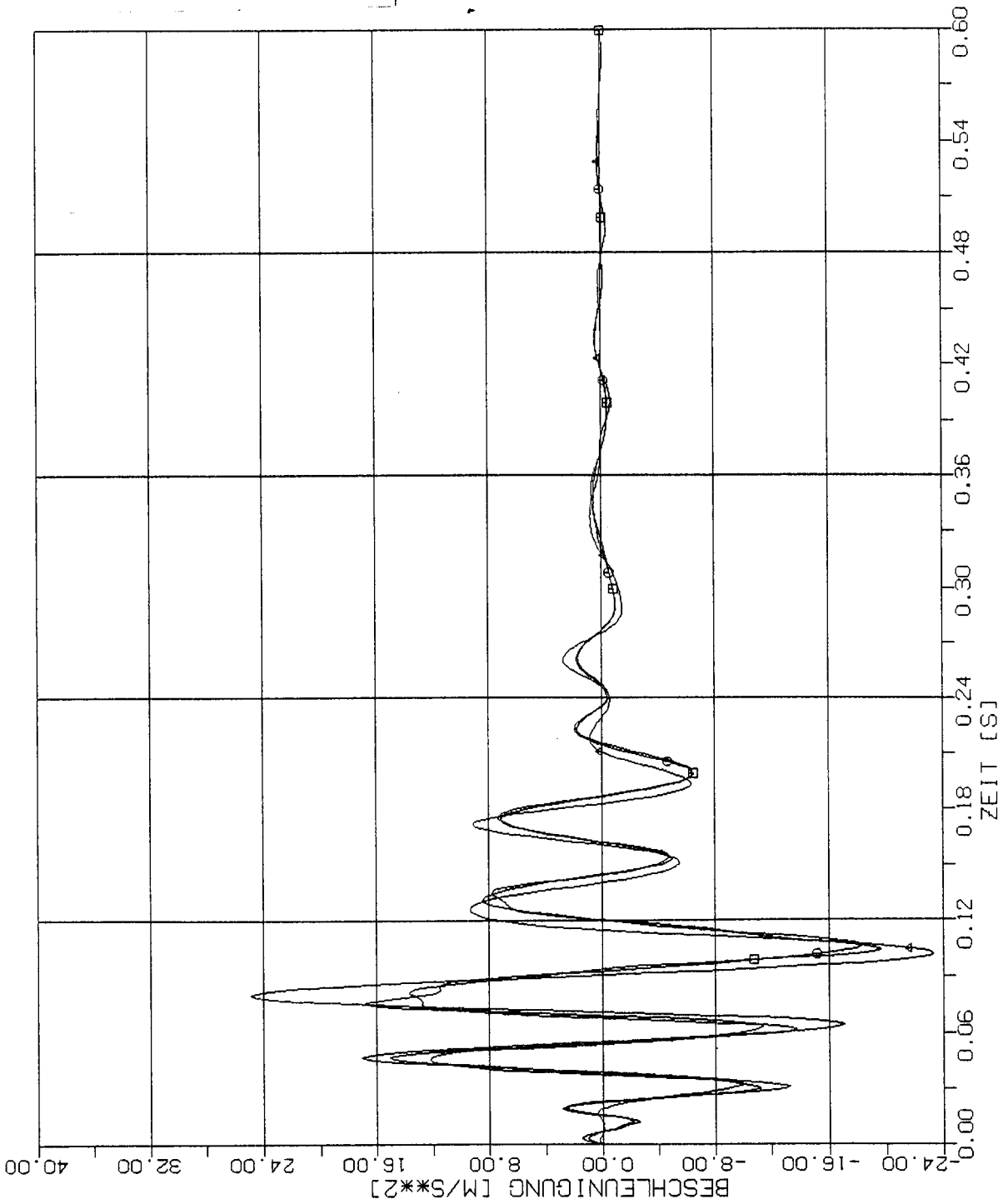
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 1L (425)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



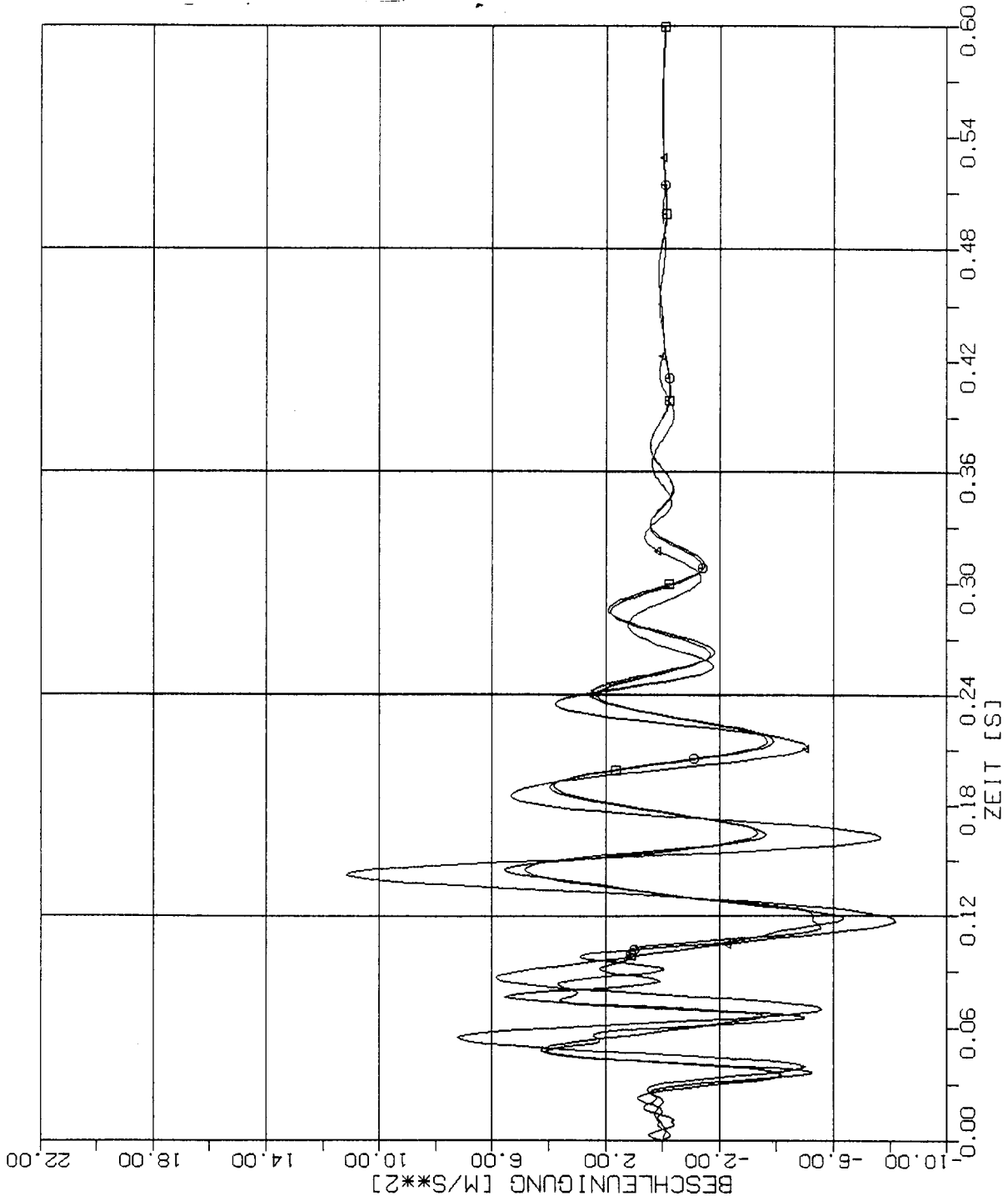
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT ZL (417)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



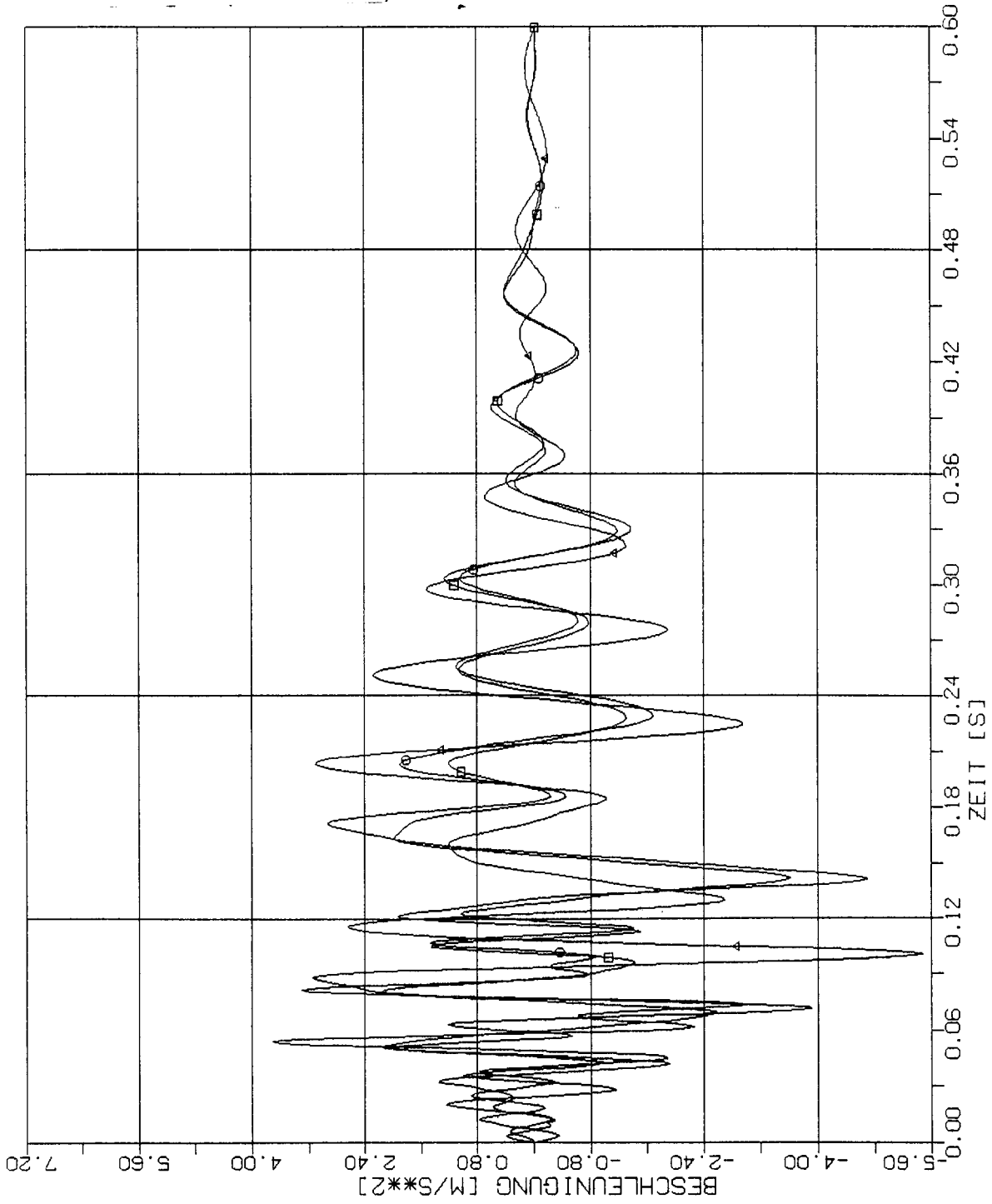
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT 3L (409)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTIORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



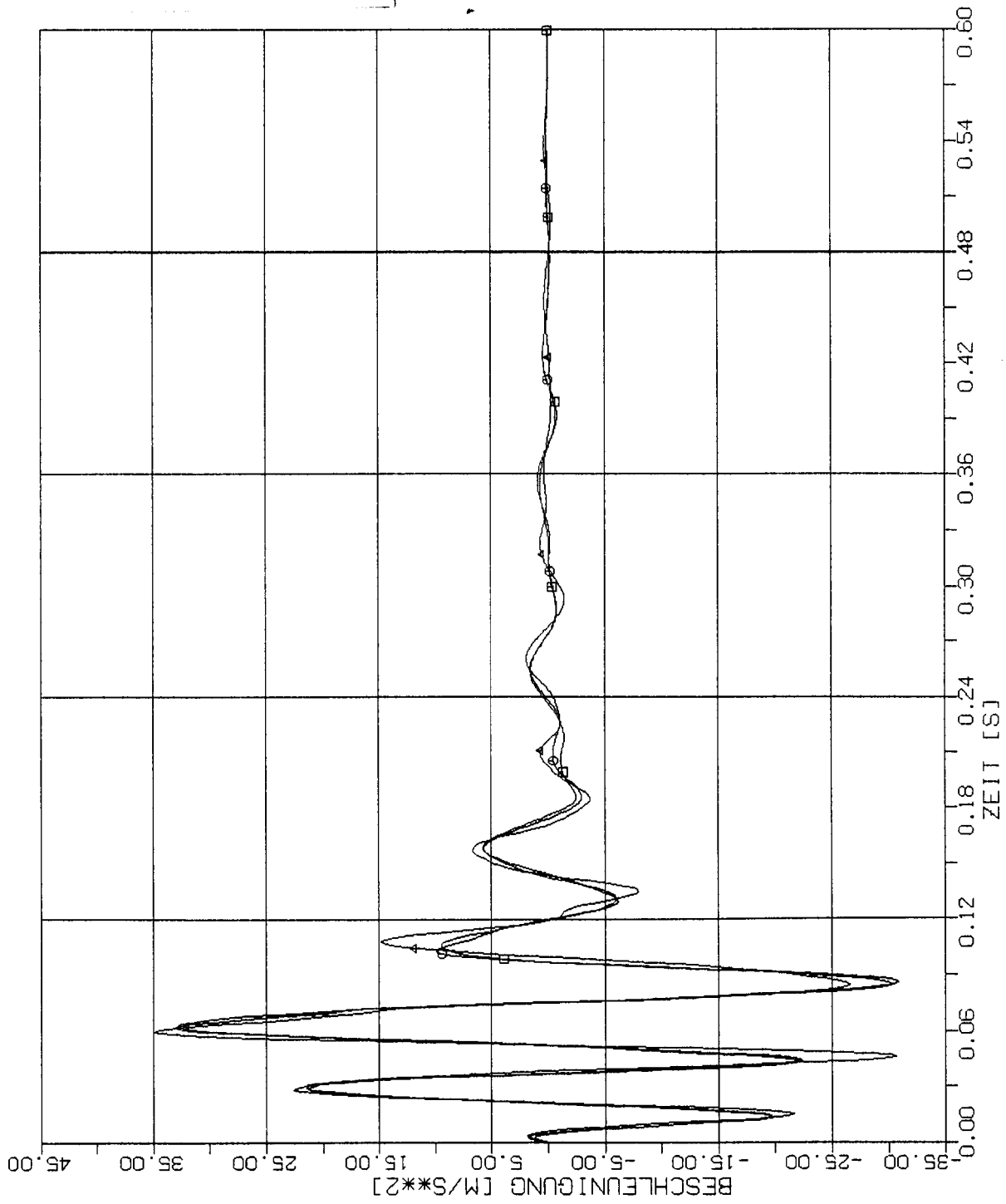
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 4L (401)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

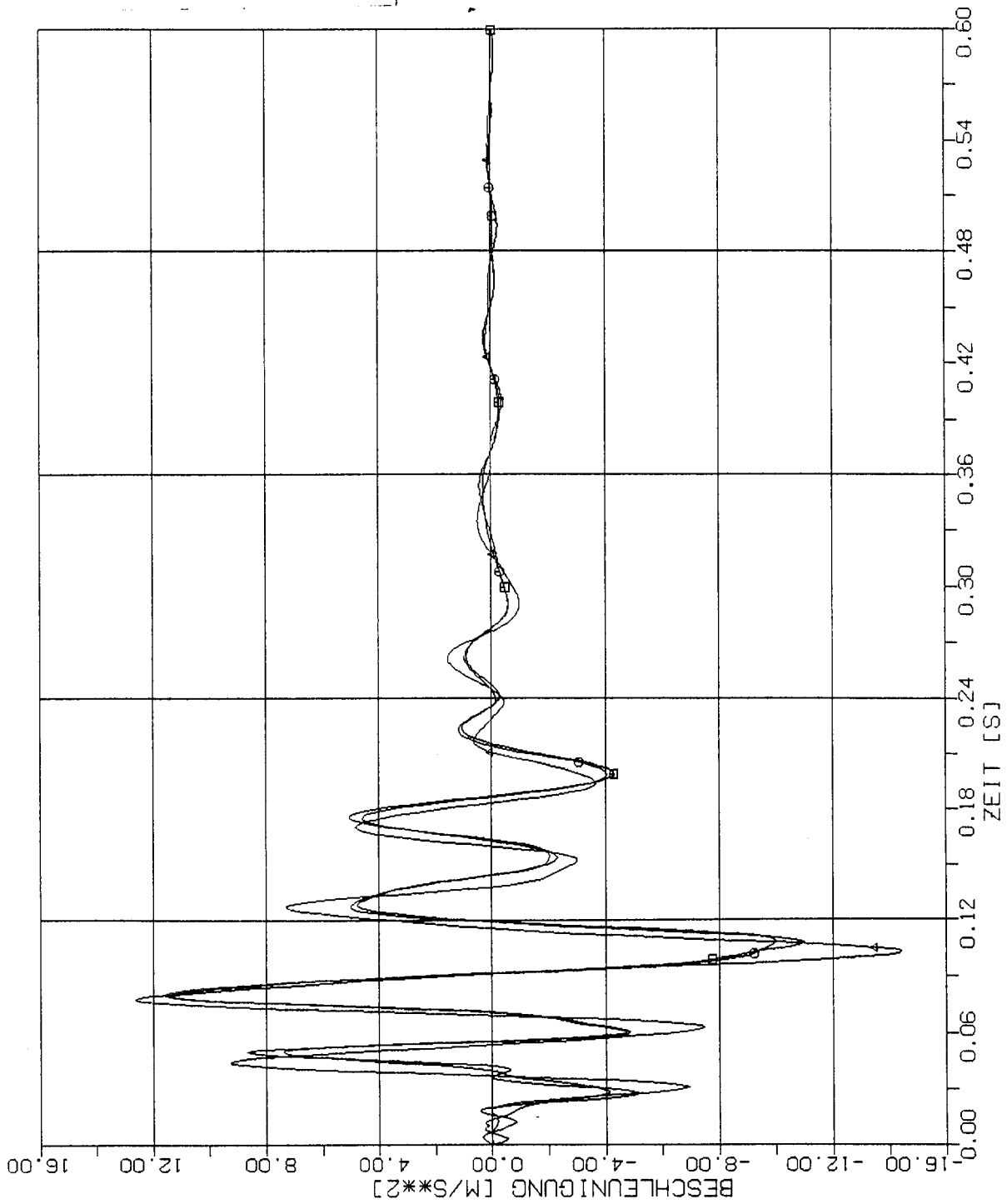
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE PUNKT +2L (225)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



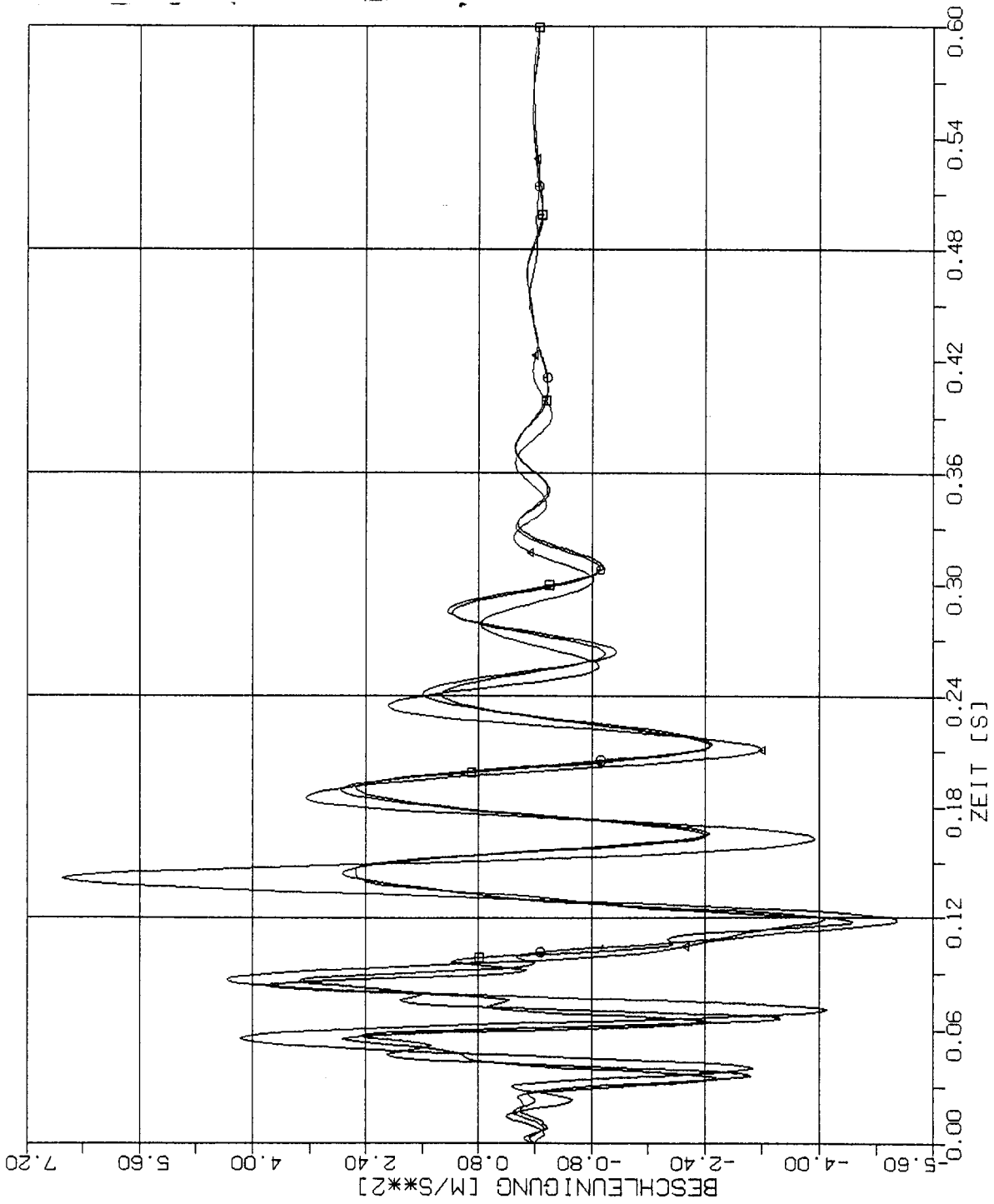
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3L (217)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

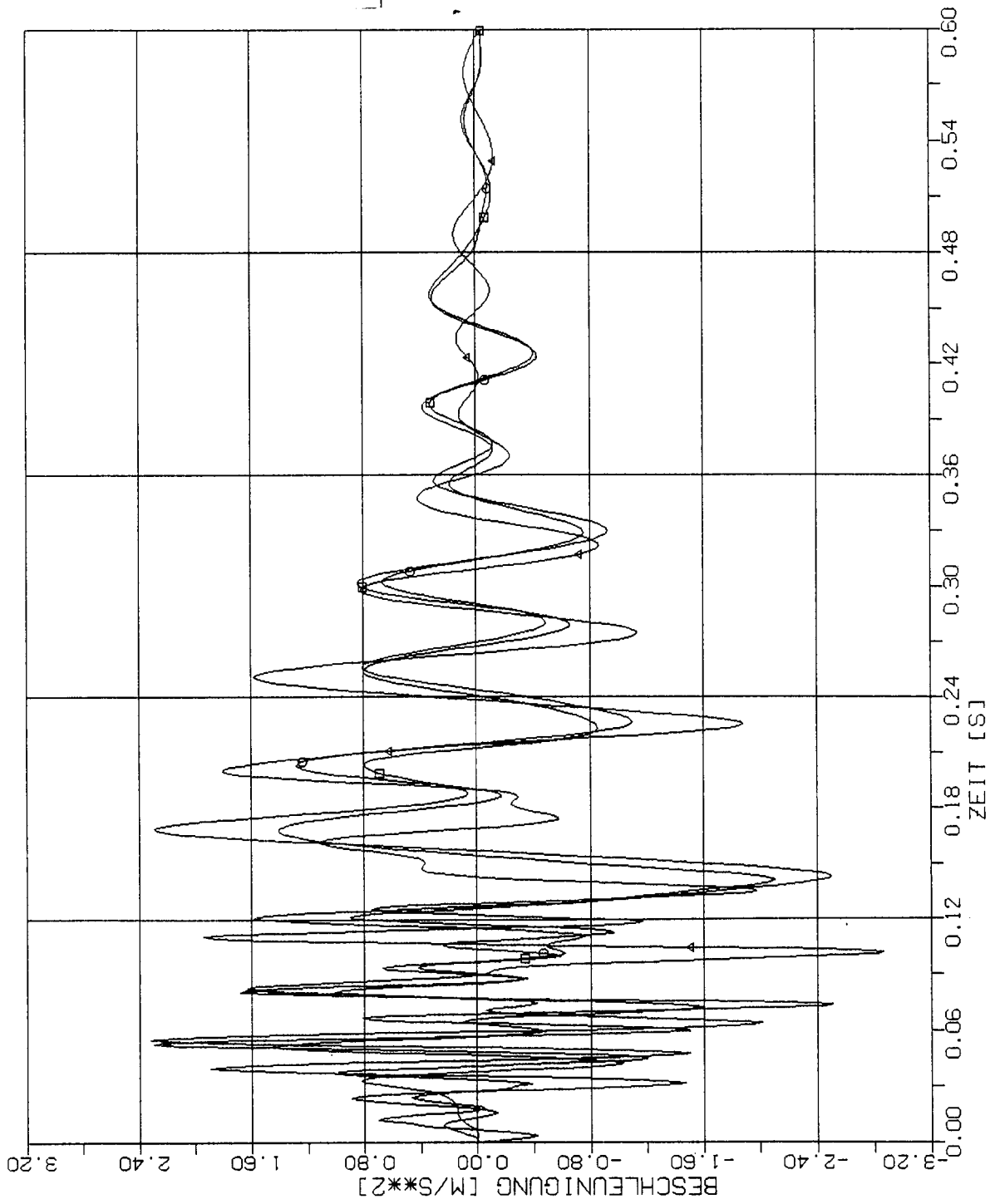
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +4L (209)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



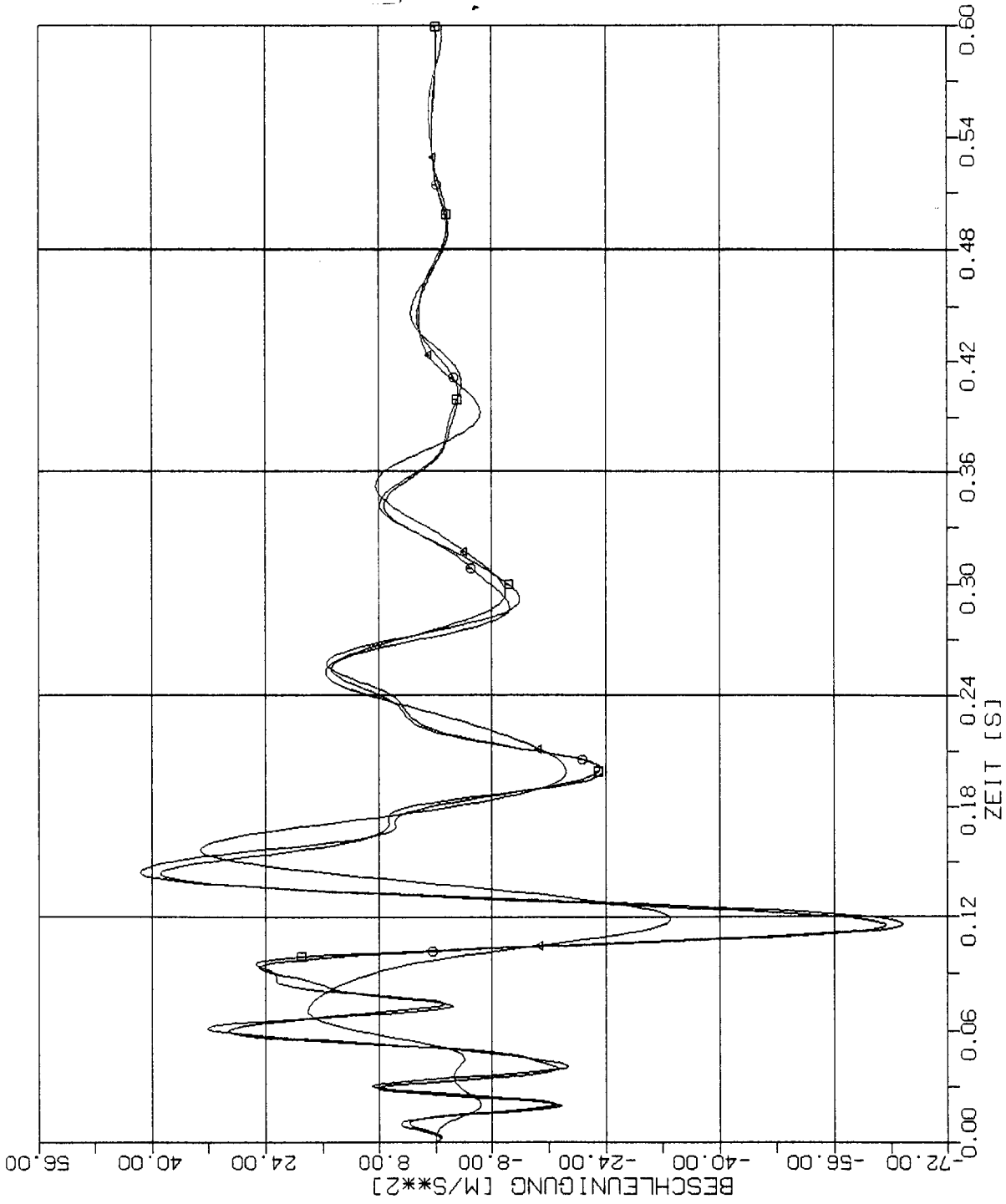
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE PUNKT +5L (201)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



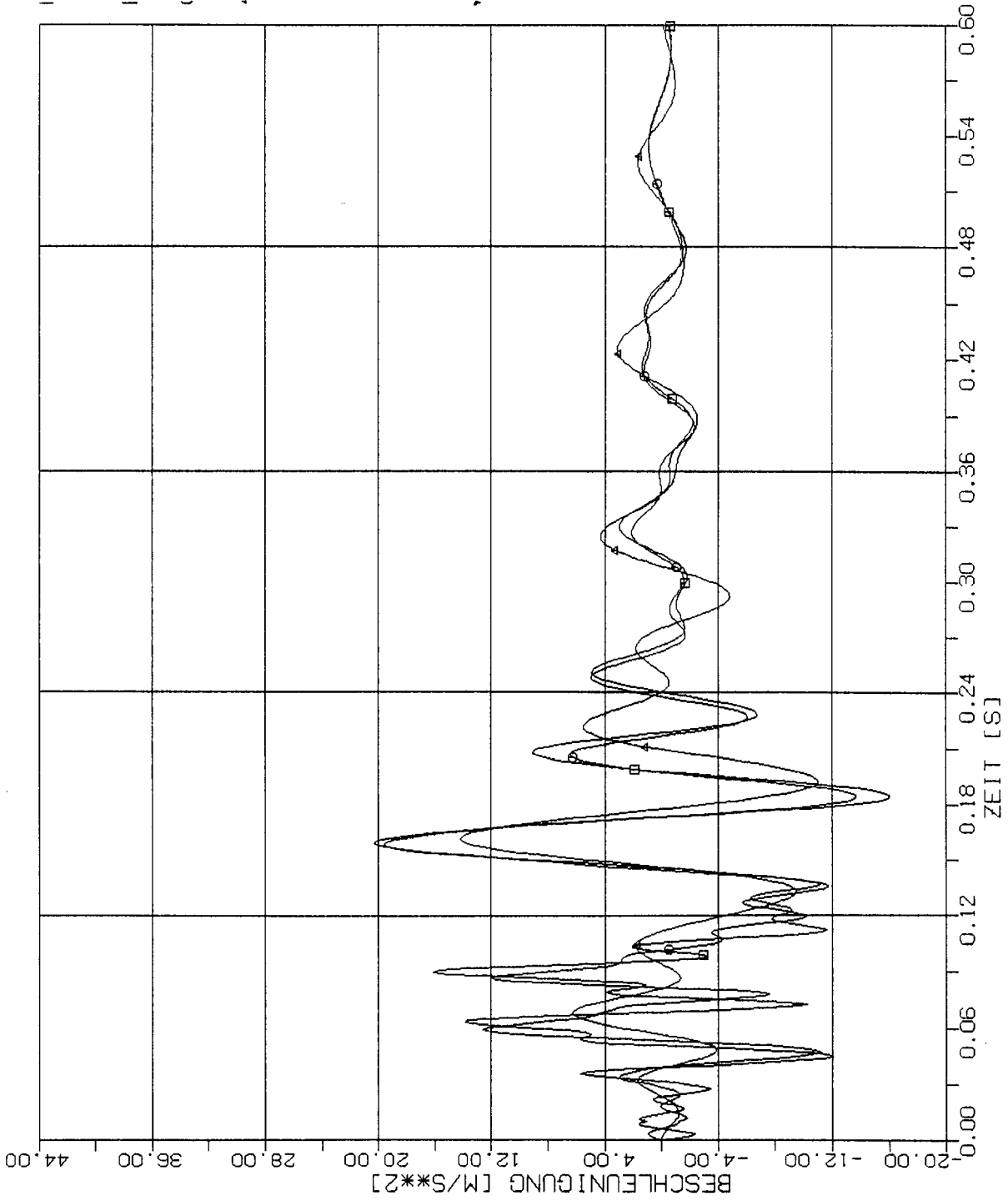
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 1,50 (421)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



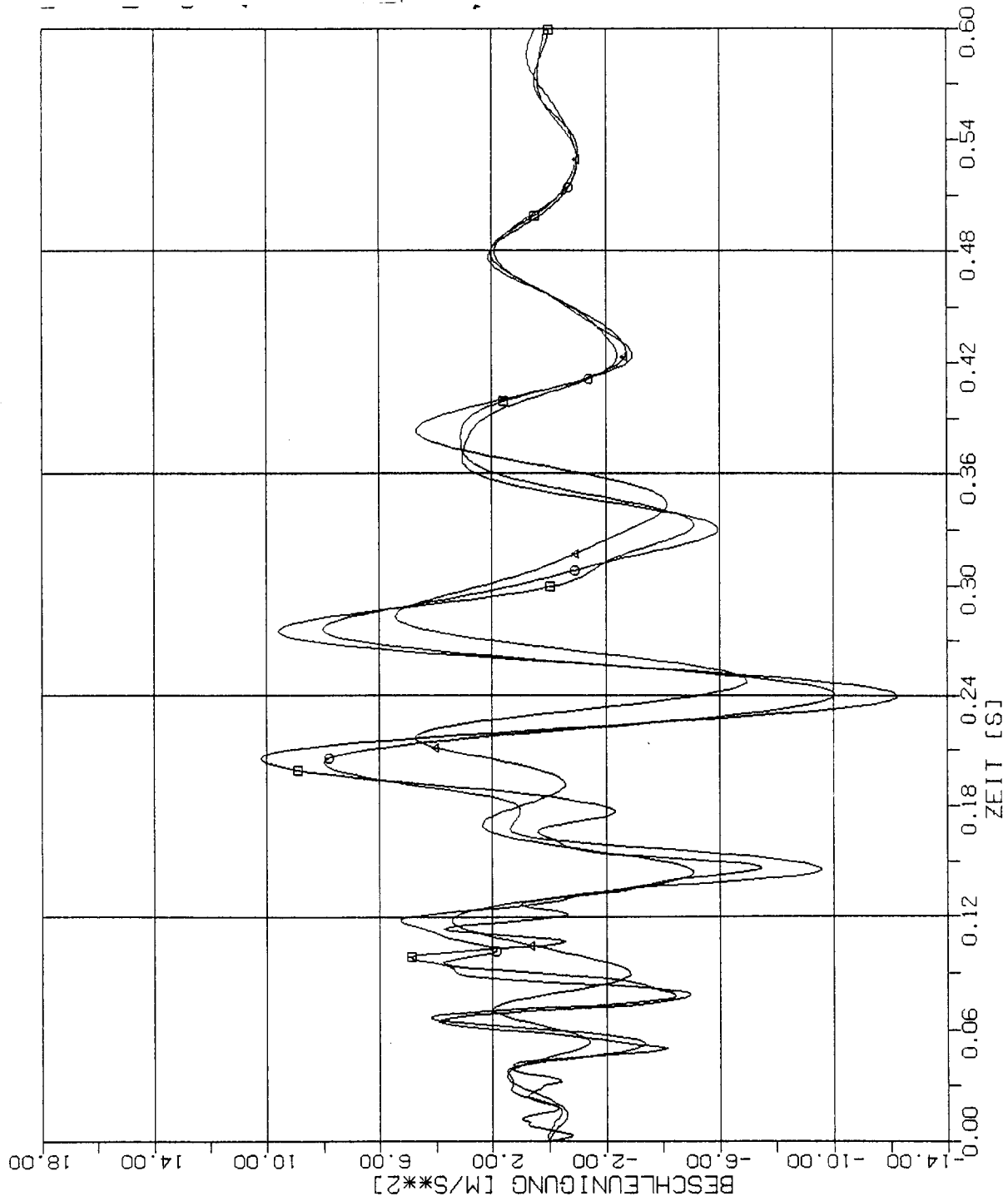
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 2.50 (413)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

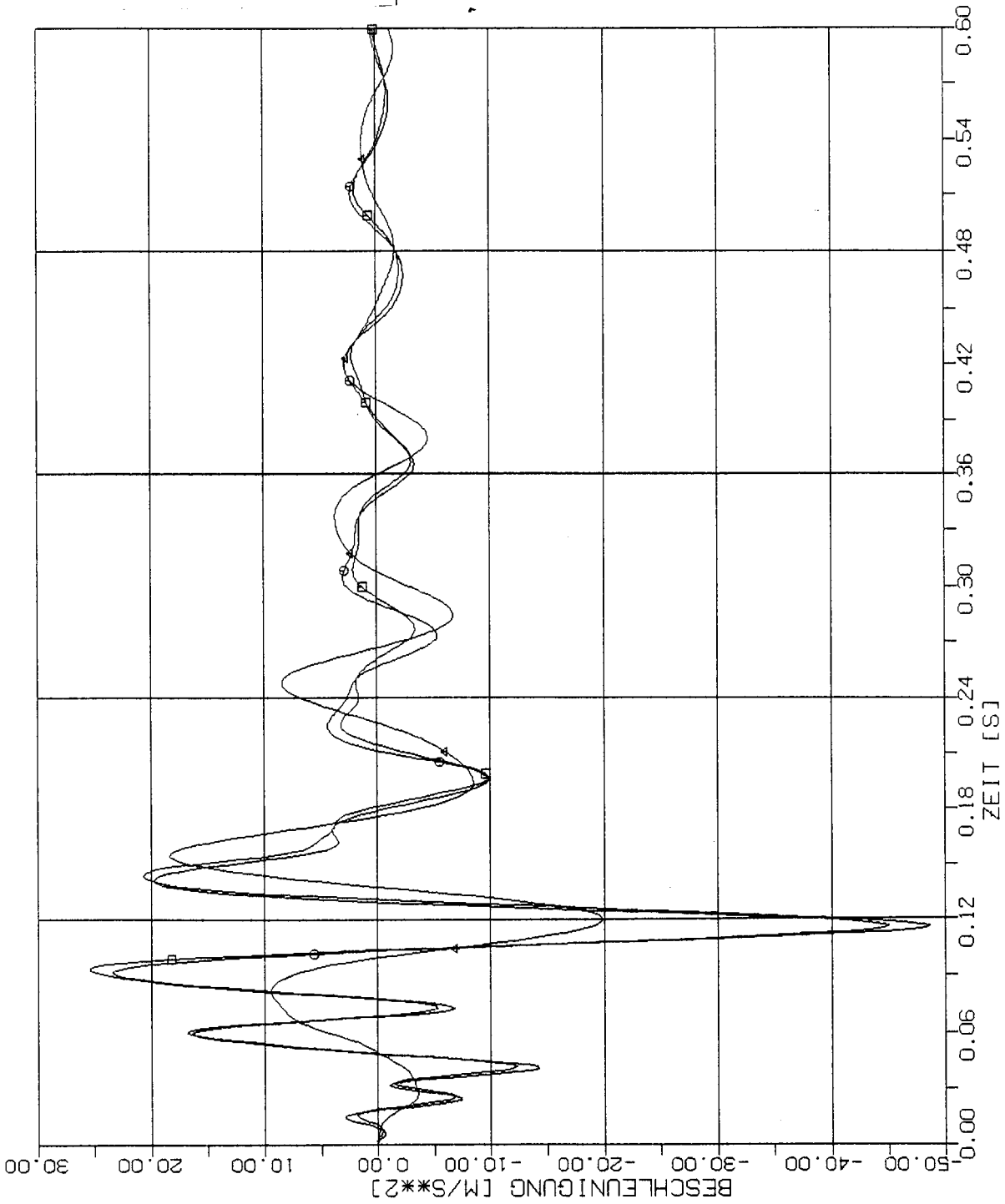
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT 3.5D (405)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

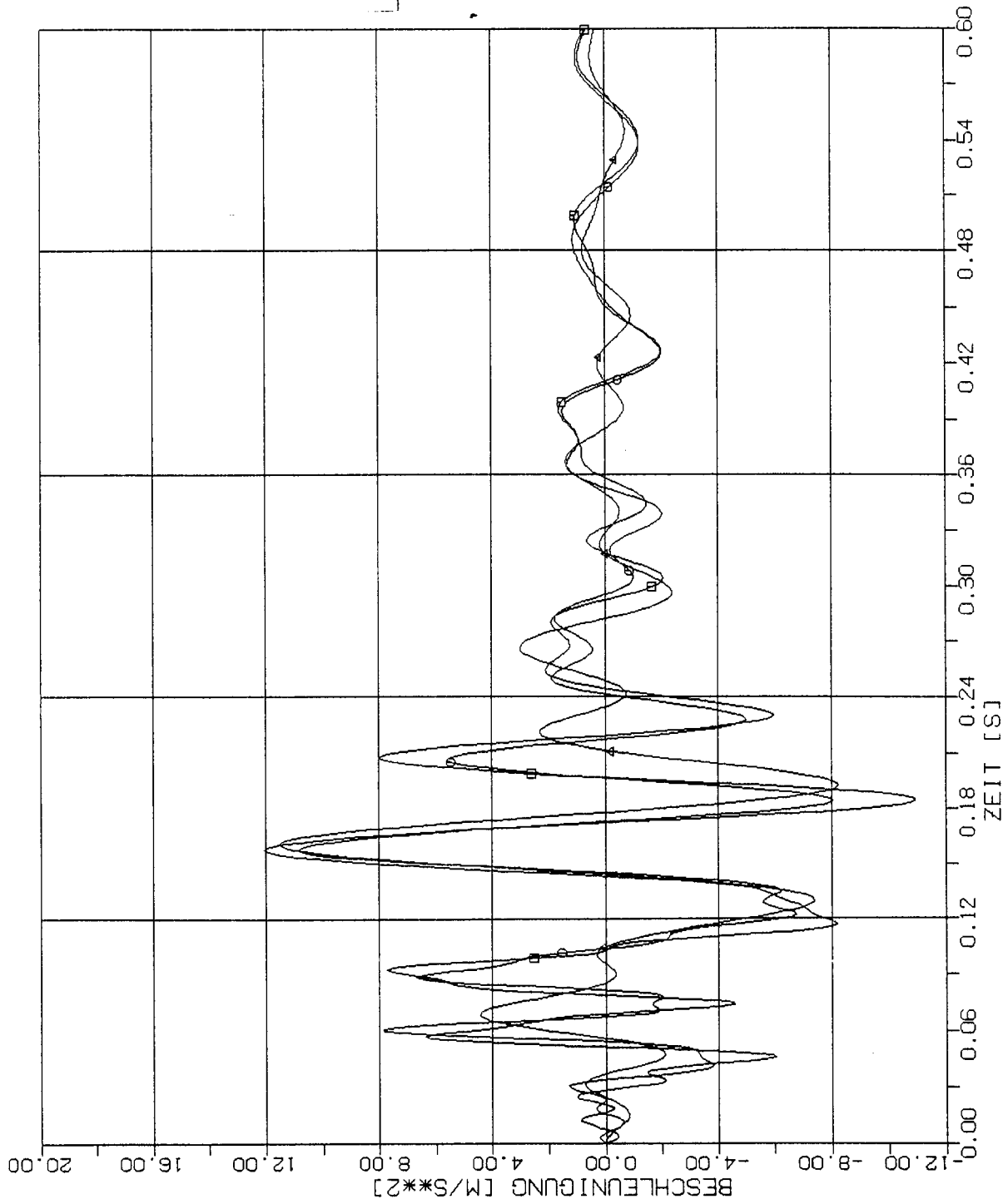
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +2.50 (221)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



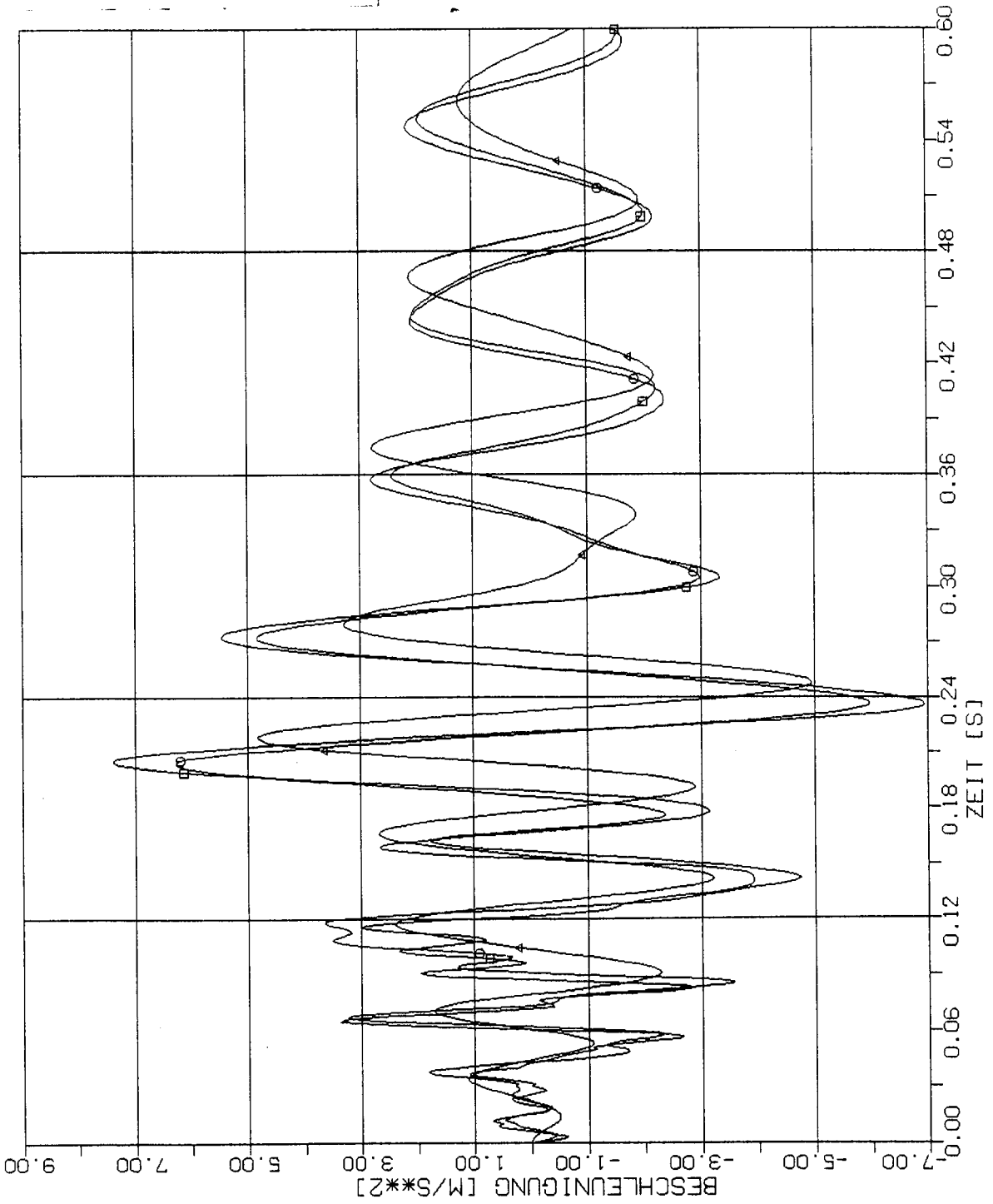
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.5D (213)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



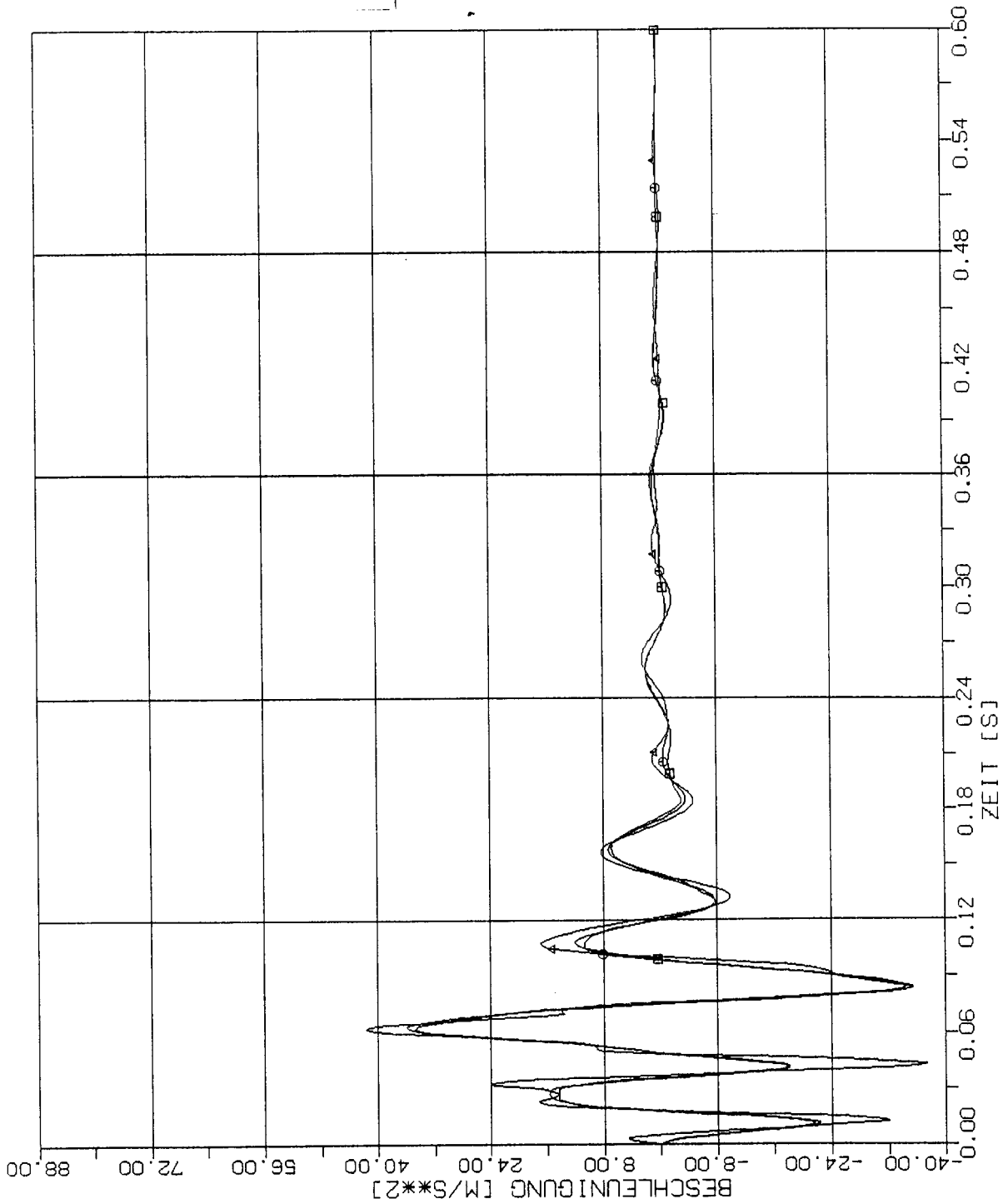
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFÖRMIGEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE PUNKT +4.5D (205)
VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

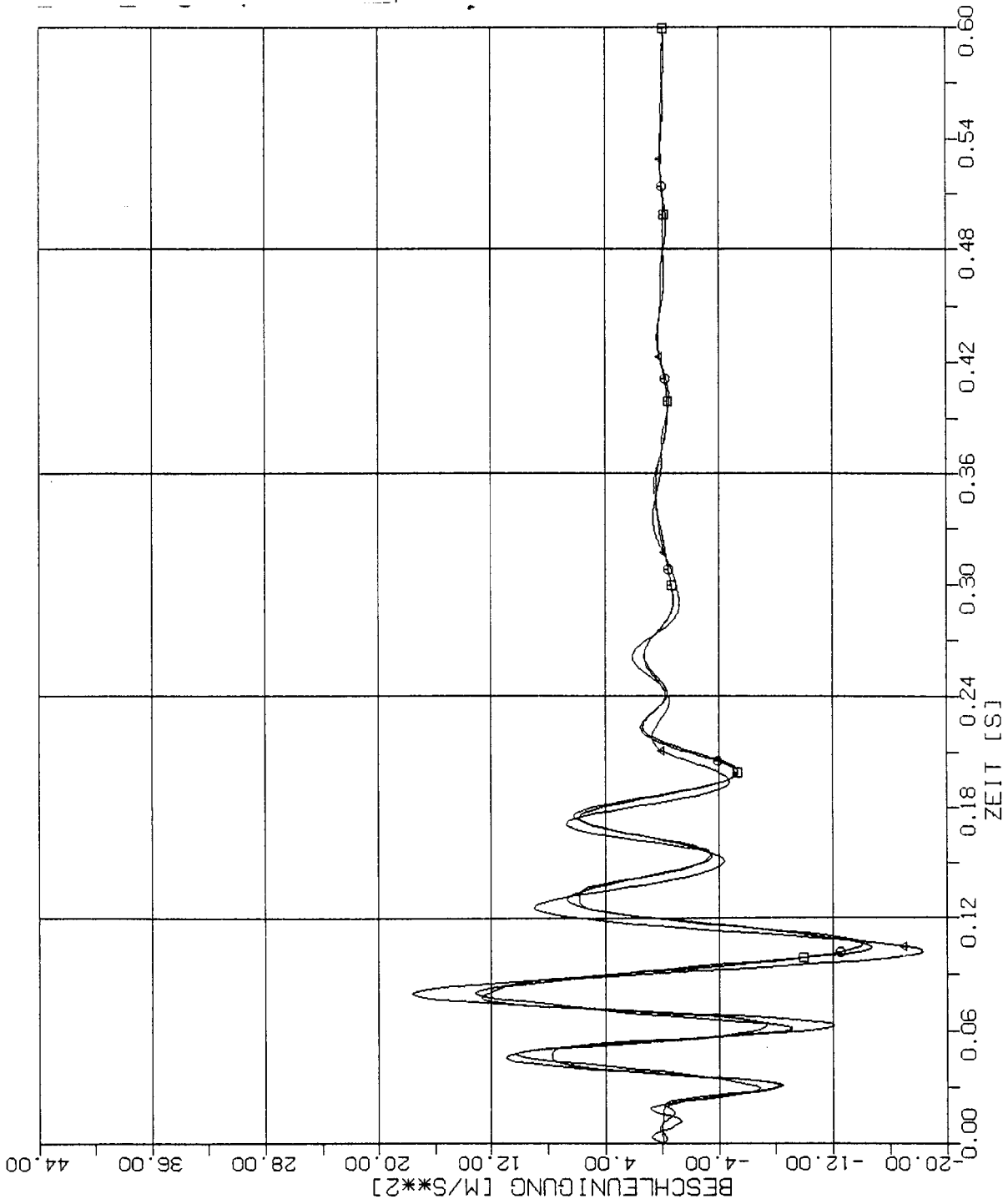
△ 8m x 8m



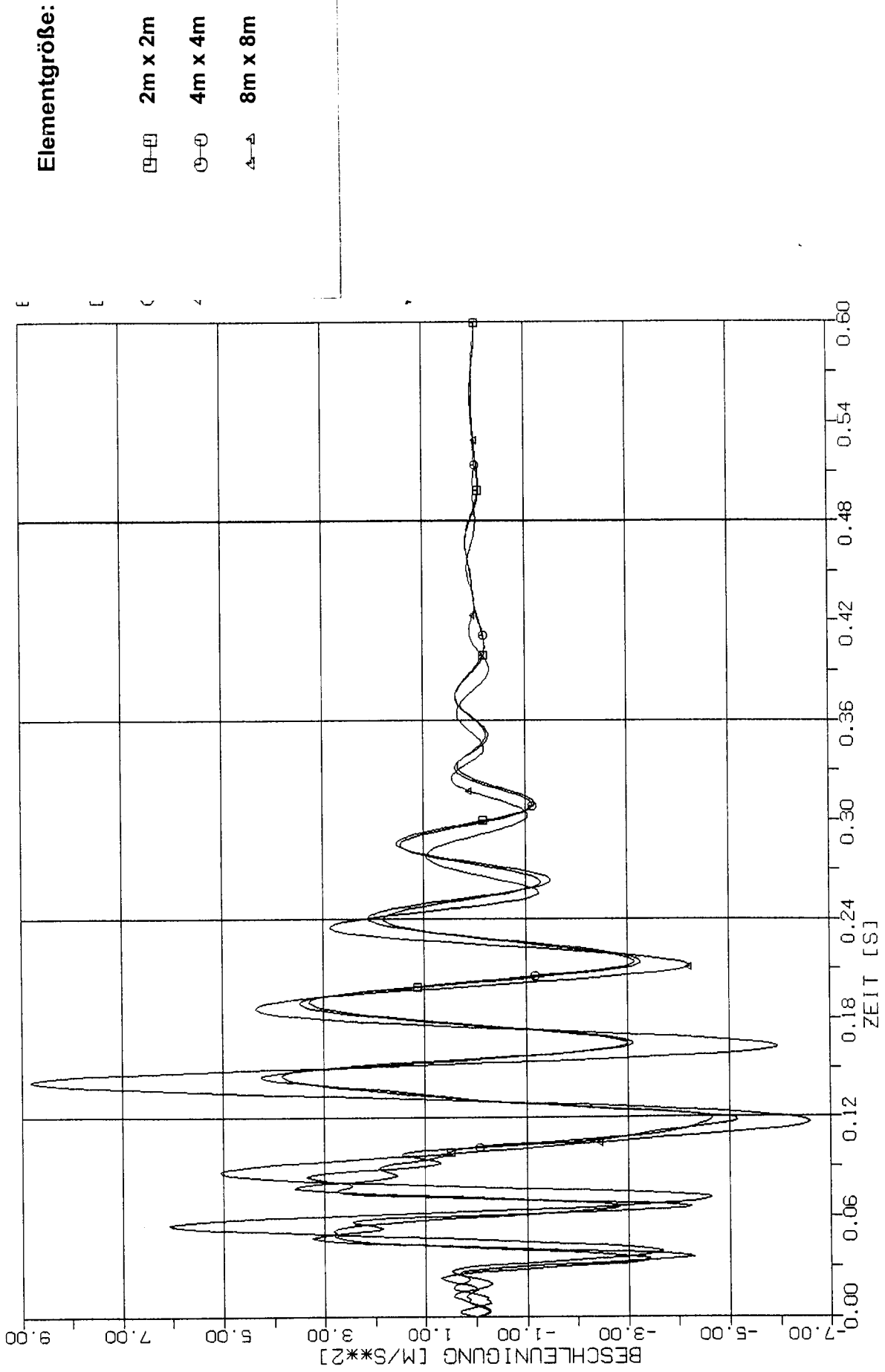
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFE PUNKT +1,5W (325)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

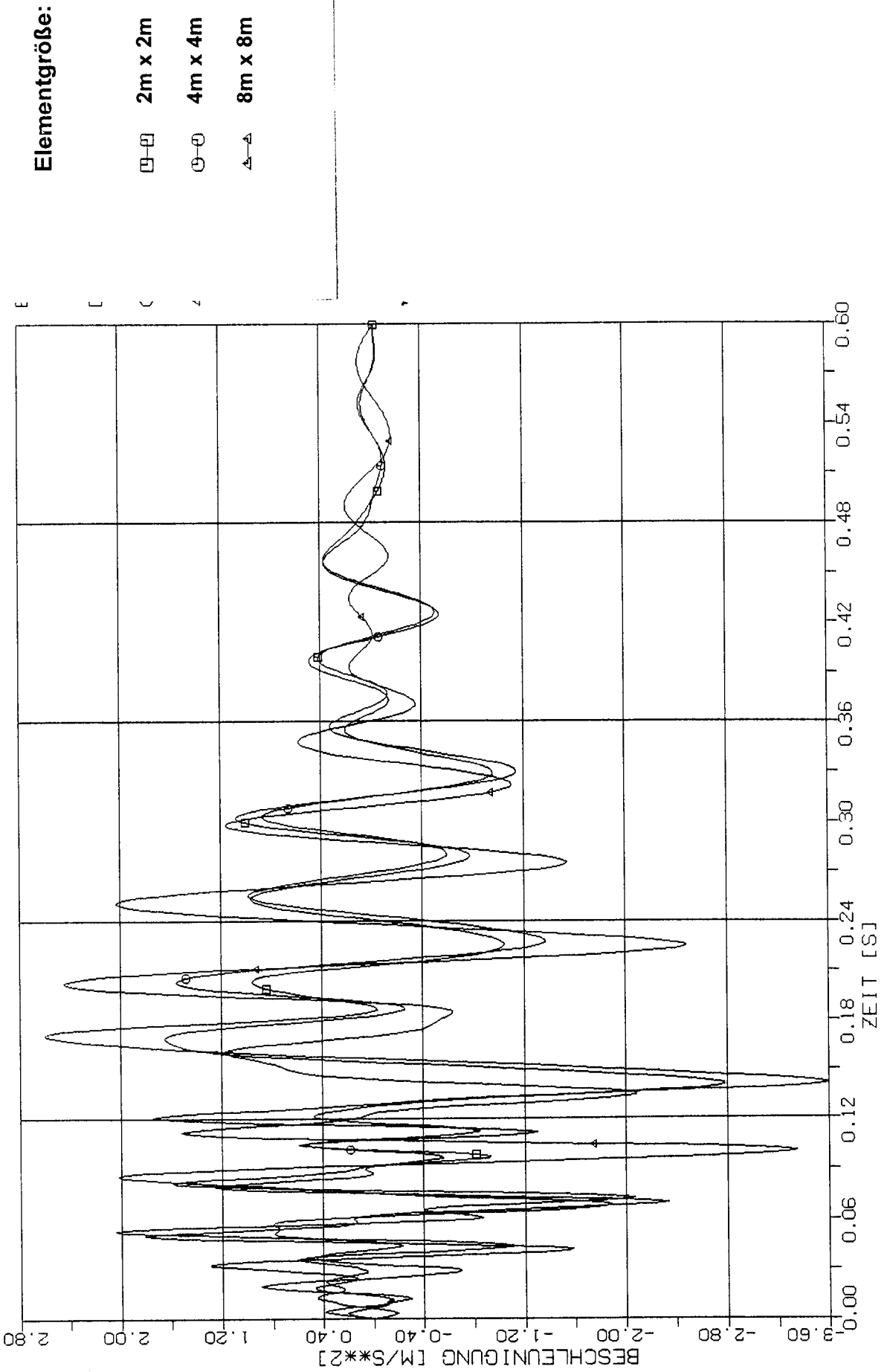
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +2,5W (317)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUEFE PUNKT +3.5M (309)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



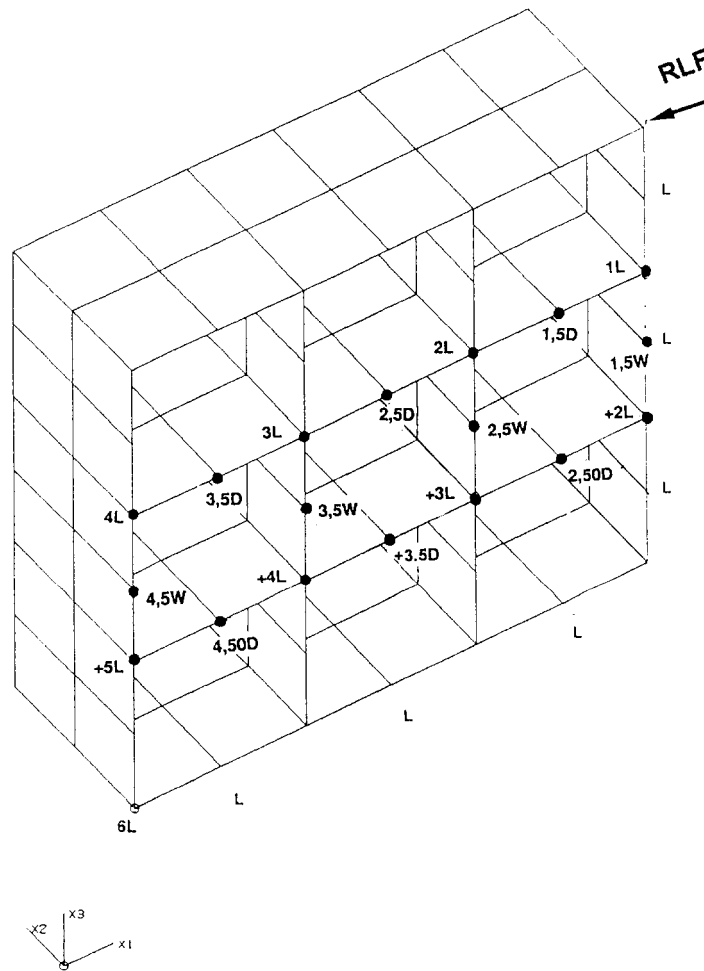
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAEFUE PUNKT +4.5W (301)
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Zwischenblatt

4

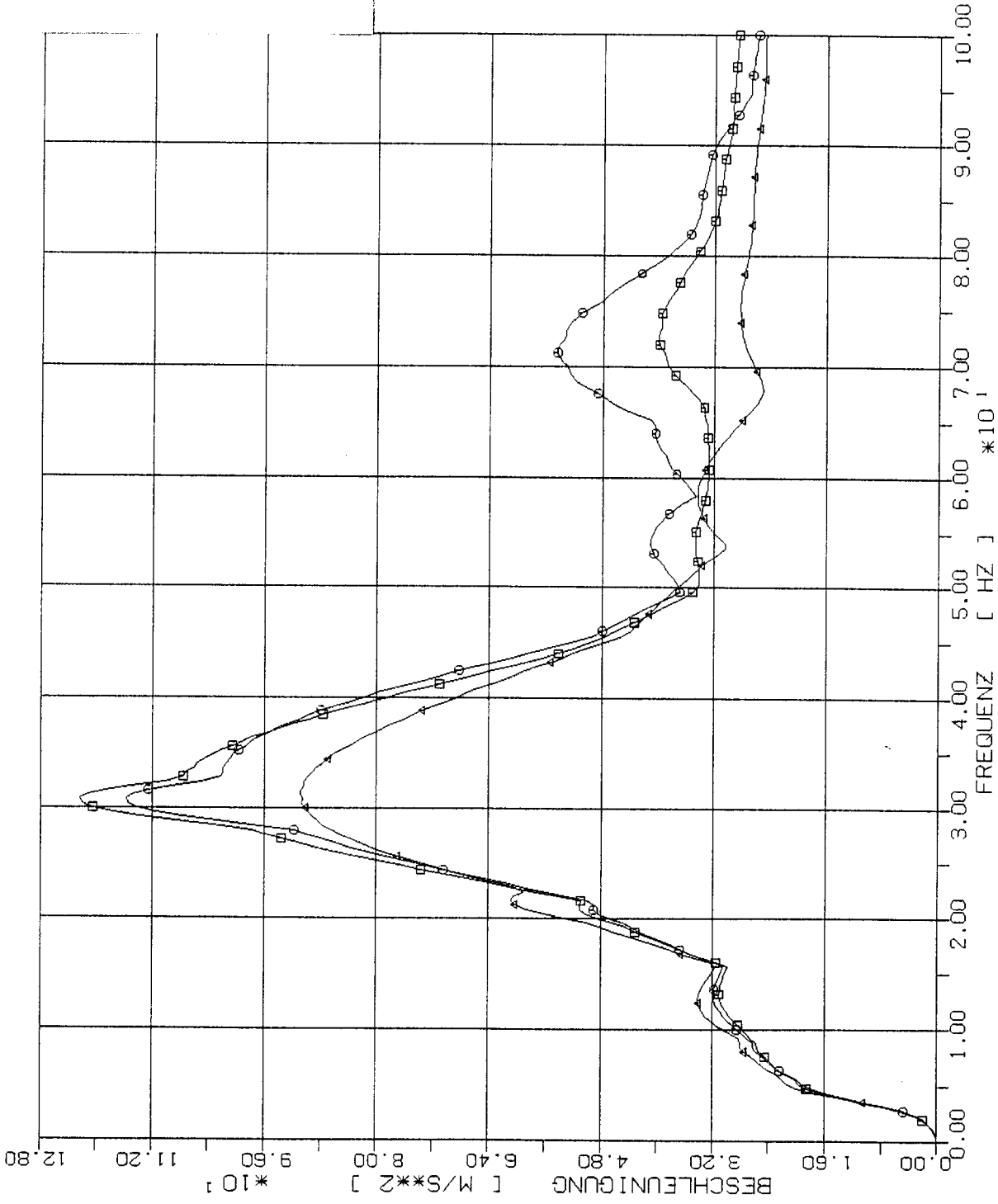
**Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in
charakteristischen Beobachtungspunkten des
kastenförmigen Modellbauwerks bei
verschiedenen Diskretisierungen**

4.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung



Elementgröße:

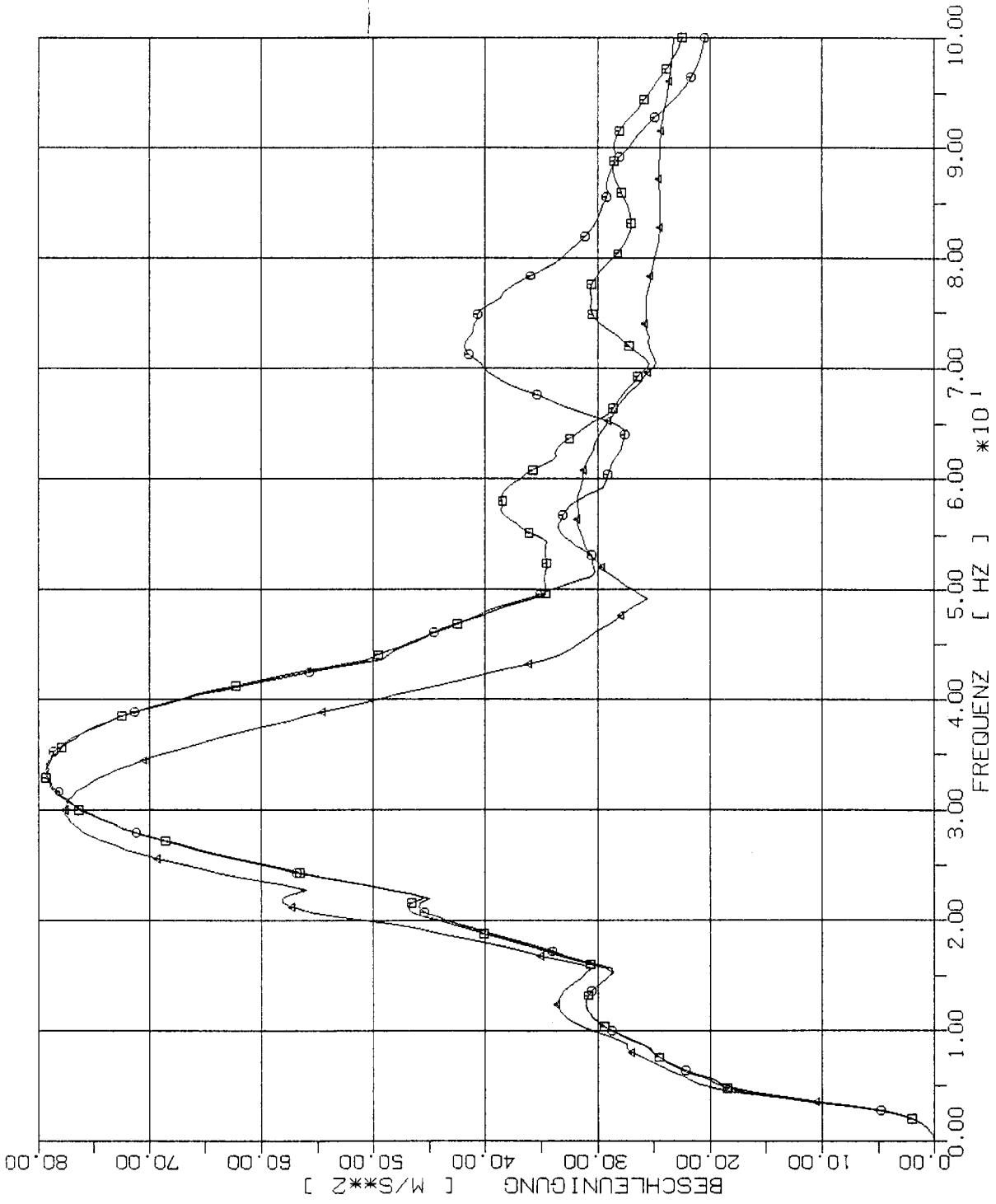
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 1L (425) 2% DAEMPfung
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

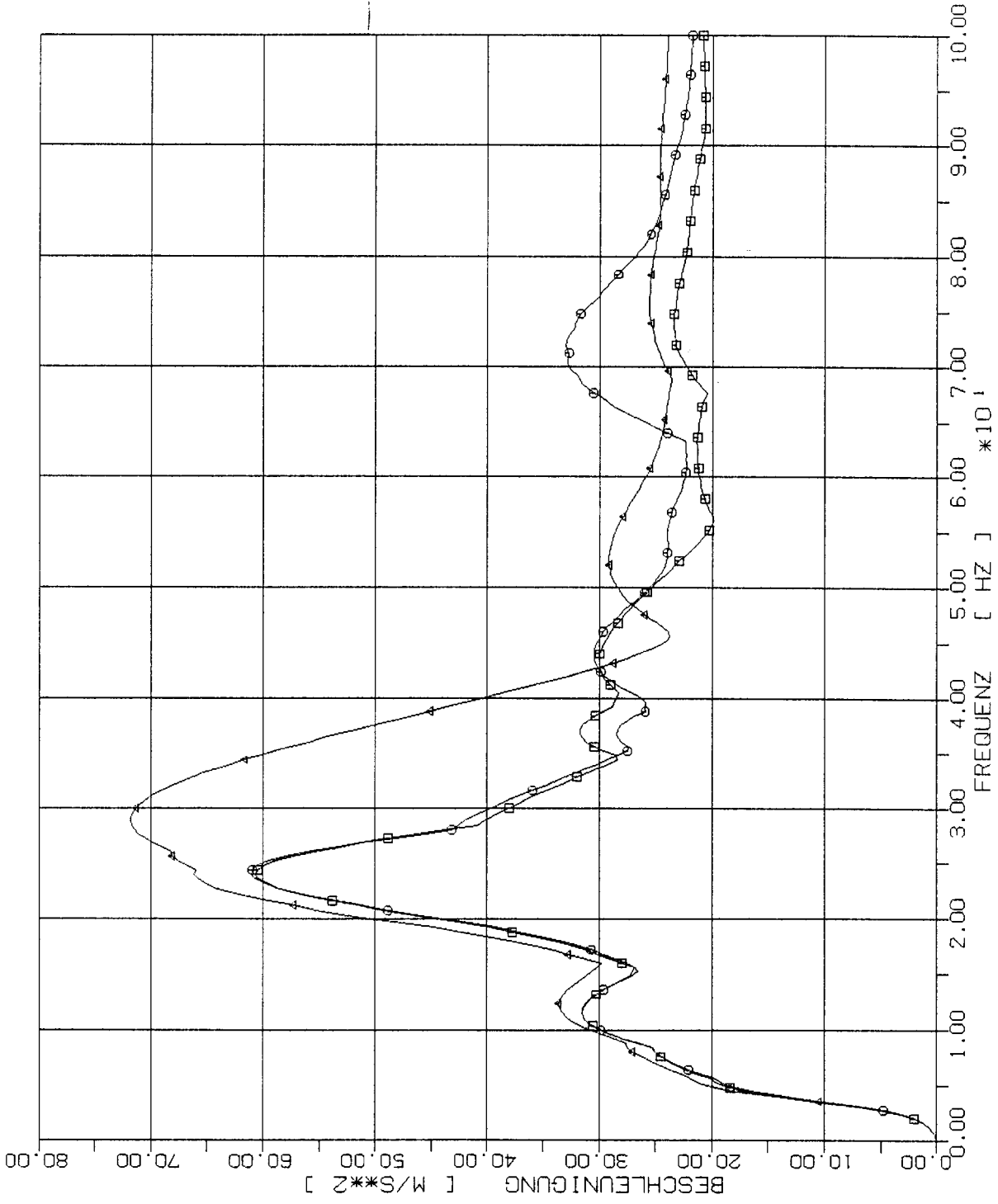
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 2L (417) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) , ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



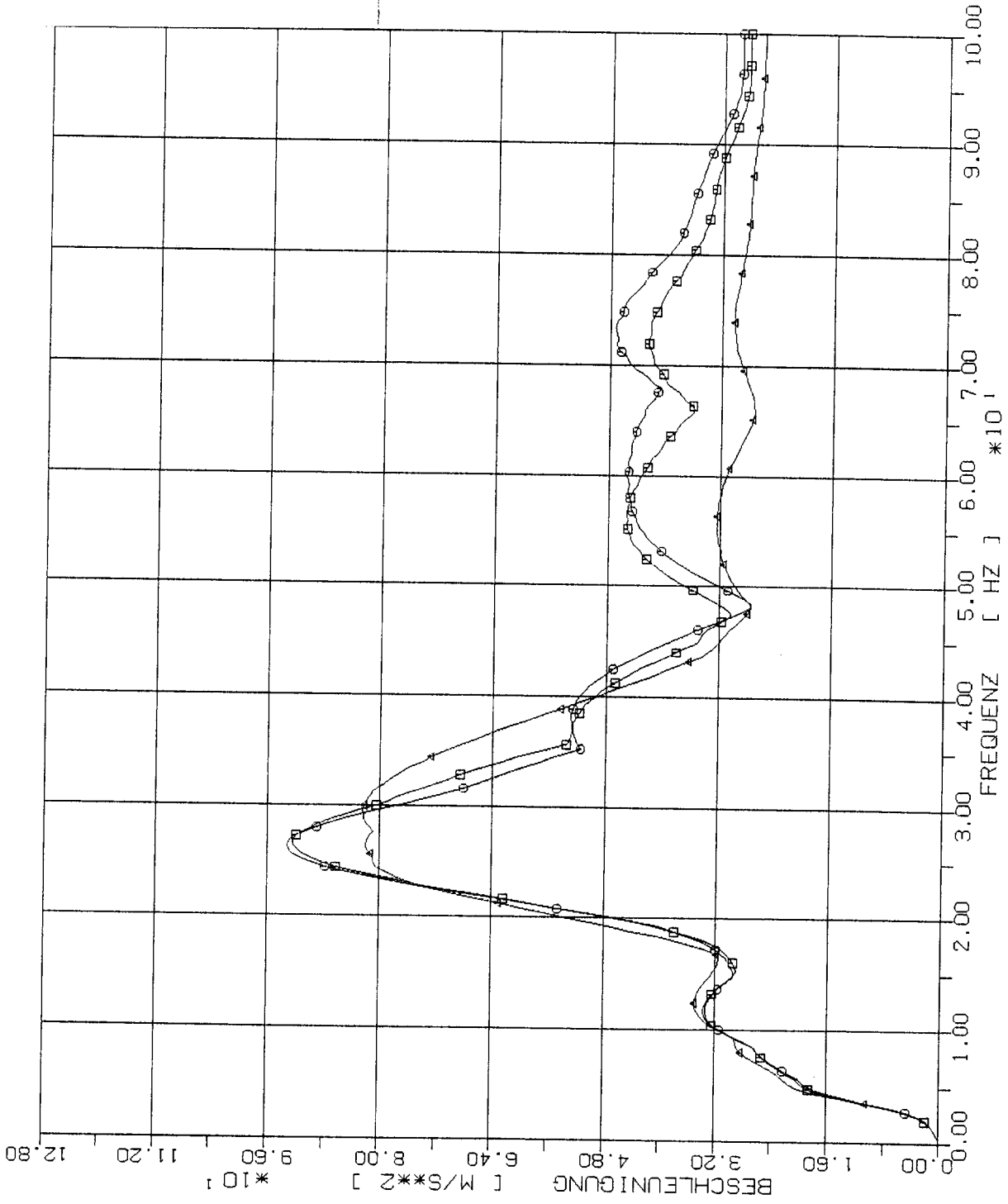
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 3L (409) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

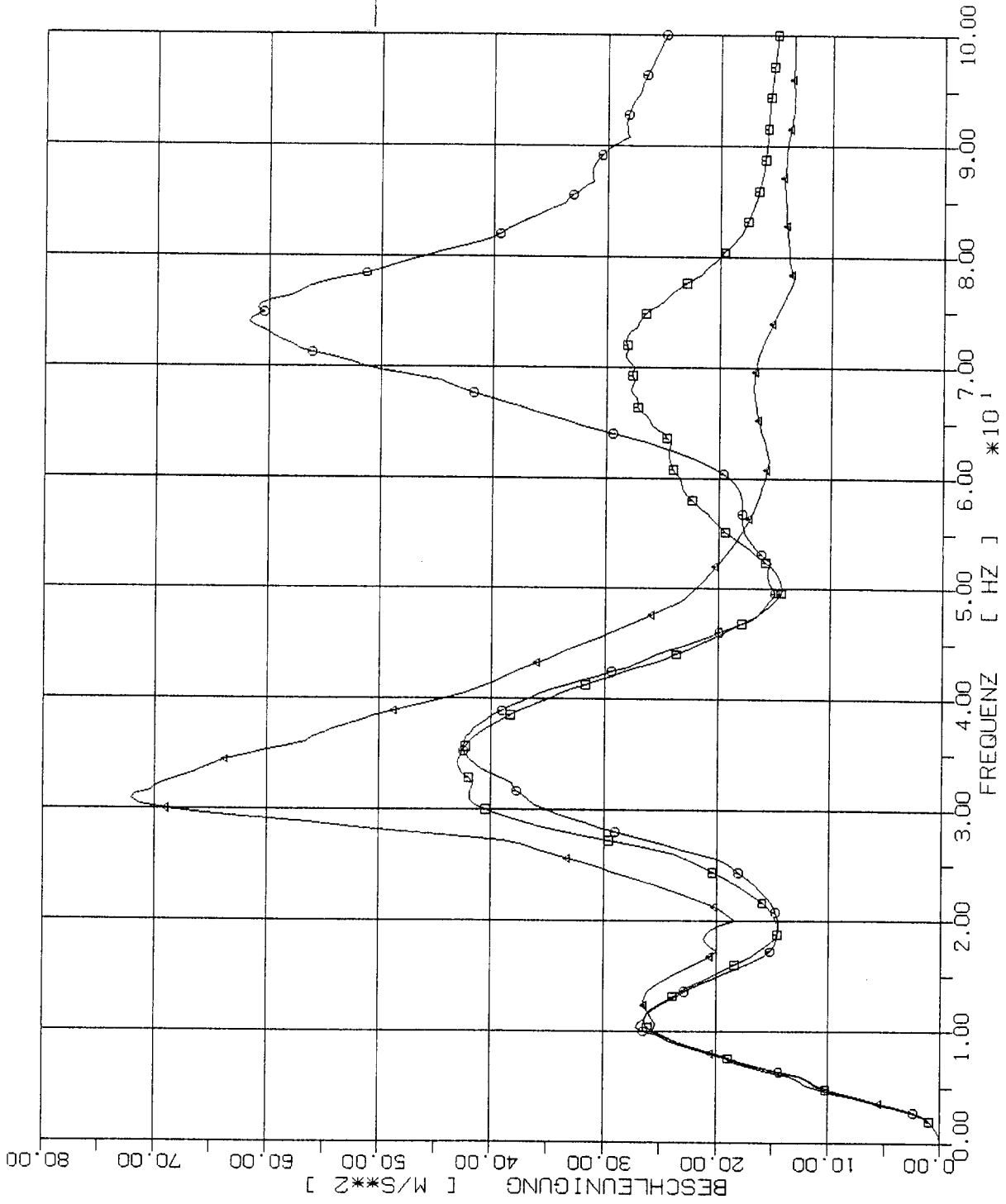
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVergLEICH IM BEOB. PUNKT 4L (401) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

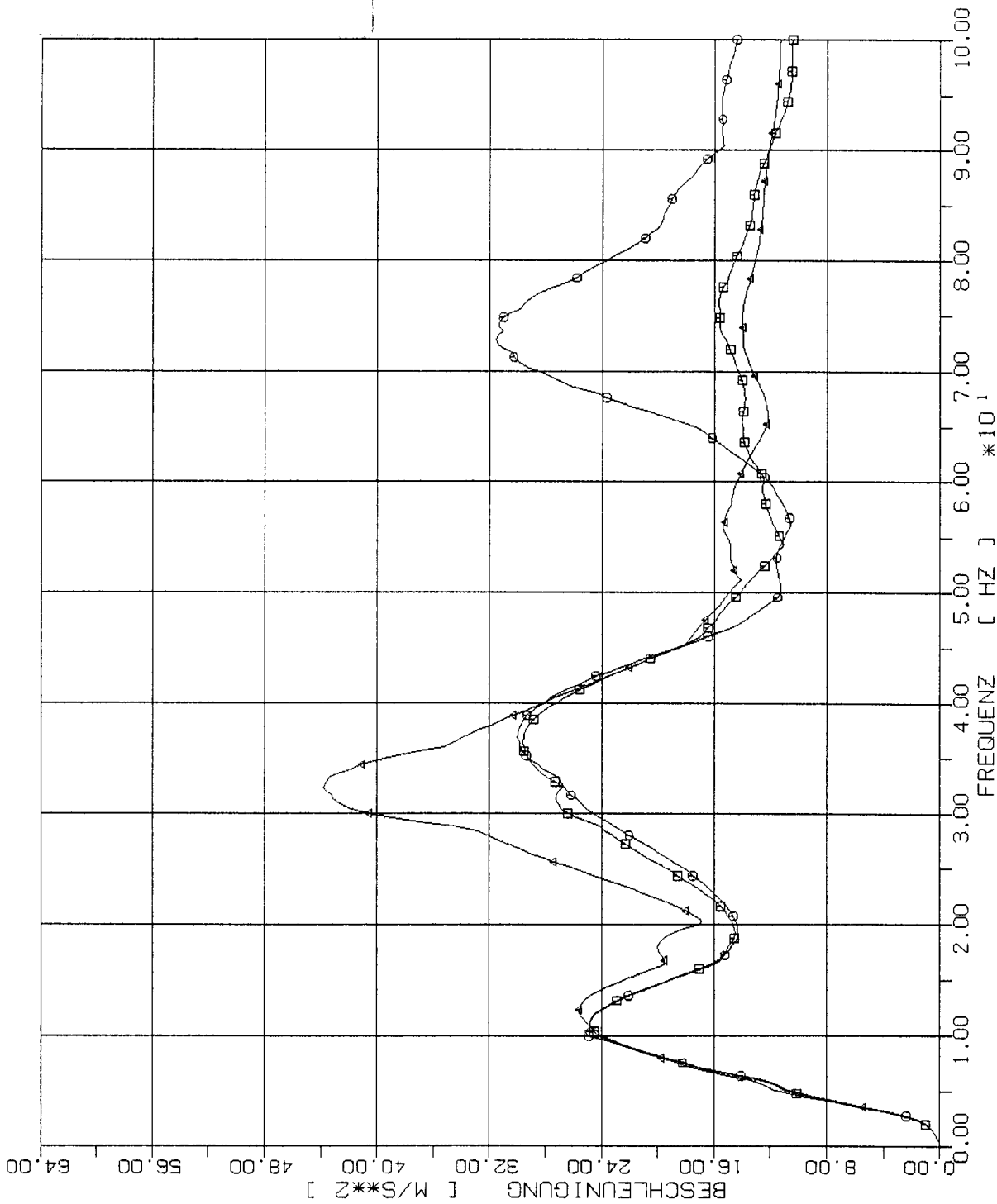
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFÖRMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +2L (225) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



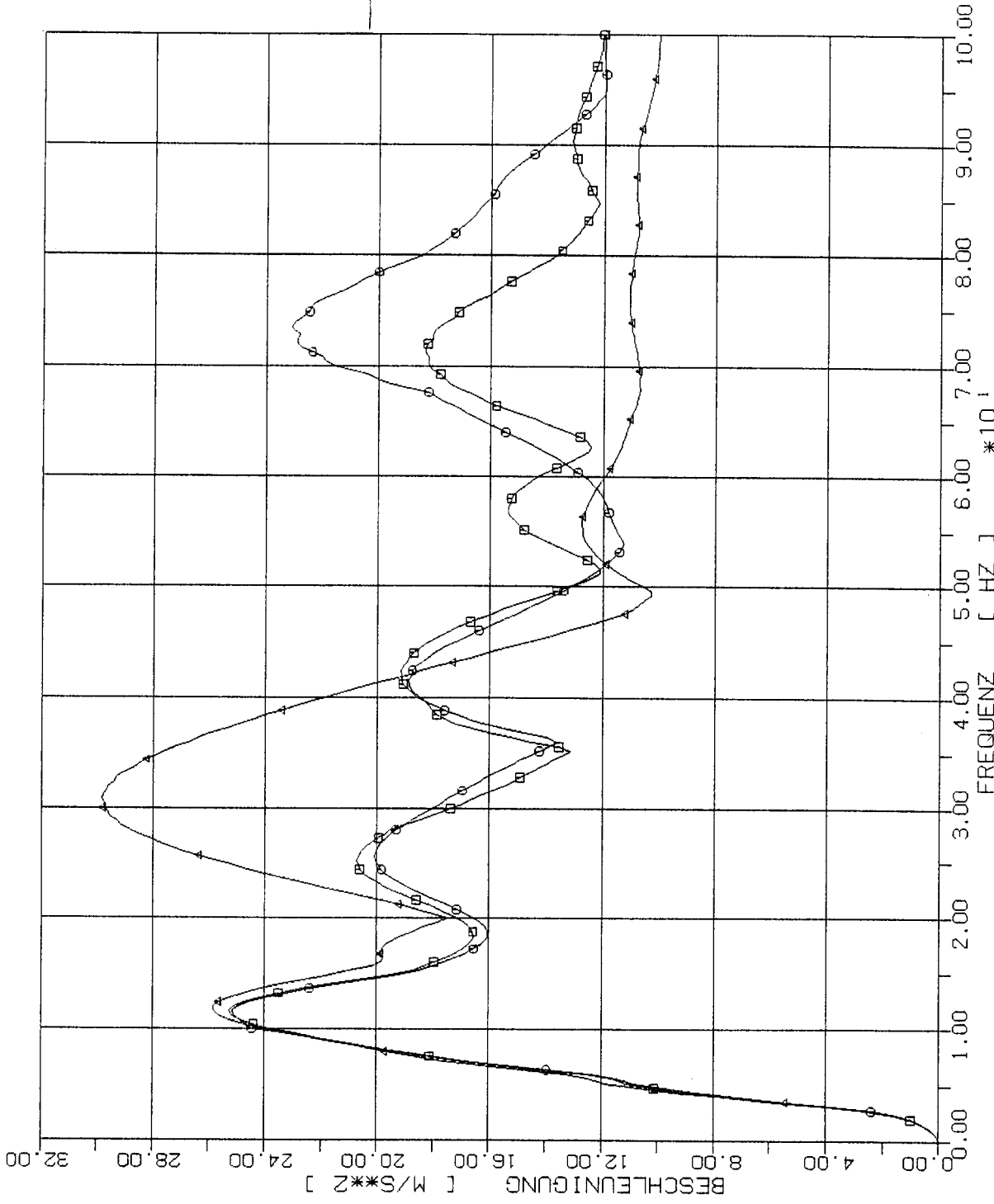
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3L (217) 2% DAEMPfung
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

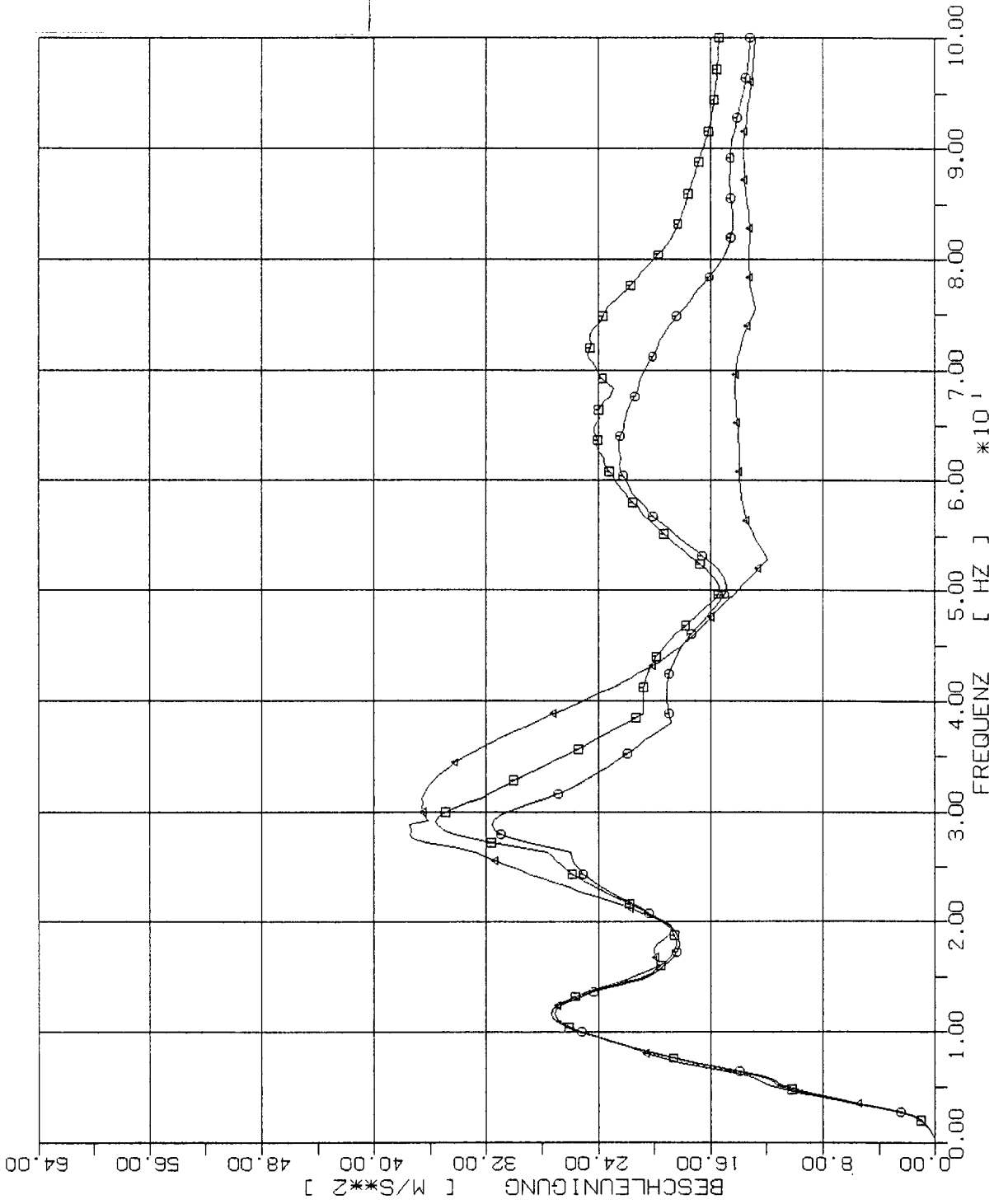
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEEB. PUNKT +4L (209) 2% DAEMPfung
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



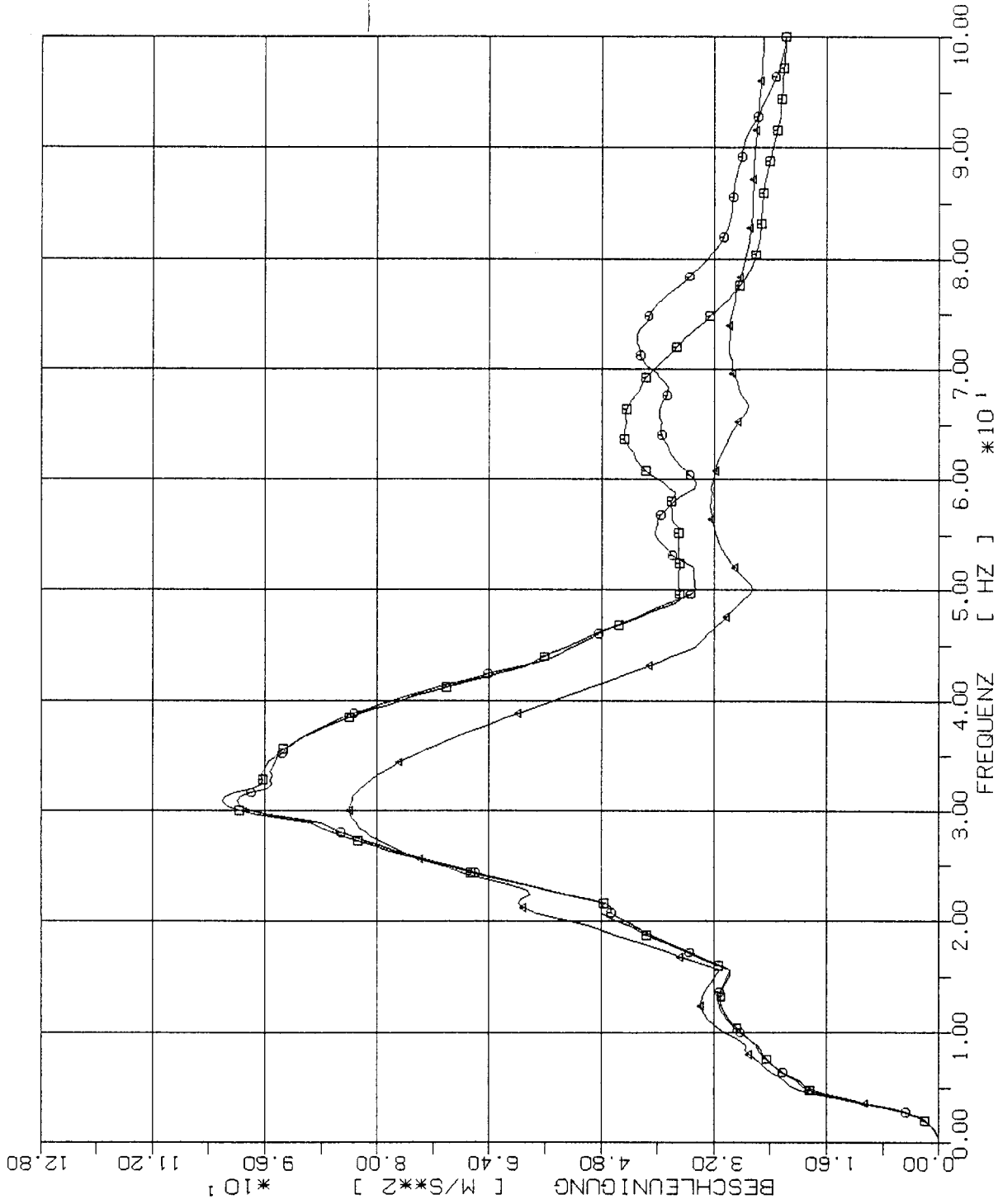
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +5L (201) 2% DAEMPfung
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

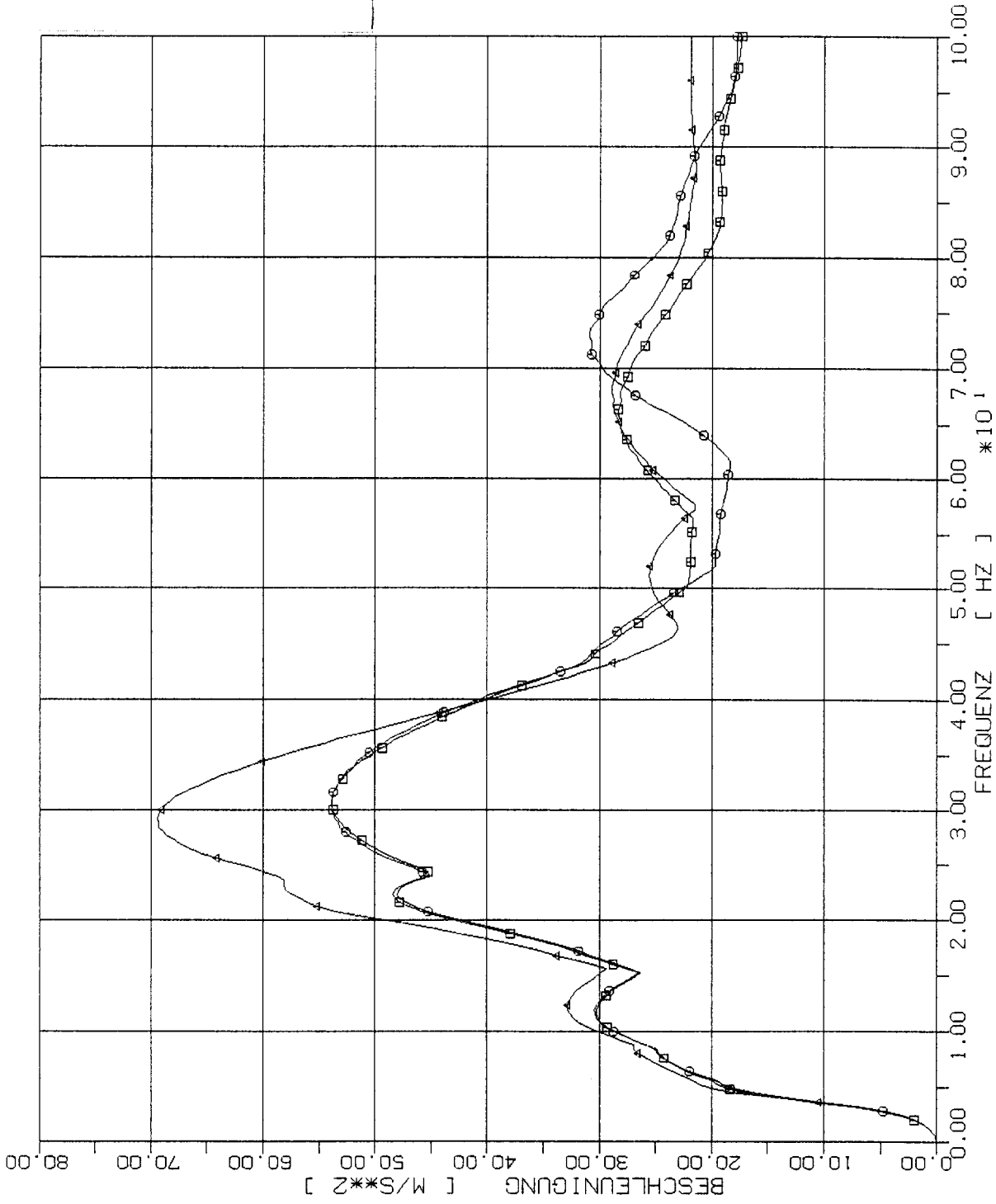
△-△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 1.5D (421) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL.) , ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

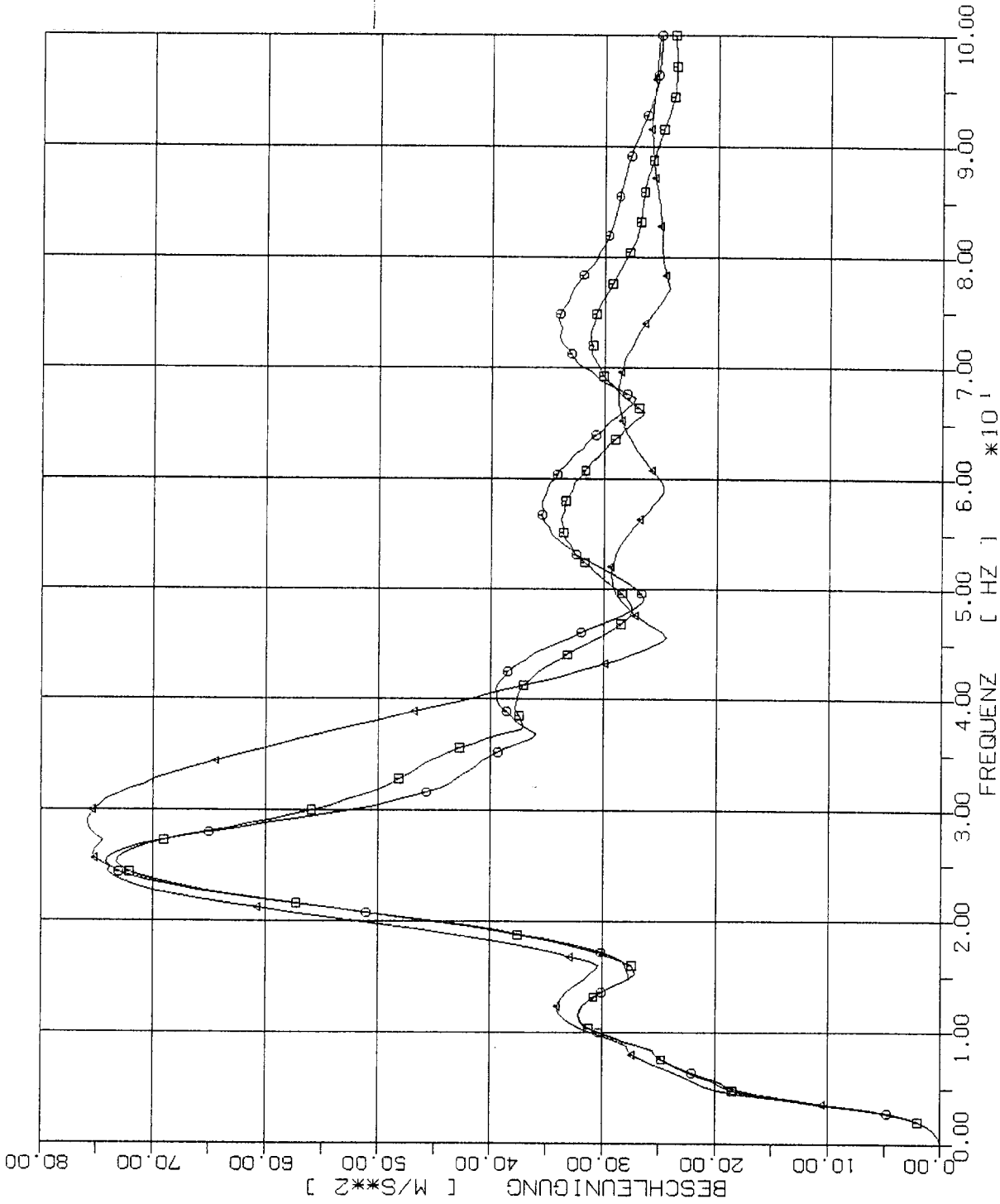
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 2.5D (413) 2% DAEMPfung
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

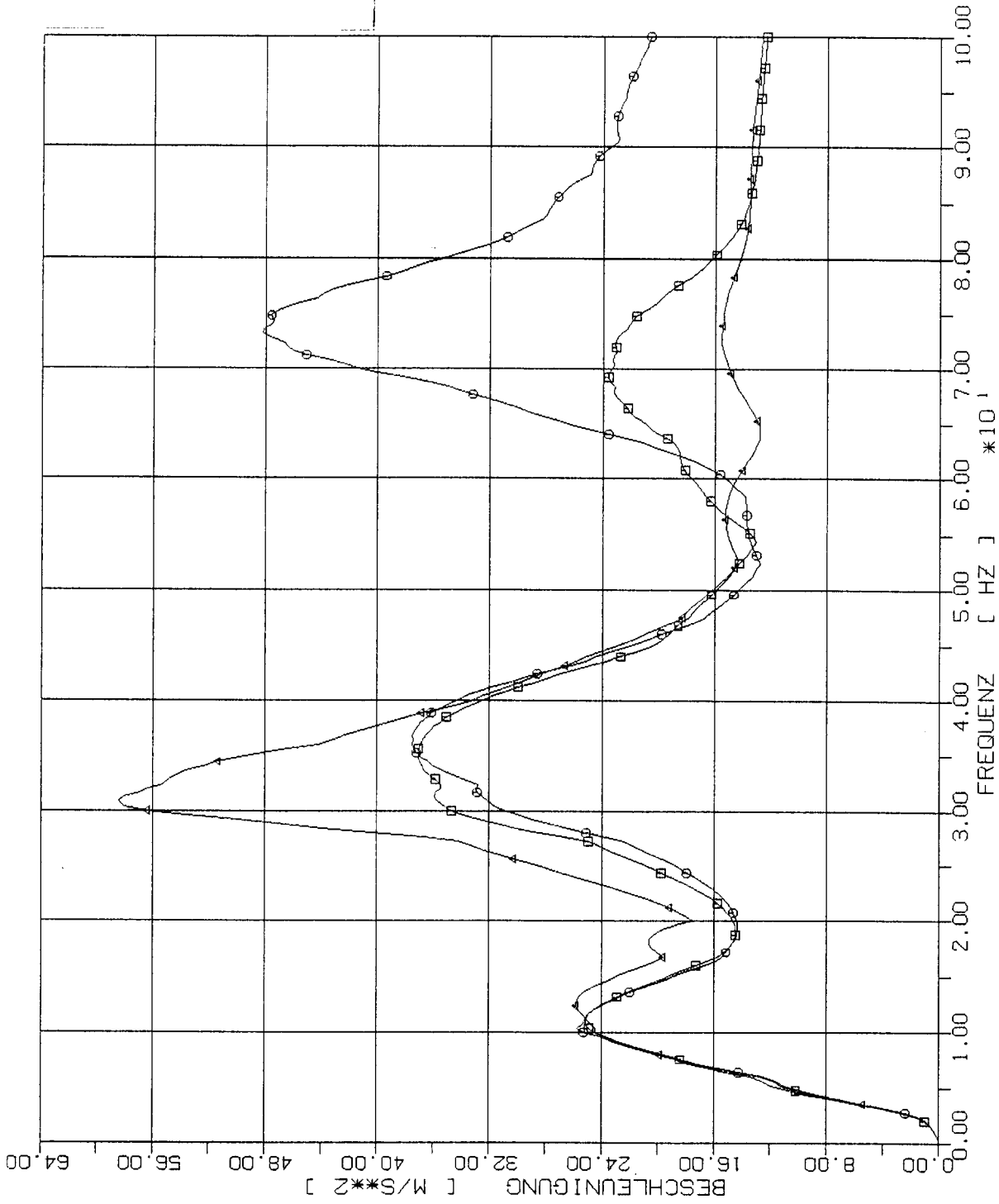
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVergLEICH IM BEOB. PUNKT 3.00 (405) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELAEDIGUNG (RFL) ; ANTWIKT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

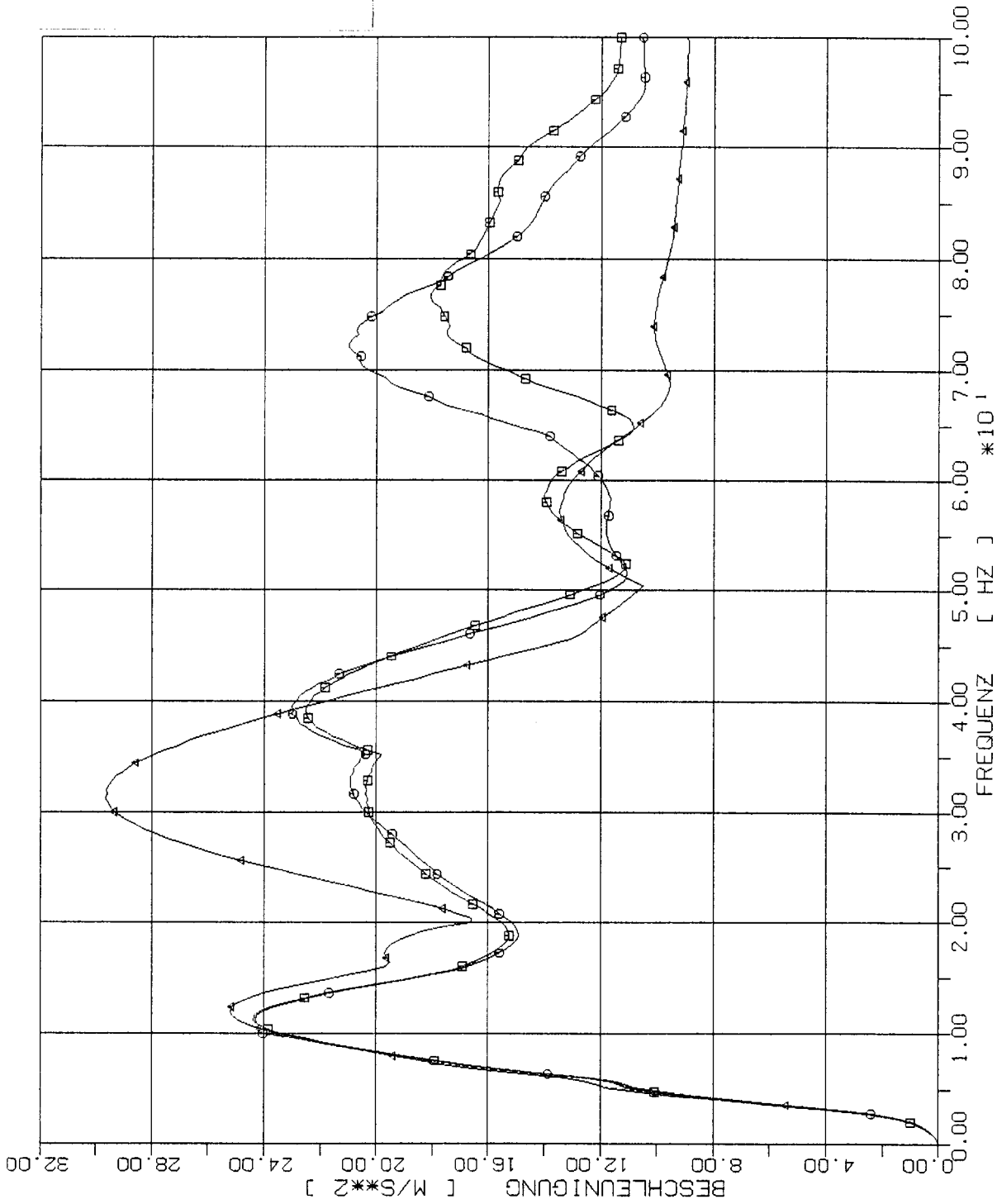
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVergleich IM BEOB. PUNKT +2.50 (221) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) / ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

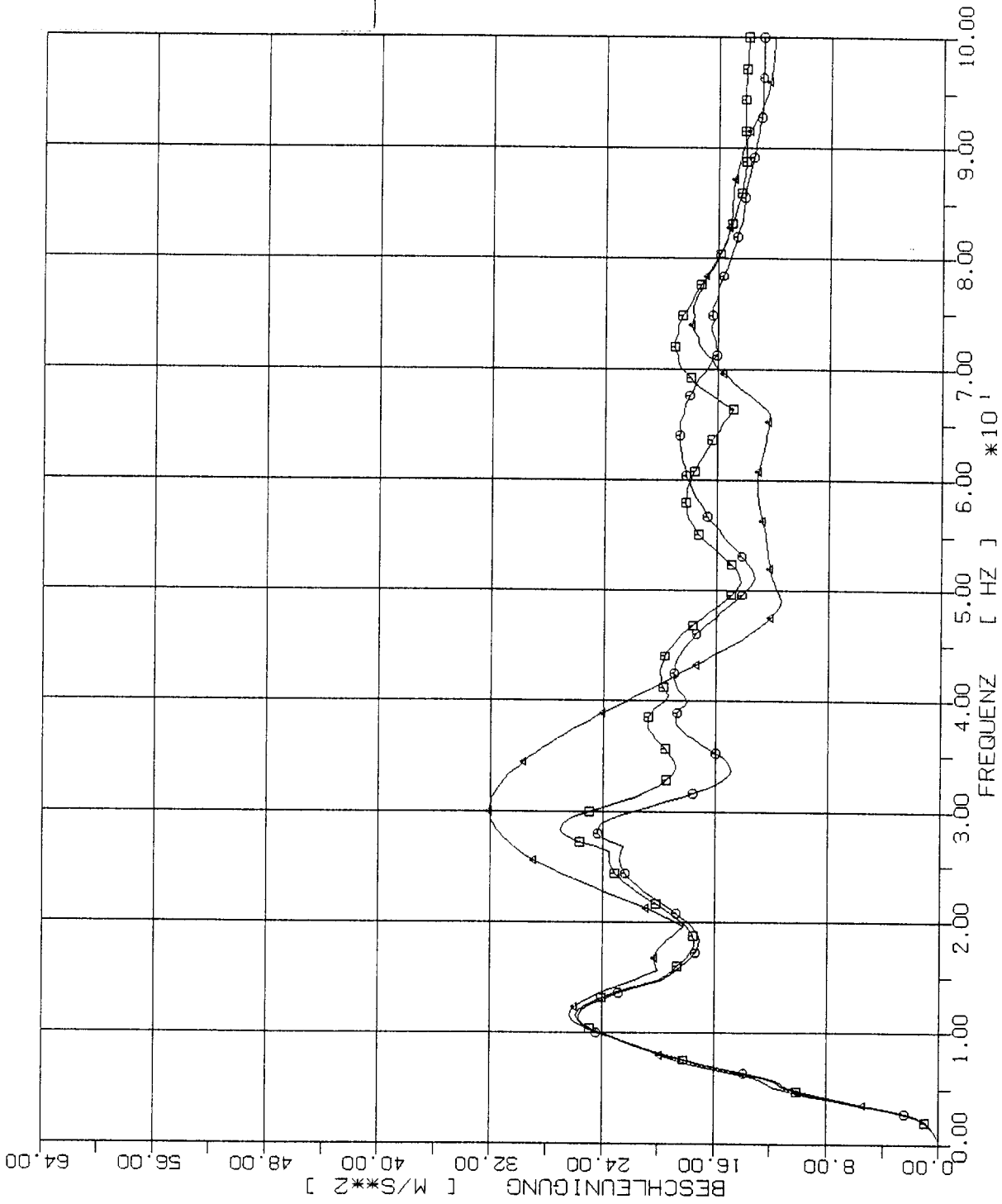
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3.50 (213) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



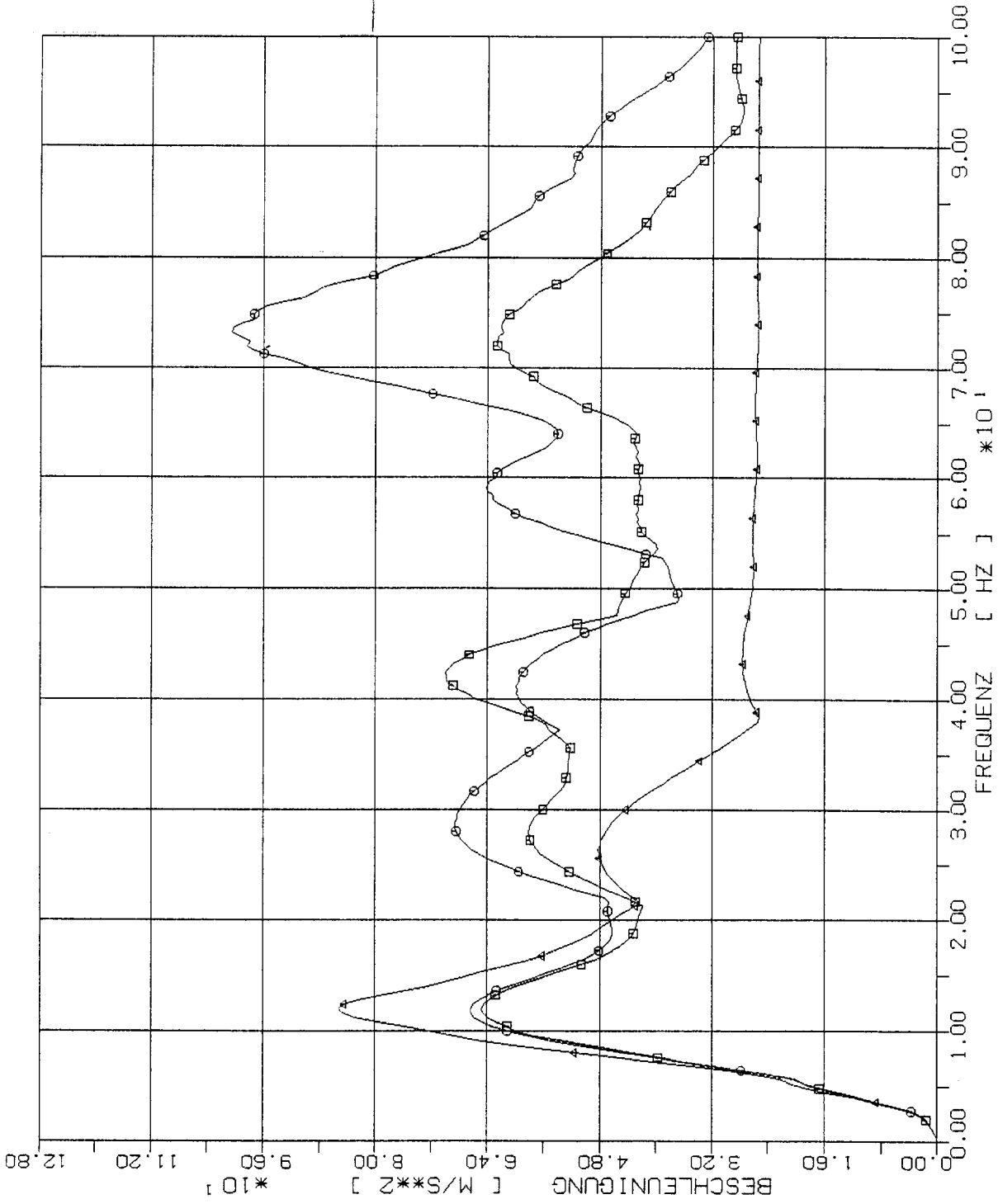
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4,50 (205) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



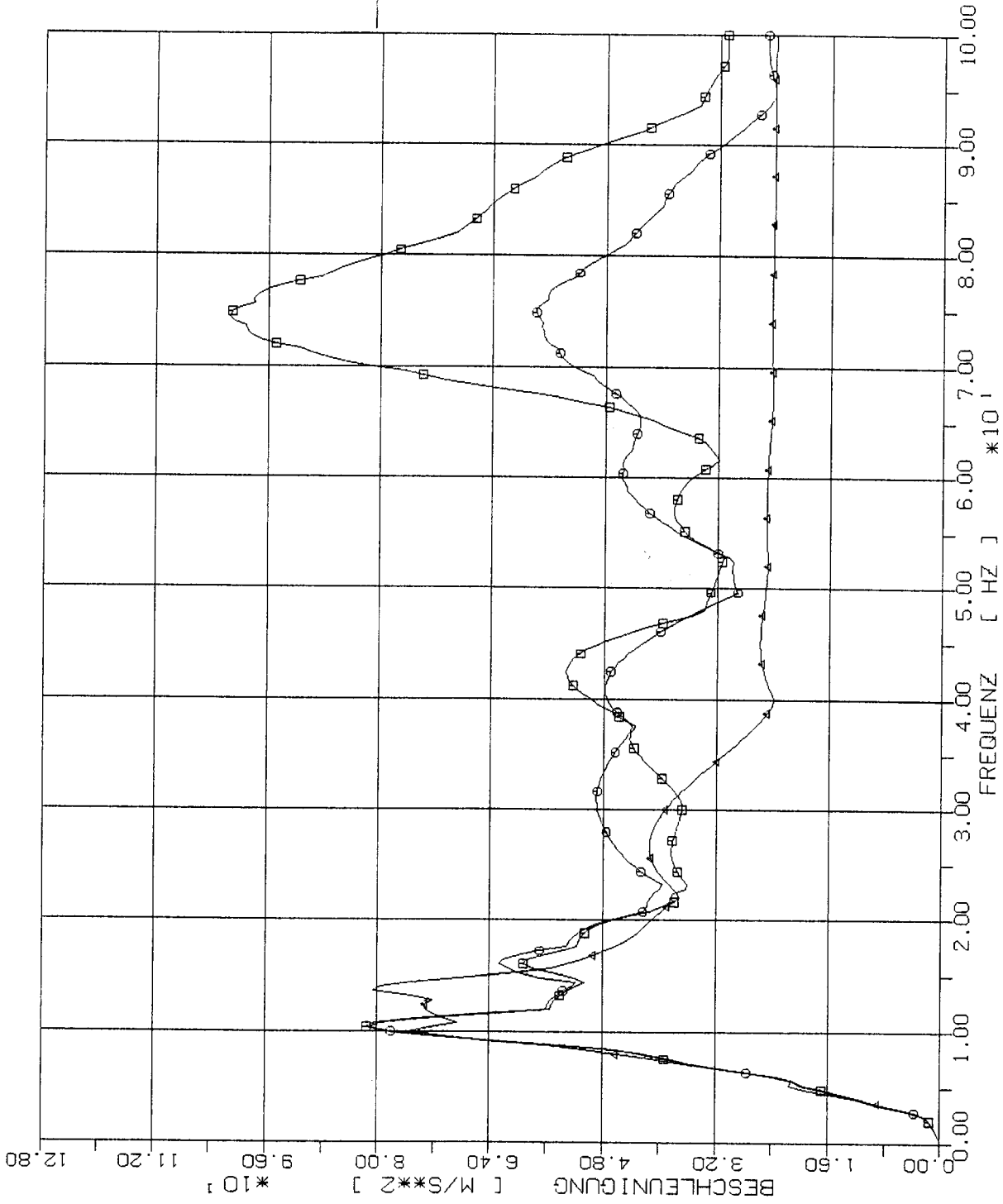
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +1,5M (325) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) , ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

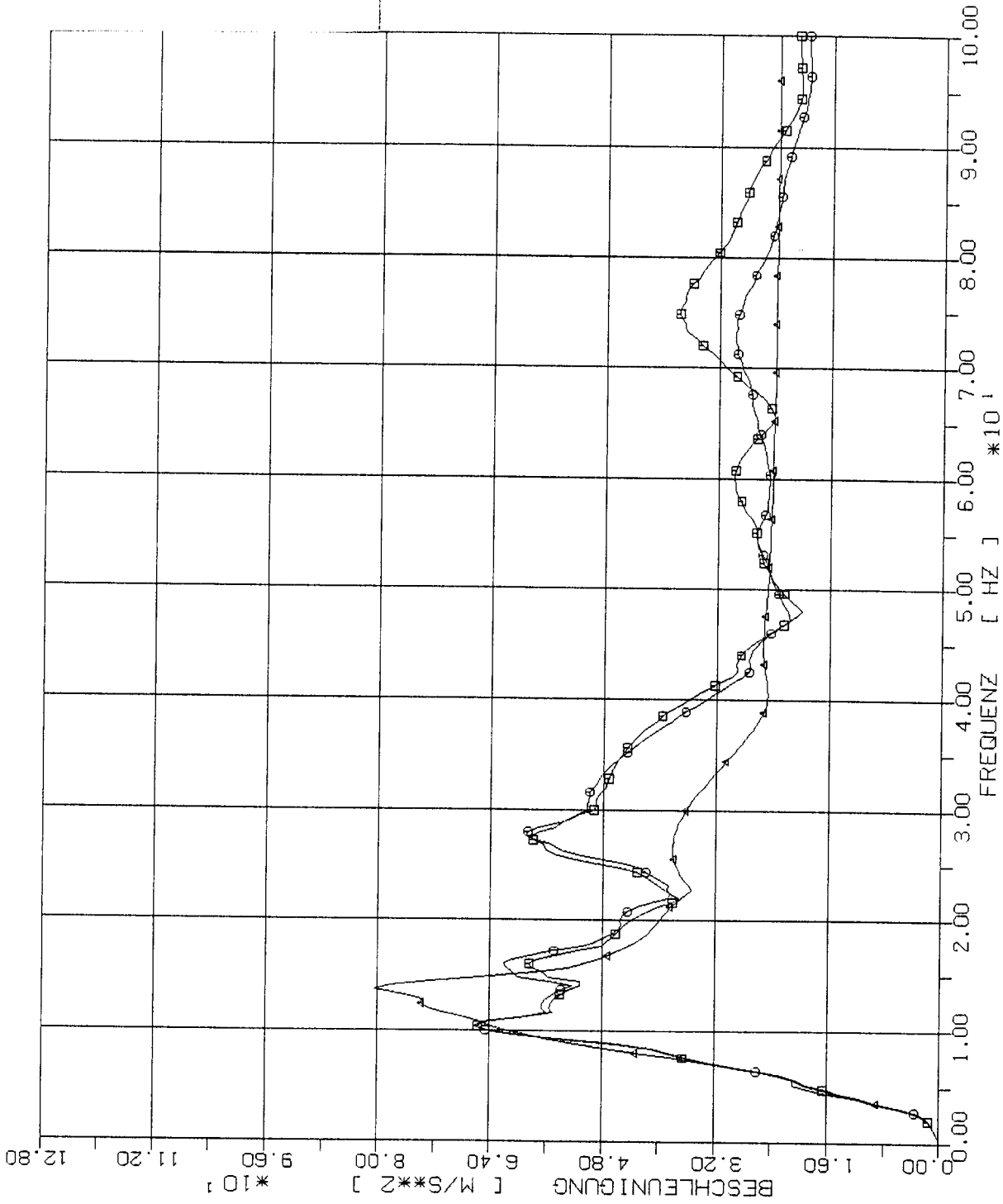
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +2.5W (317) 2% DAEMPfung
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

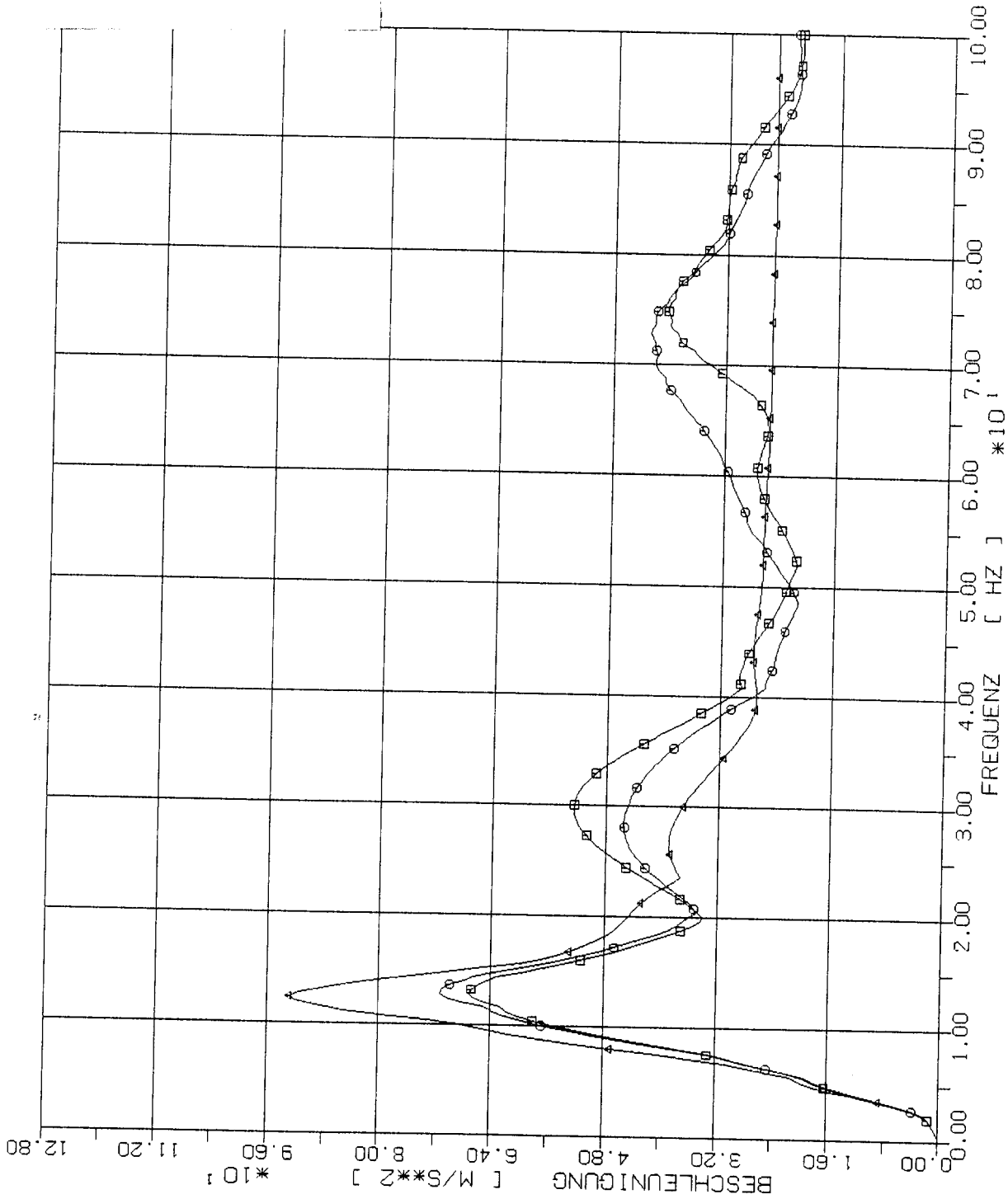
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3.5W (309) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) , ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

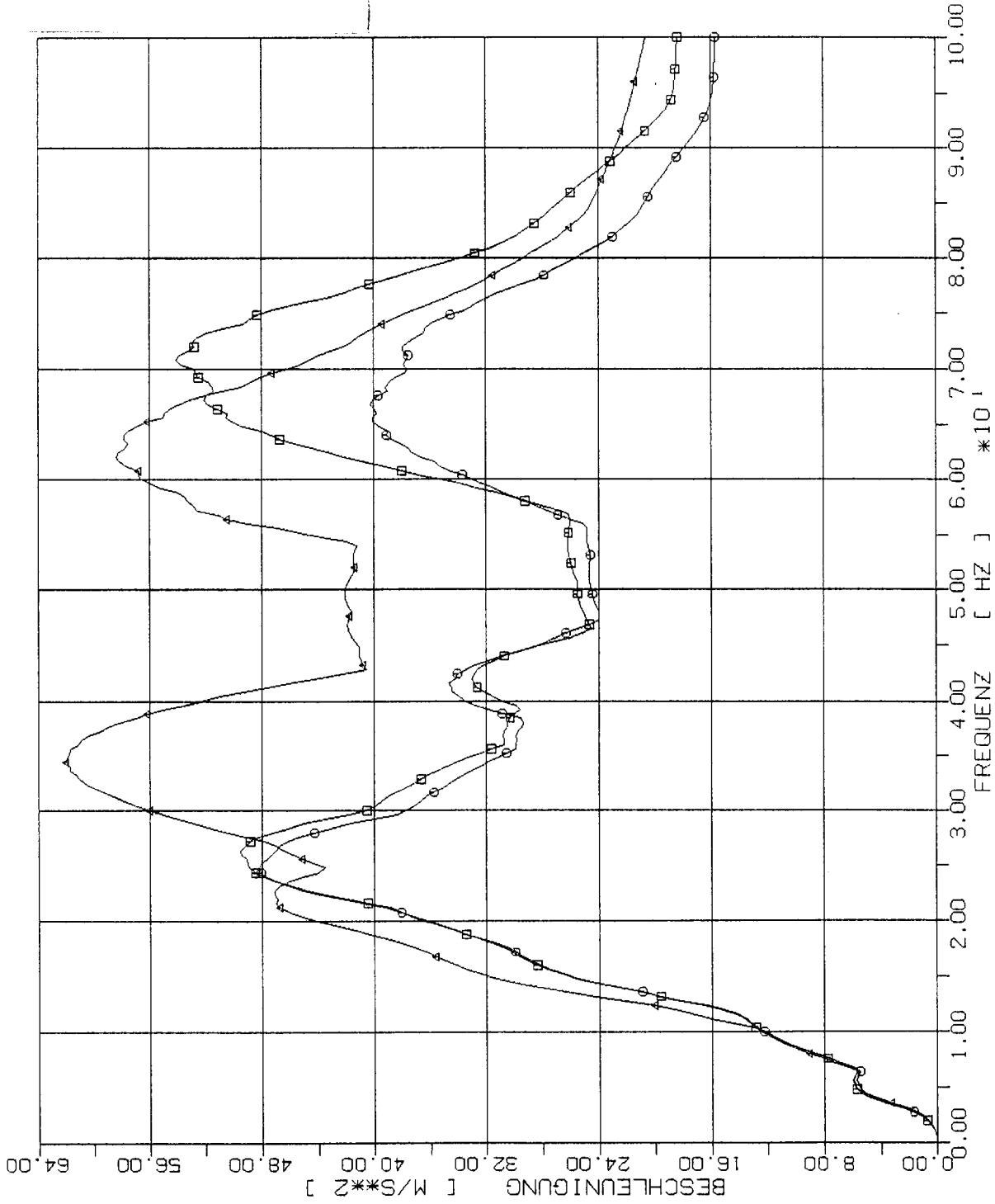
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4.5W (301) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

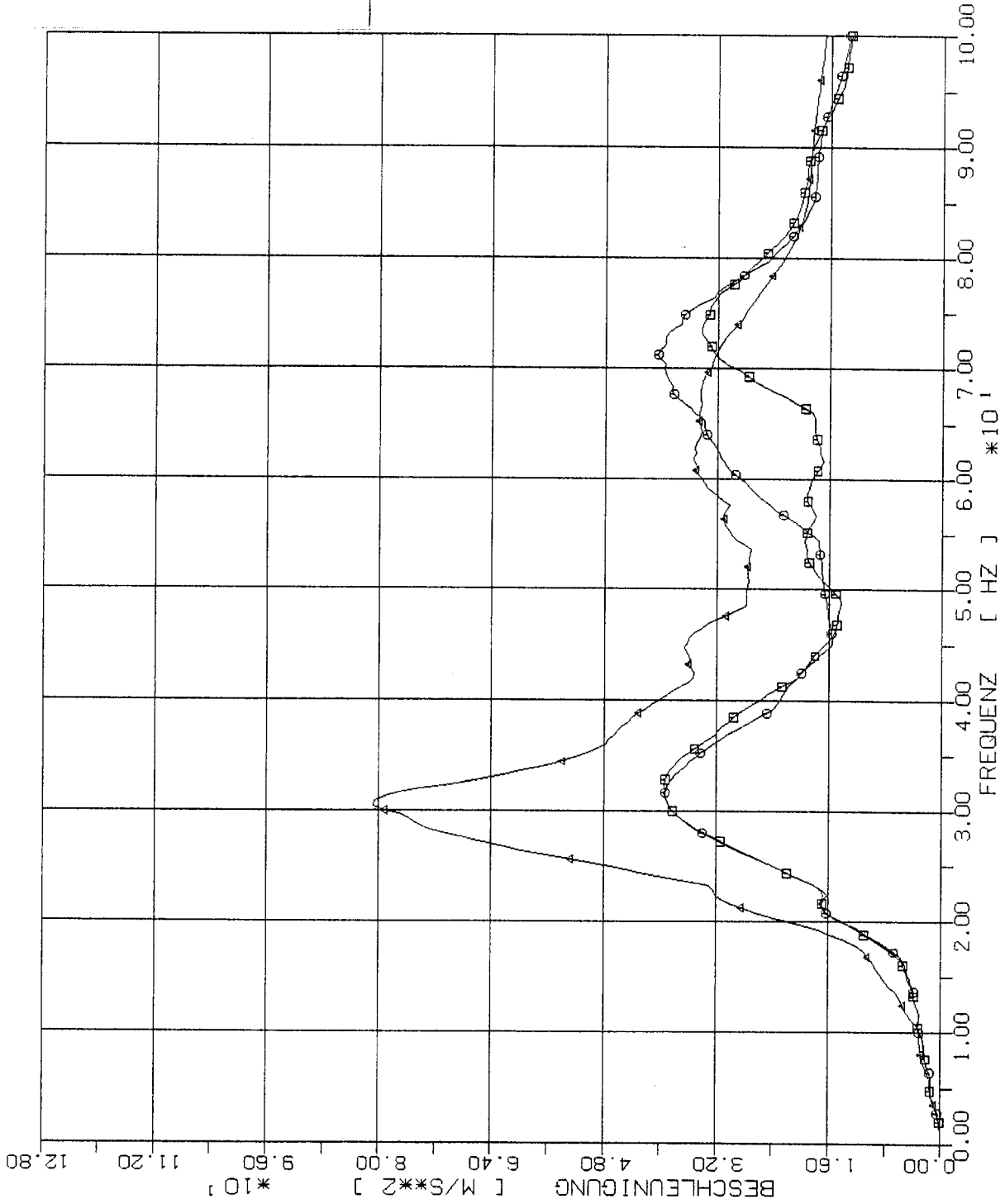
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 1L (425) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

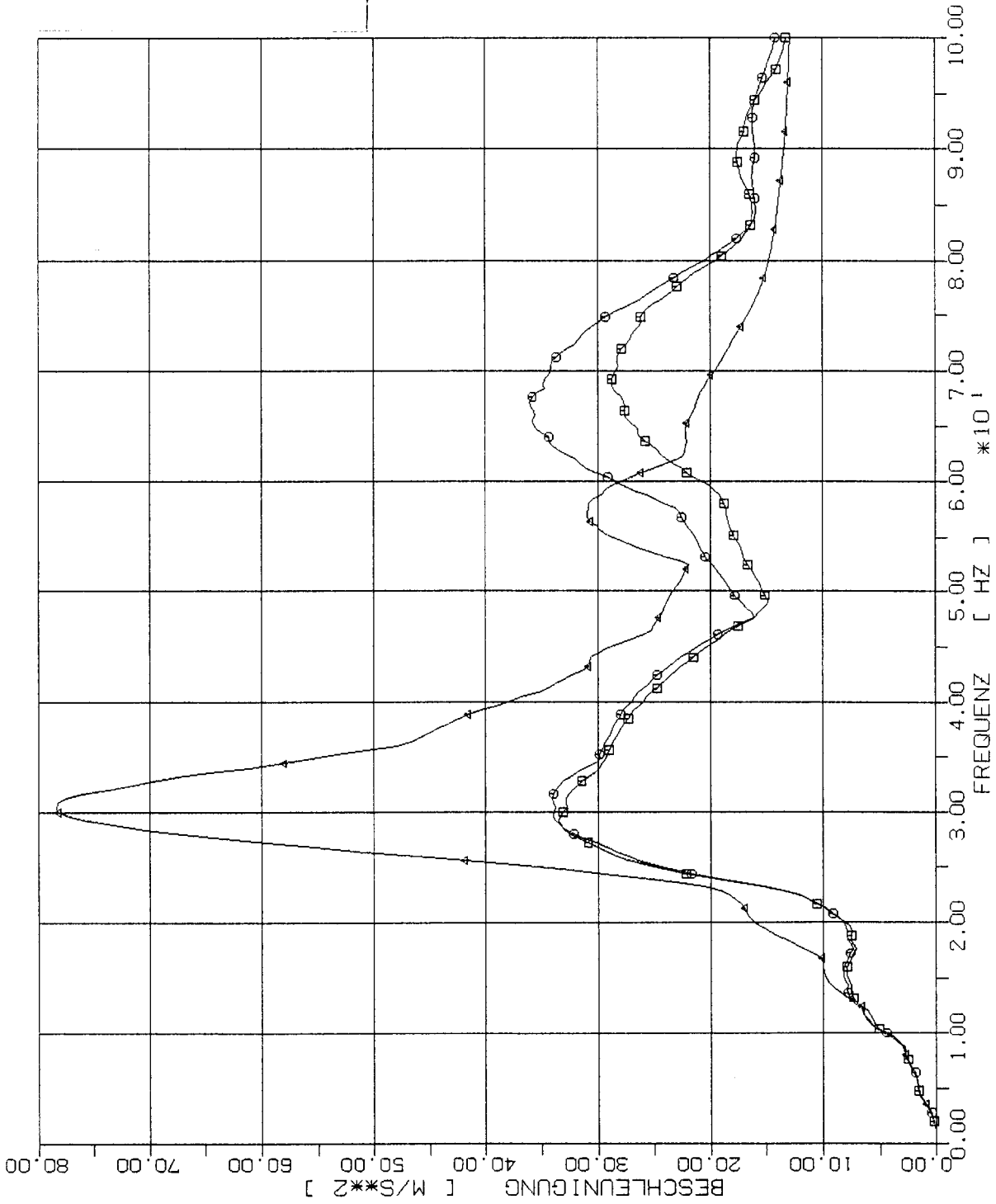
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT ZL (417) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

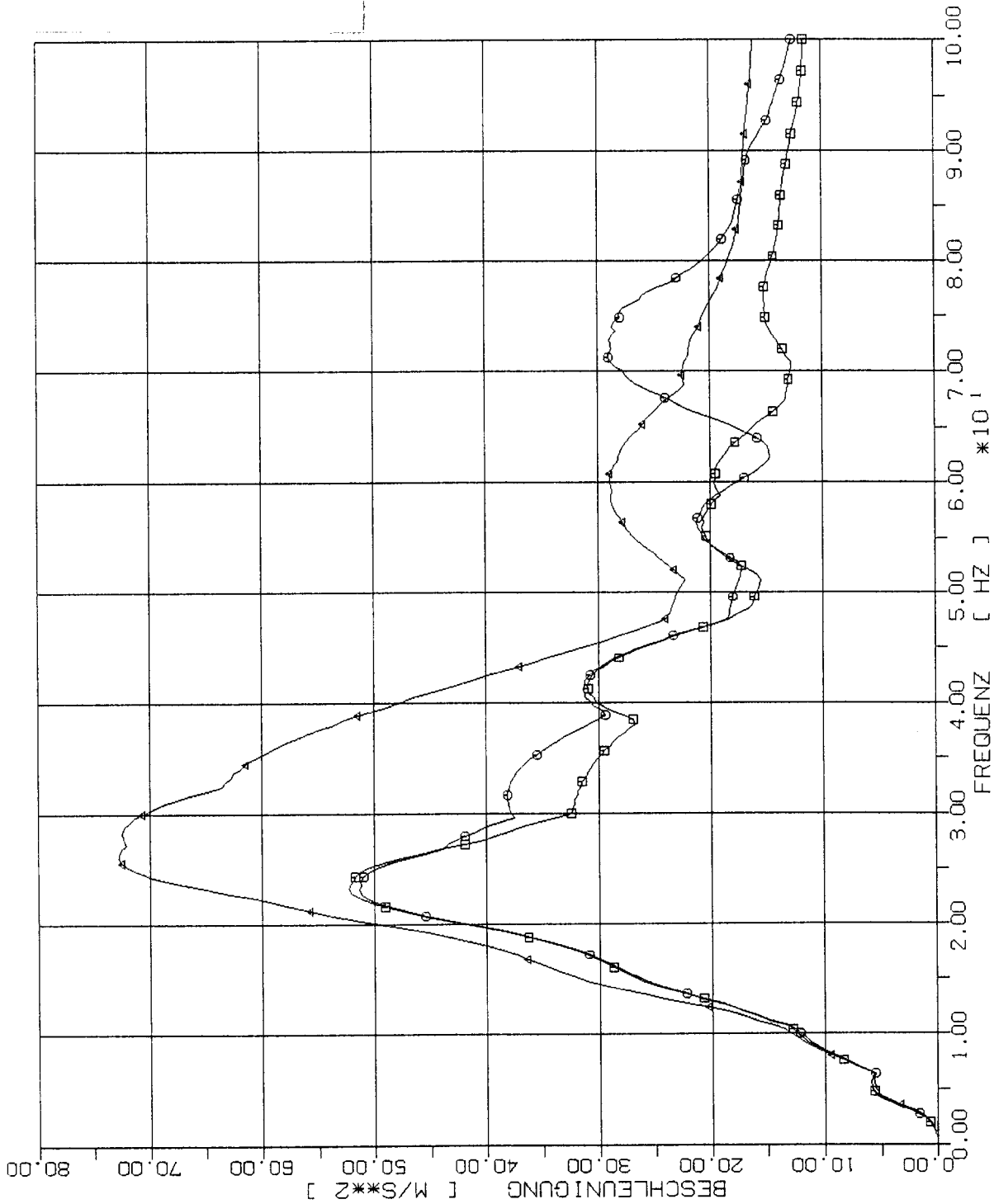
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 3L (409) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



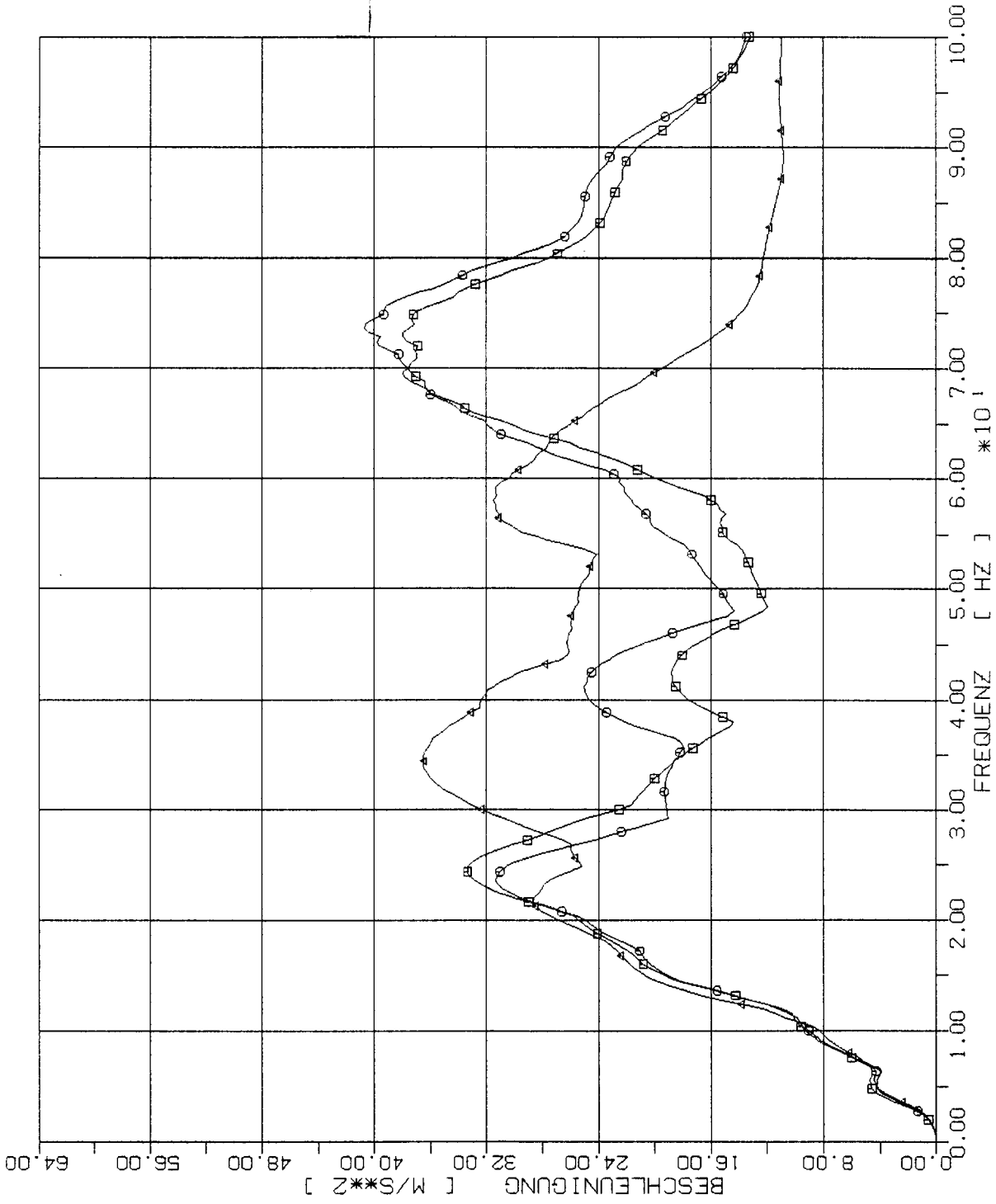
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 4L (401) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

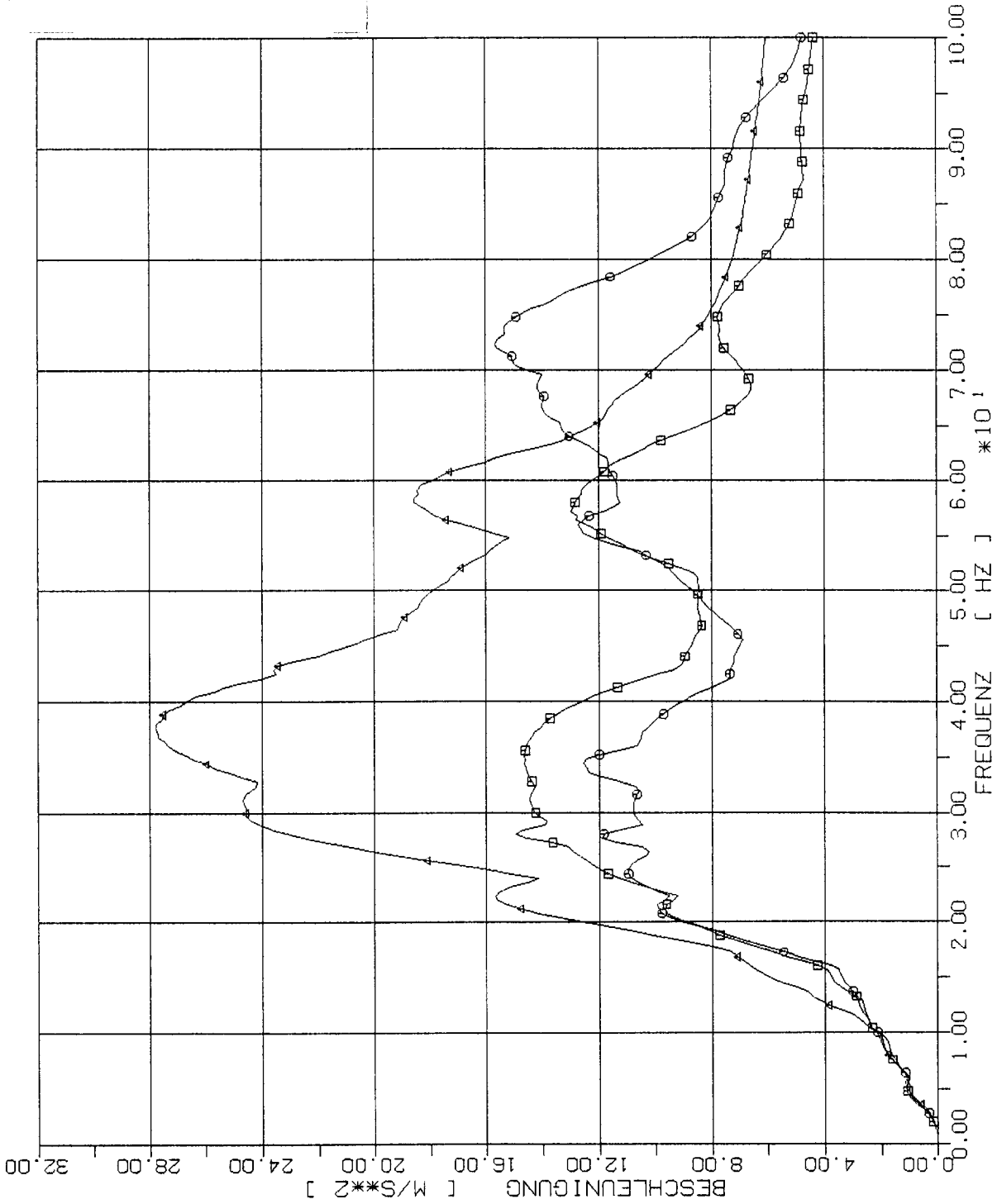
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +2L (225) 2% DAEMPfung
 HORIZONTAL (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

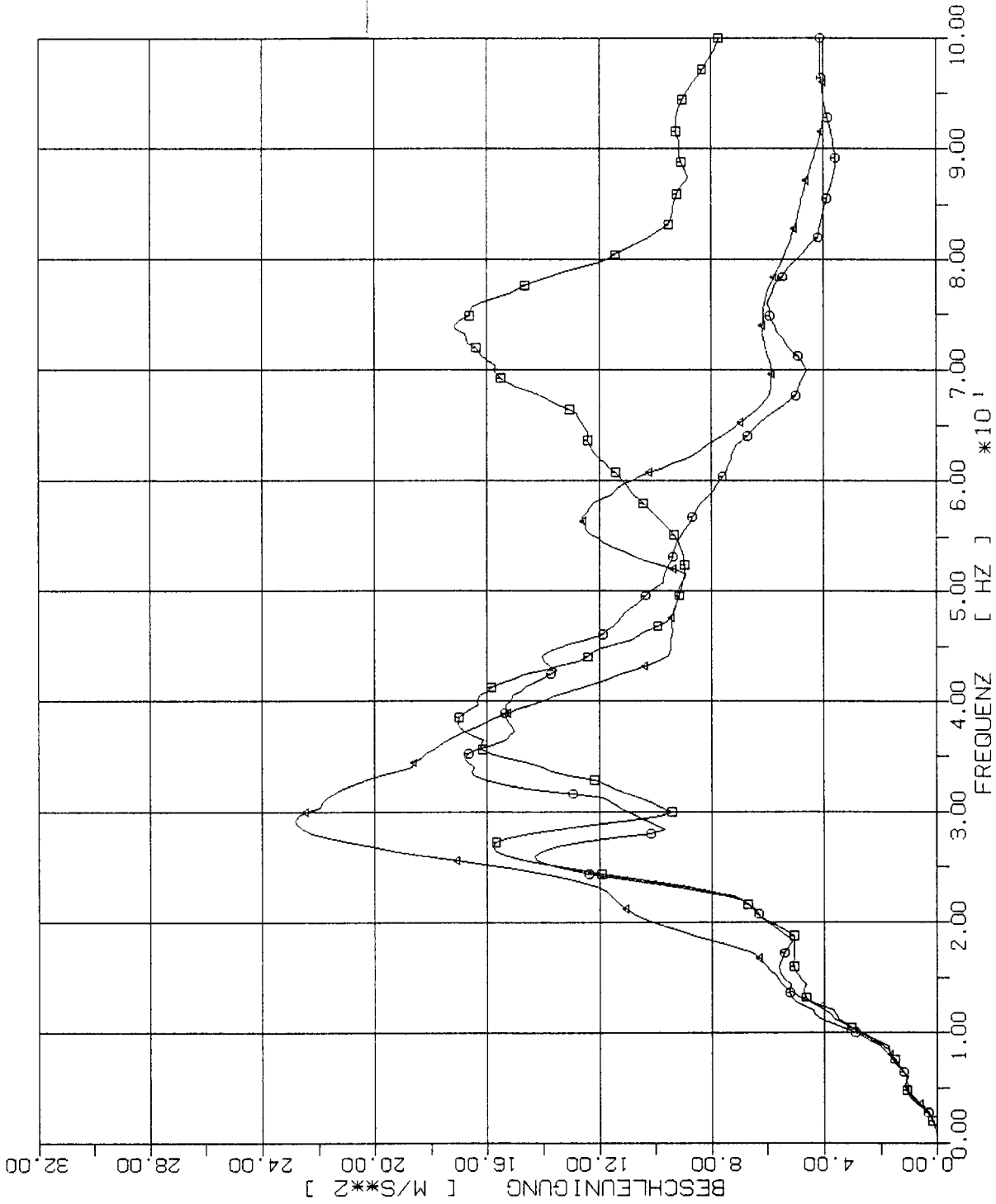
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3L (217) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

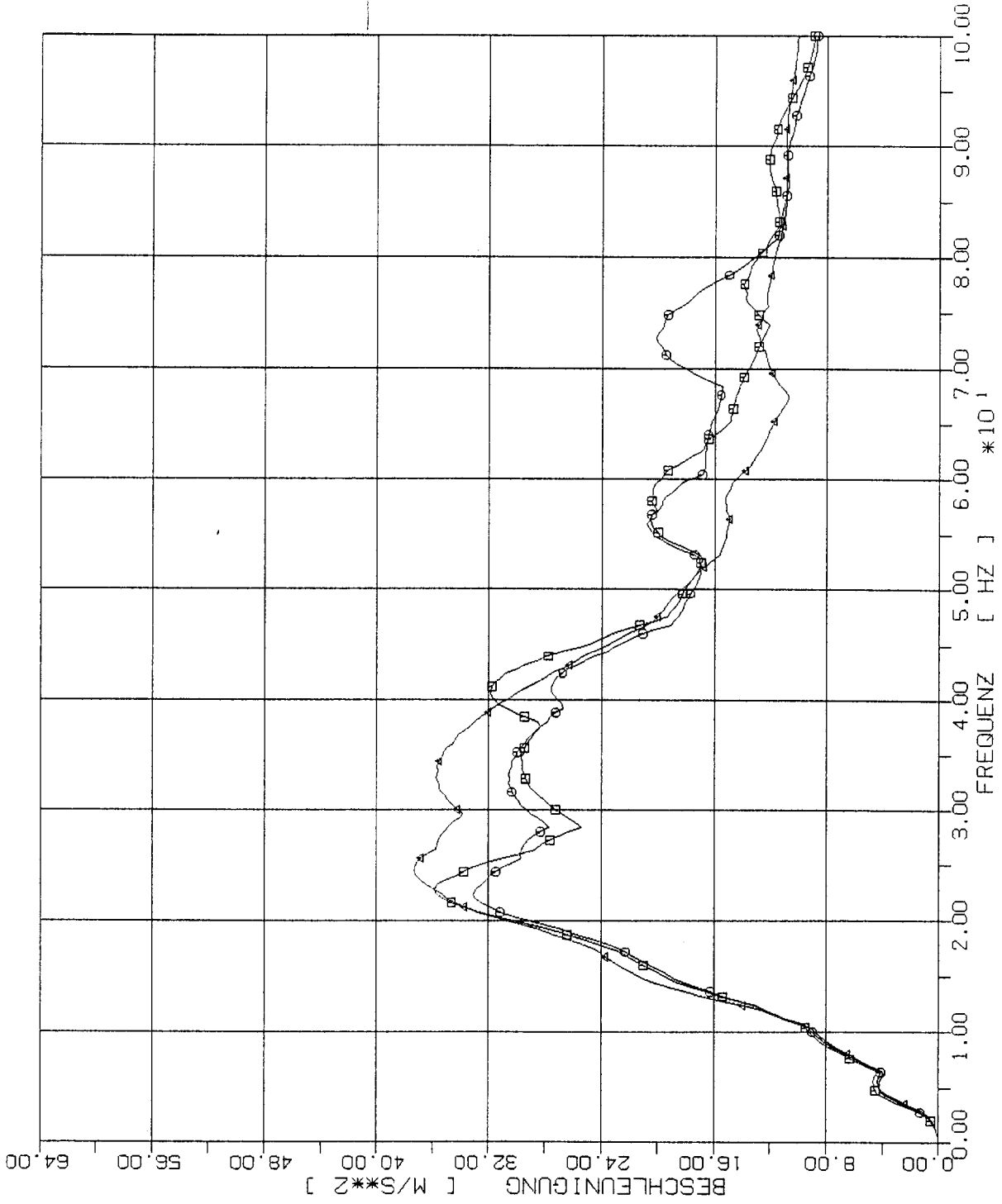
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4L (209) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

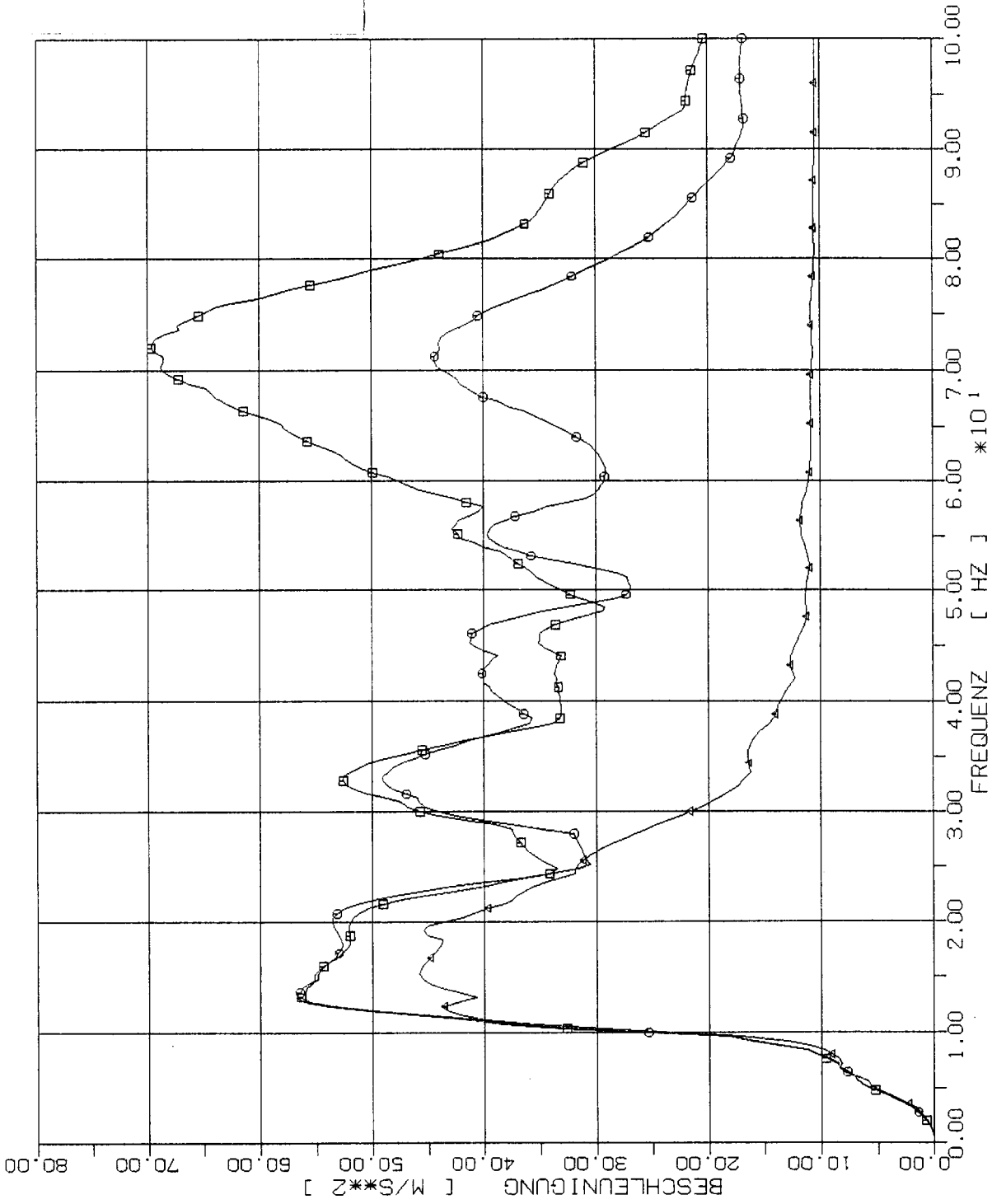
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +5L (201) 2% DAEMPfung
 HOERIZUNTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

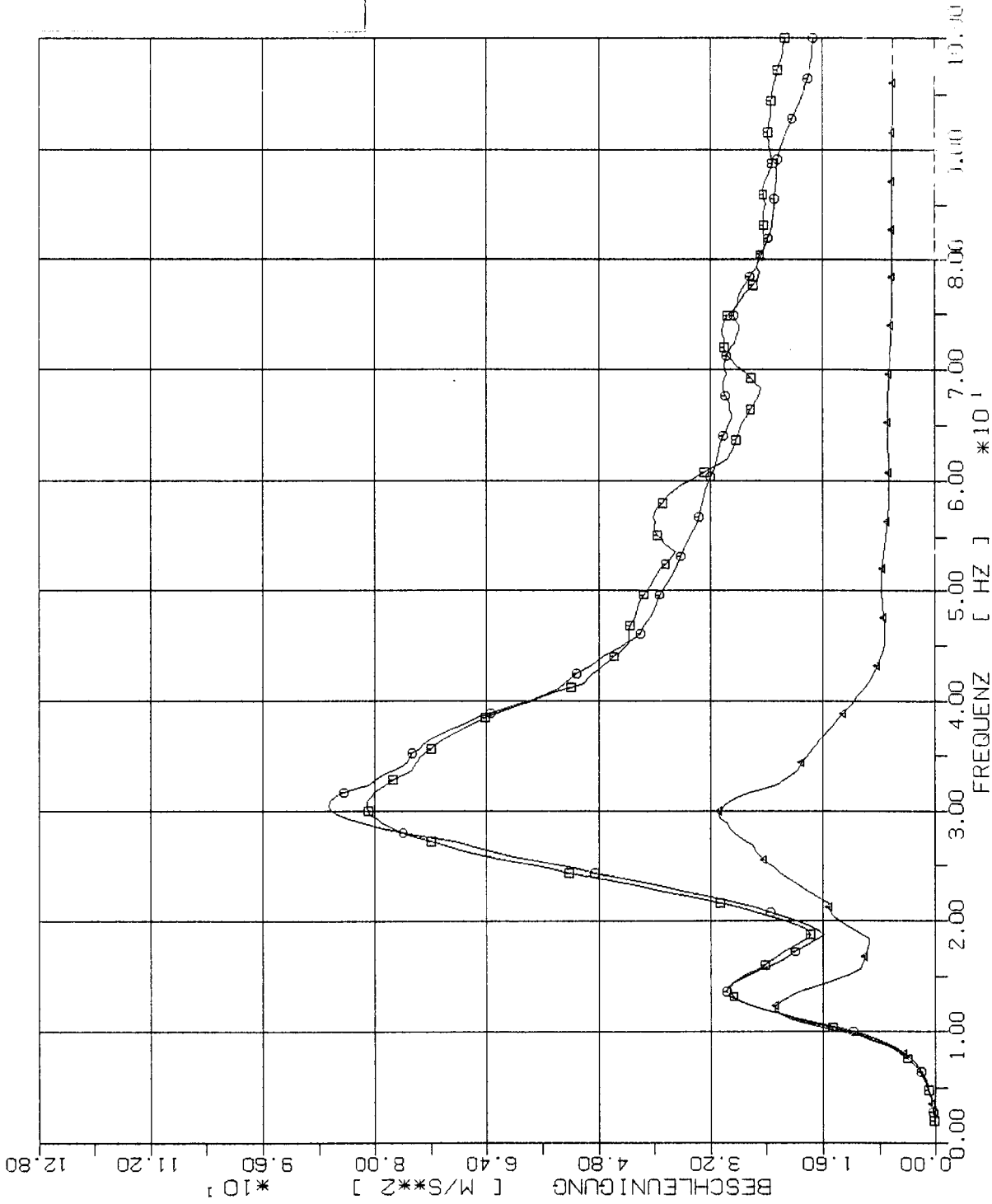
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEBOB. PUNKT 1.50 (421) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

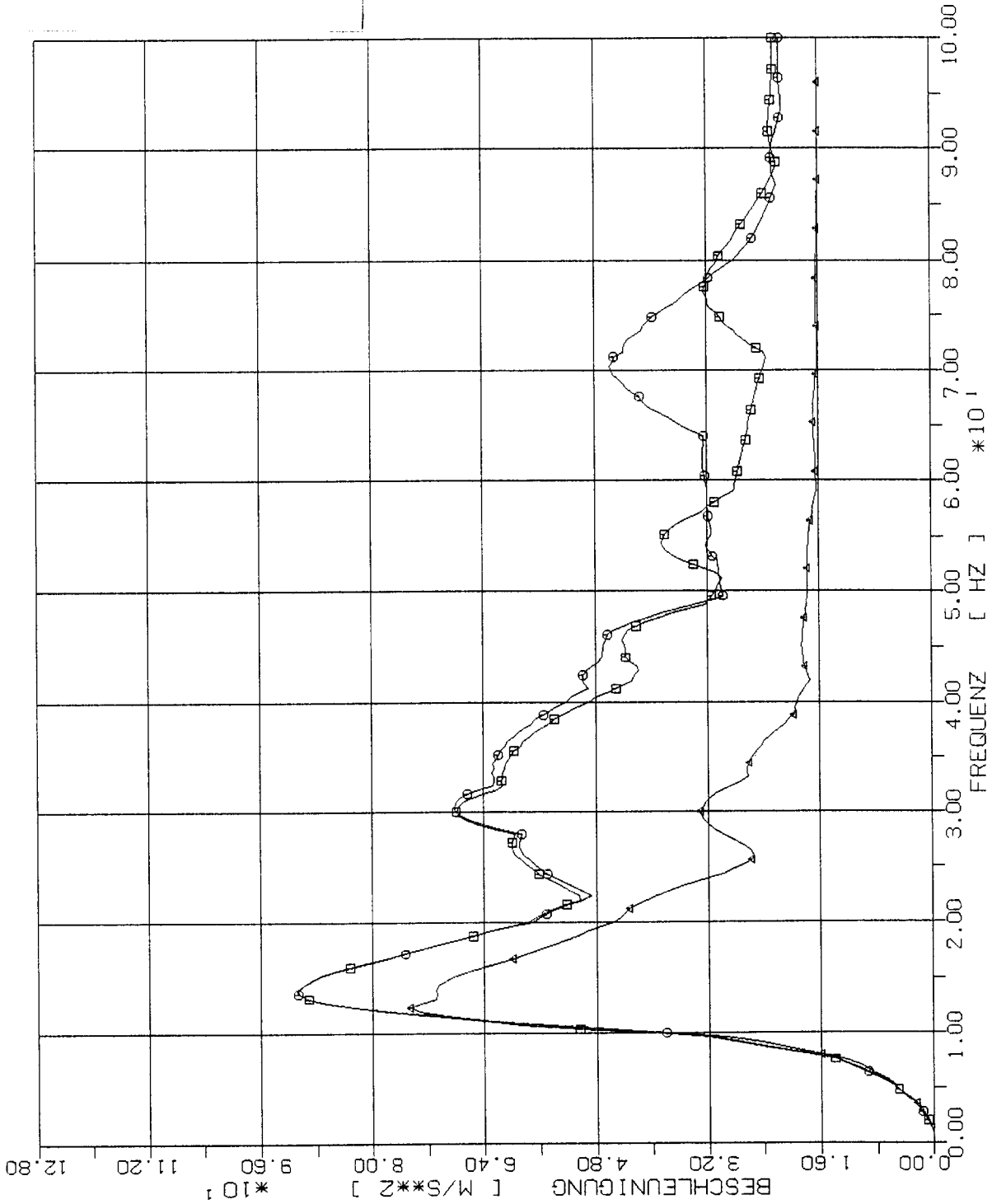
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 2.50 + 13) 2% DAMPFUNG
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

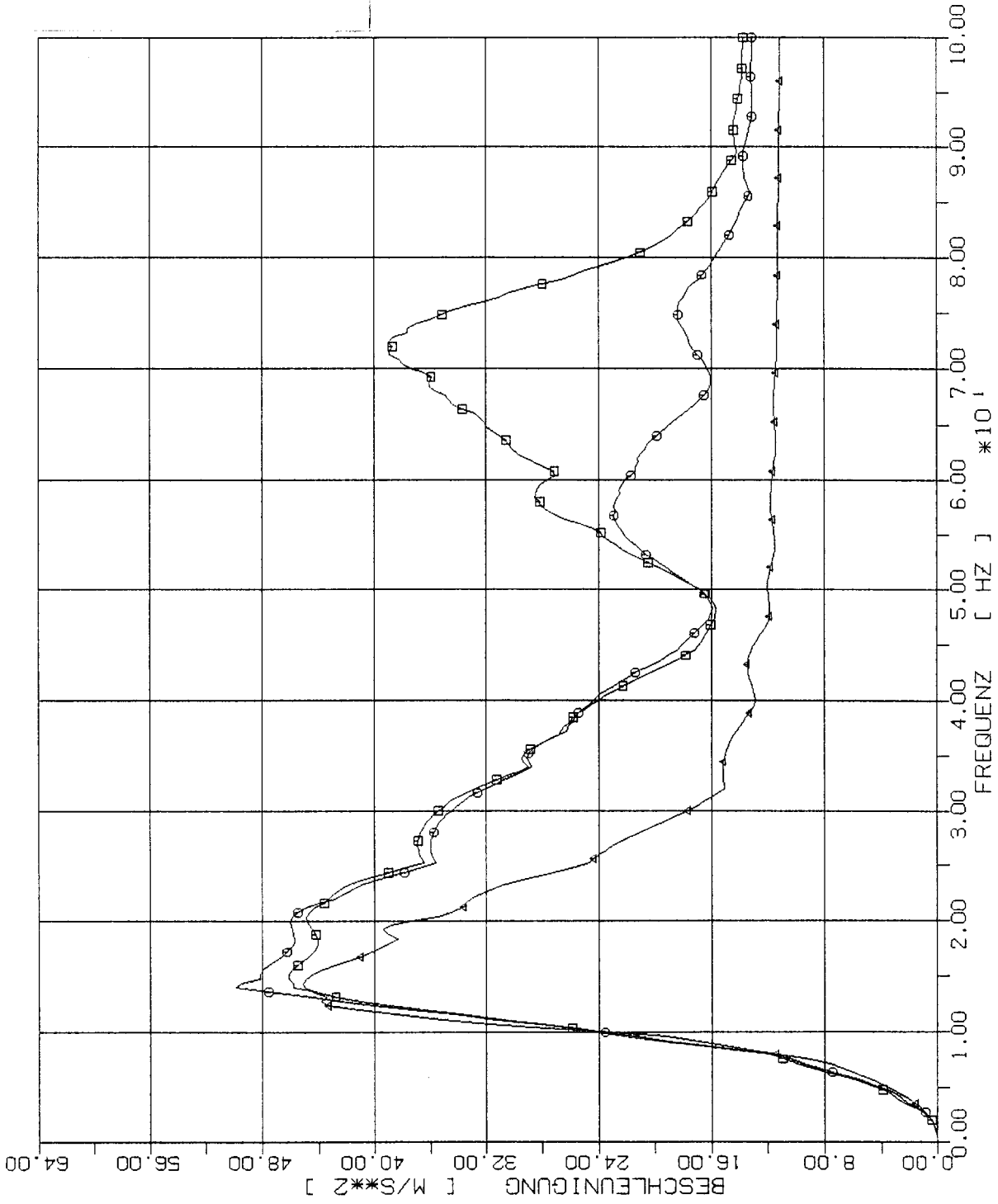
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 3.50 (405) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (REF), ANTWURK IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

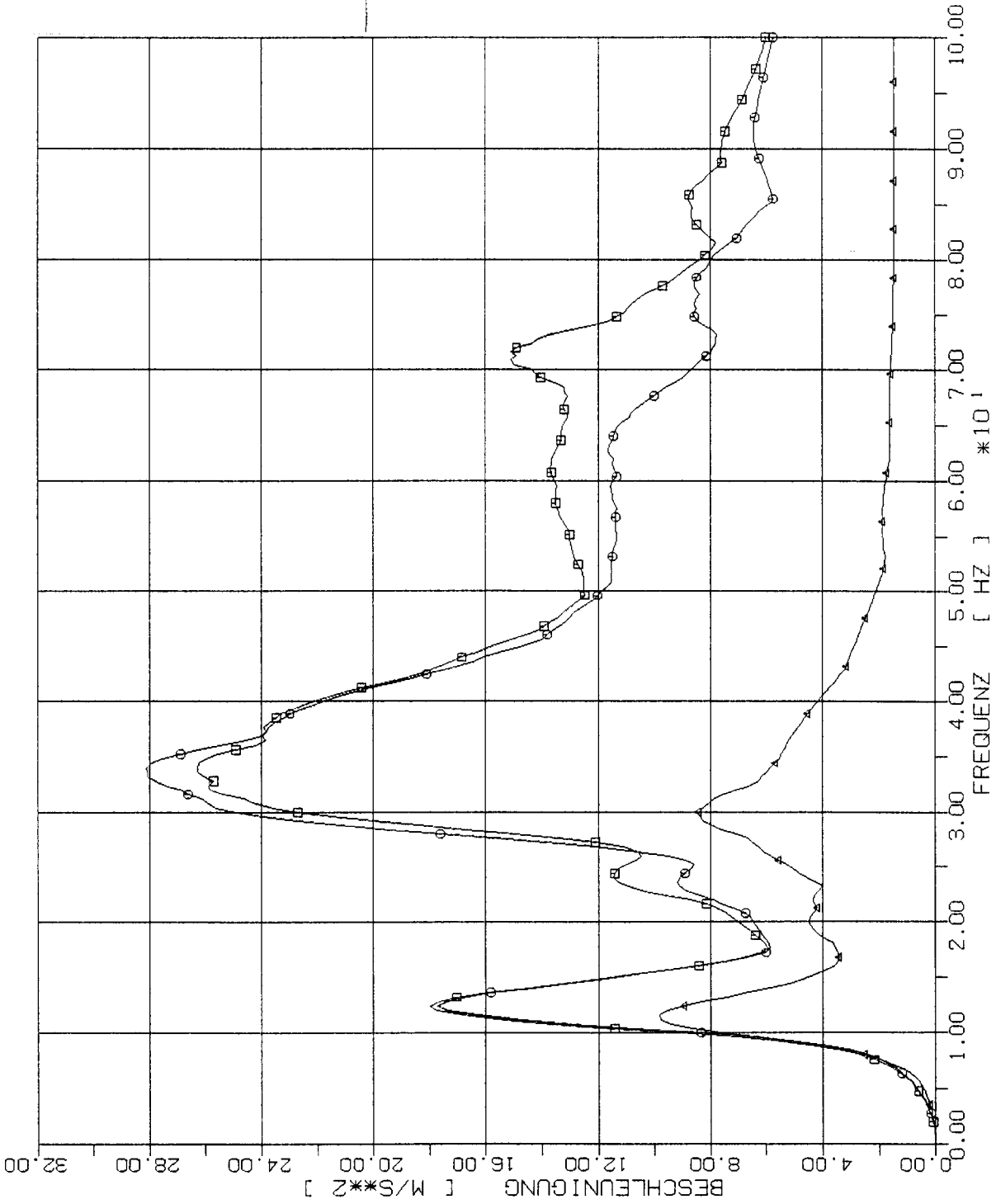
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVergleich IM BEOB. PUNKT +2.50 (221) 2% DAEMPfUNG
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

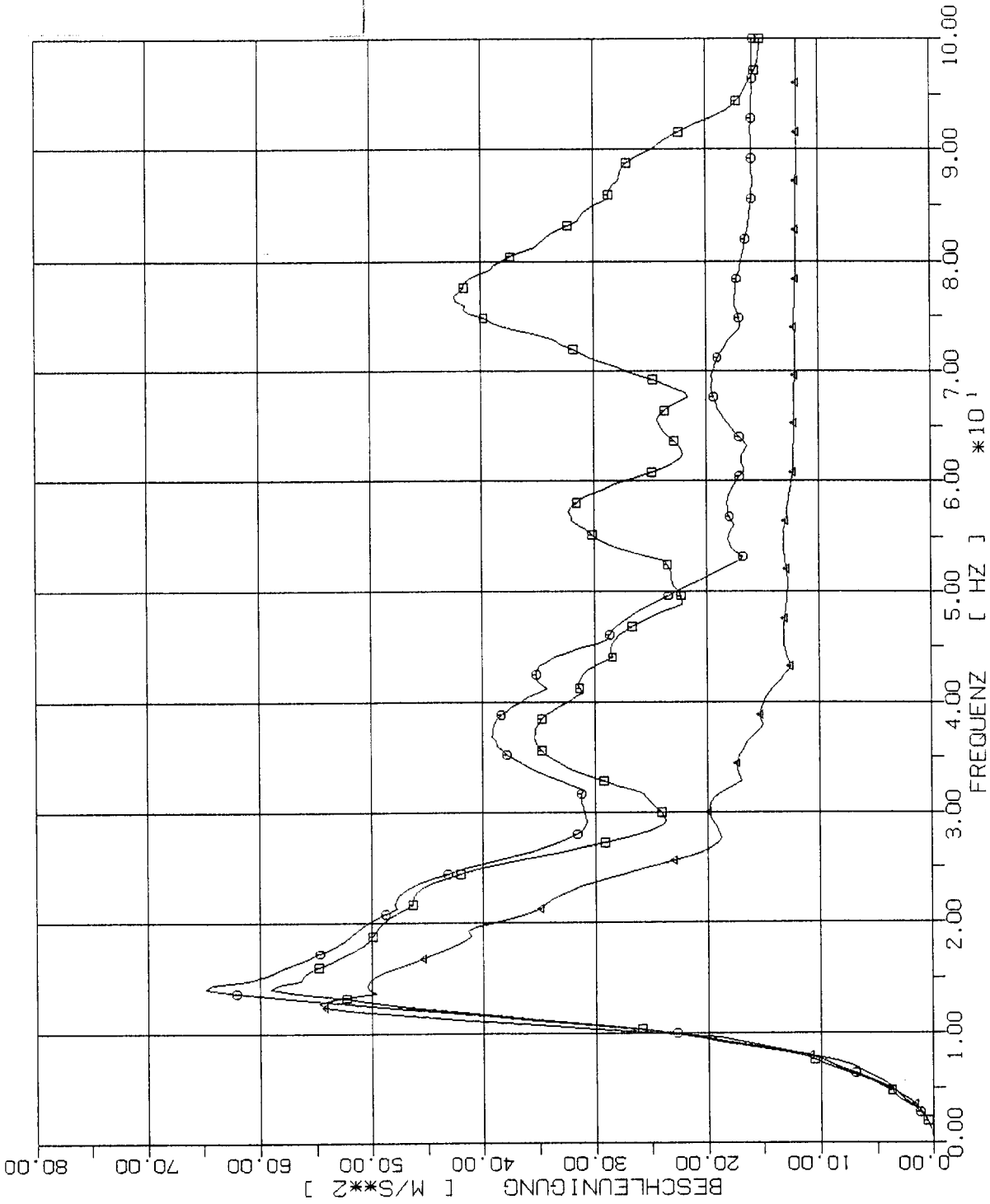
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3,50 (213) 2% DAMPFUNG
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



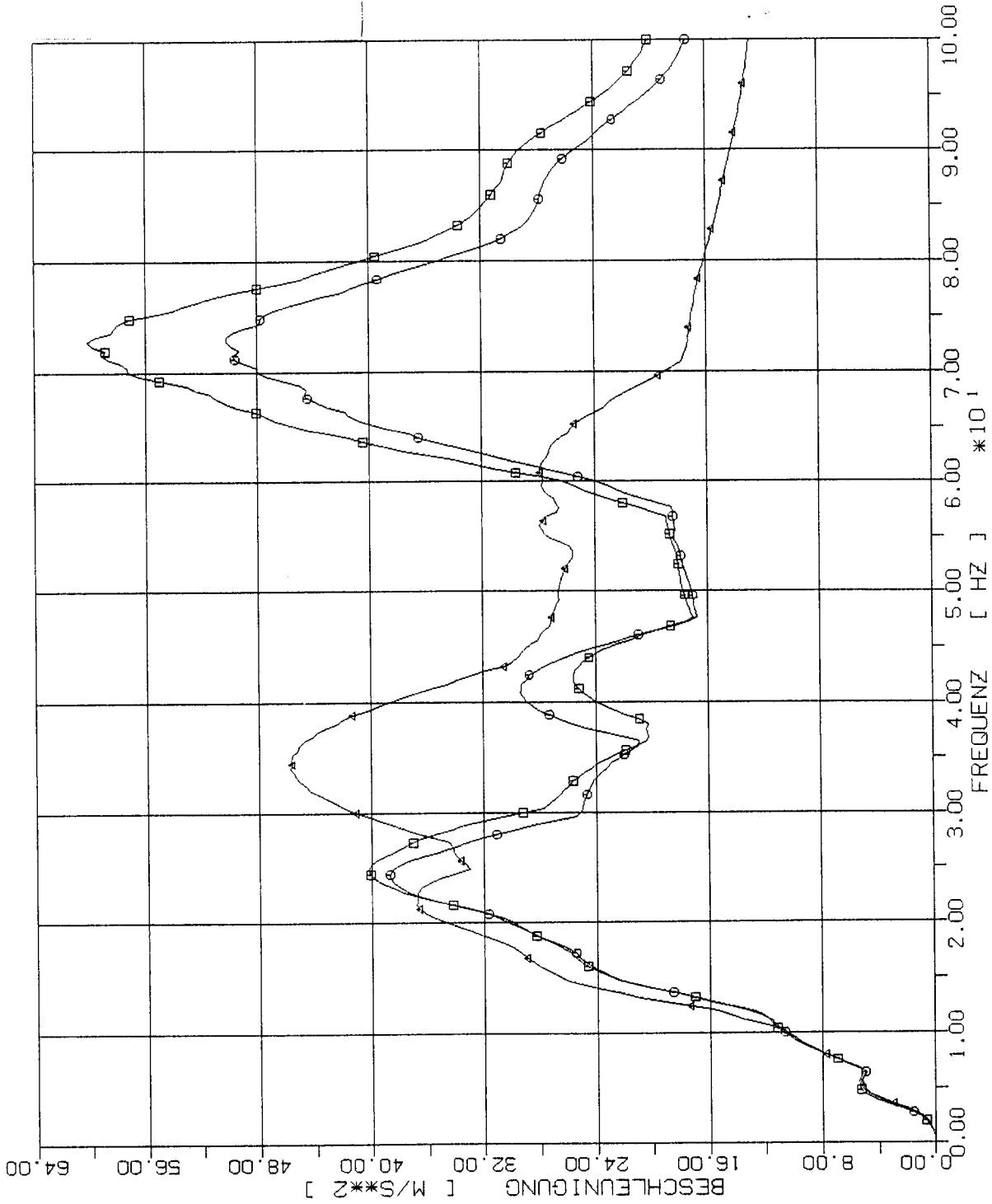
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4.50 (205) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

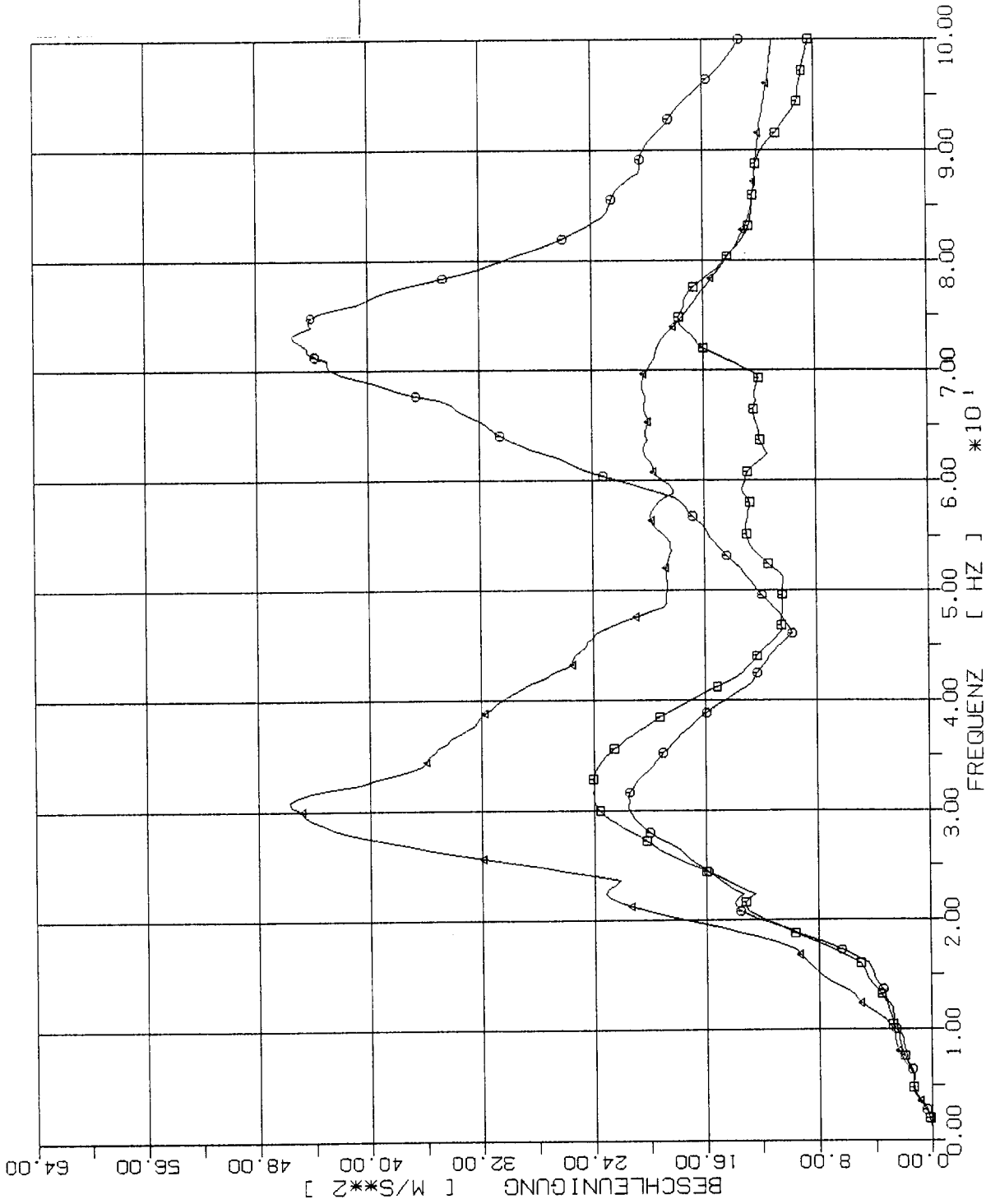
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +1.5W (325) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

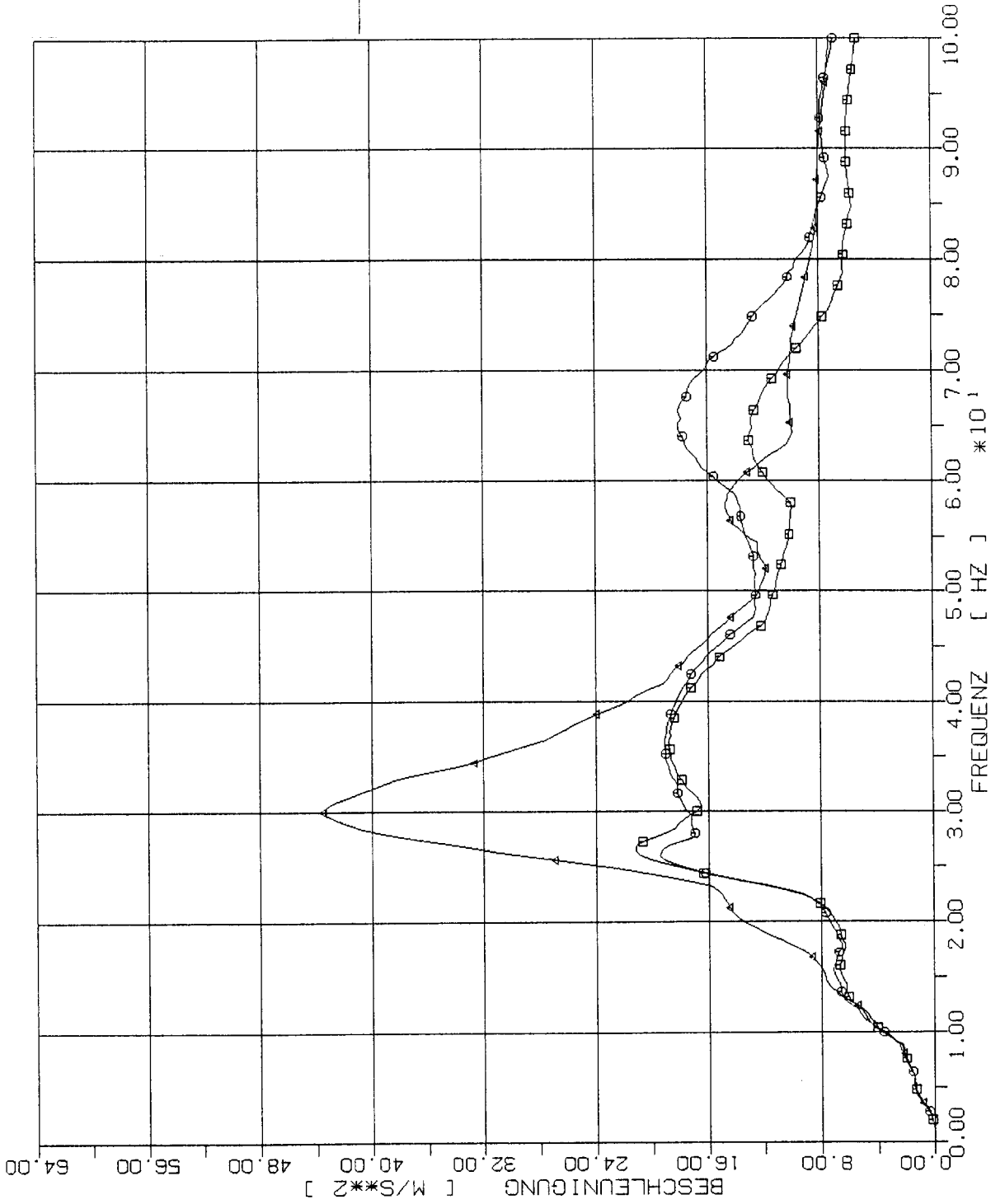
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +2,5W (317) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

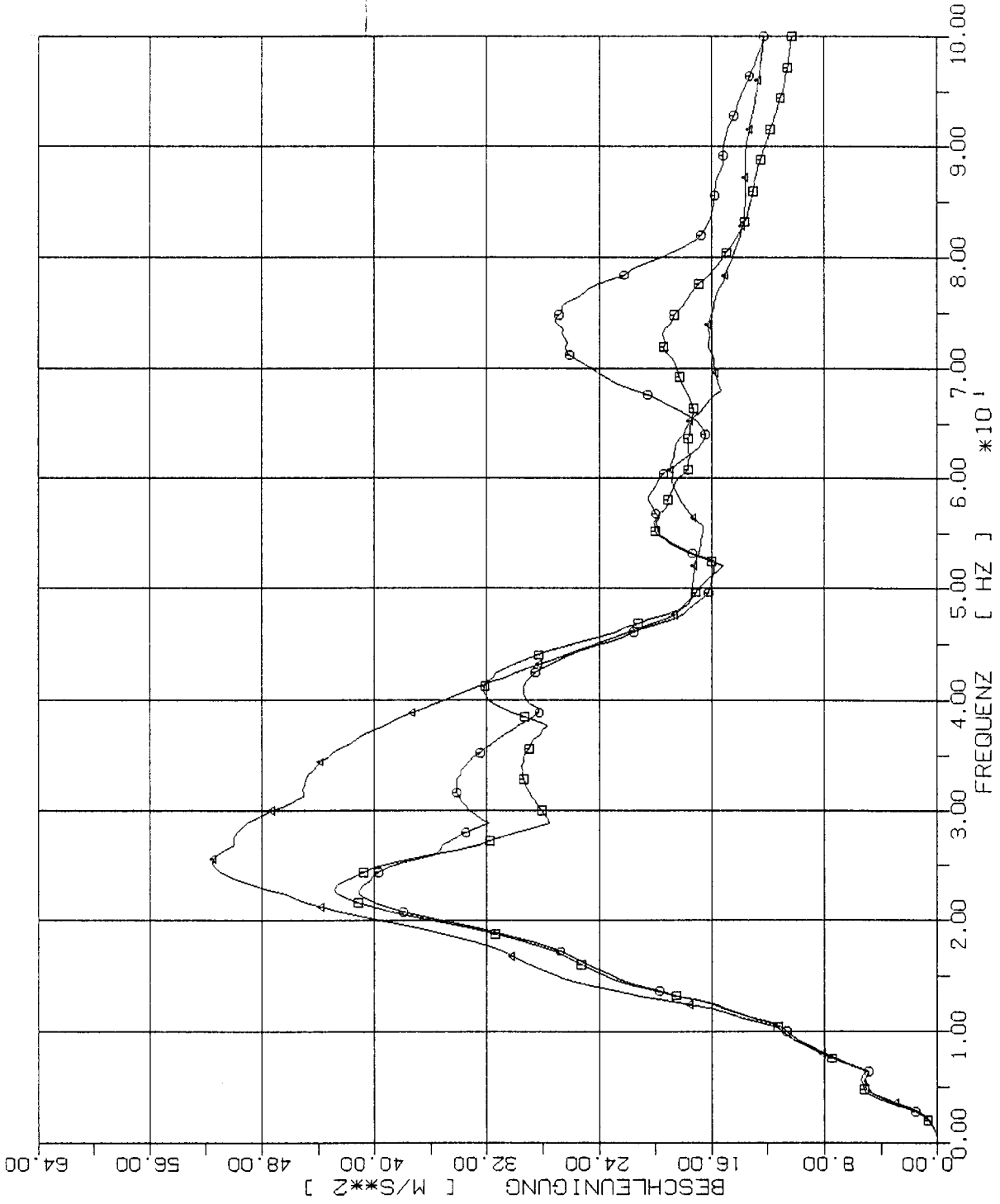
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3.5W (309) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL), ANTWORT IN X3-RICHTUNG

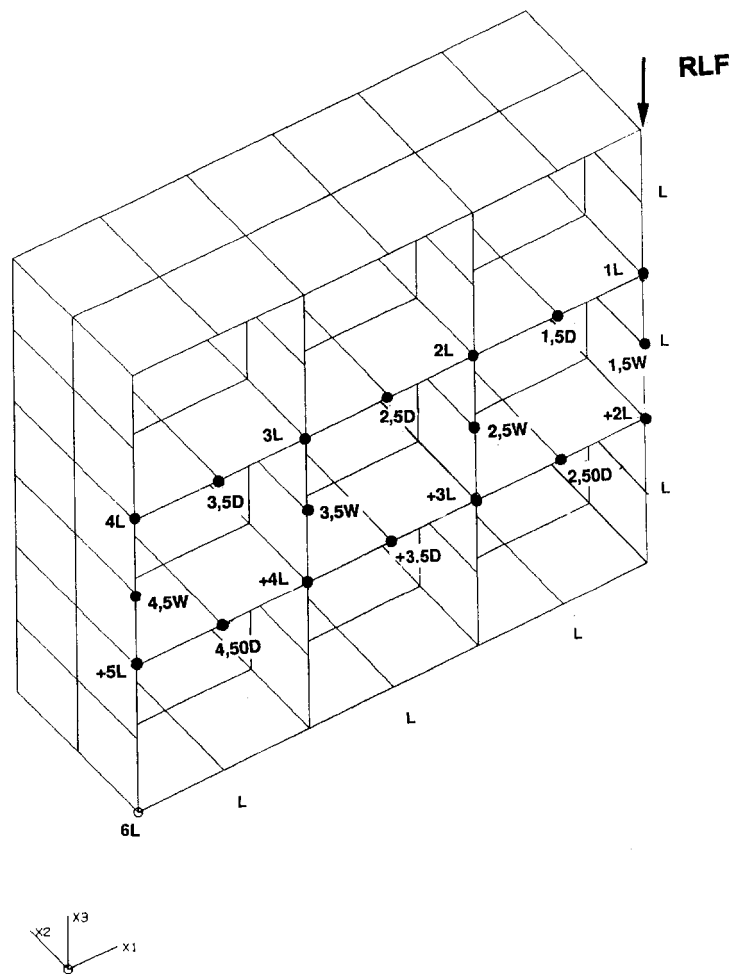
Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



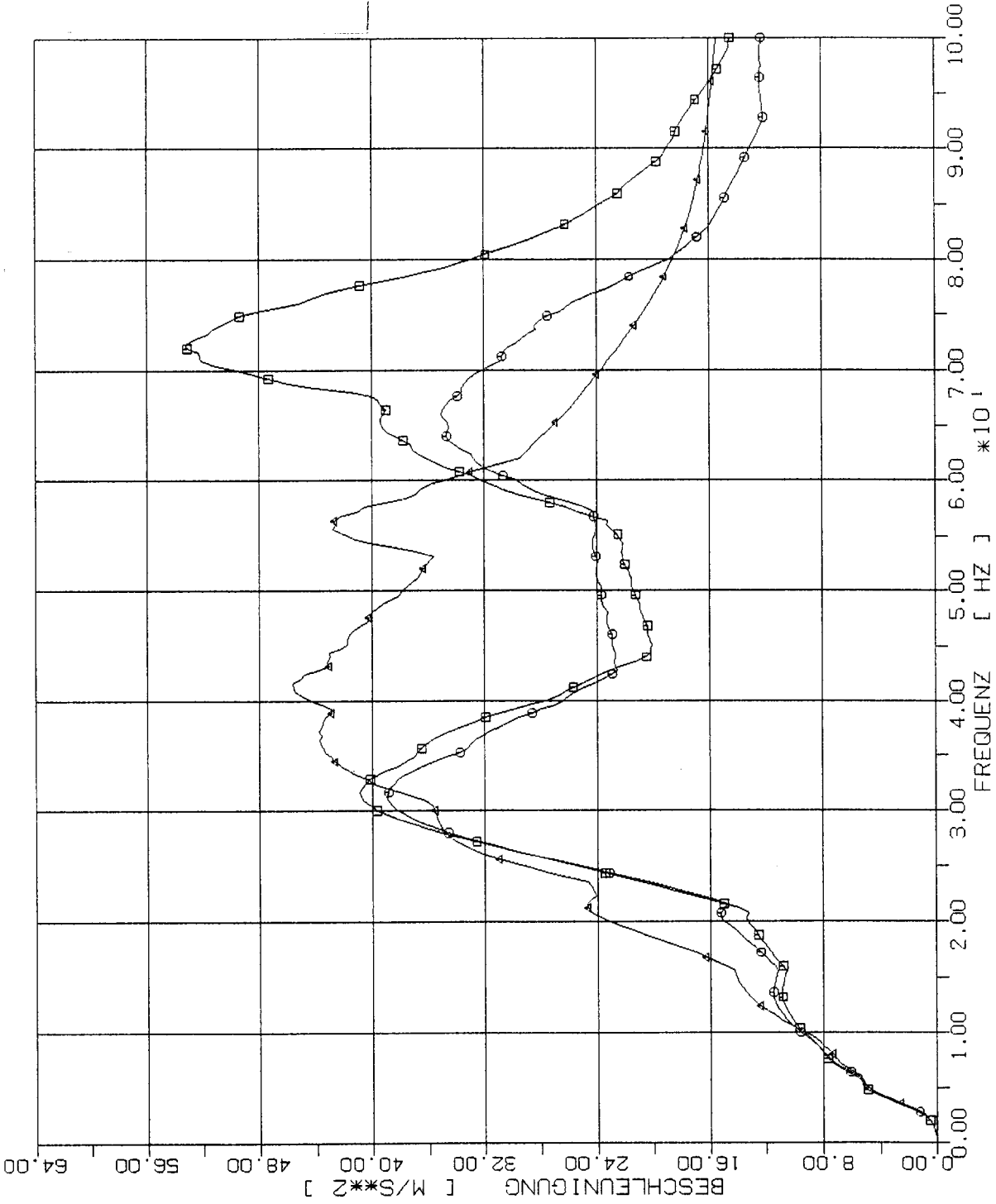
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4.5W (301) 2% DAEMPfung
 HORIZONTALE (X1) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

4.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung



Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



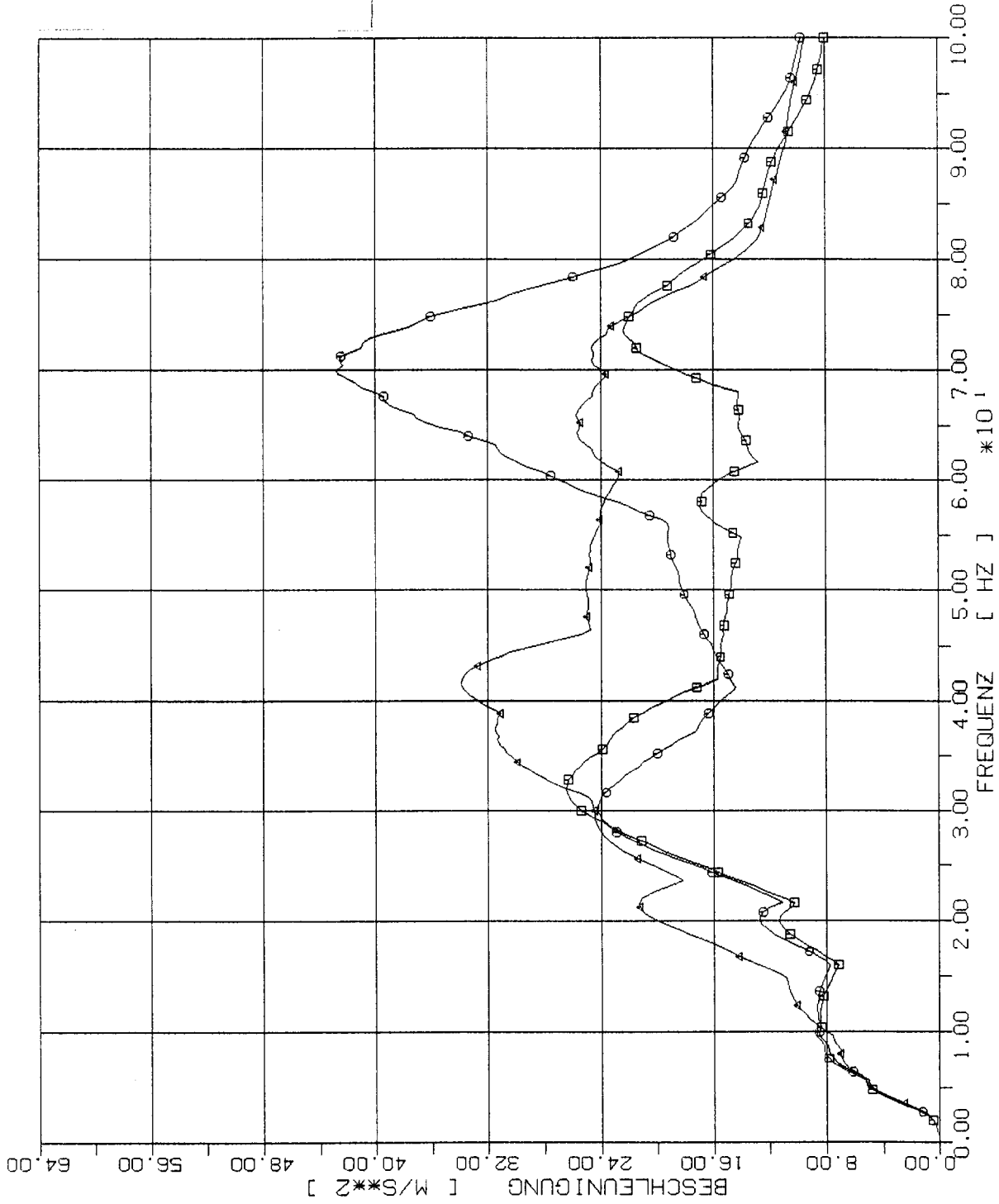
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEBOB. FUNKT 1L (425) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

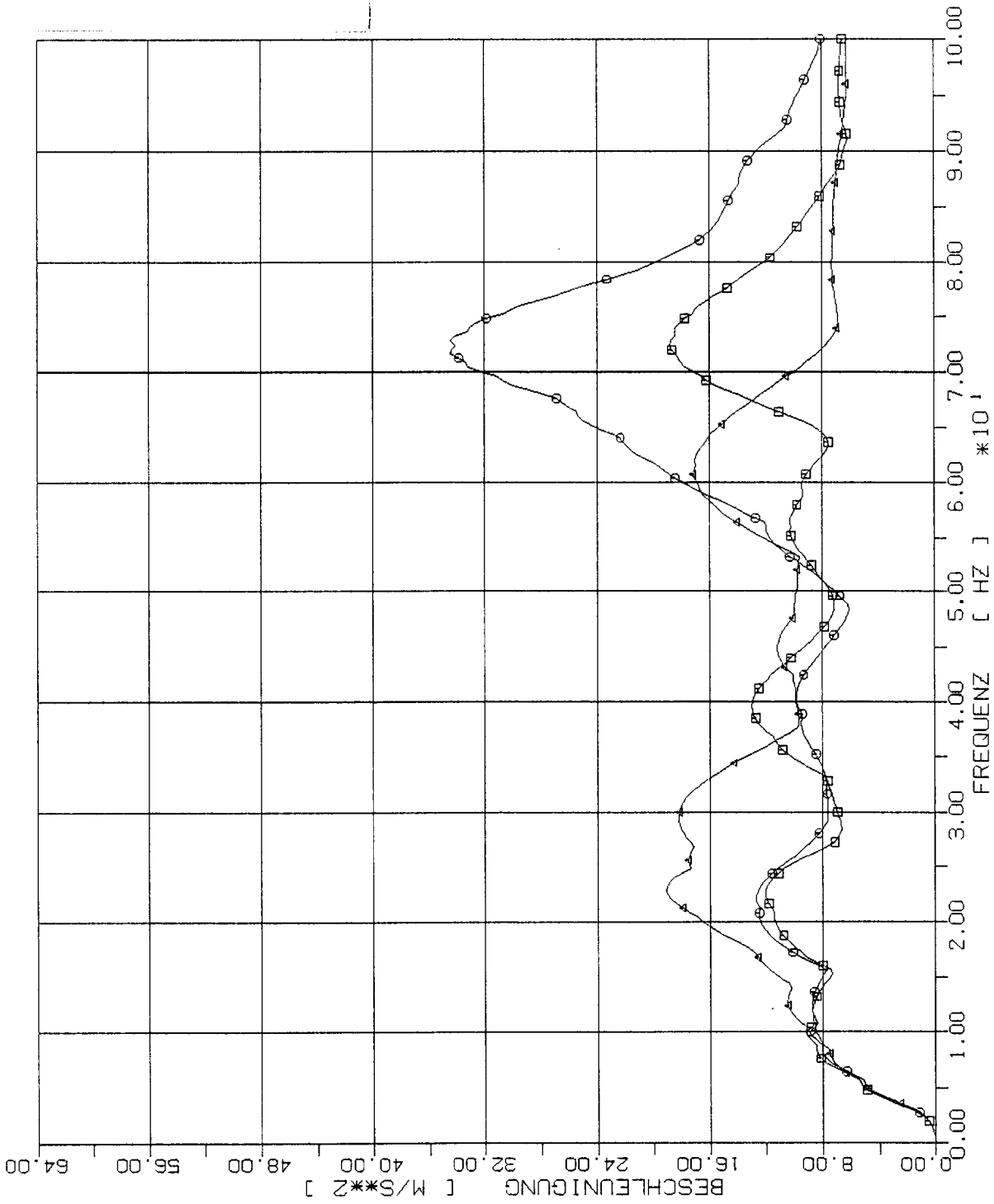
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 2L (417) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

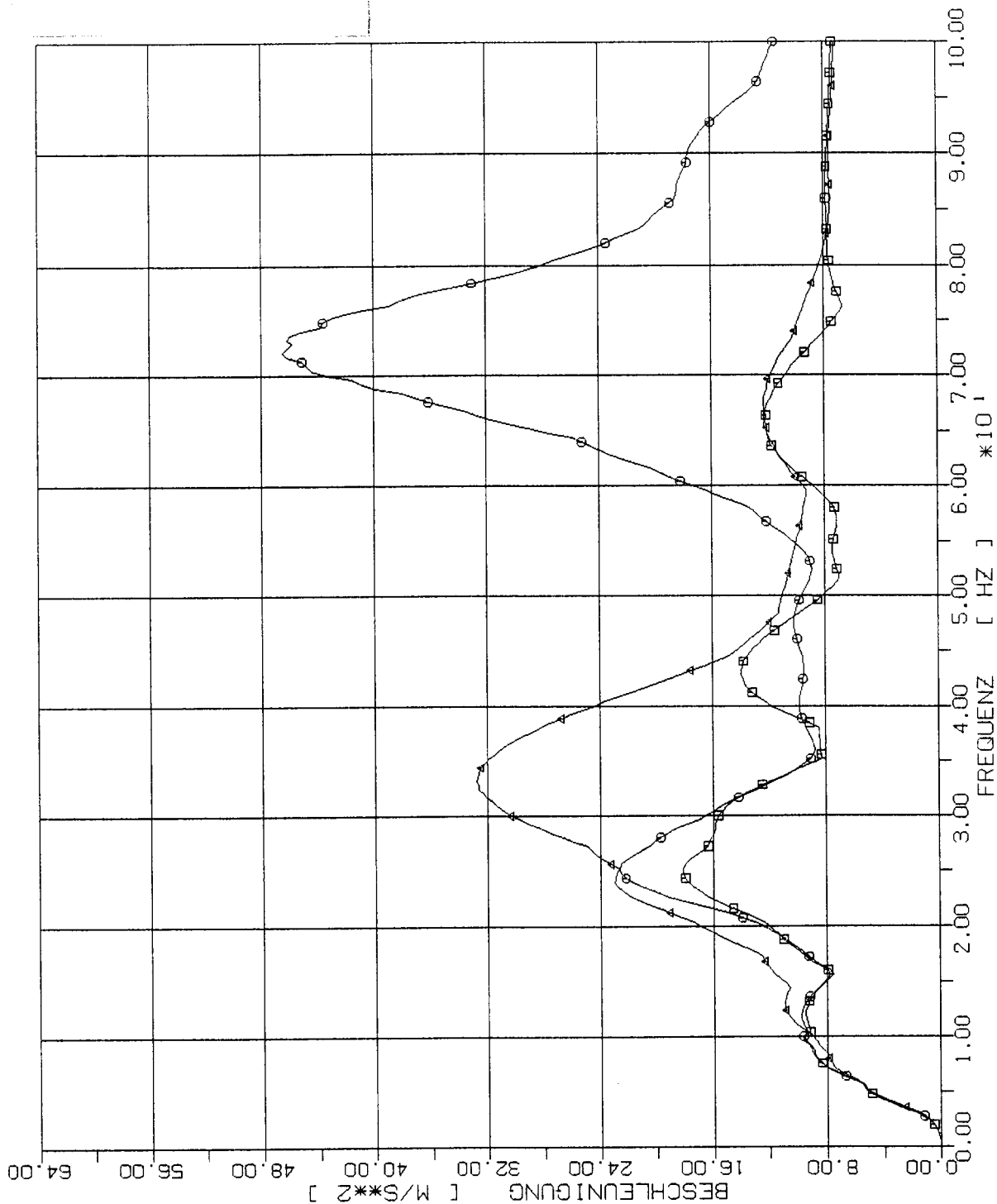
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 3L (409) 2% DAEMPFFUNG
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWURT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

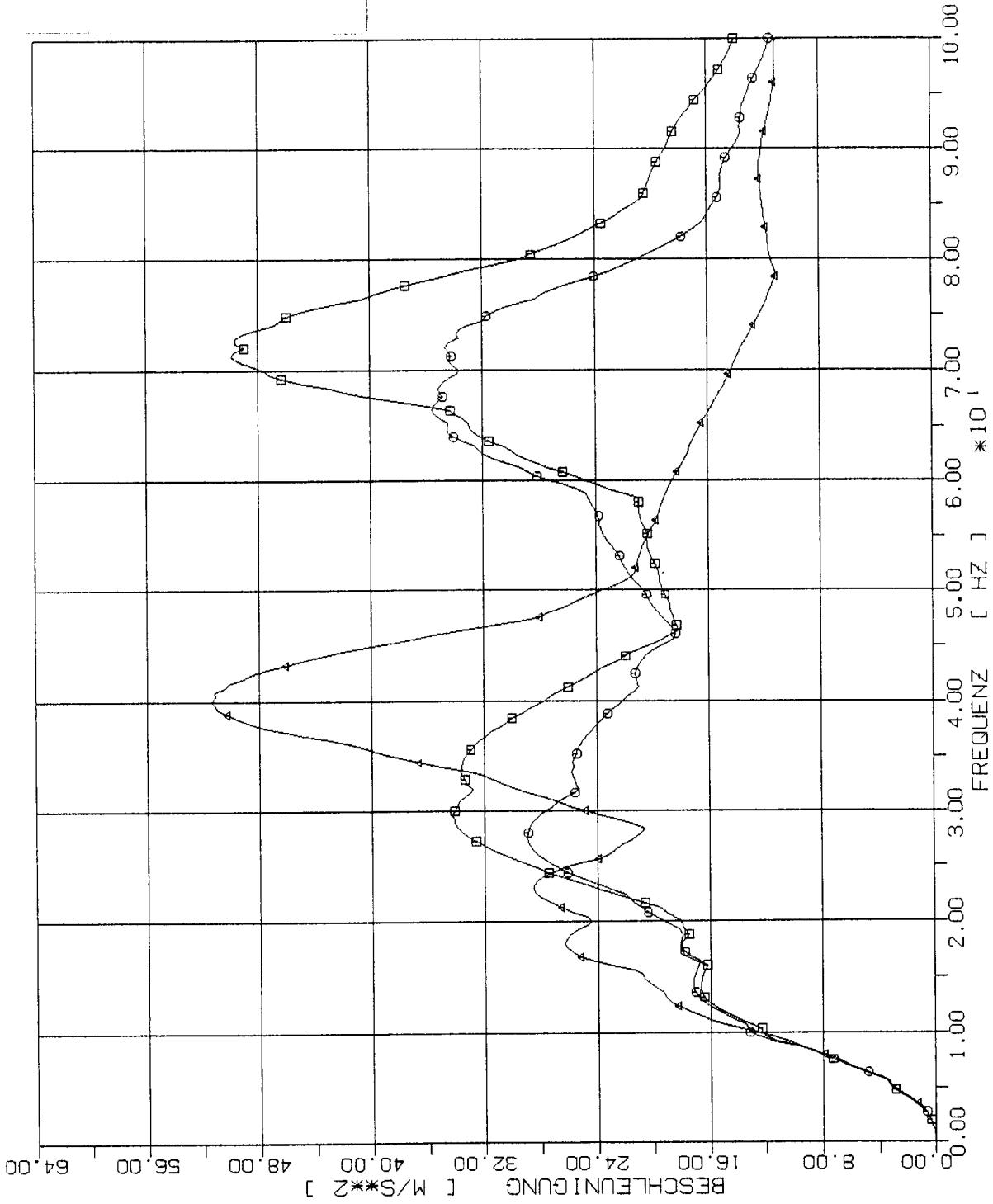
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 4L (401) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



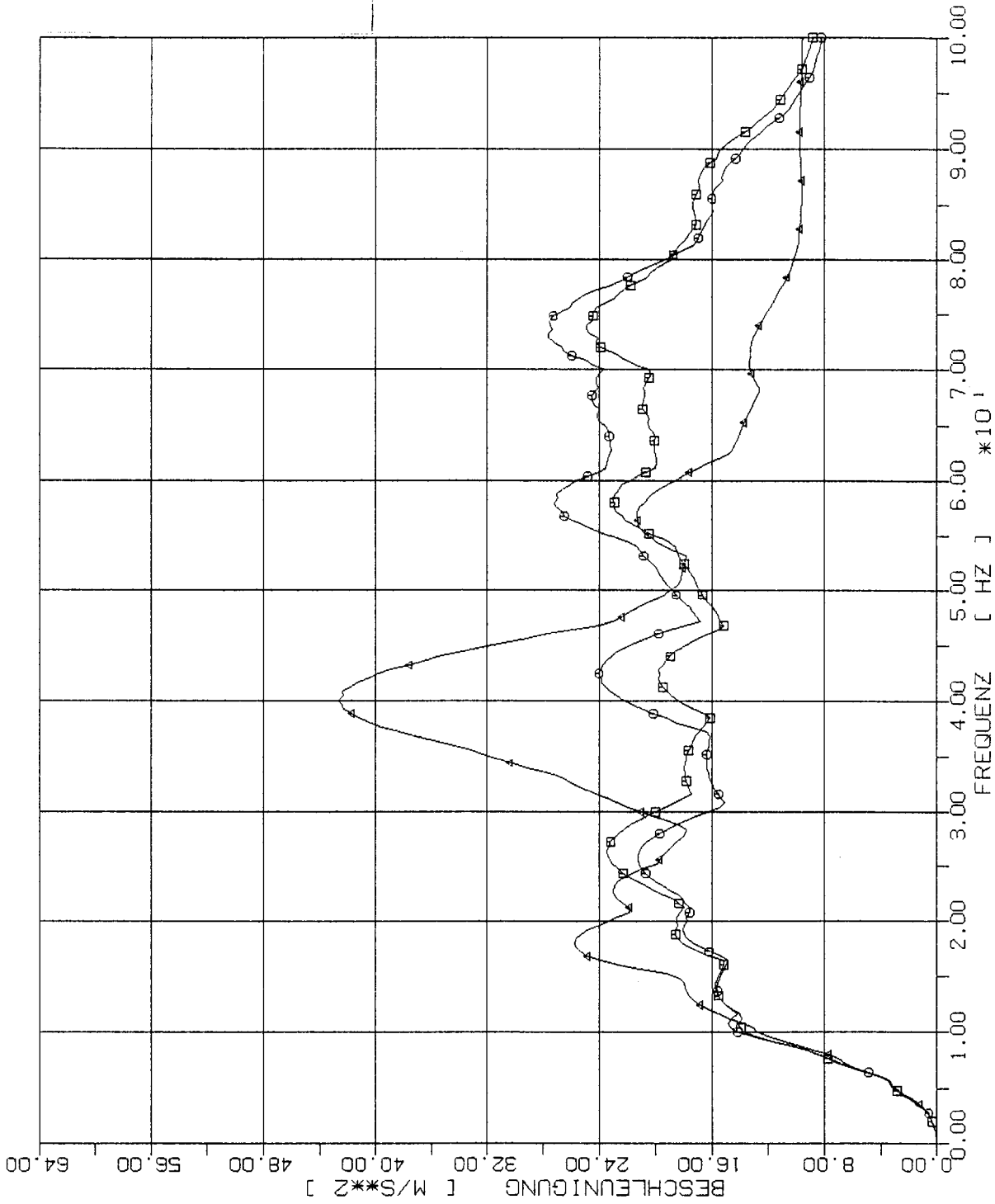
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +2L (225) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



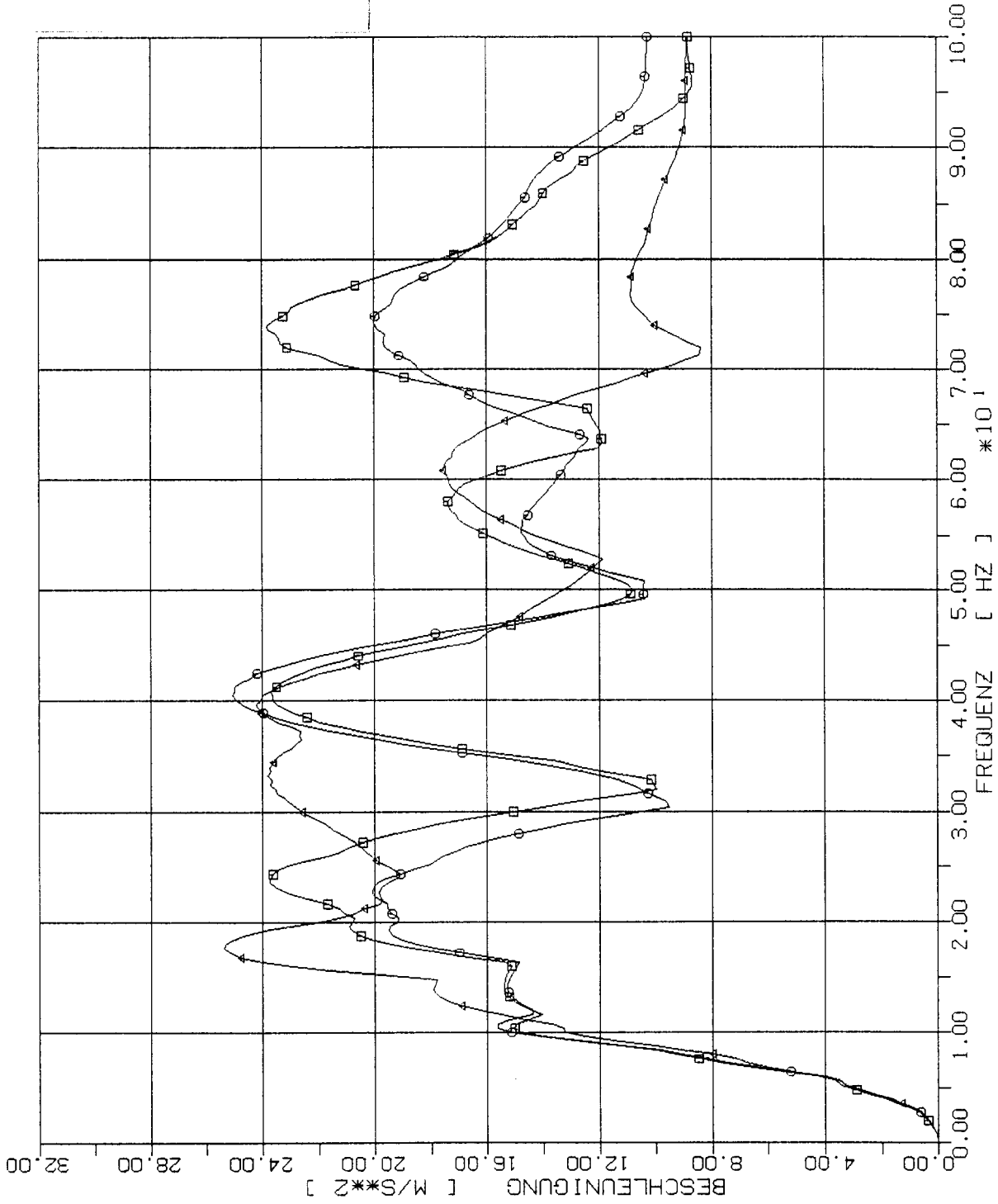
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3L (217) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

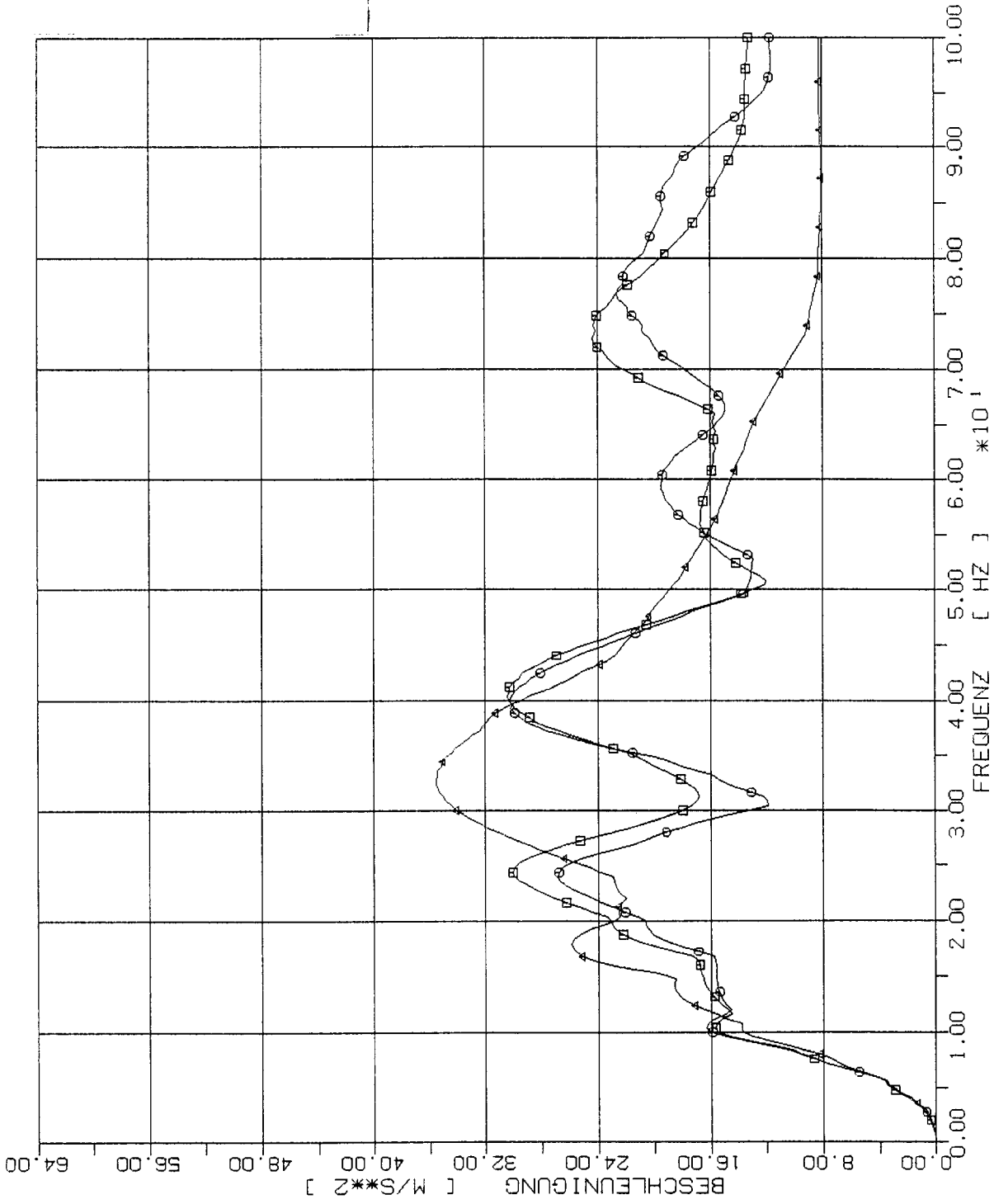
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4L (209) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (x3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN XI-RICHTUNG

Elementgröße:

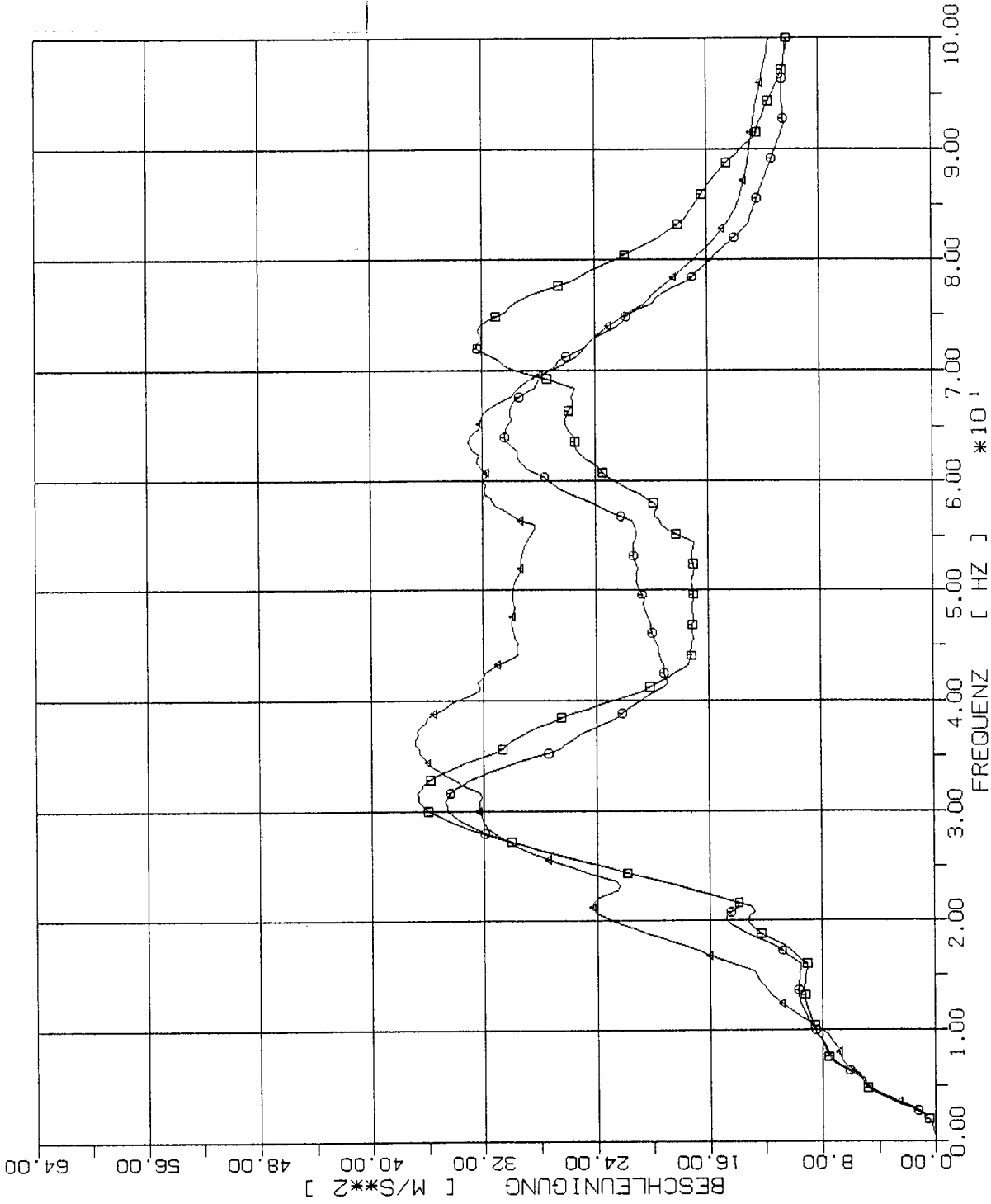
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +SL (201) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

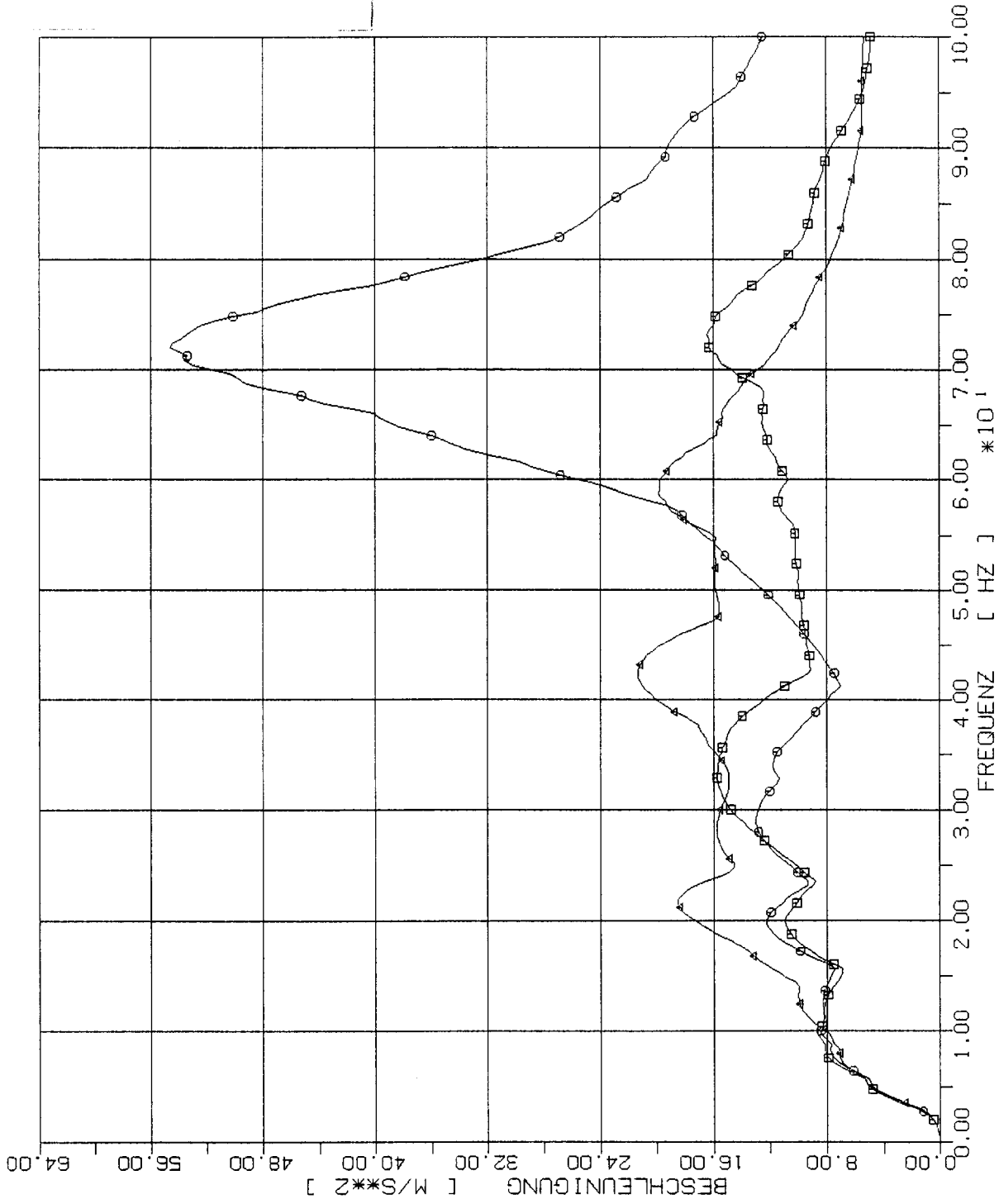
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOBS. PUNKT 1.50 (421) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

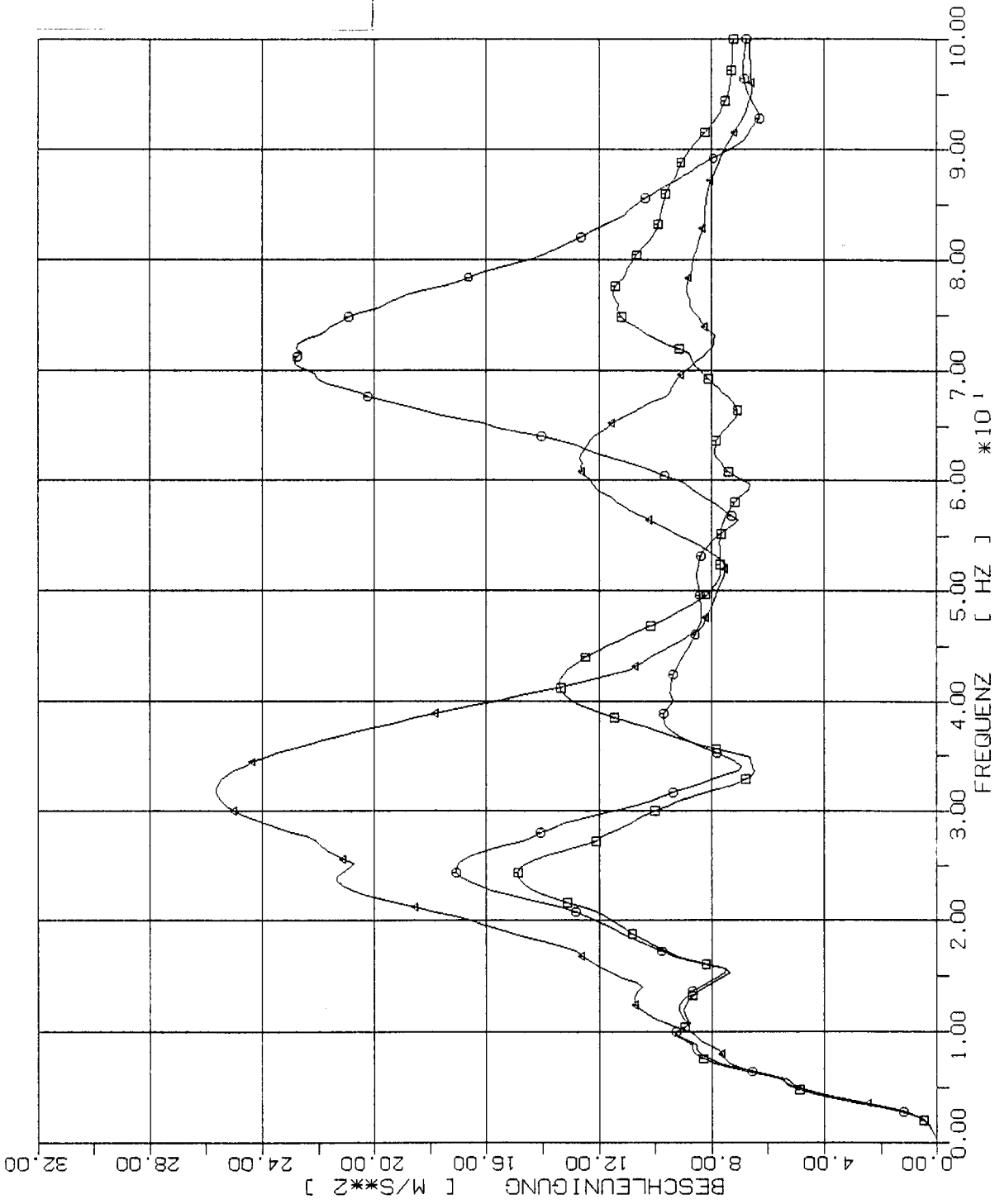
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 2.5D (413) 2% DAEMPFLUNG
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

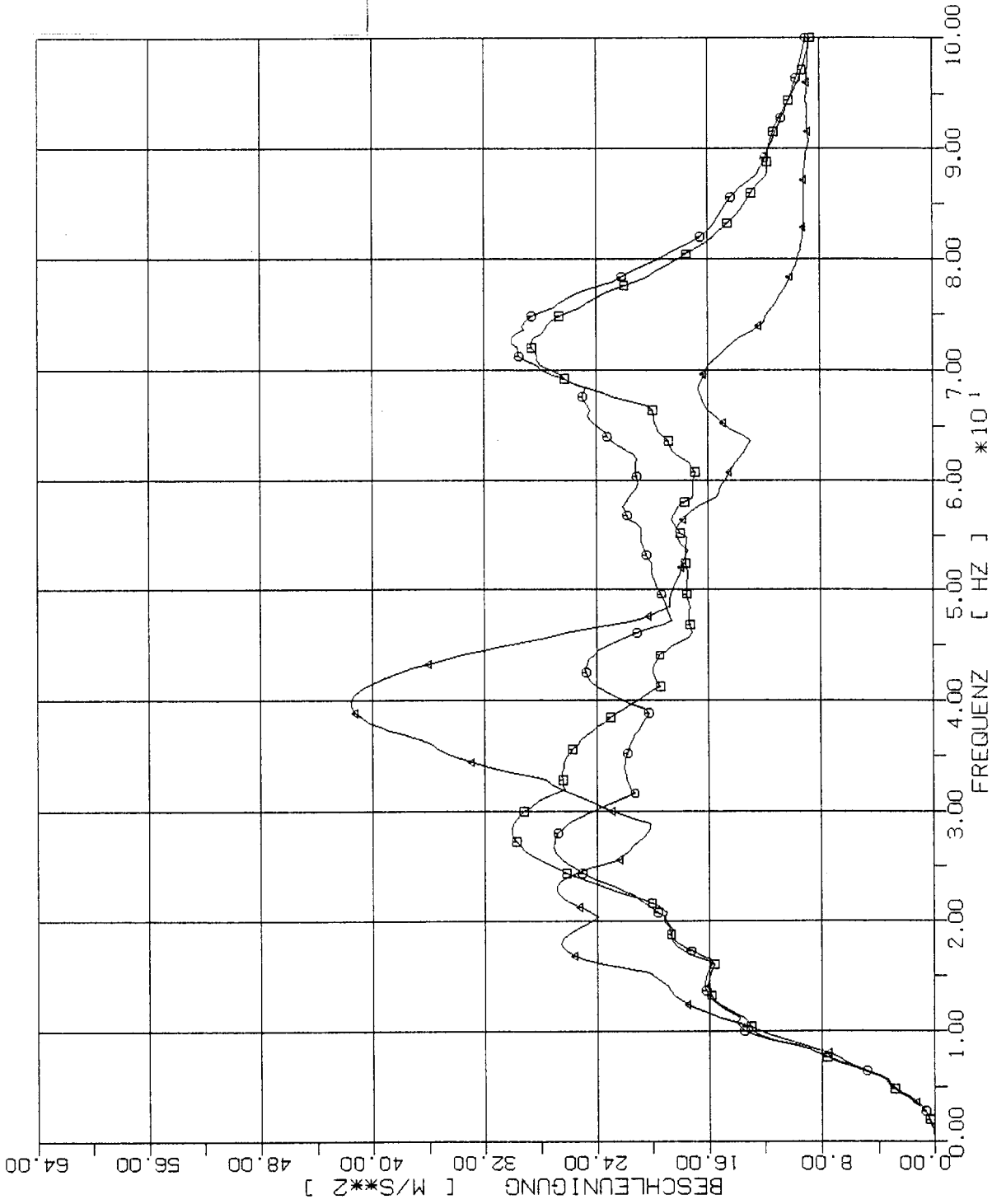
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 EFFIKTRENVERGLEICH IM BEF. PUNKT 3.50 (405) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSEBELASTUNG (KFL) HINWURT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



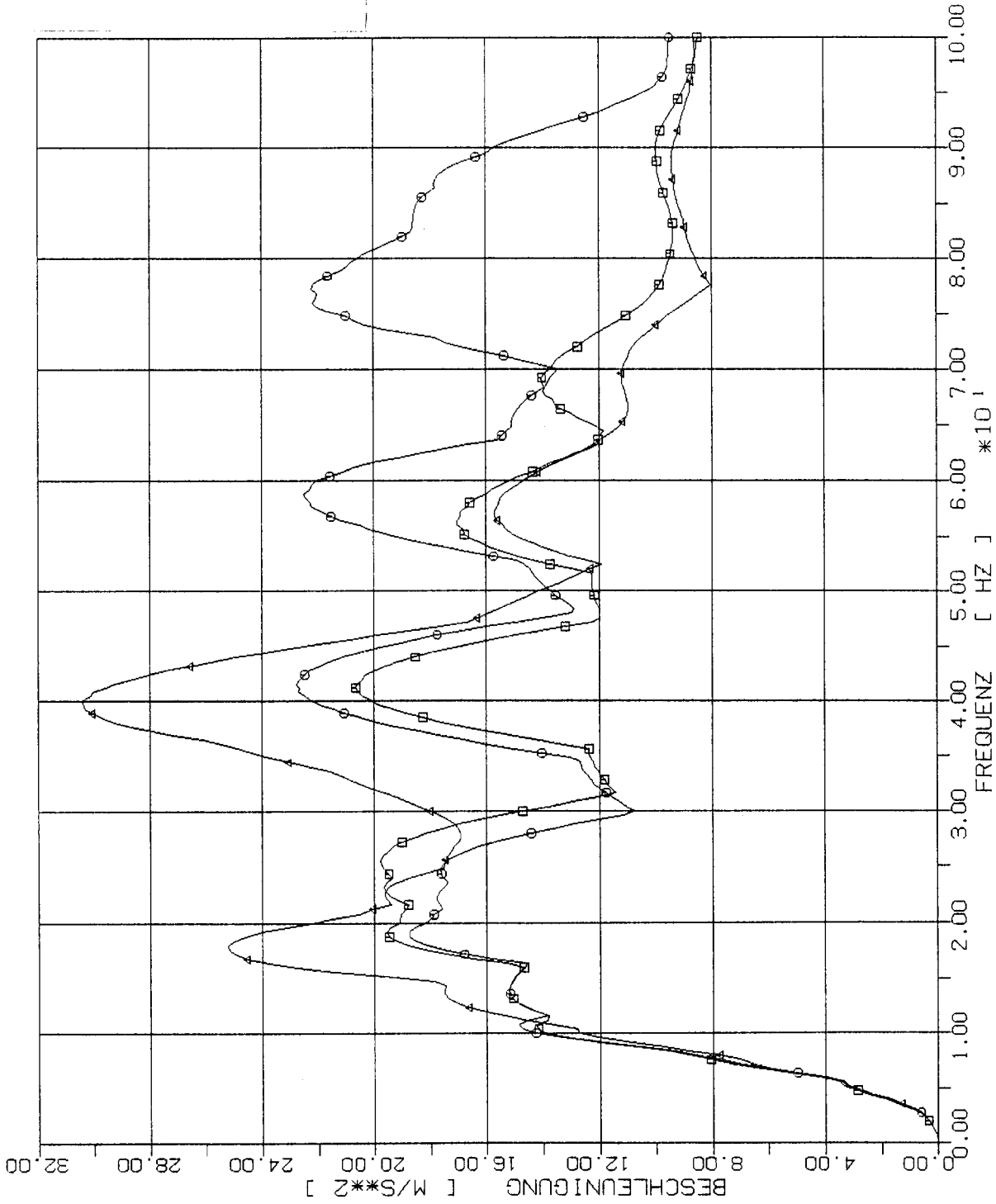
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +2.50 (221) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

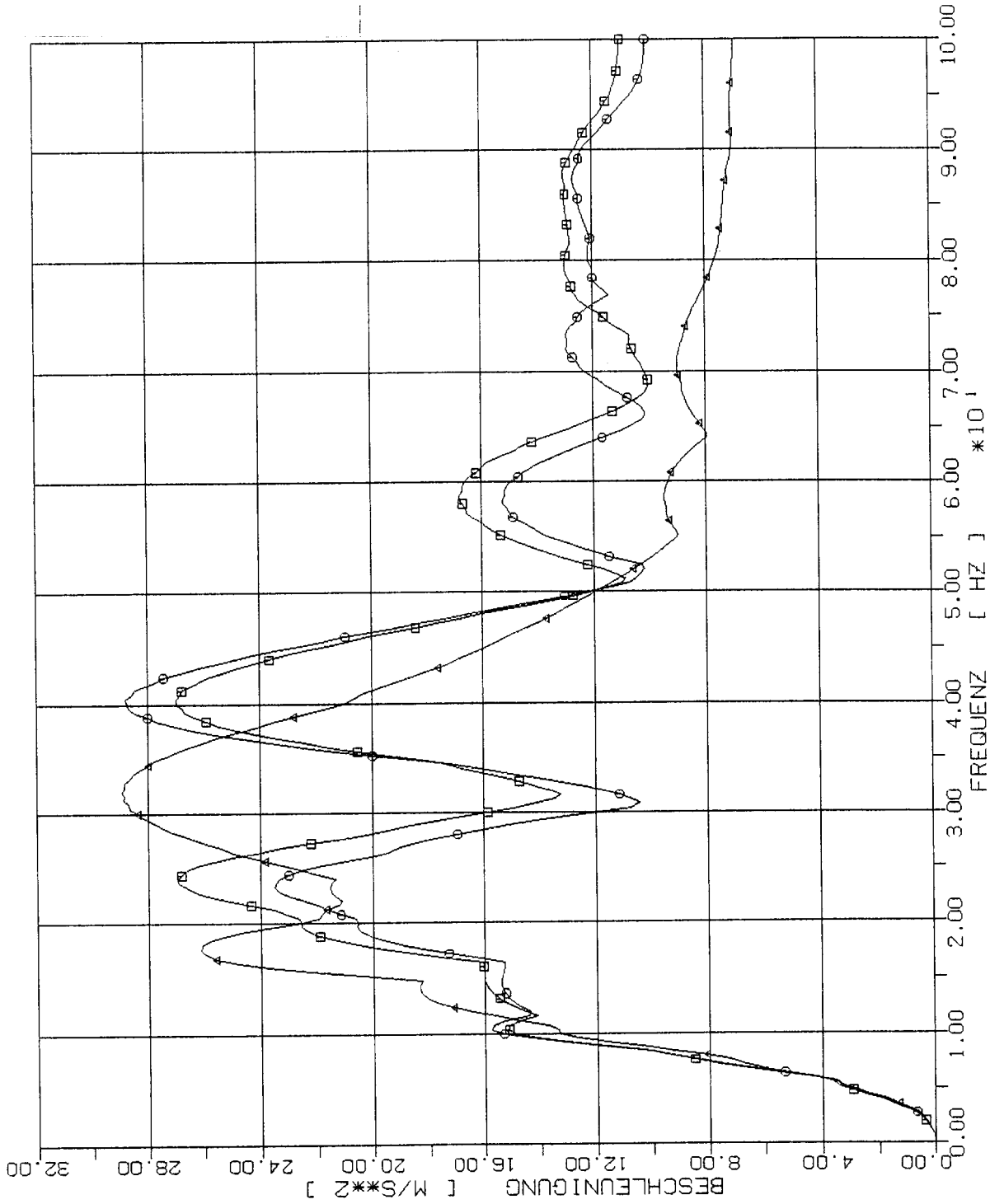
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3,50 (213) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

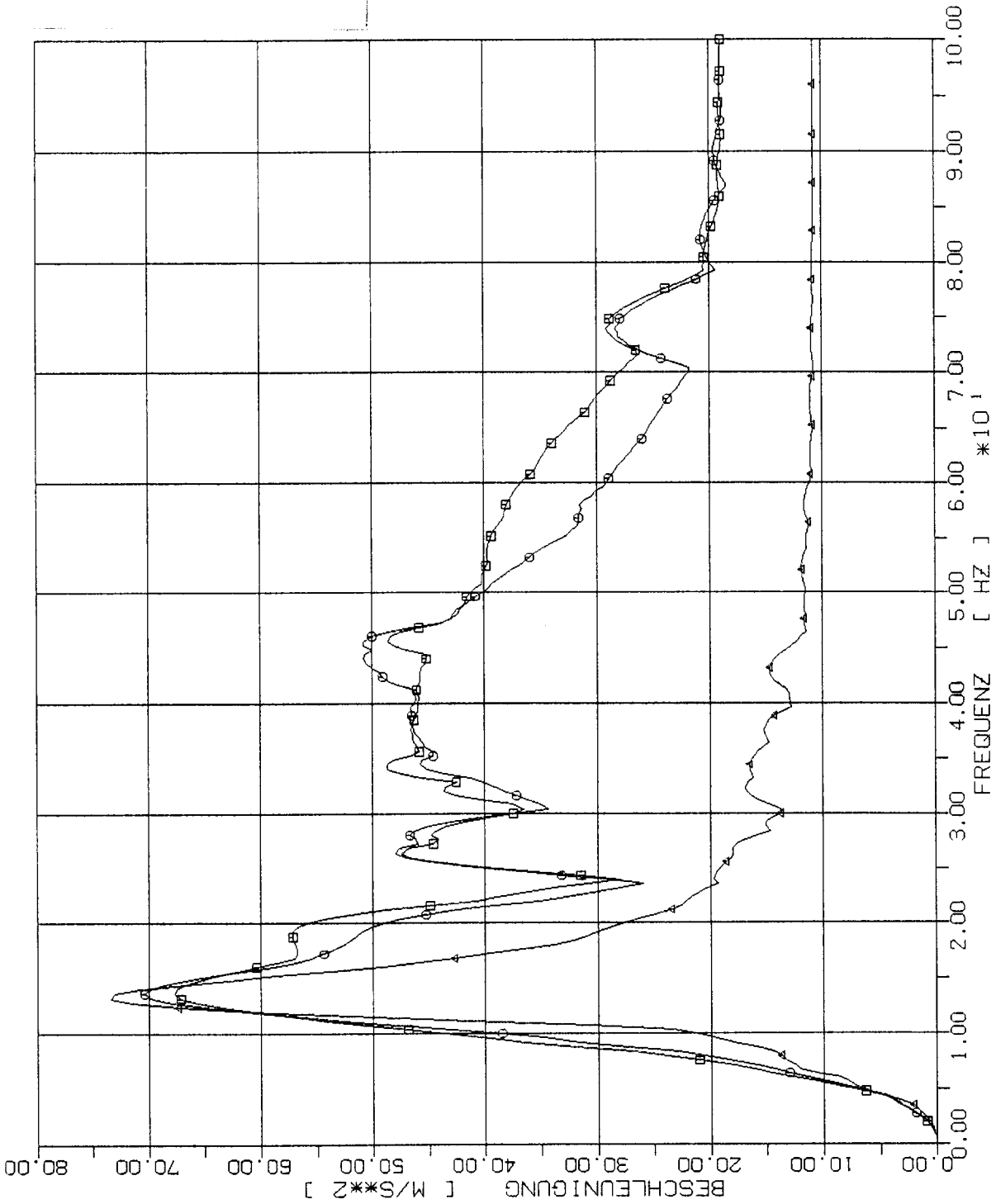
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4.50 (205) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

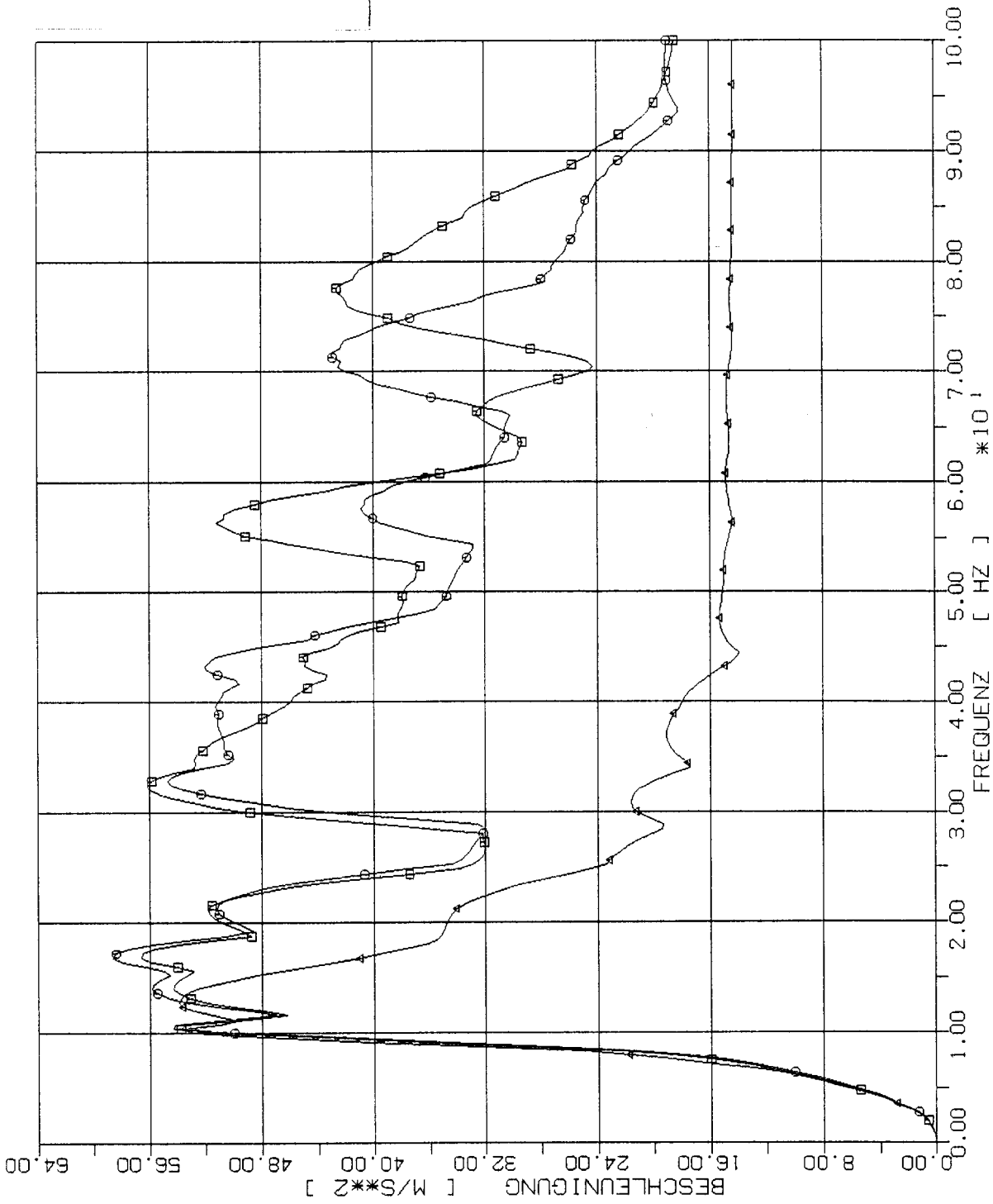
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVergLEICH IM BEIB. PUNKT +1.5W (325) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

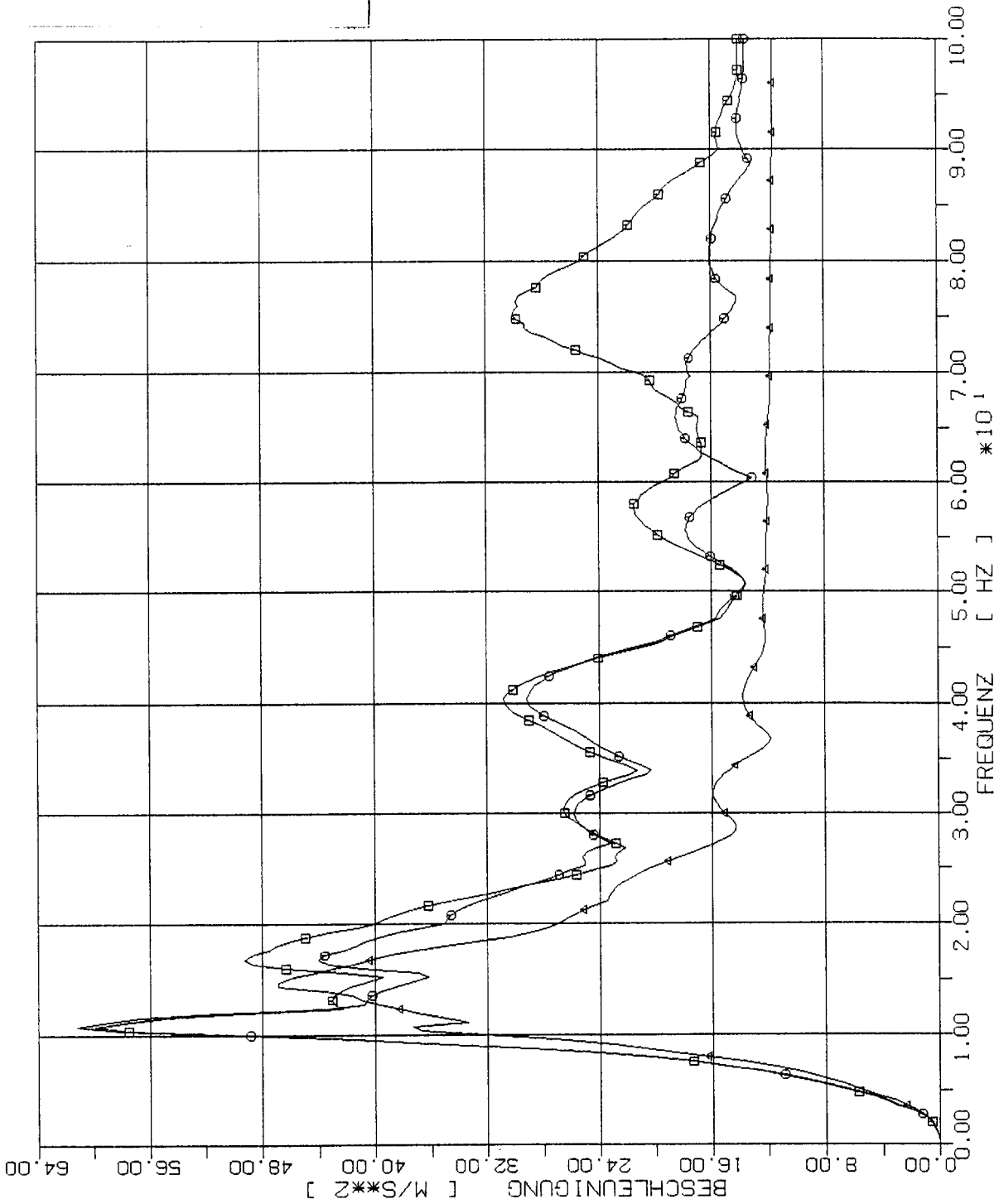
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEB. PUNKT +2.5W (317) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X1-RICHTUNG

Elementgröße:

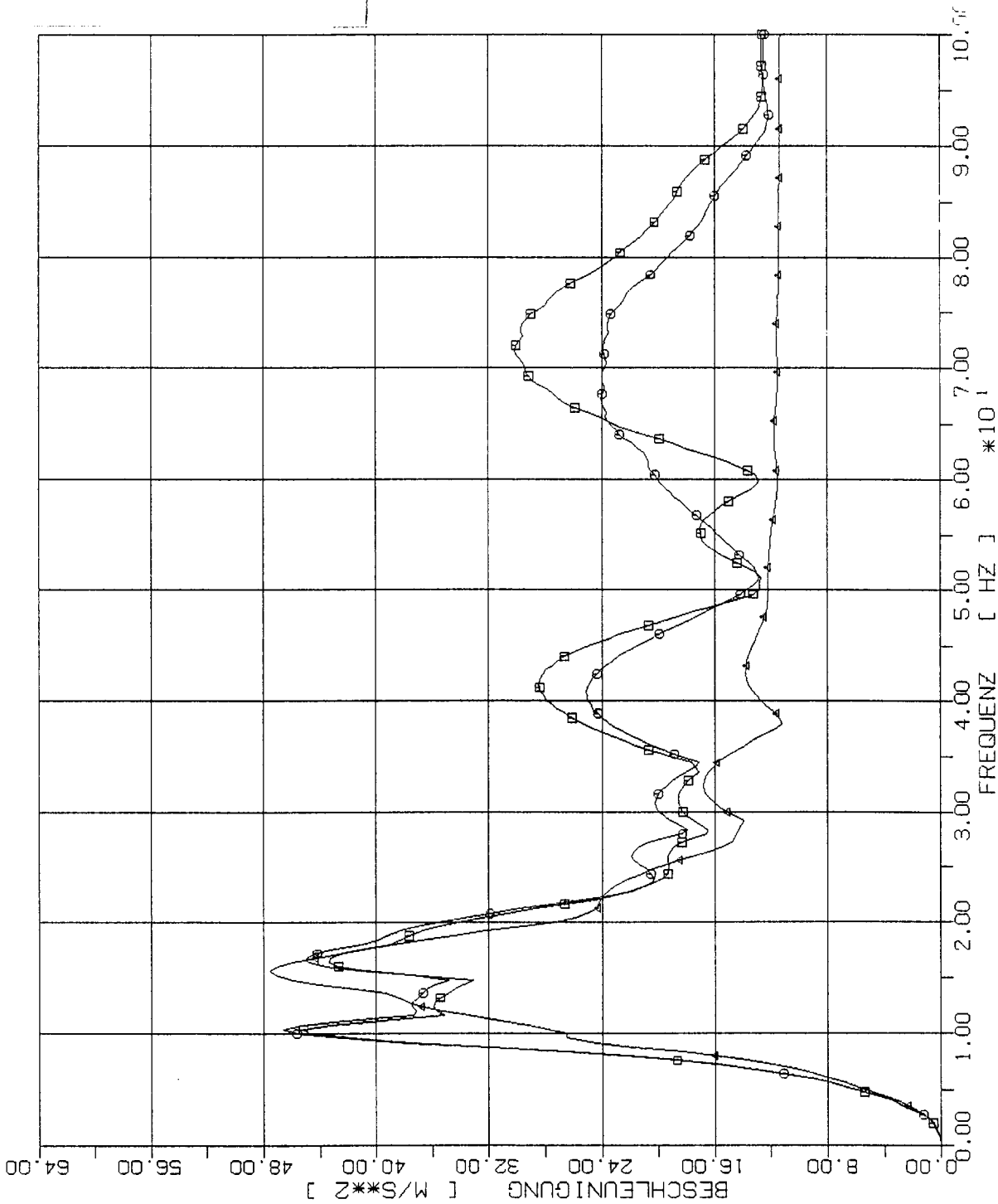
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3.5W (309) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN XI-RICHTUNG

Elementgröße:

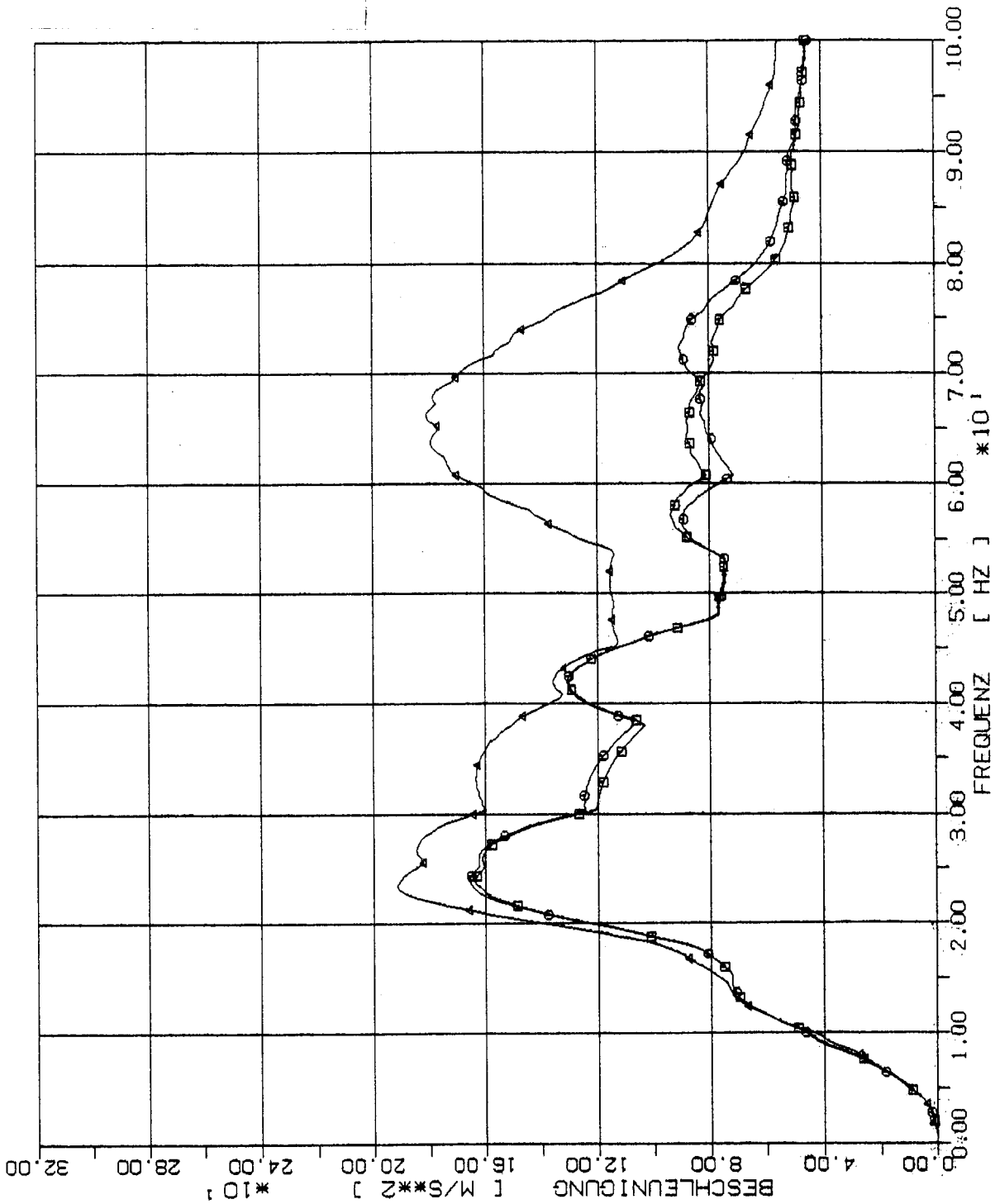
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEZUGSPUNKT +4.5W (50) 2% DAMPFUNG
 VERTIKALE (X3) STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWERT IN X1-KOORDINATE

Elementgröße:

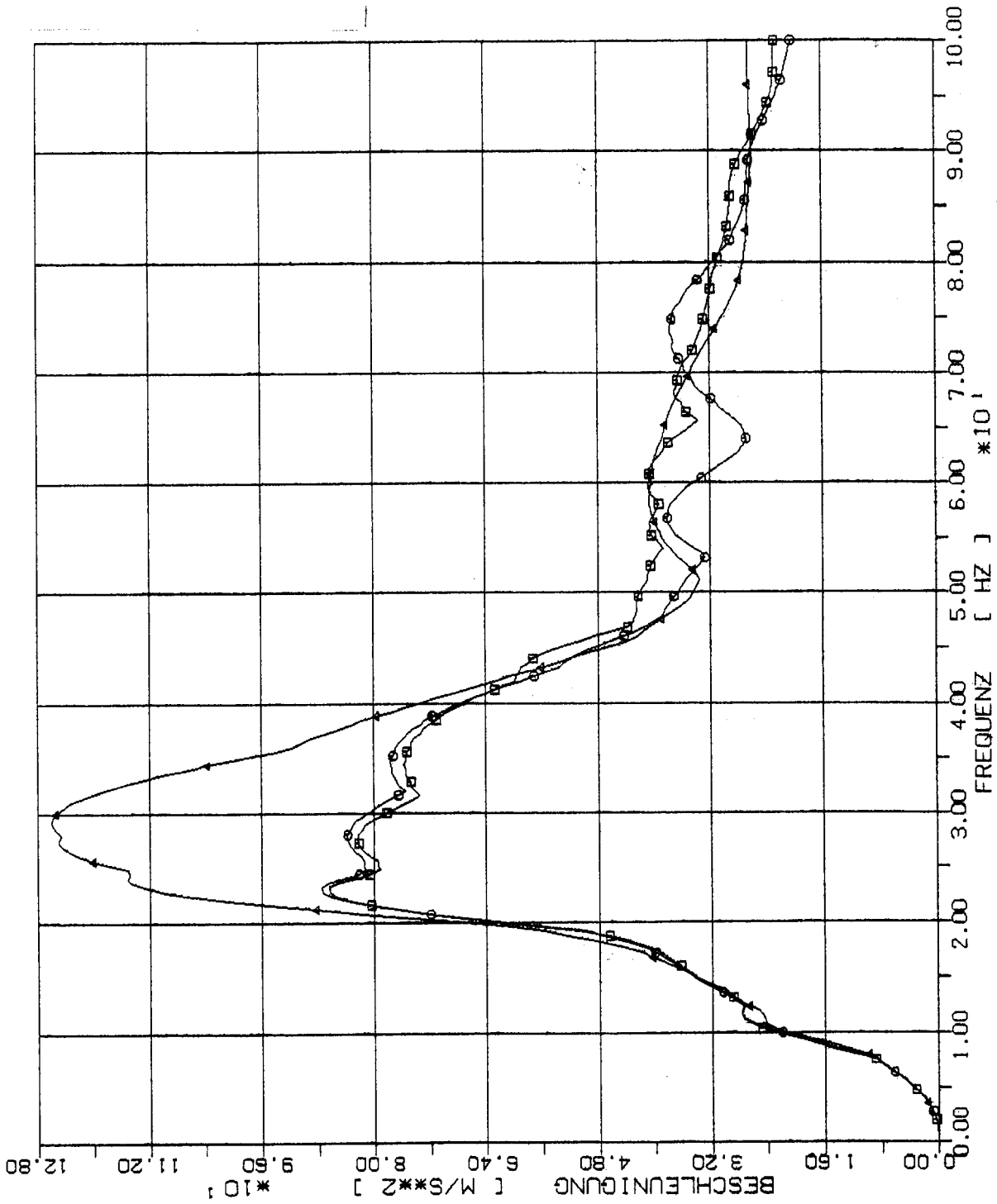
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 1L (425) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

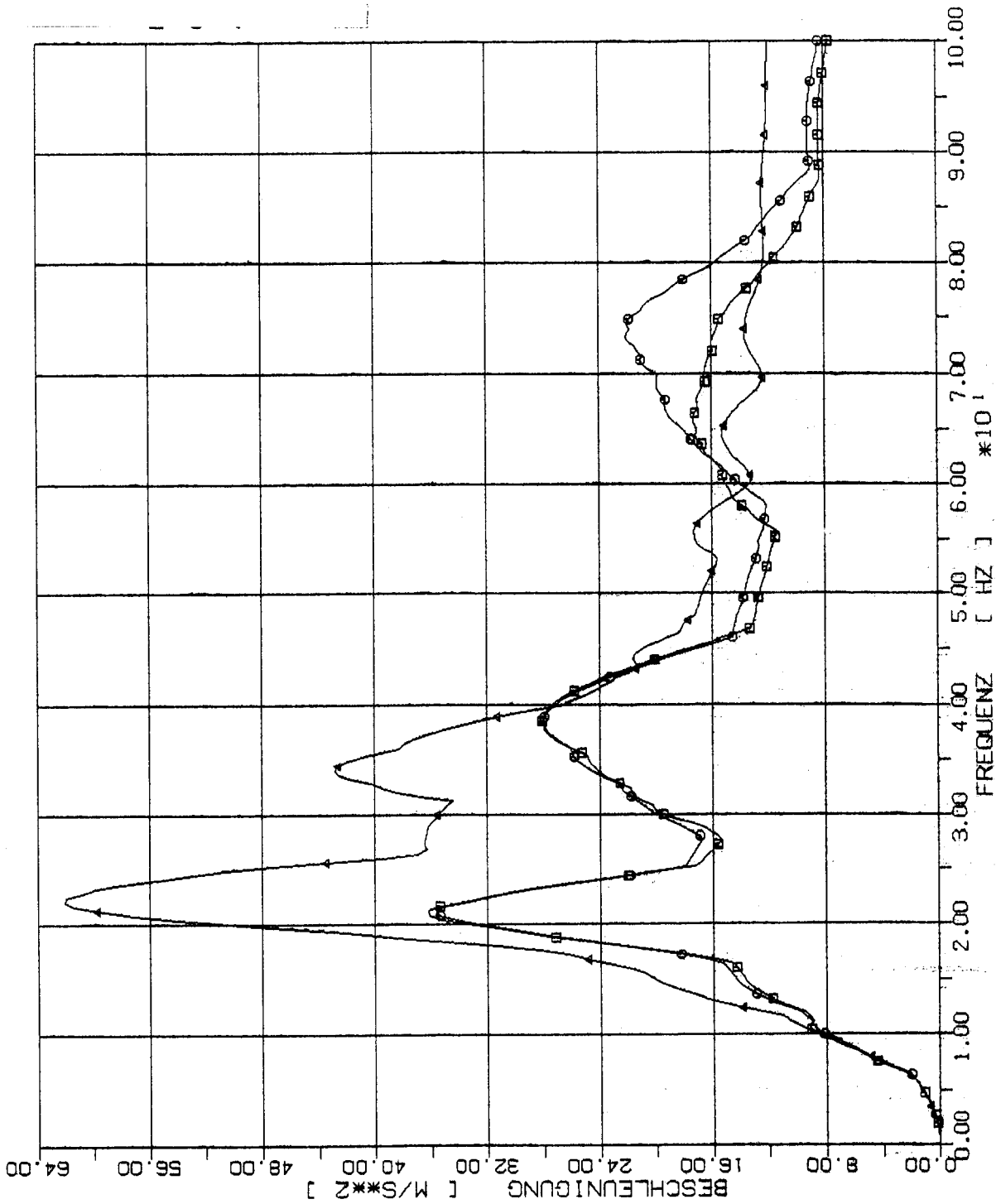
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 21 (417) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSEBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

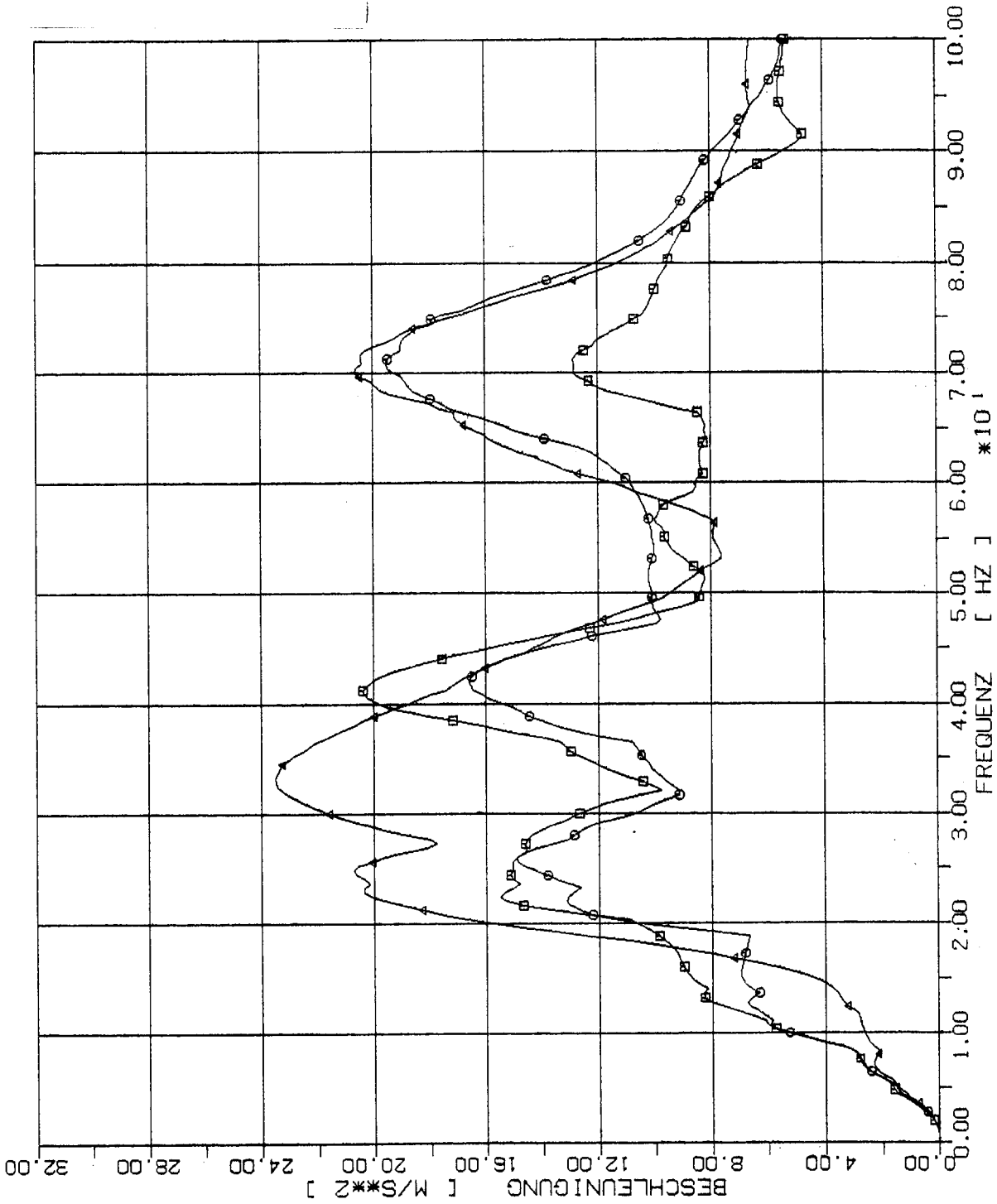
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM PUNKT (409) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RF) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

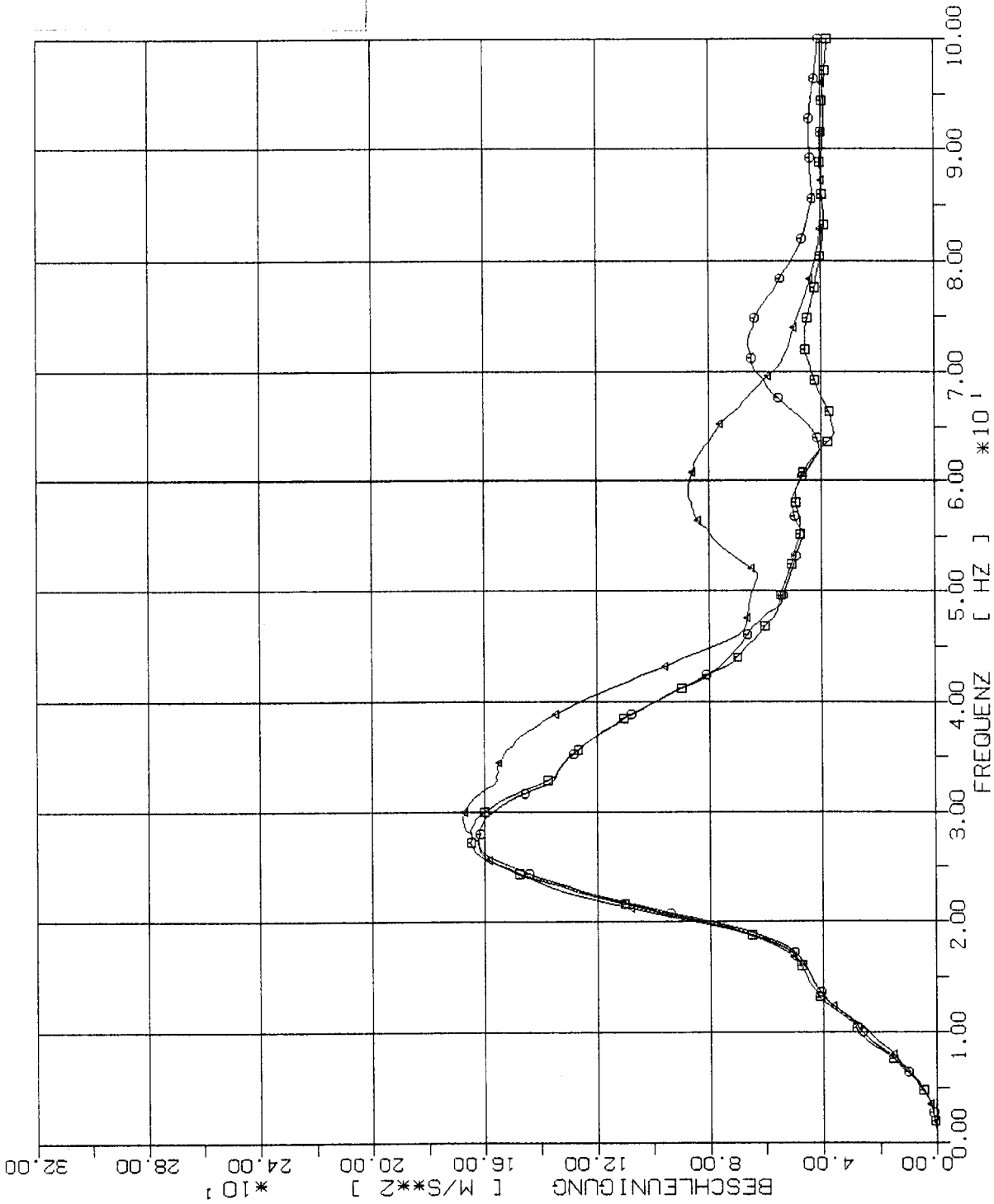
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 4L (401) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

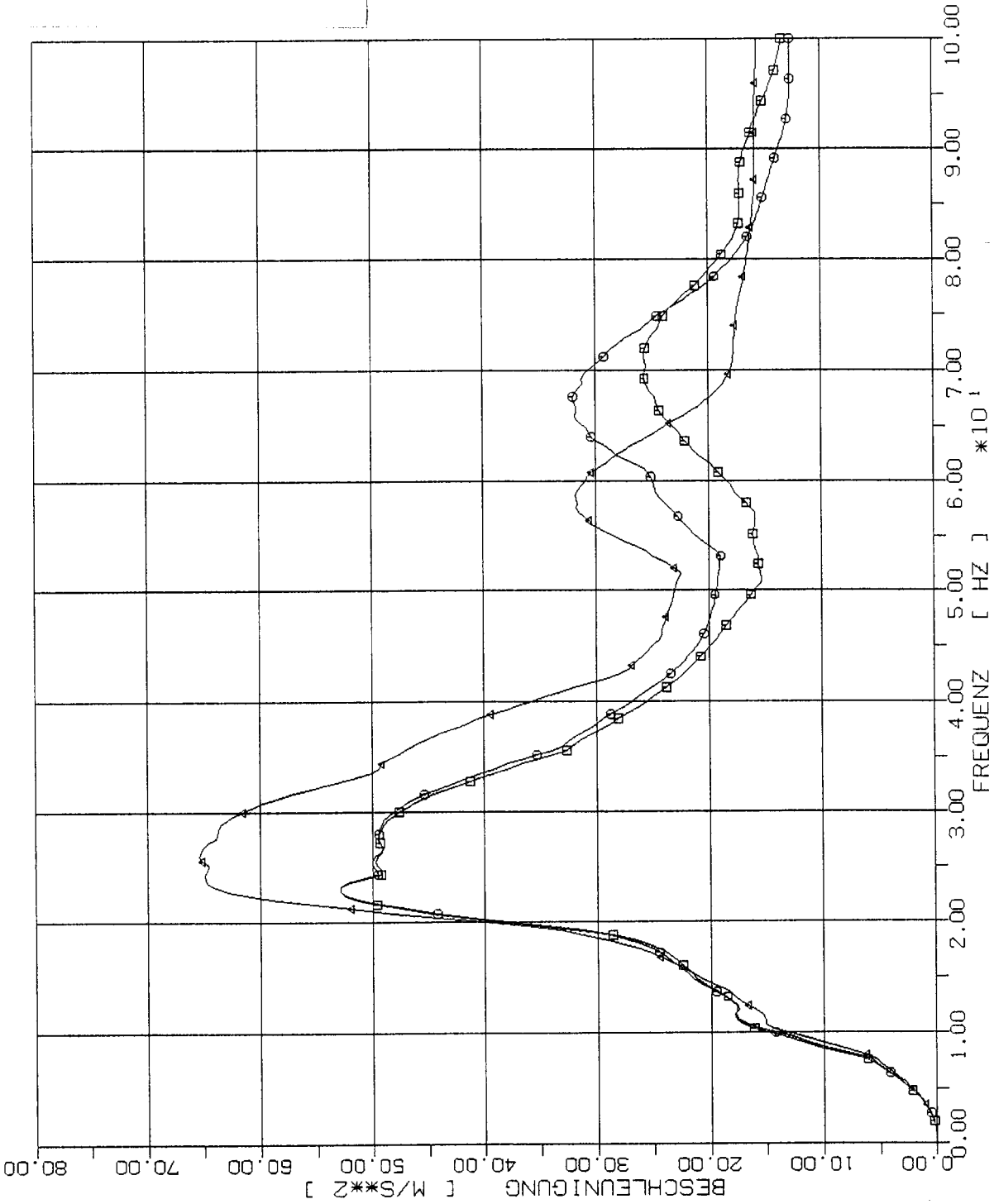
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +2L (225) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

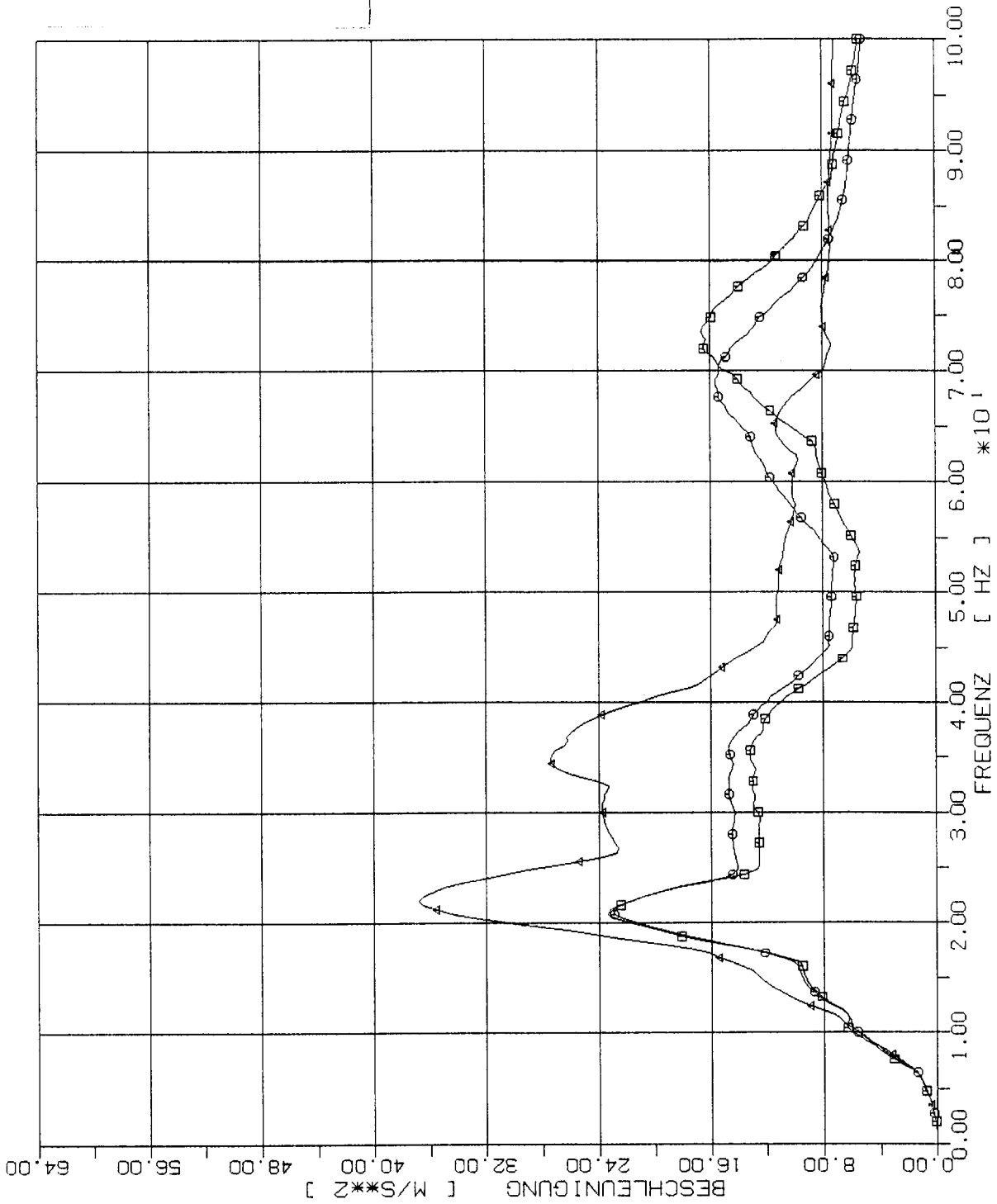
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3L (217) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

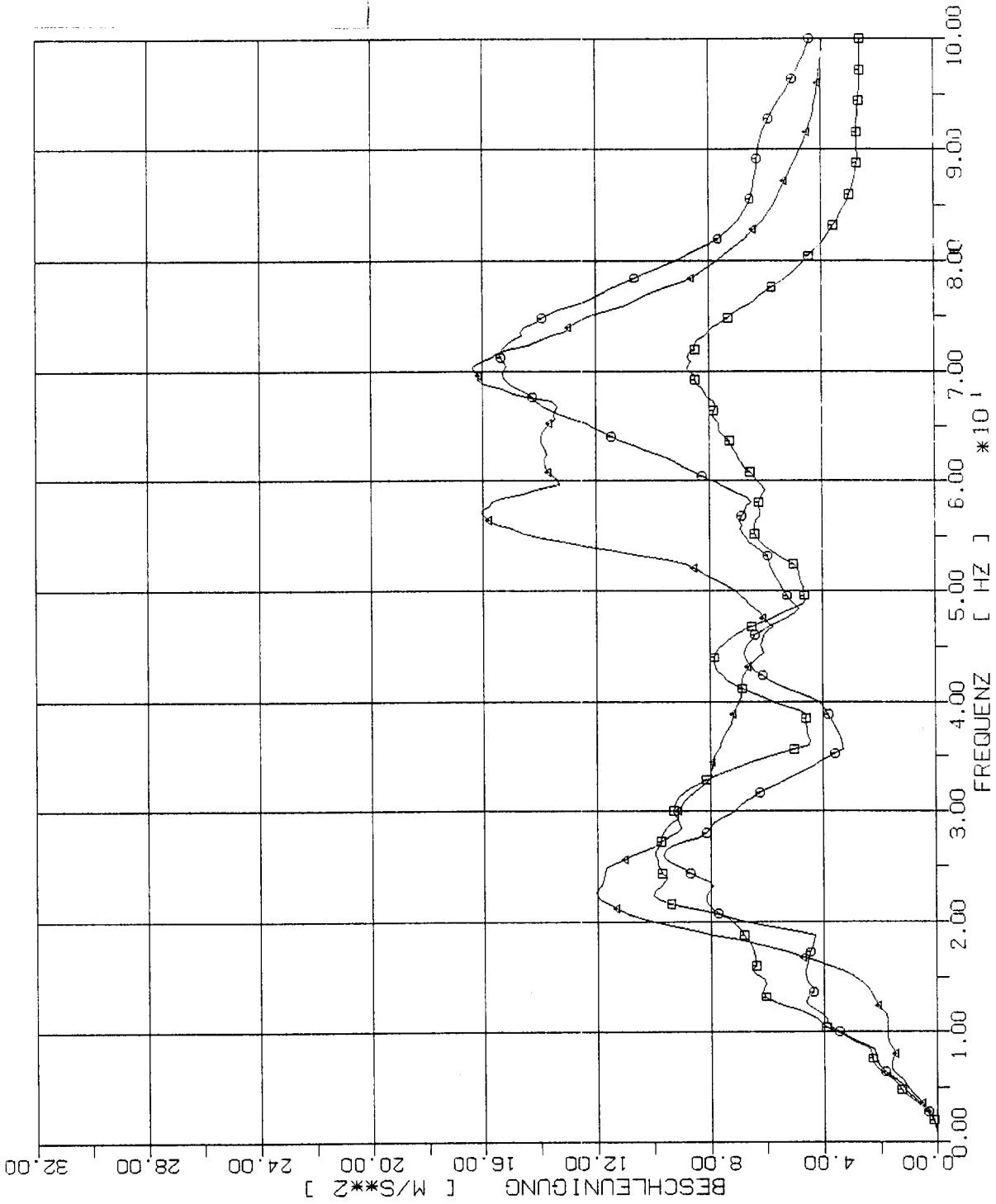
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4L (209) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



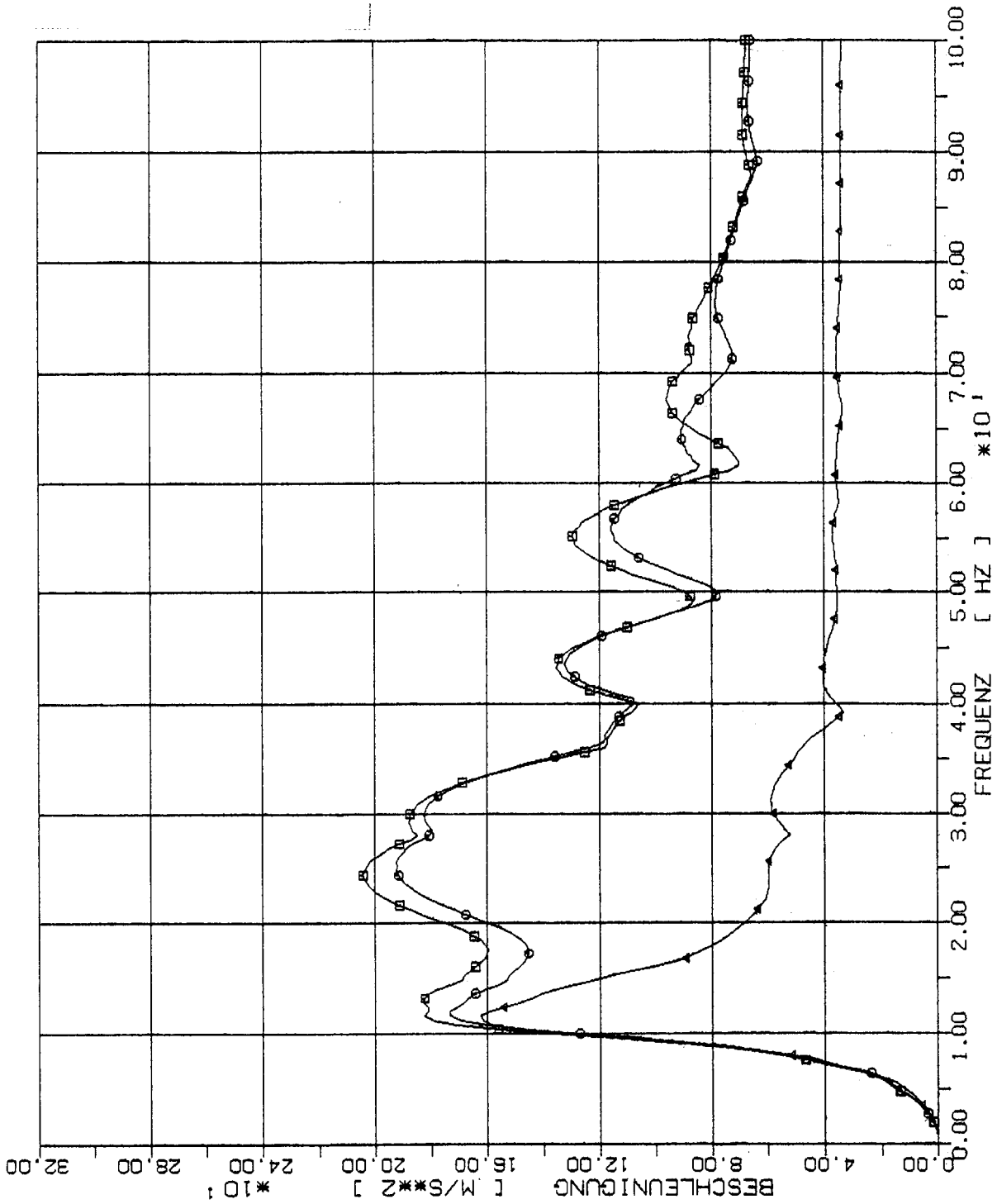
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFÖRMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BÜB. PUNKT +5' (201) 2% DAEMPFUNG
 VERTIKALE (X3) STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWÖRT IN X5-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

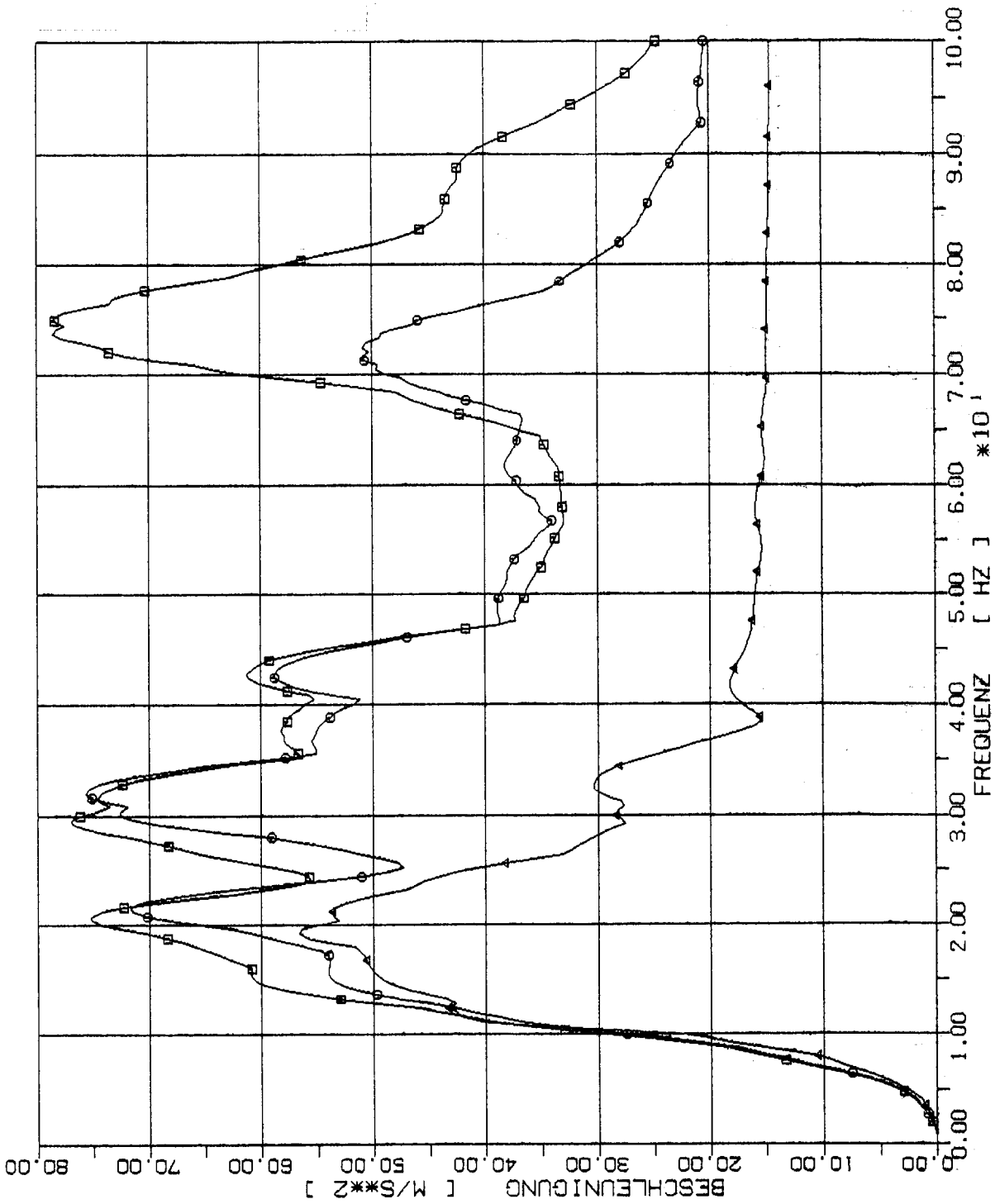
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IN BEB. PUNKT 1.50 (421) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



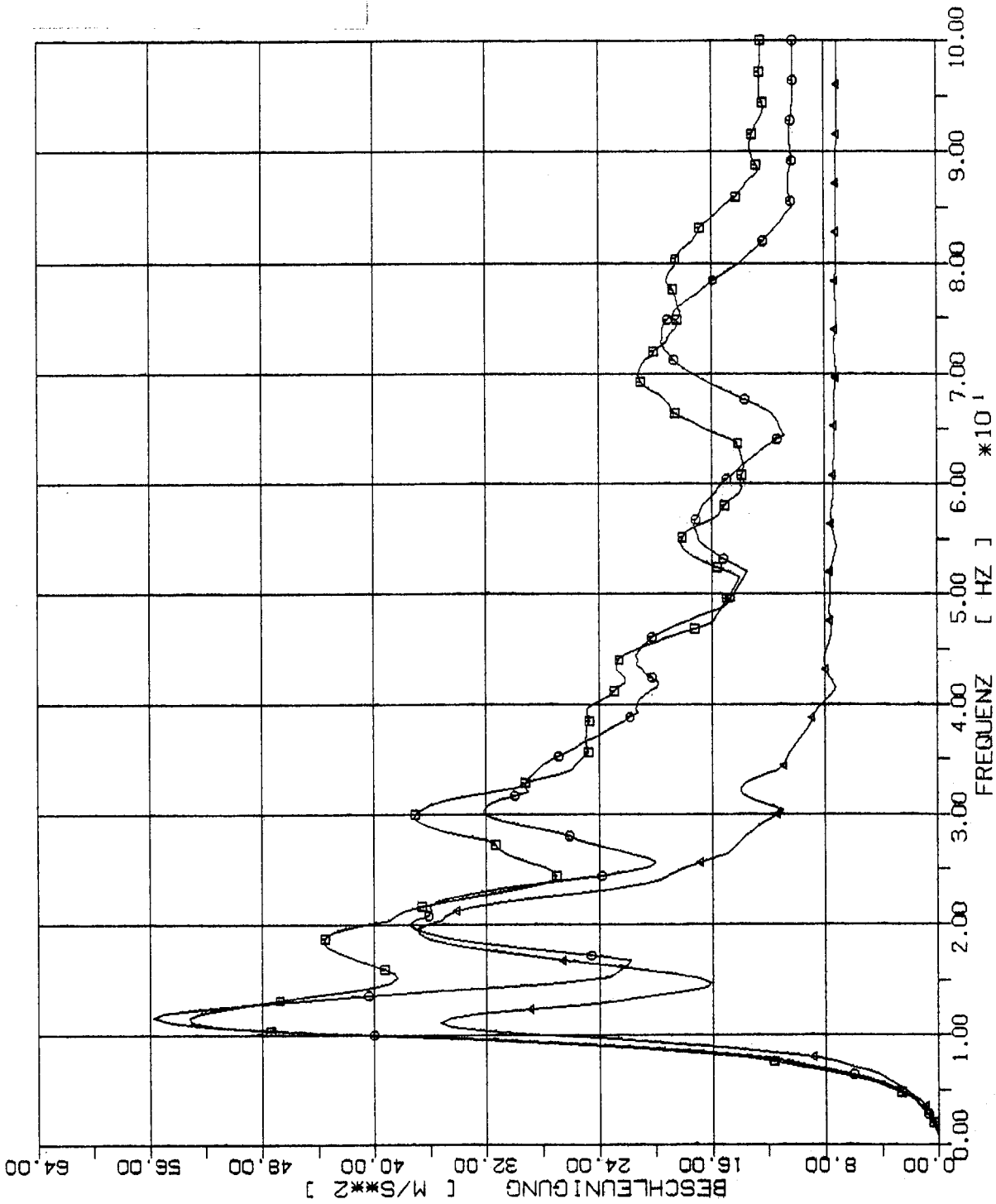
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 2.50 (413) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



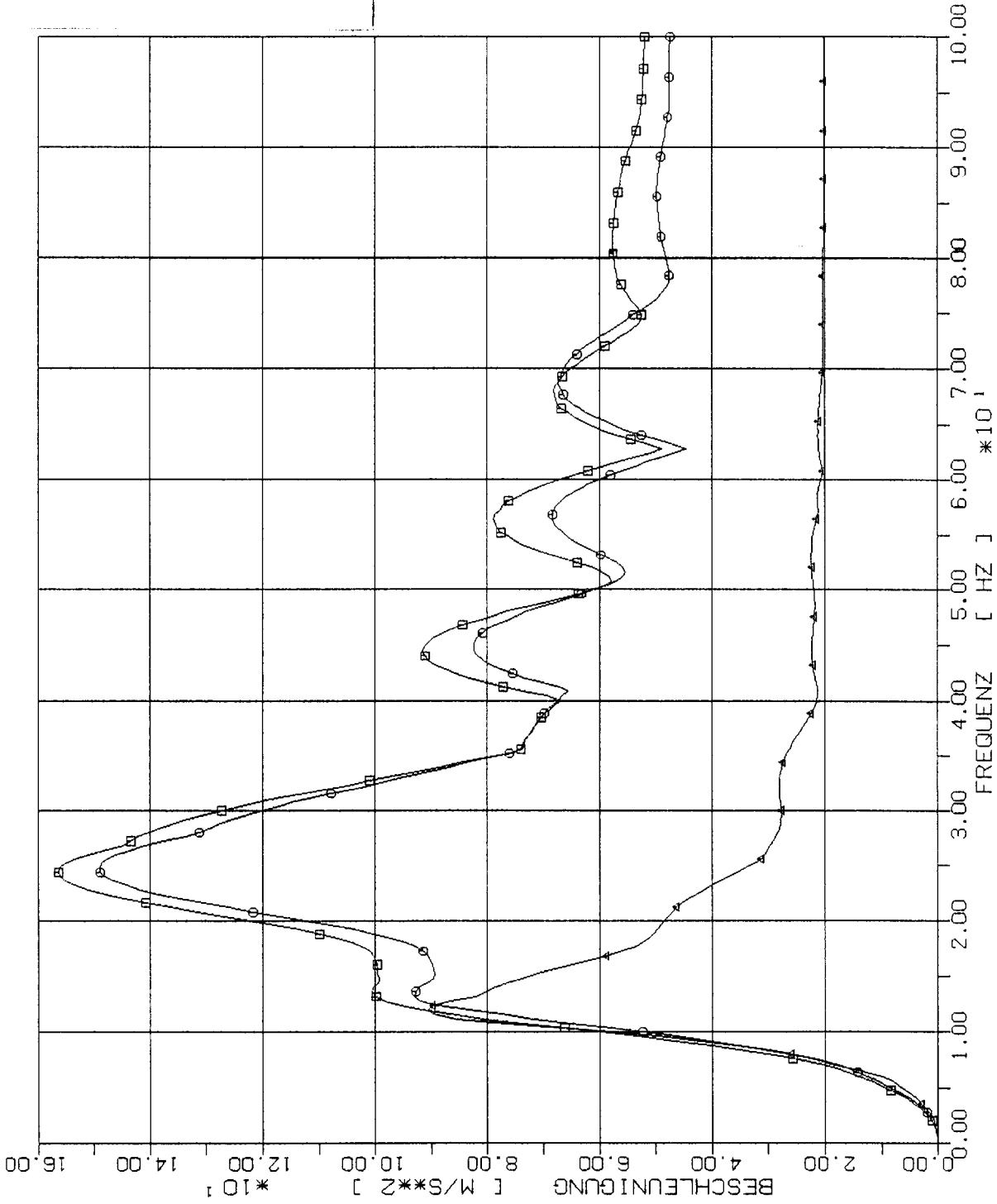
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT 3.5D (405) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

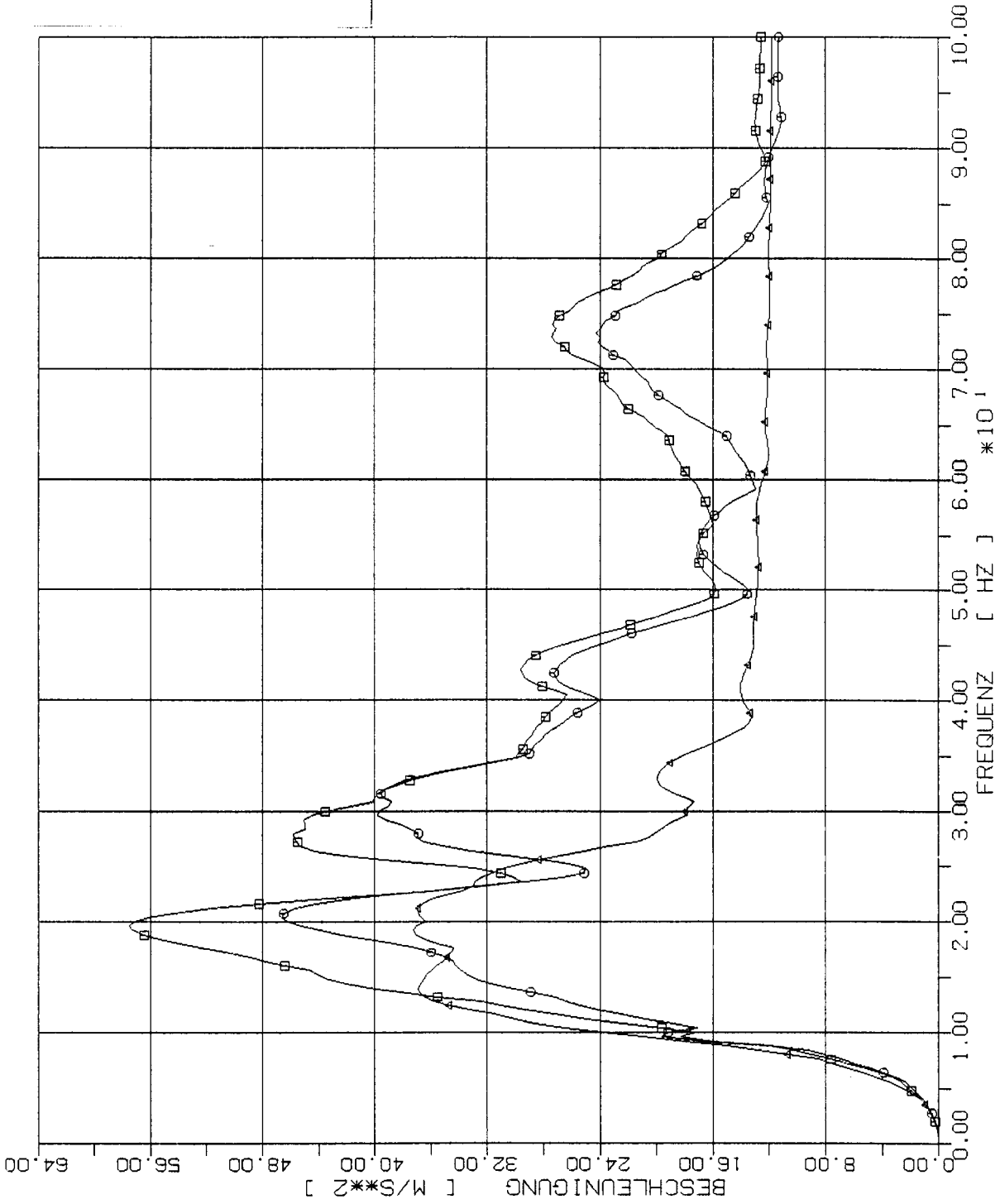
△ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +2,50 (221) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

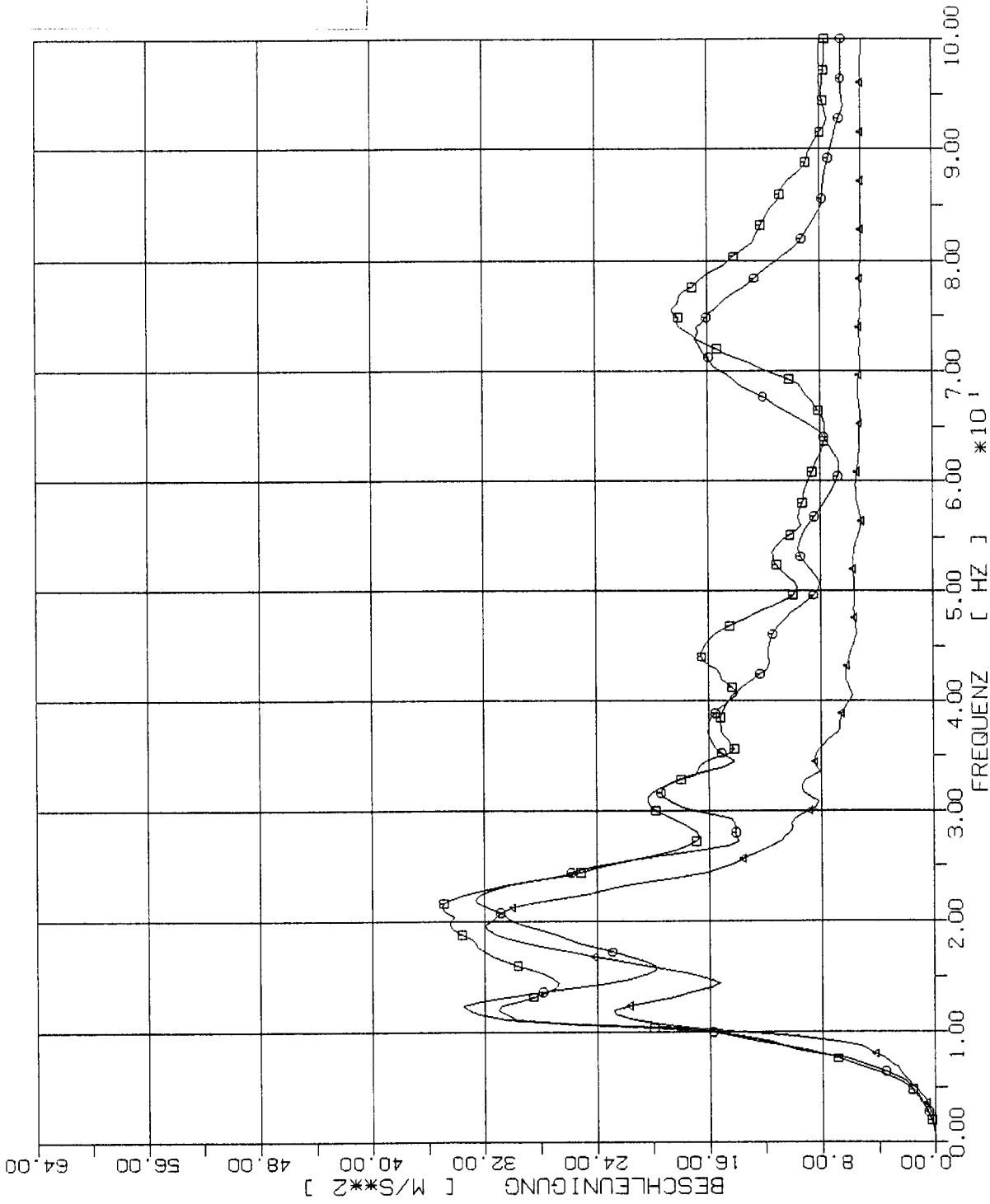
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRUMVERGLEICH IN BEBO. PUNKT +3.50 (213) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWIKT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



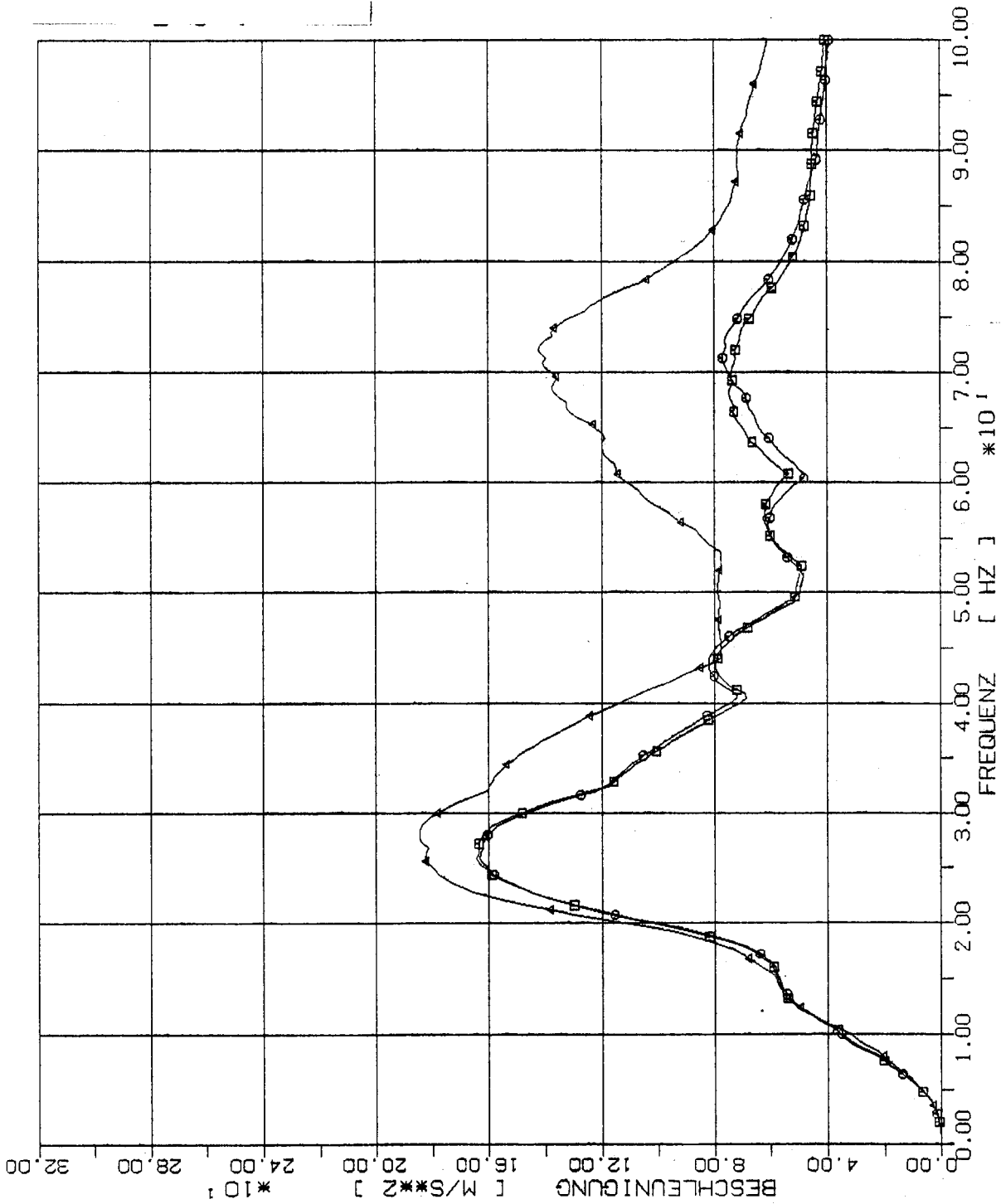
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4.5D (205) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

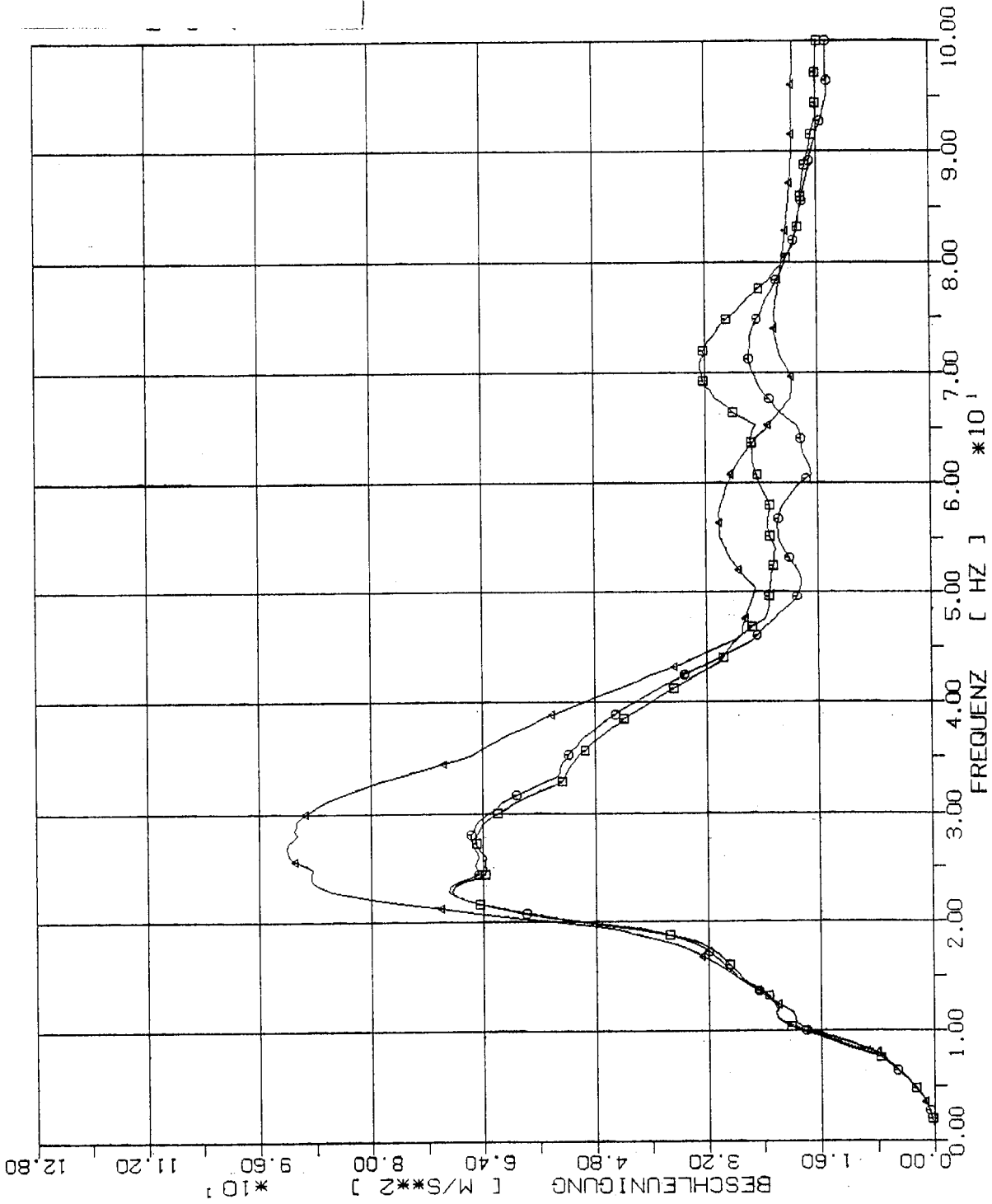
△ 8m x 8m



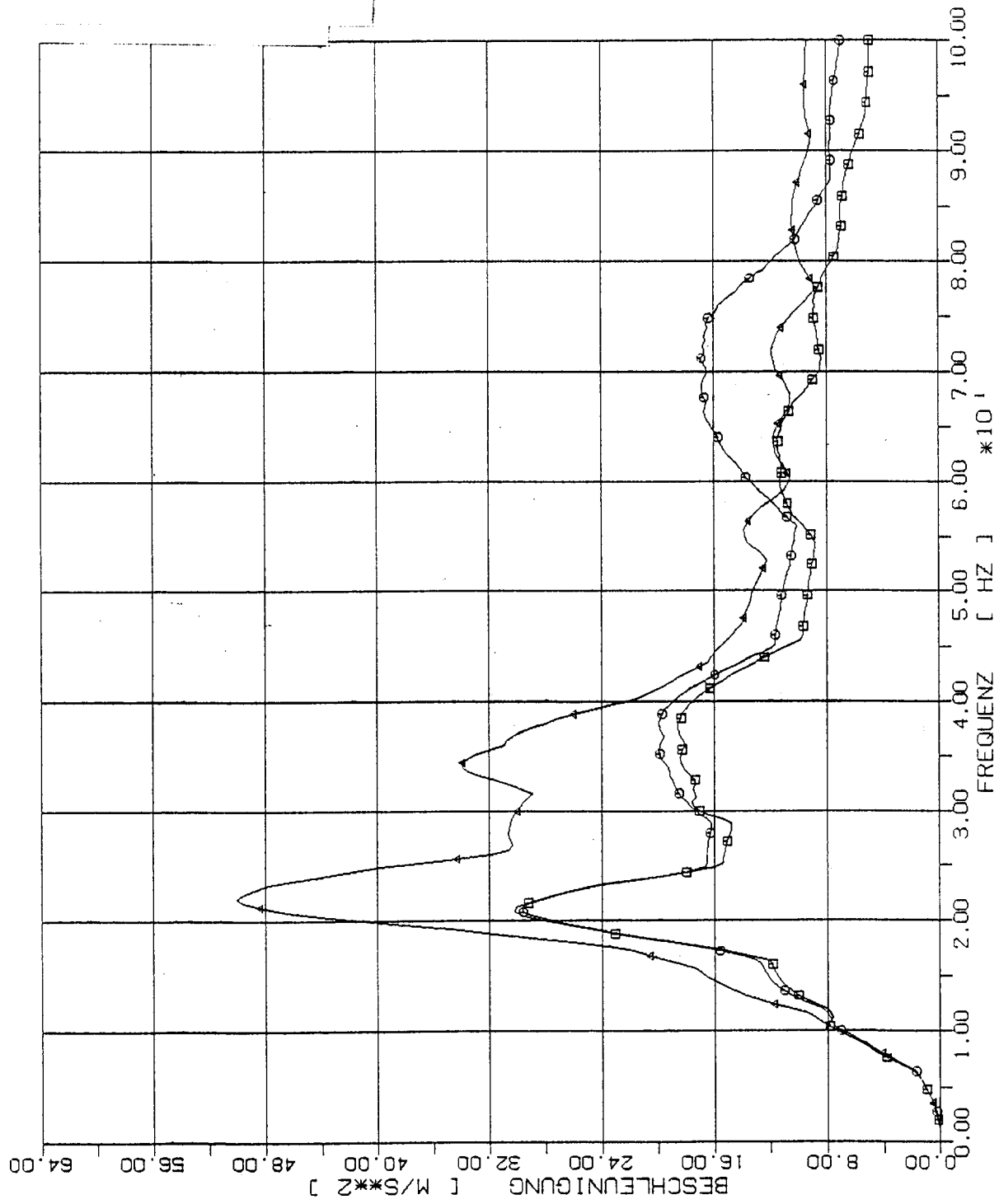
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +1,5H (325) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



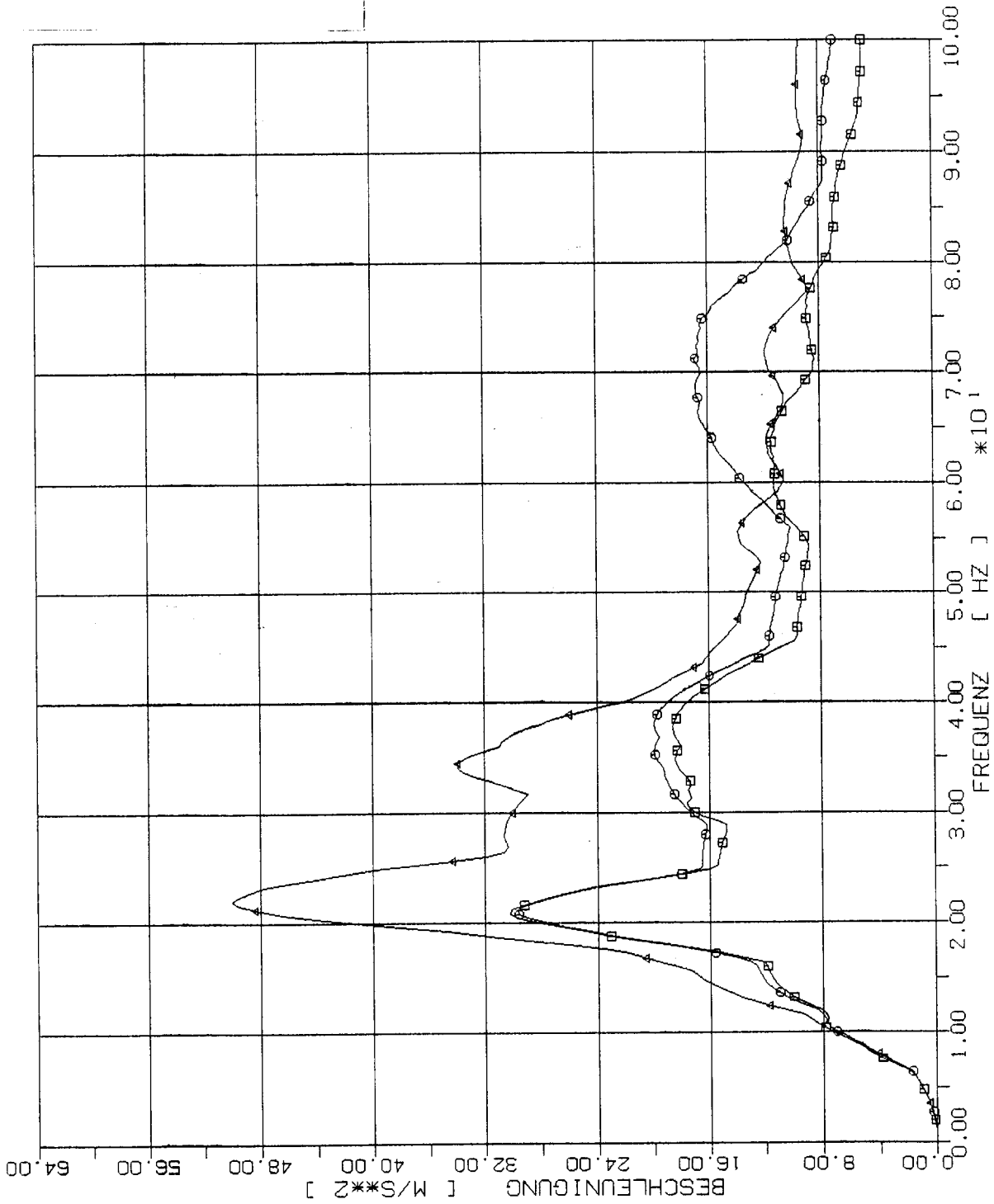
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +2.5W (317) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X3) STOSSELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +3.5W (309) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X5) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

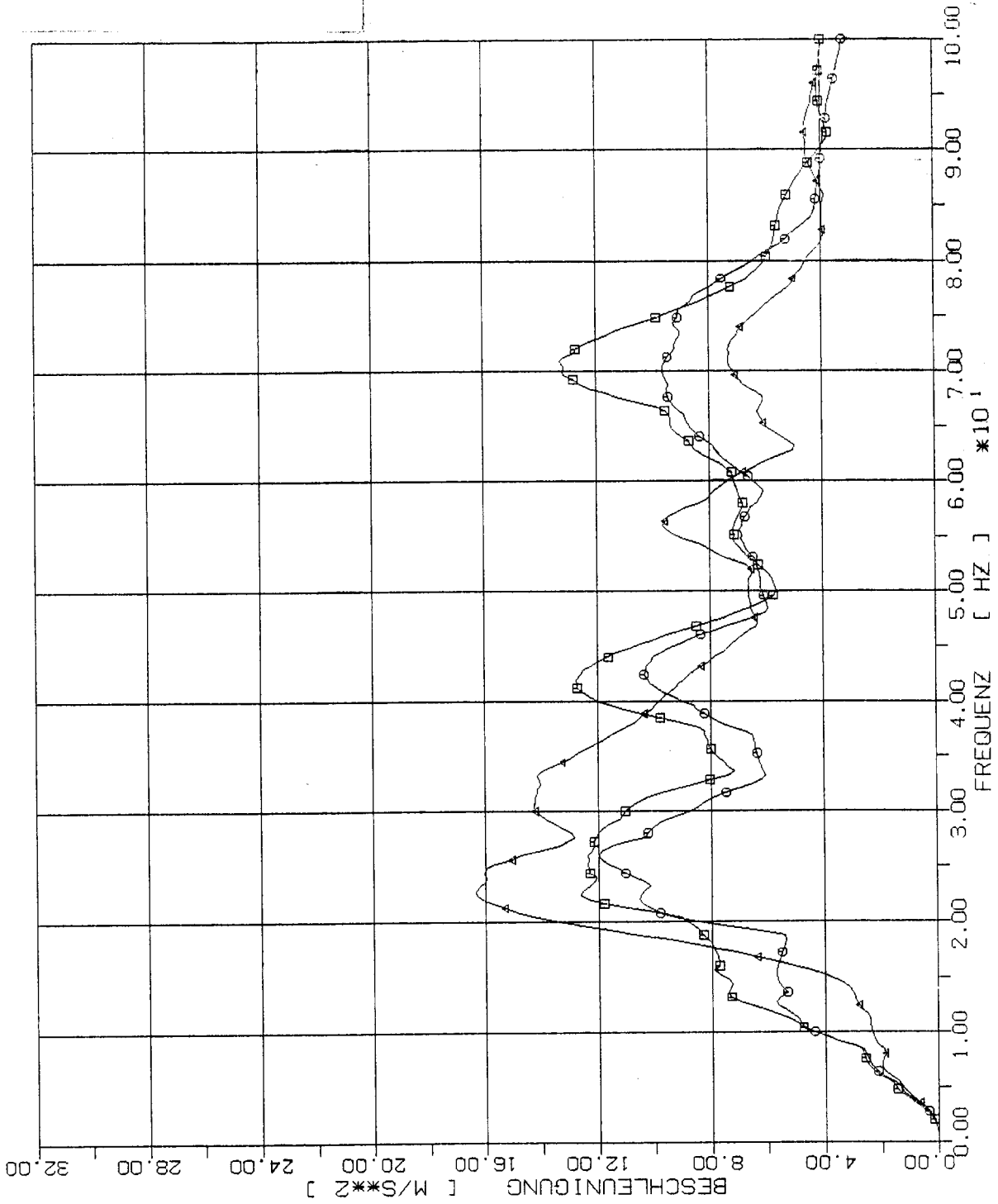
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEEB. PUNKT +3.5W (309) 2% DAEMPfung
 VERTIKALE (X5) STUSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT IN X3-RICHTUNG

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN KASTENFÖRMIGEN BAUERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM BEOB. PUNKT +4,5W (3J1) 2% DAMPFUNG
 VERTIKALE (X3) STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWÖRT IN X3-RICHTUNG

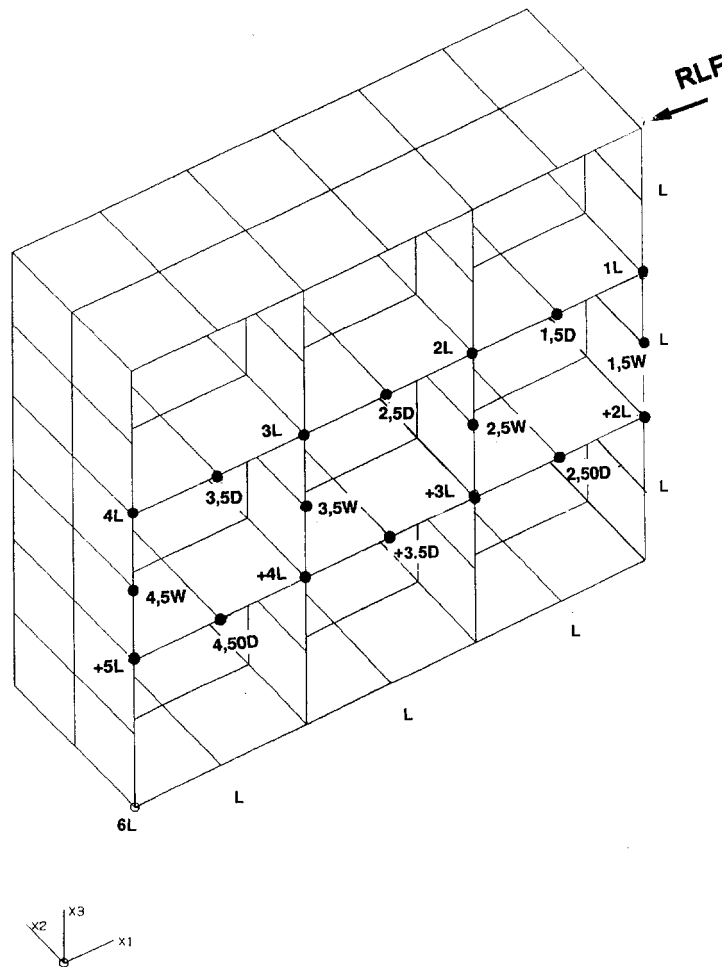
Zwischenblatt

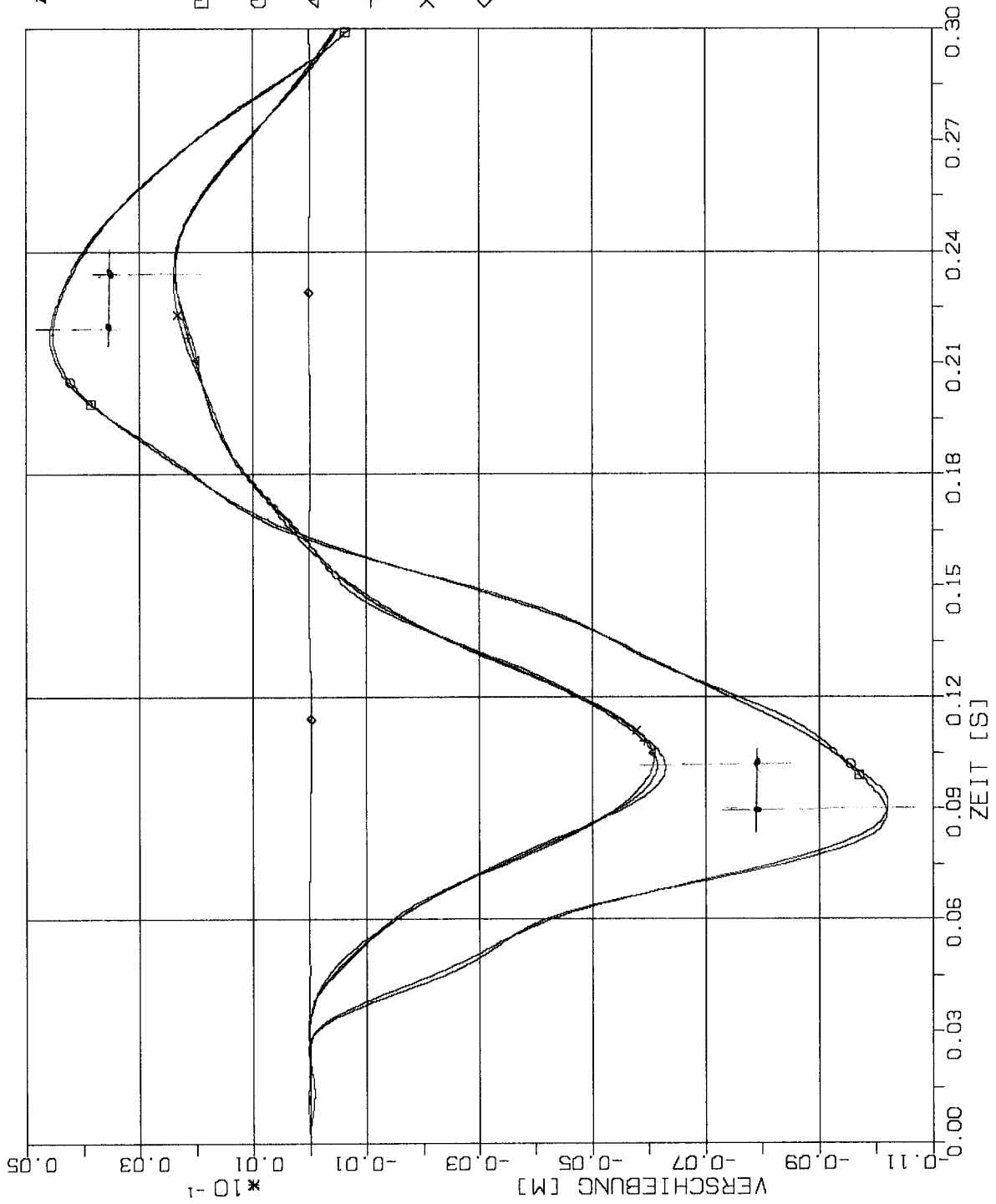
5

**Vergleich von Verschiebungen in
charakteristischen Beobachtungspunkten
des kastenförmigen Modellbauwerks
zu gleichen Zeitpunkten nach dem Stoß**

5.1

Stoßbelastung in Horizontalrichtung

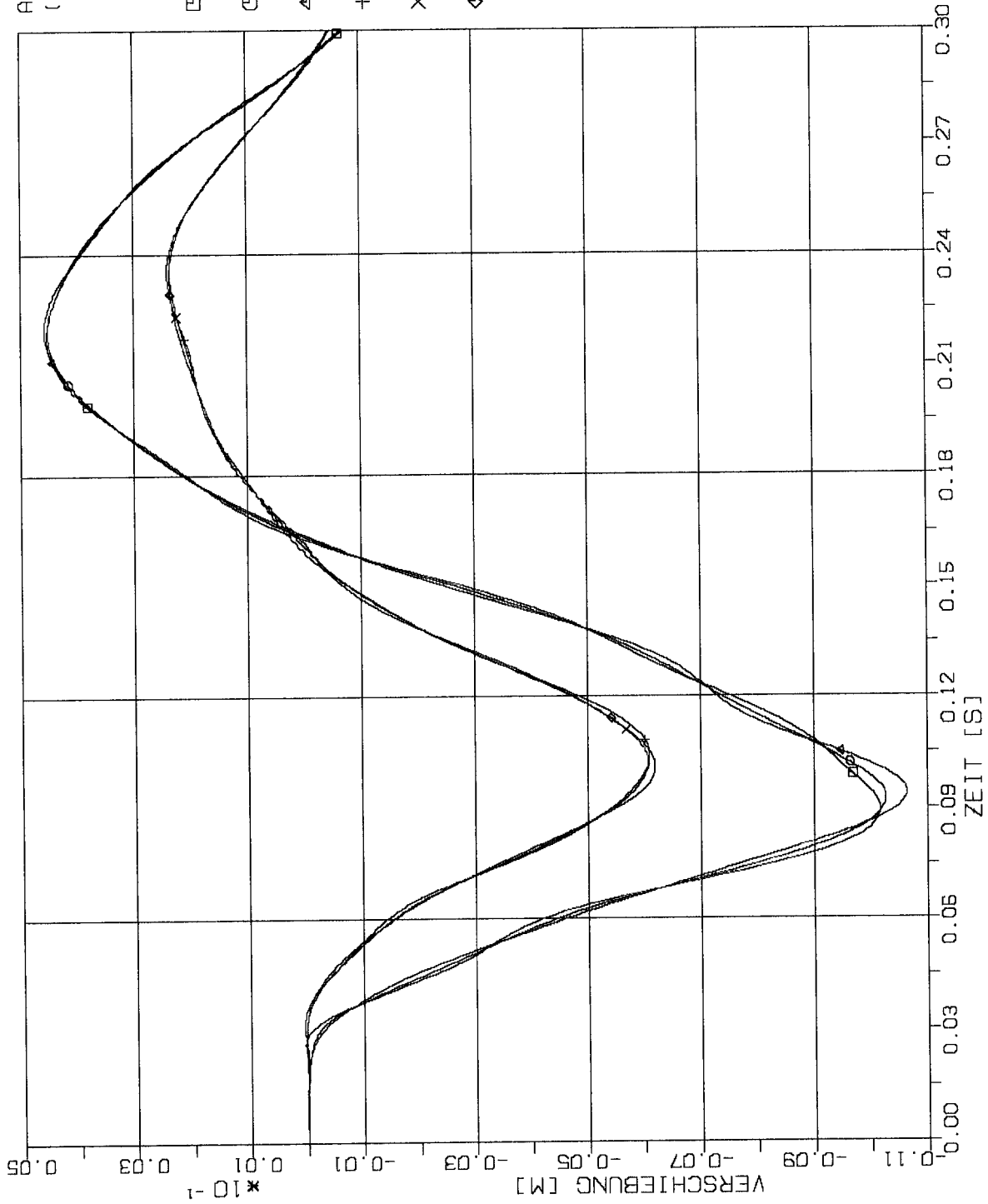




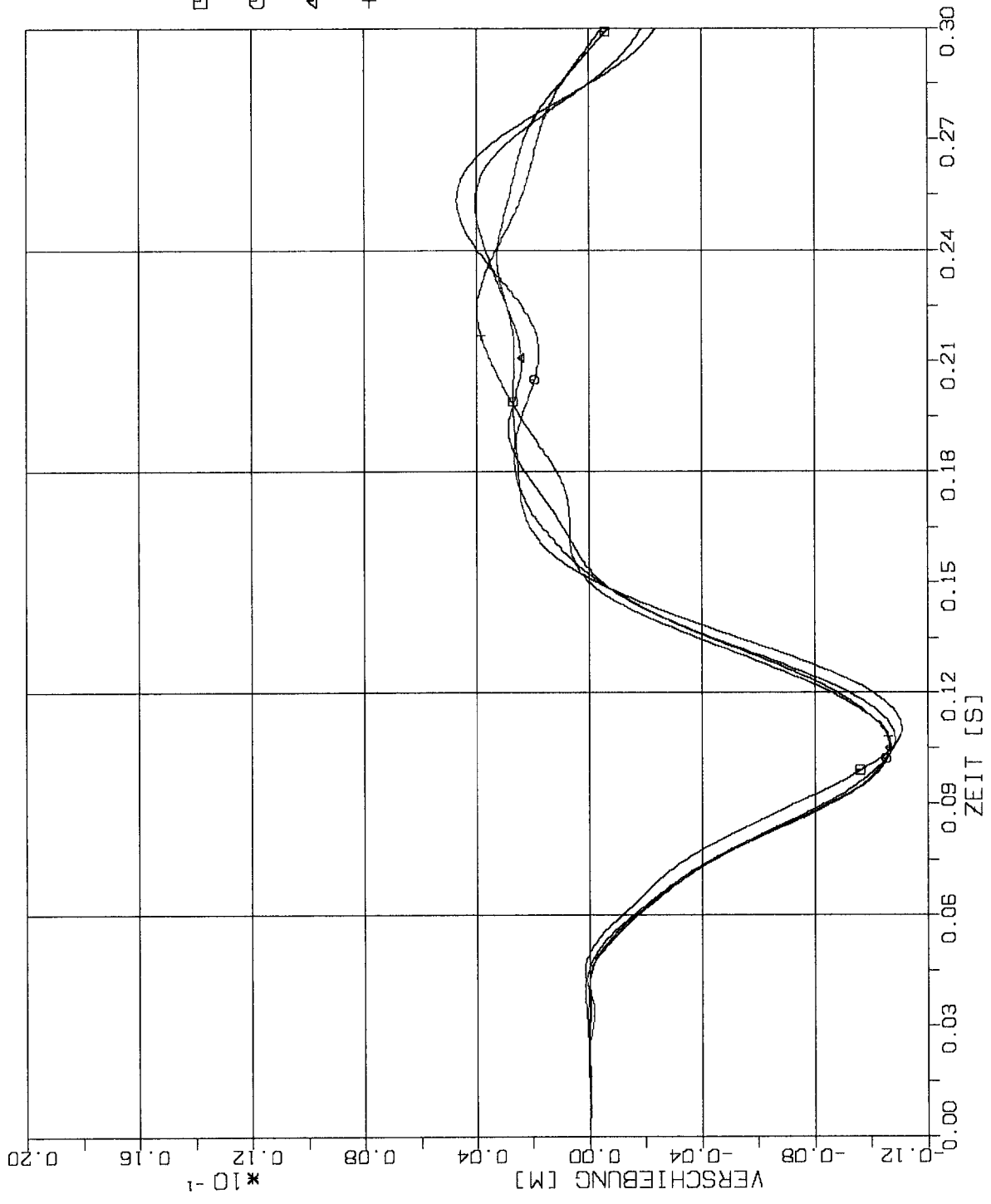
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
 PLATENELEMENTE (2M X 2M) X1-STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT: X1

ABSTAND ZUM EINSPANNBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

- 1.5 D (PUNKT 421)
- 2.5 D (PUNKT 413)
- △ 3.5 D (PUNKT 405)
- † 2.50 D (PUNKT 221)
- × 3.50 D (PUNKT 213)
- ◇ 4.50 D (PUNKT 205)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATENELEMENTE(2M X 2M) X1-STOSSBELASTUNG(RFL) ANTWORT: X1



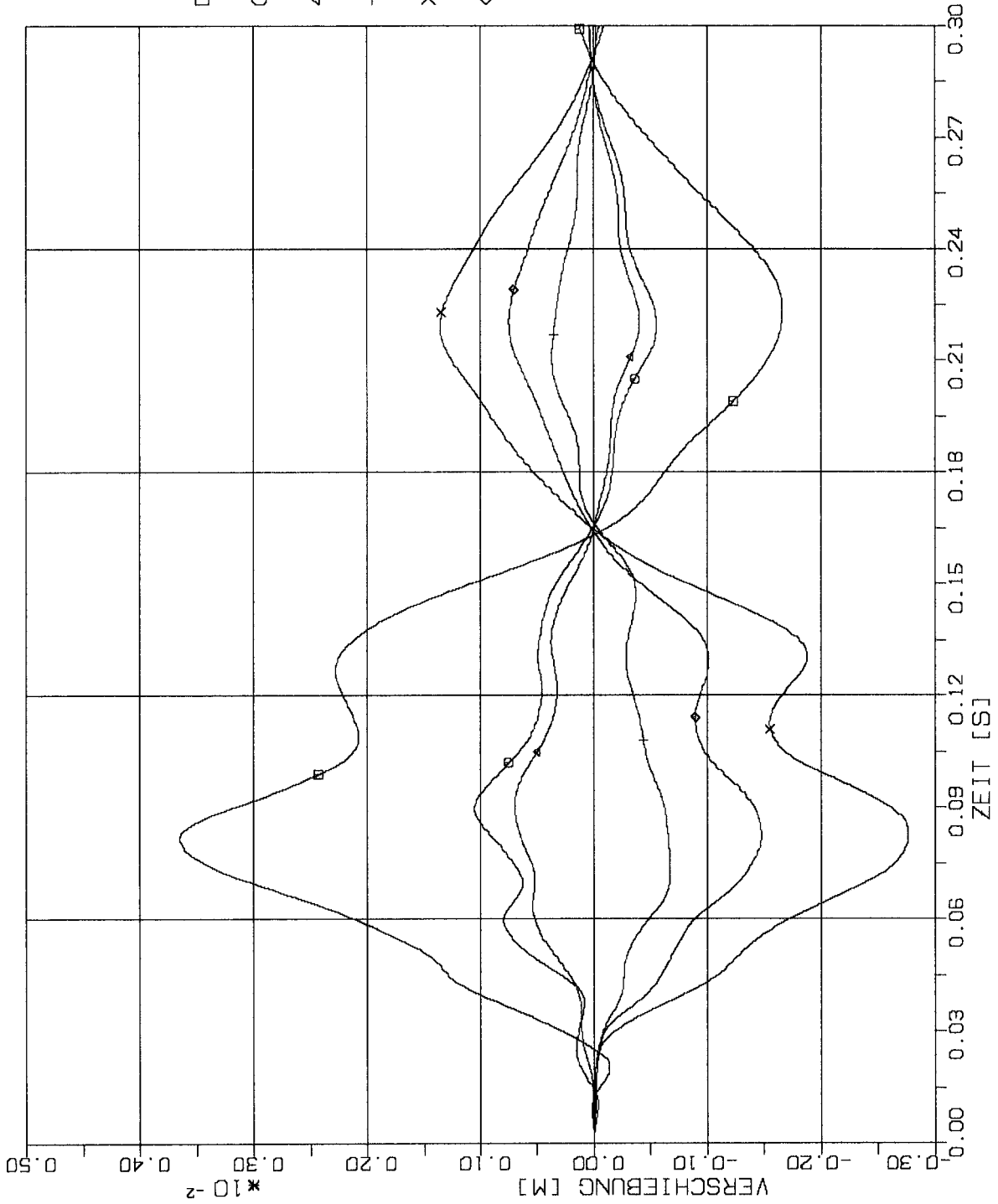
ABSTAND ZUM AUFRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

- 1.5M (PUNKT 325)
- 2.5M (PUNKT 317)
- △-△ 3.5M (PUNKT 309)
- +-+ 4.5M (PUNKT 301)

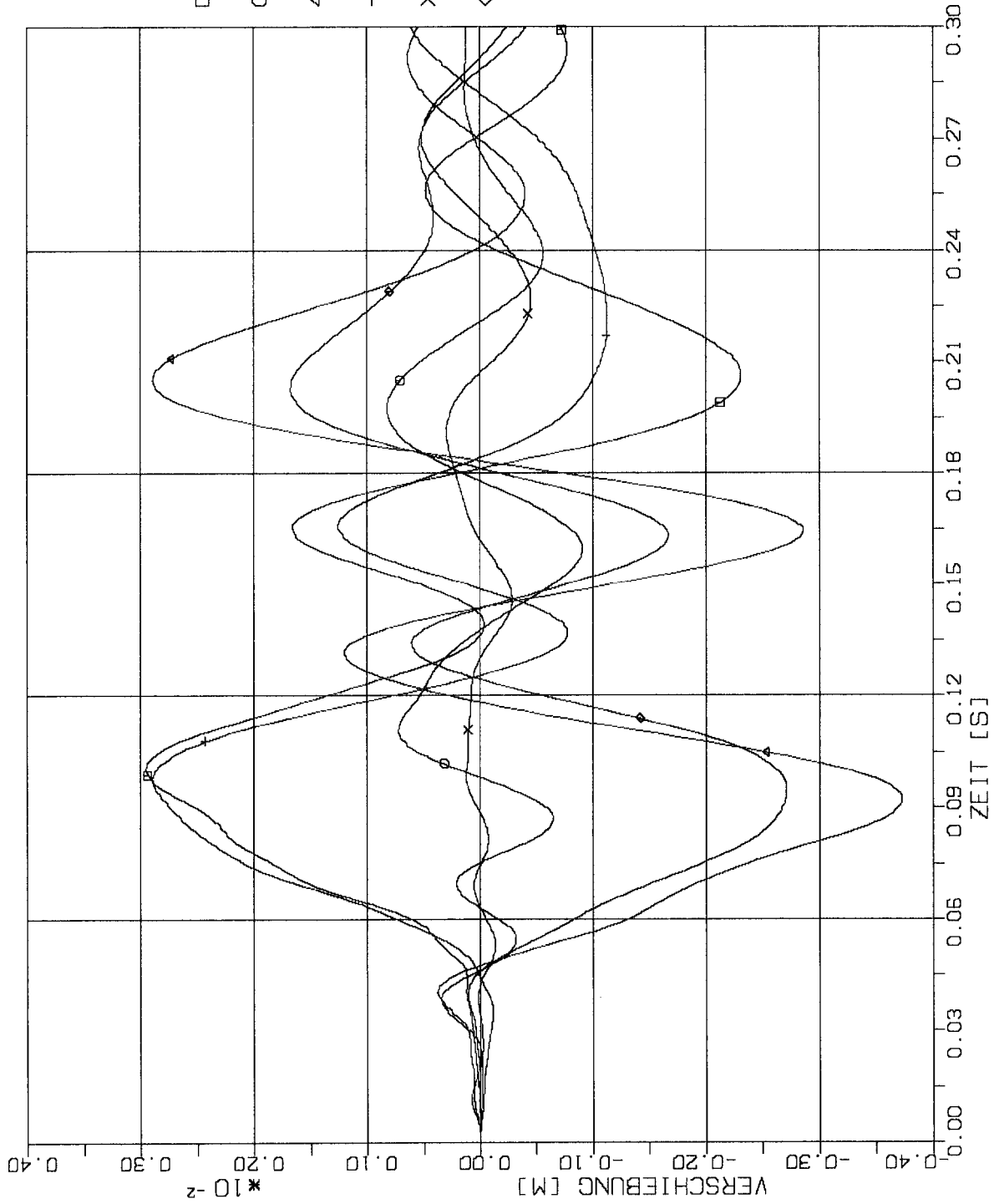
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATENELEMENTE(2M X 2M) X1-STOSSBELASTUNG(RFL) ANTWORT: X1

ABSTAND ZUM AUFPRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

- 1L (PUNKT 425)
- 2L (PUNKT 417)
- △-△ +3L (PUNKT 217)
- + + +4L (PUNKT 209)
- X-X +5L (PUNKT 201)
- ◇-◇ 6L (PUNKT 1)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATNELEMENTE(2M X 2M) X1-STOSSBELASTUNG(RFL) ANTWORT: X3



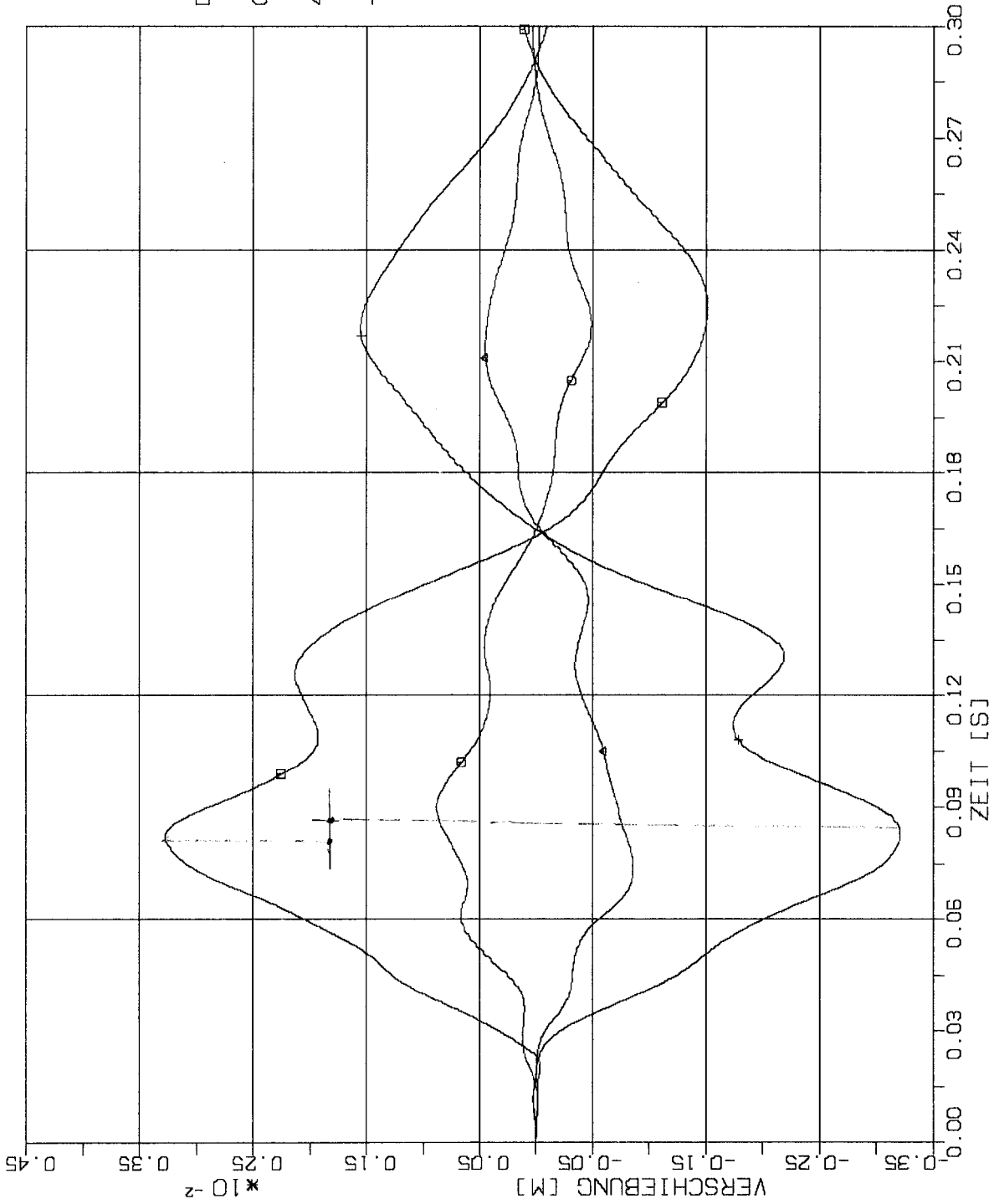
ABSTAND ZUM AUFPRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

- 1.5 D (PUNKT 421)
- 2.5 D (PUNKT 413)
- ▲ 3.5 D (PUNKT 405)
- † 2.50 D (PUNKT 221)
- X 3.50 D (PUNKT 213)
- ◇ 4.50 D (PUNKT 205)

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATENELEMENTE(2M X 2M) X1-STOSSBELASTUNG(RFL) ANTWORT: X3

ABSTAND ZUM AUFPRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK) ()

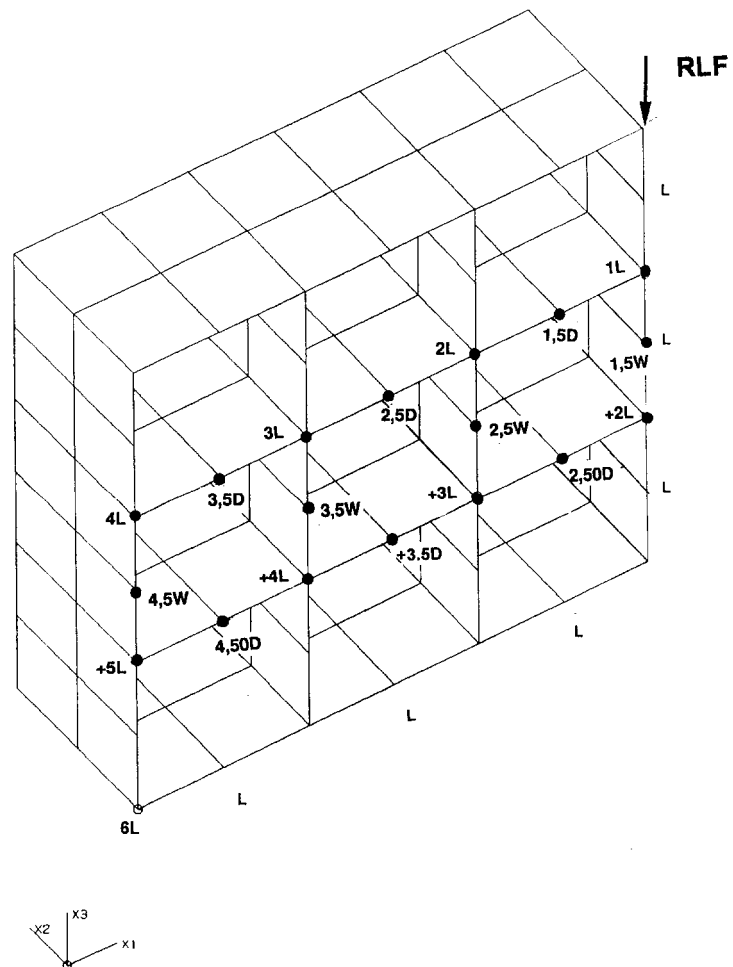
- 1.5M (PUNKT 325)
- 2.5M (PUNKT 317)
- ▲ 3.5M (PUNKT 309)
- † 4.5M (PUNKT 301)

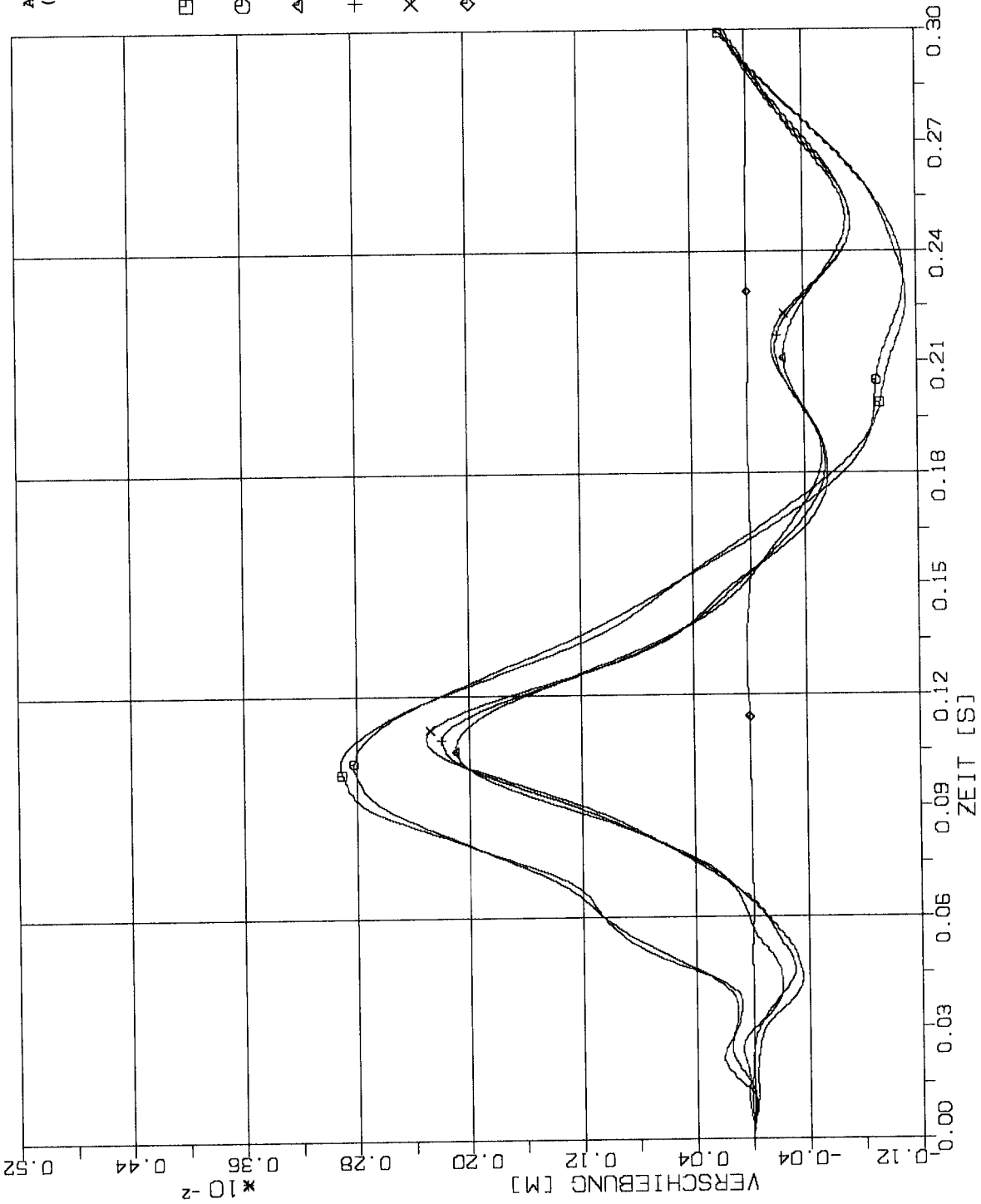


STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATENELEMENTE(2M X 2M) X1-STOSSBELASTUNG(RFL) ANTWORT: X3

5.2

Stoßbelastung in Vertikalrichtung

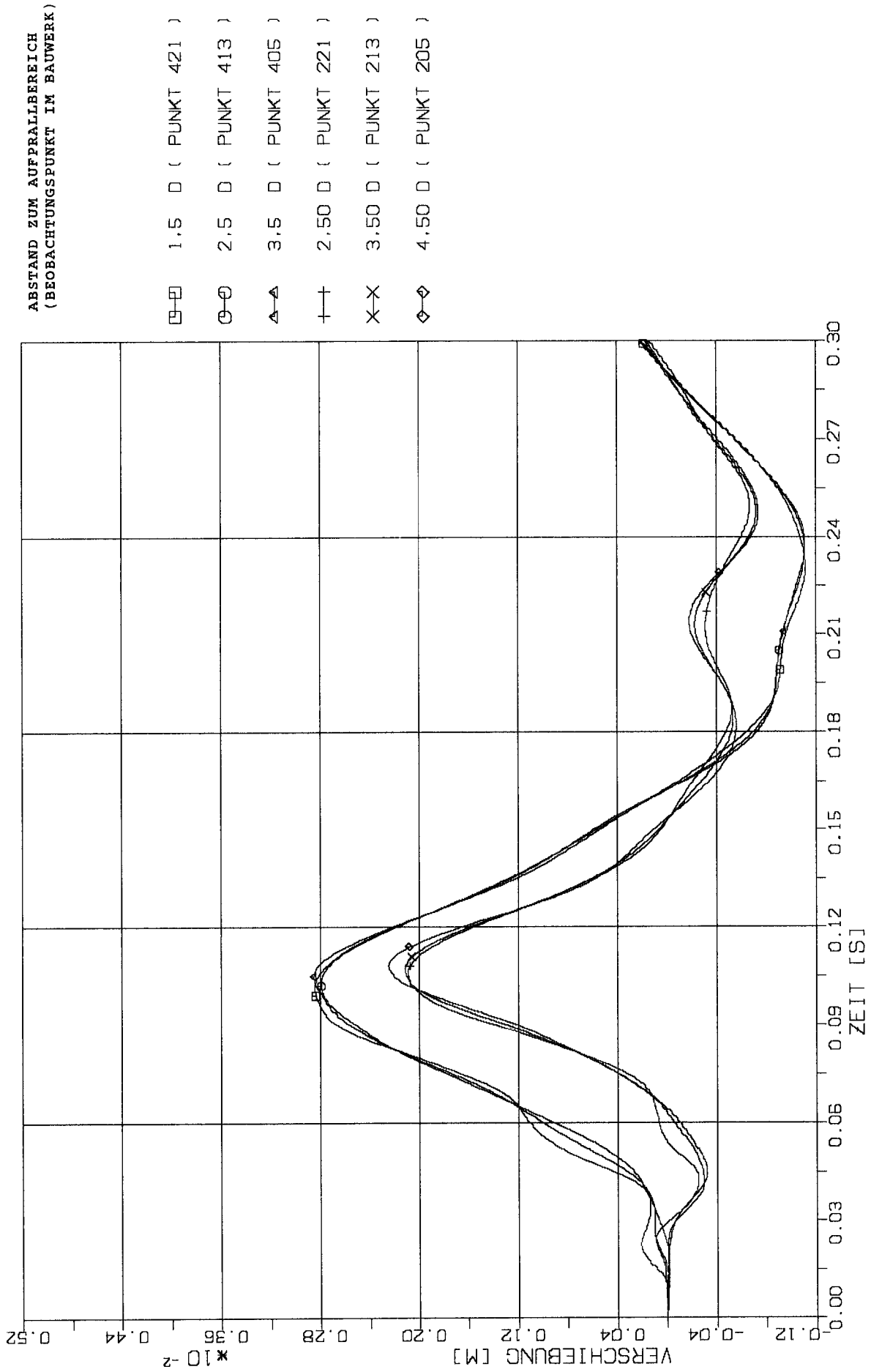




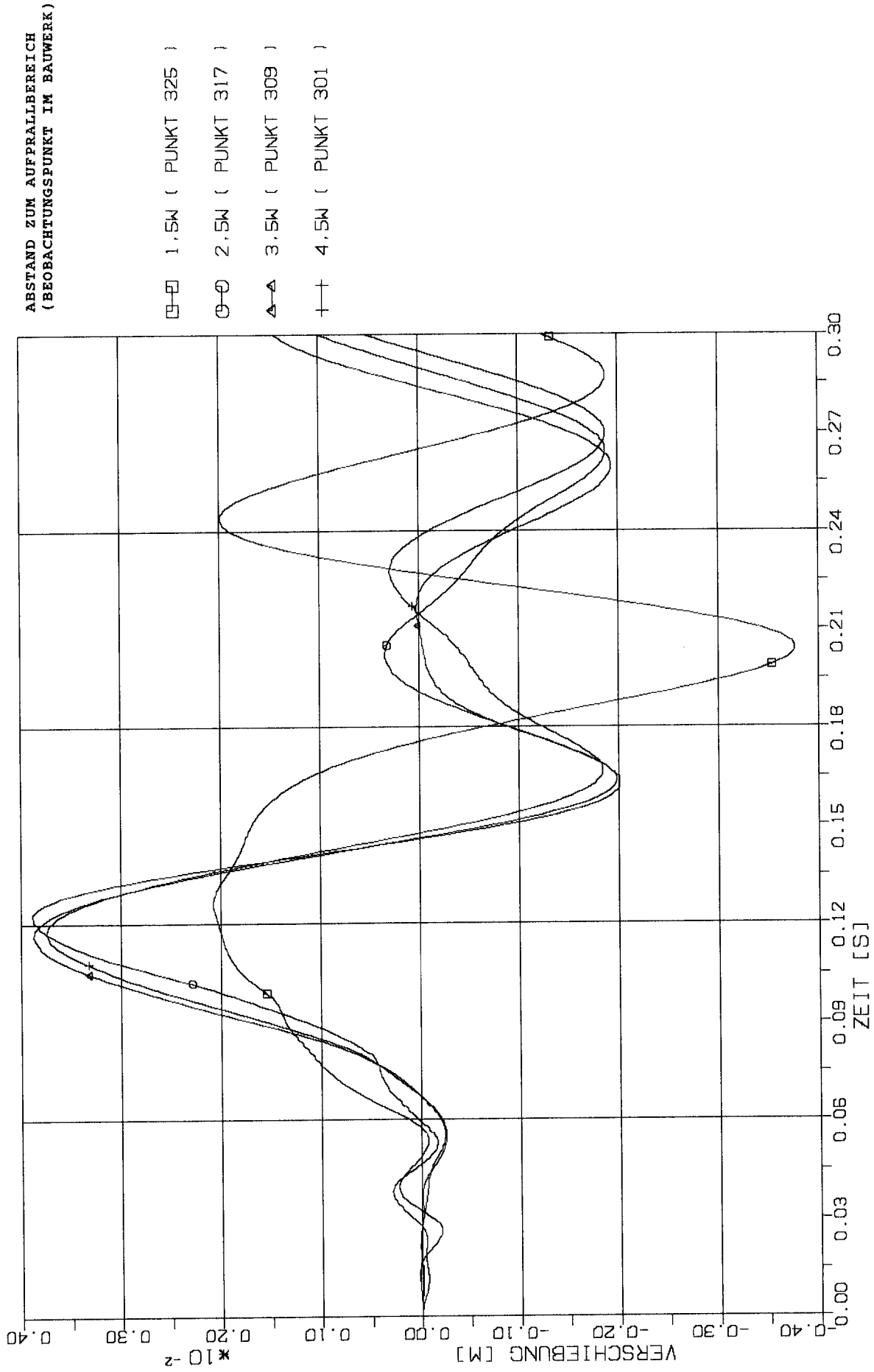
ABSTAND ZUM AUFPRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

- 1L (PUNKT 425)
- 2L (PUNKT 417)
- △ +3L (PUNKT 217)
- + +4L (PUNKT 209)
- X-X +5L (PUNKT 201)
- ◇ 6L (PUNKT 1)

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATENELEMENTE (2M X 2M) X3-STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT: X1



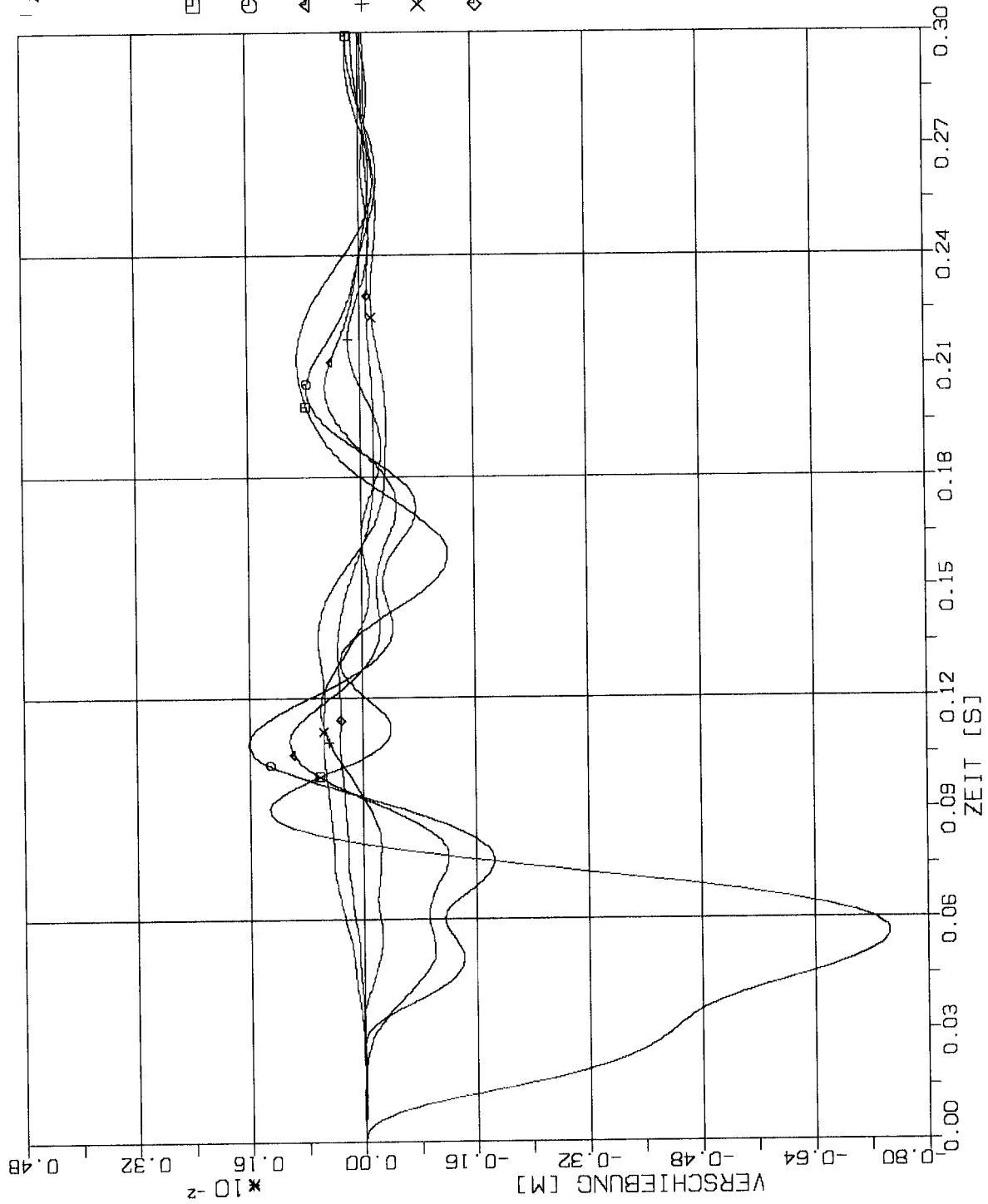
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
 ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
 PLATENELEMENTE(2M X 2M) X3-STOSSBELASTUNG(REFL) ANTWORT: X1



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATENELEMENTE (2M X 2M) X3-STOSSBELASTUNG (RFL) ANTWORT: X1

ABSTAND ZUM AUFPRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

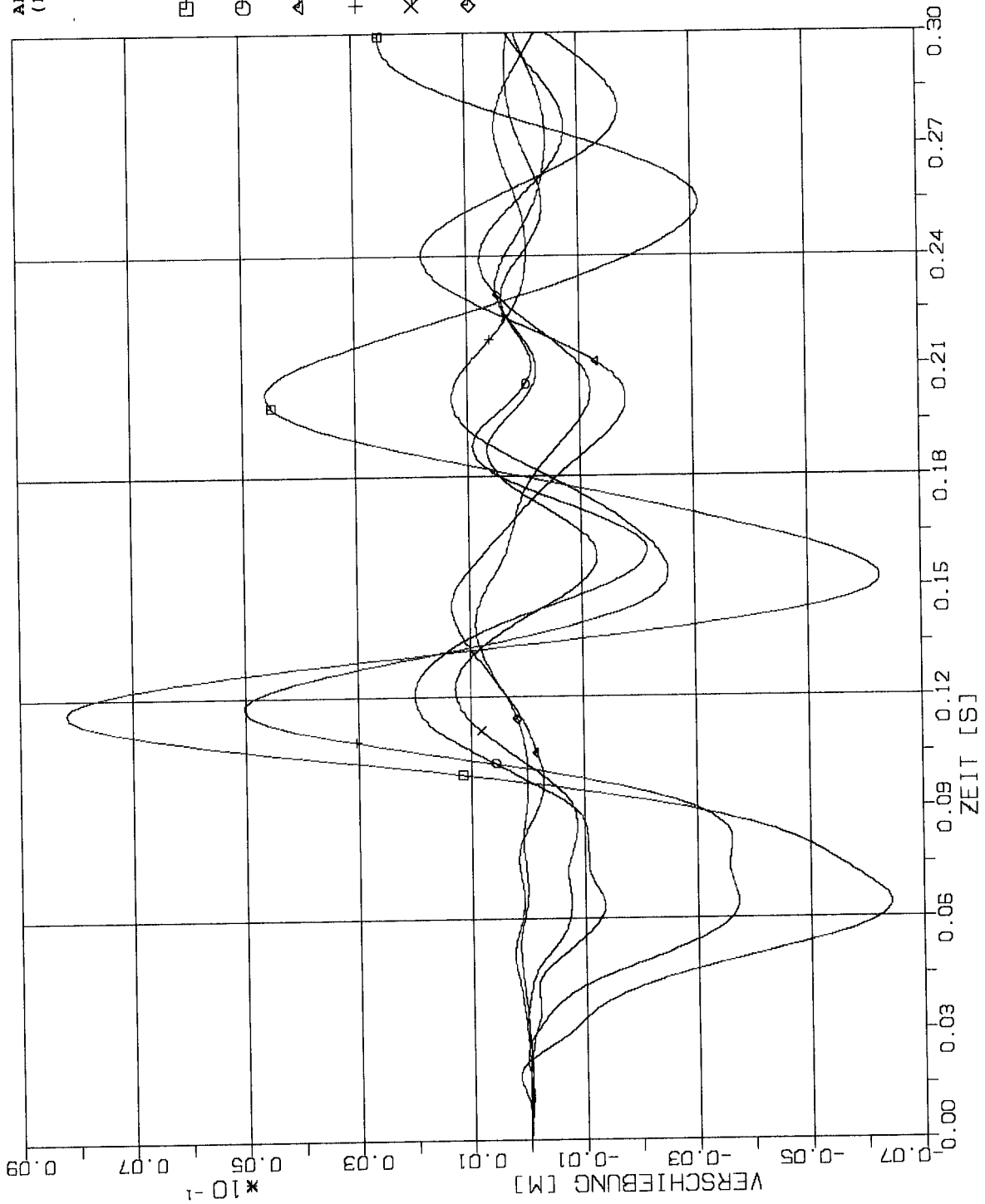
- 1L (PUNKT 425)
- 2L (PUNKT 417)
- △-△ +3L (PUNKT 217)
- + + +4L (PUNKT 209)
- X-X +5L (PUNKT 201)
- ◇-◇ 6L (PUNKT 1)



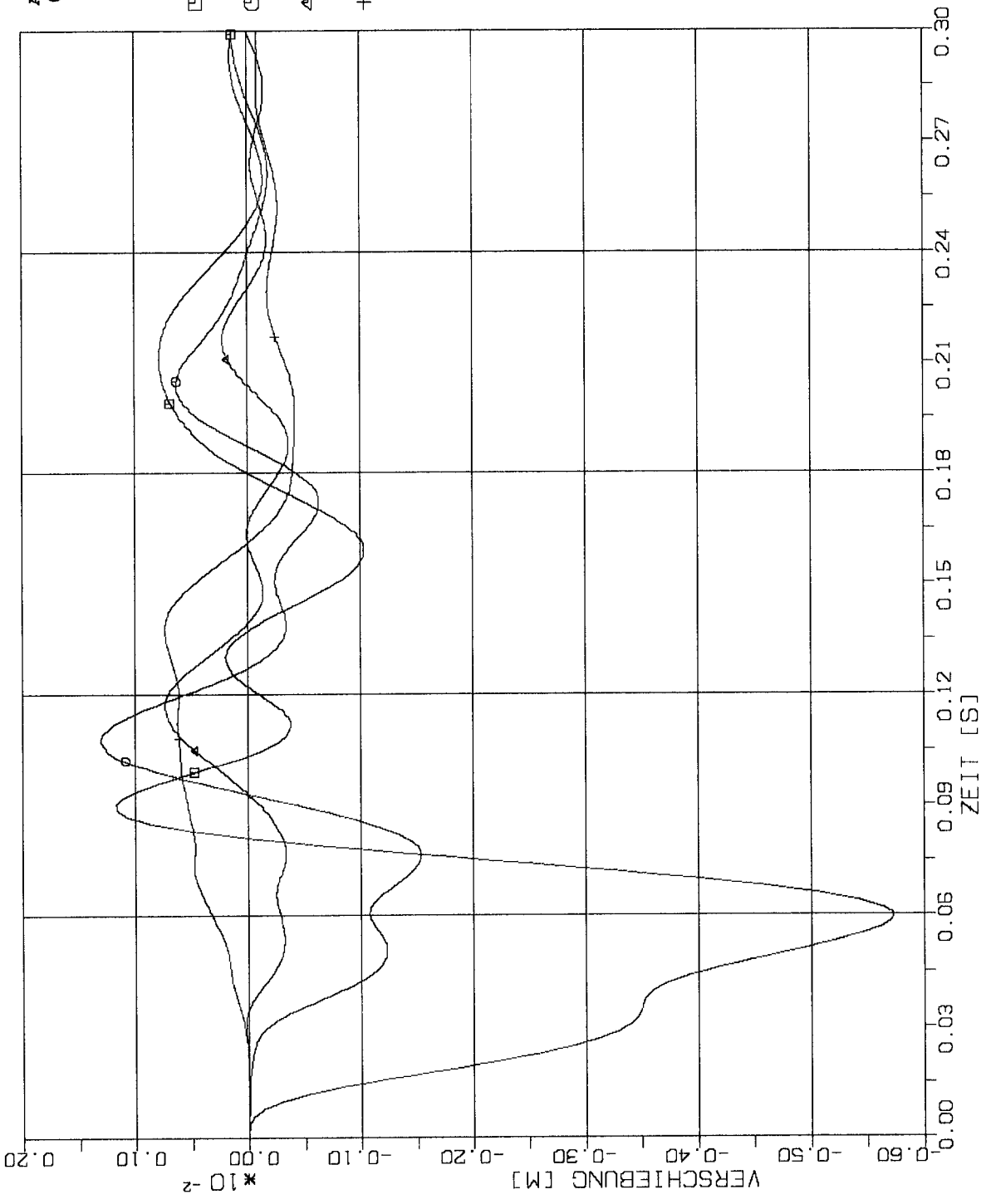
STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATENELEMENTE(2M X 2M) X3-STOSSBELASTUNG(RFL) ANTWORT: X3

ABSTAND ZUM AUFPRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

- 1.5 D (PUNKT 421)
- 2.5 D (PUNKT 413)
- △ 3.5 D (PUNKT 405)
- ++ 2.50 D (PUNKT 221)
- ×× 3.50 D (PUNKT 213)
- ◇◇ 4.50 D (PUNKT 205)



STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATENELEMENTE(2M X 2M) X3-STOSSBELASTUNG(RFL) ANTWORT: X3



ABSTAND ZUM AUFPRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

- 1.5M (PUNKT 325)
- 2.5M (PUNKT 317)
- △ 3.5M (PUNKT 309)
- × 4.5M (PUNKT 301)

STOSS-UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORMIGEN BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER VERSCHIEBUNGEN IN DEN BEOB.-PUNKTEN
PLATENELEMENTE(2M X 2M) X3-STOSSBELASTUNG(RFL) ANTWORT: X3

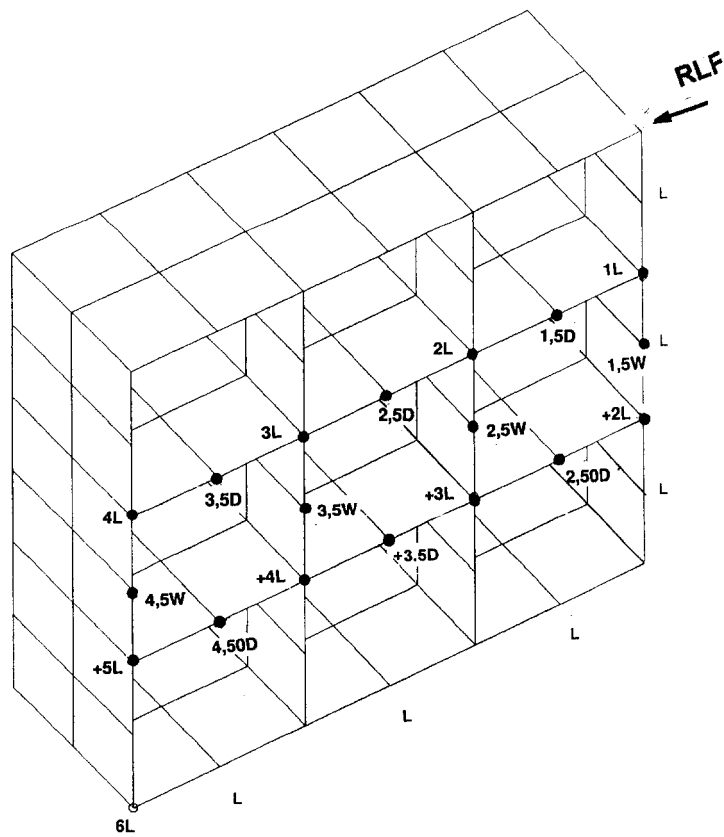
Zwischenblatt

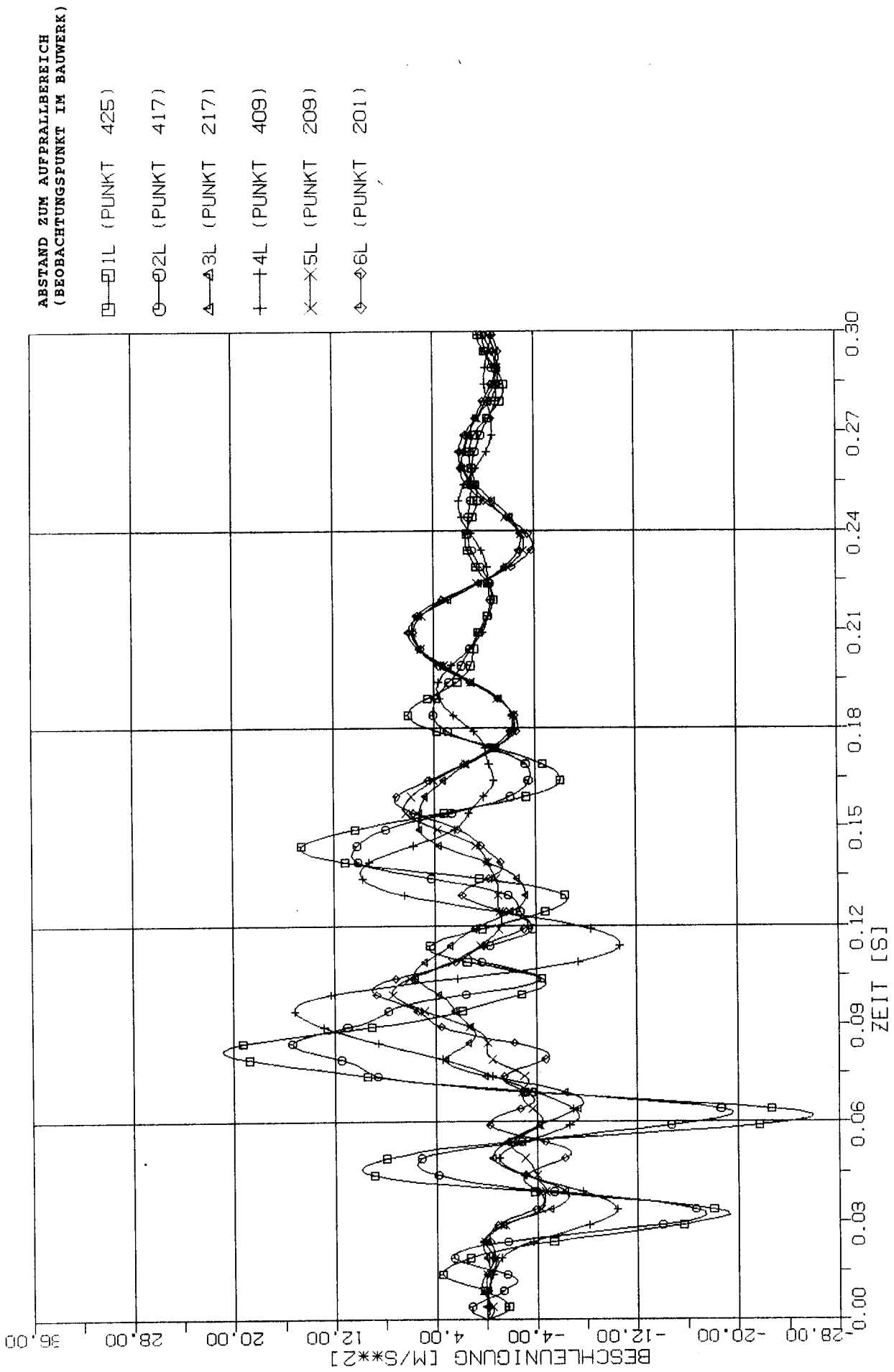
6

**Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in
den charakteristischen Beobachtungspunkten
des kastenförmigen Modellbauwerks
zu gleichen Zeitpunkten nach dem Stoß**

6.1

Stoßbelastung in Horizontalrichtung

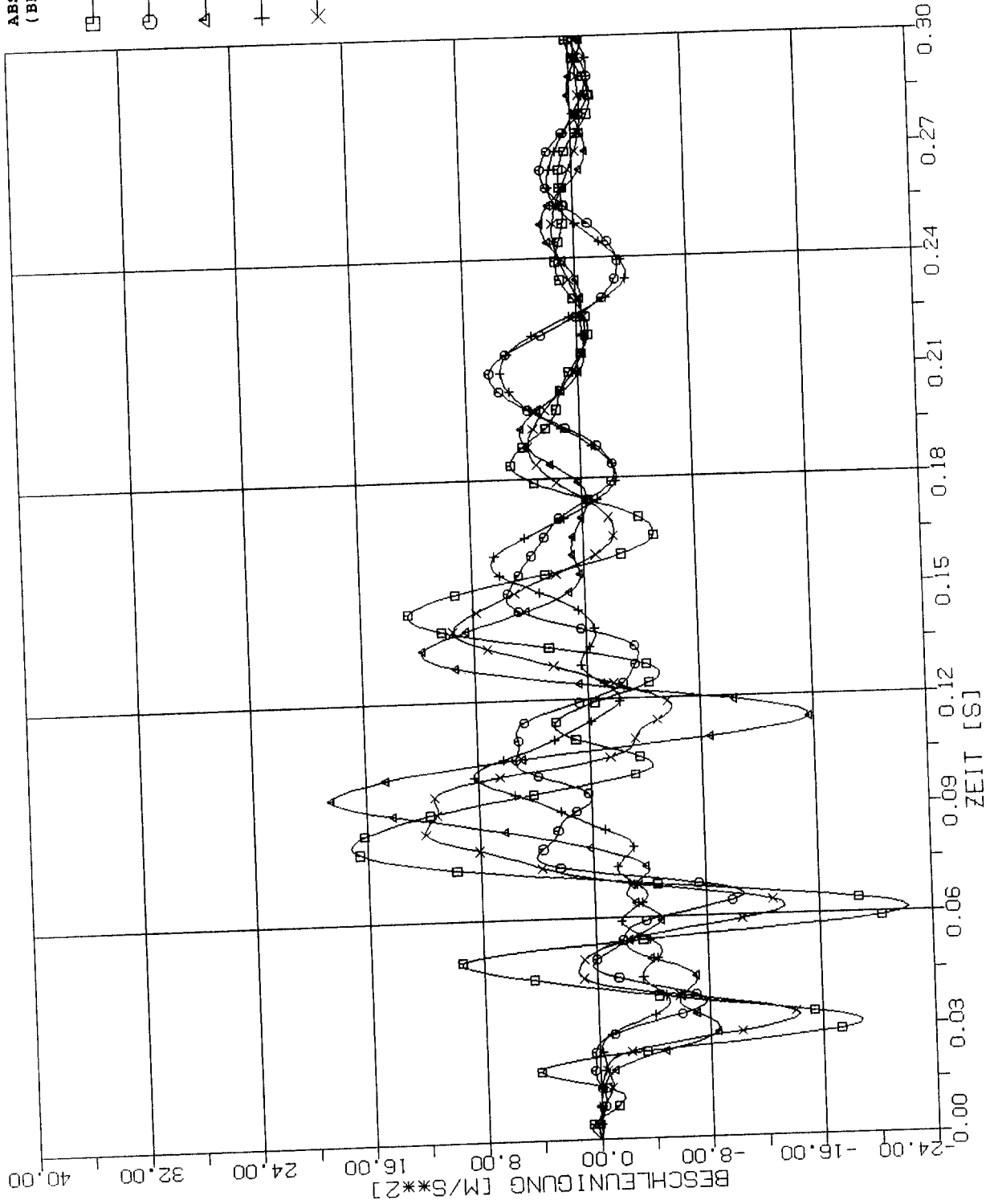




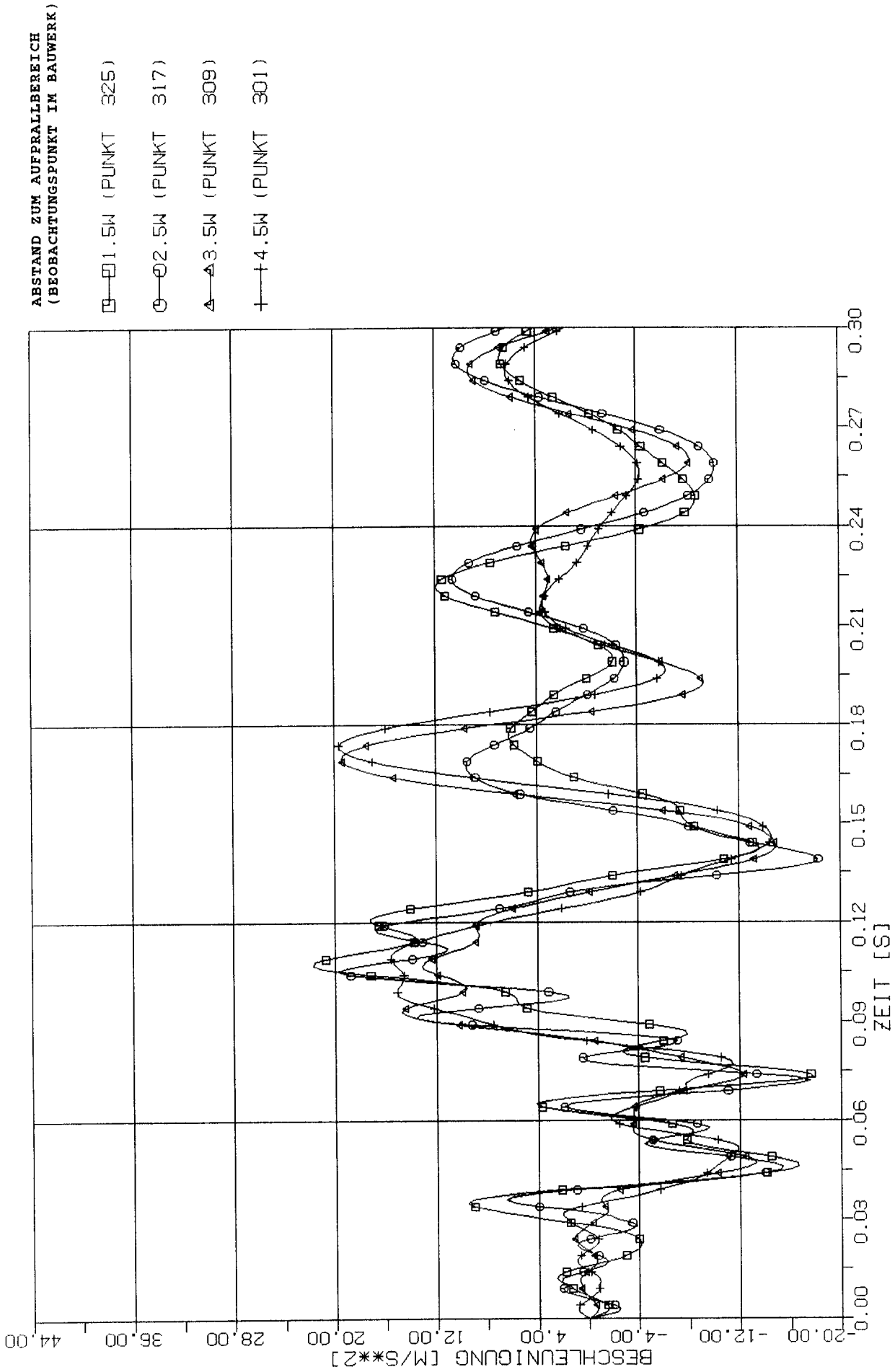
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM.- BAUWERKEN
 ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X1
 PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG(RLF) IN X1 RICHT.

ABSTAND ZUM AUFRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

- 1.50 (PUNKT 421)
- 2.50 (PUNKT 221)
- △ 3.50 (PUNKT 405)
- + 4.50 (PUNKT 205)
- × 5.50 (PUNKT 413)



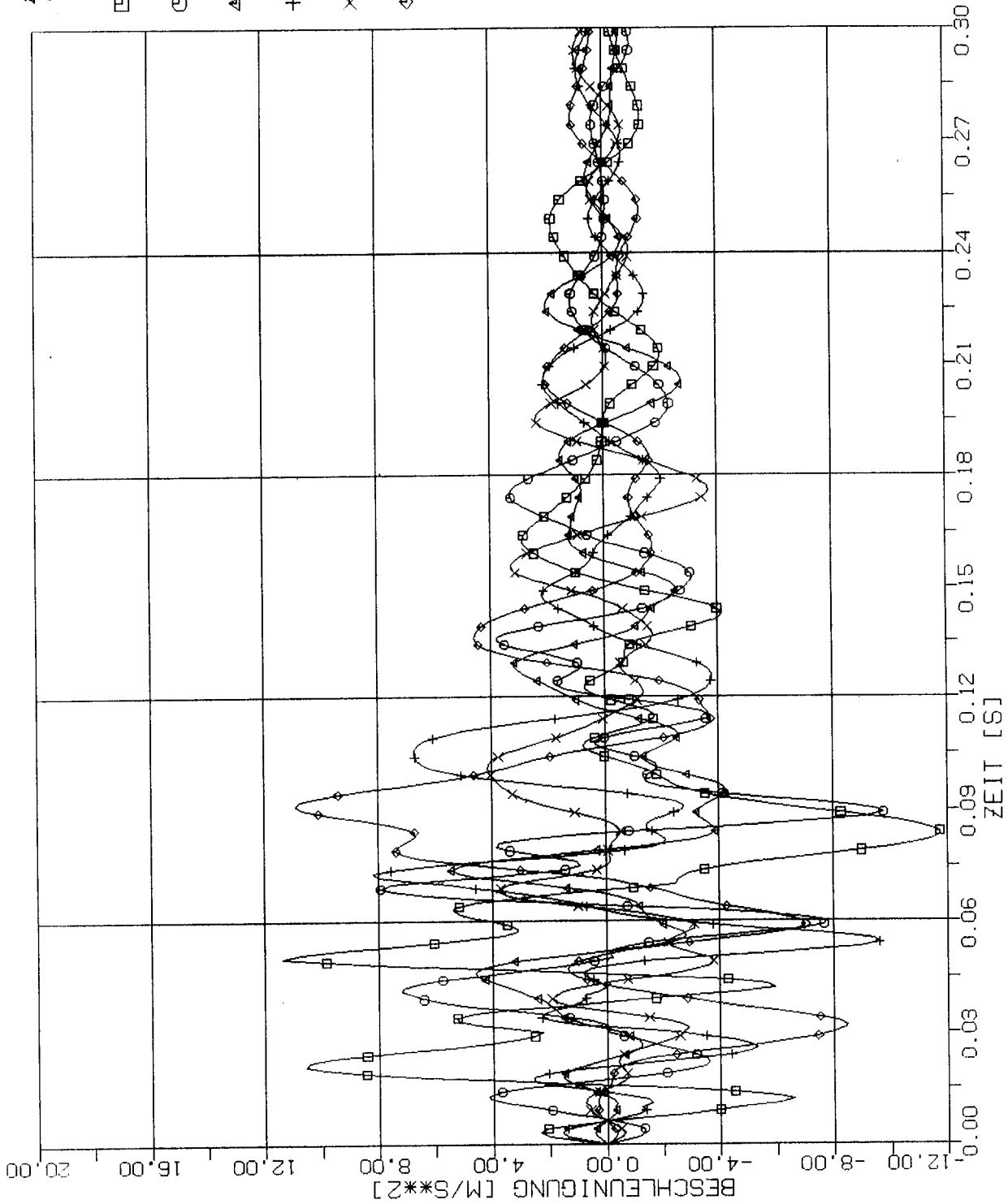
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM.- BAUWERKEN
 ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X1
 PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X1 RICHT.



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM.- BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X1
PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X1 RICHT.

ABSTAND ZUM AUFPRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

- 1L (PUNKT 425)
- 2L (PUNKT 417)
- △ 3L (PUNKT 217)
- + 4L (PUNKT 409)
- × 5L (PUNKT 209)
- ◇ 6L (PUNKT 201)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM.- BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X3
PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X1 RICHT.

ABSTAND ZUM AUFRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

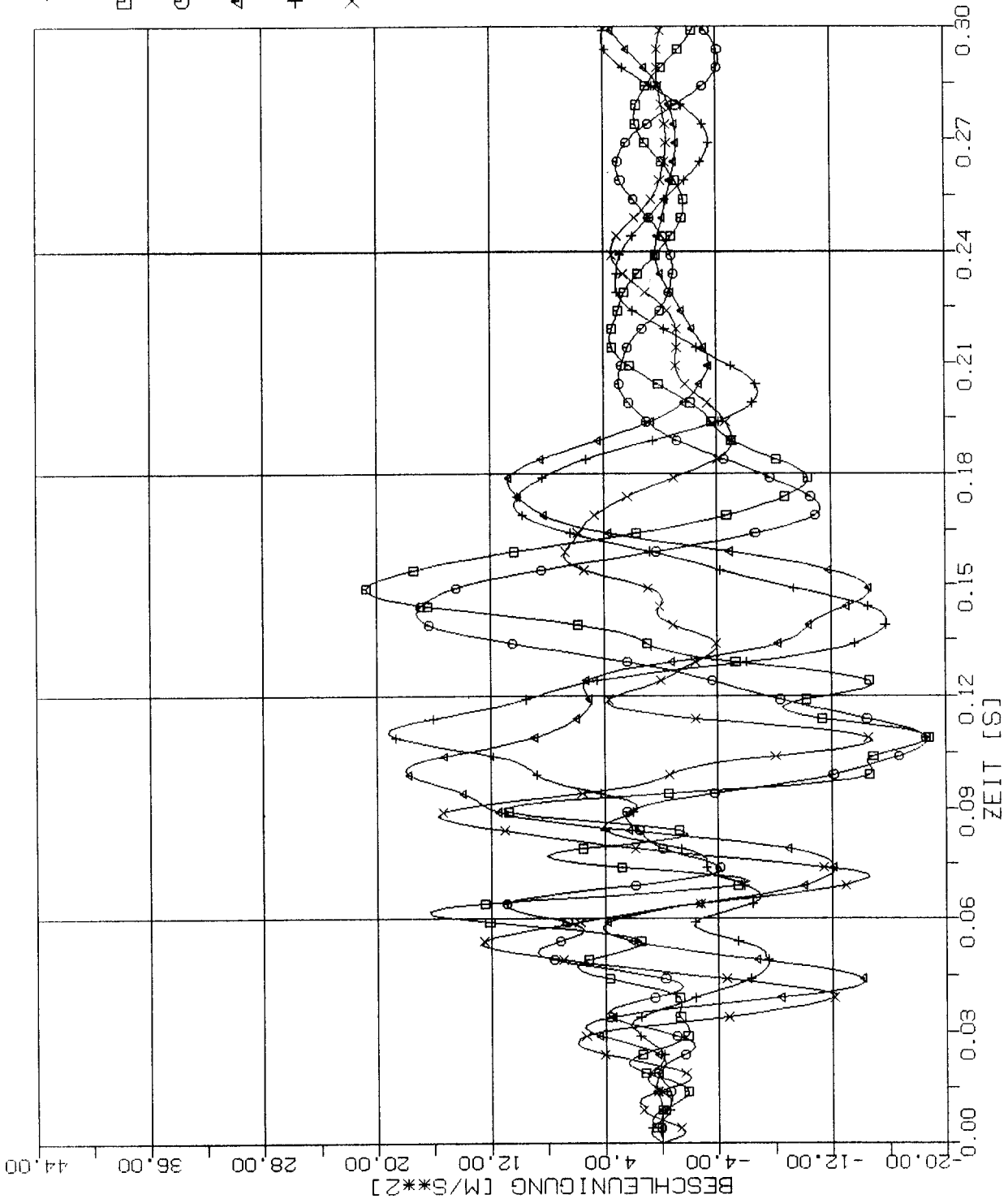
□ 1.50 (PUNKT 421)

○ 2.50 (PUNKT 221)

△ 3.50 (PUNKT 405)

† 4.50 (PUNKT 205)

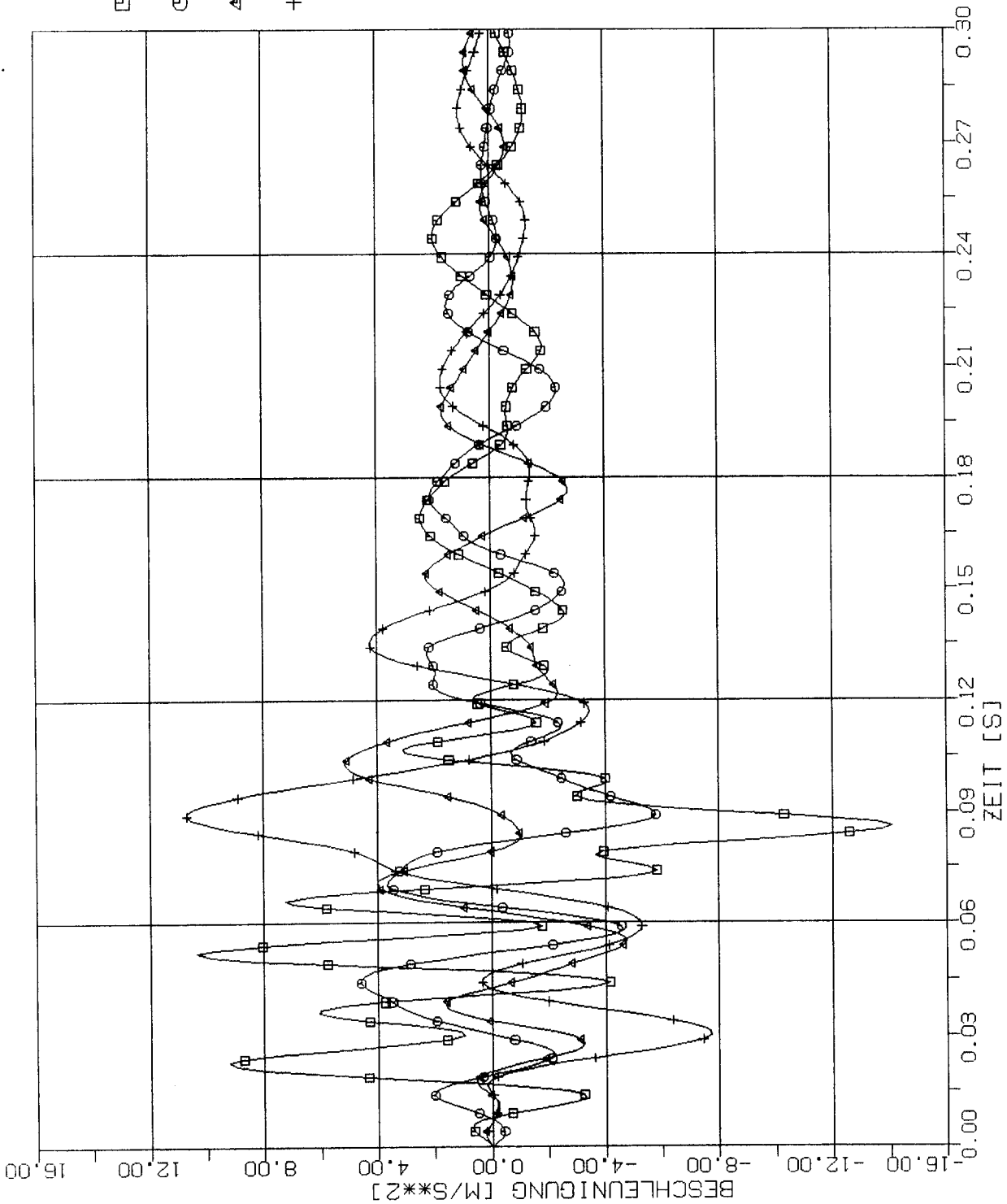
× 5.50 (PUNKT 413)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM.- BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X3
PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X1 RICHT.

ABSTAND ZUM AUFPRALLBEREICH
(BEOBACHTUNGSPUNKT IM BAUWERK)

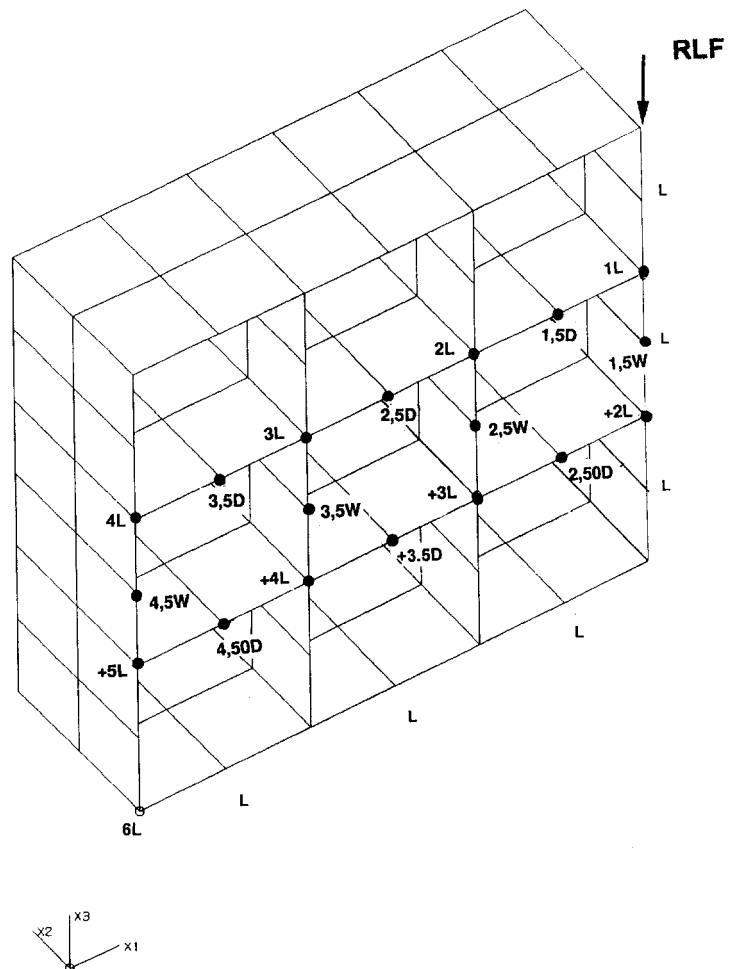
- 1.5M (PUNKT 325)
- 2.5M (PUNKT 317)
- △ 3.5M (PUNKT 309)
- + 4.5M (PUNKT 301)

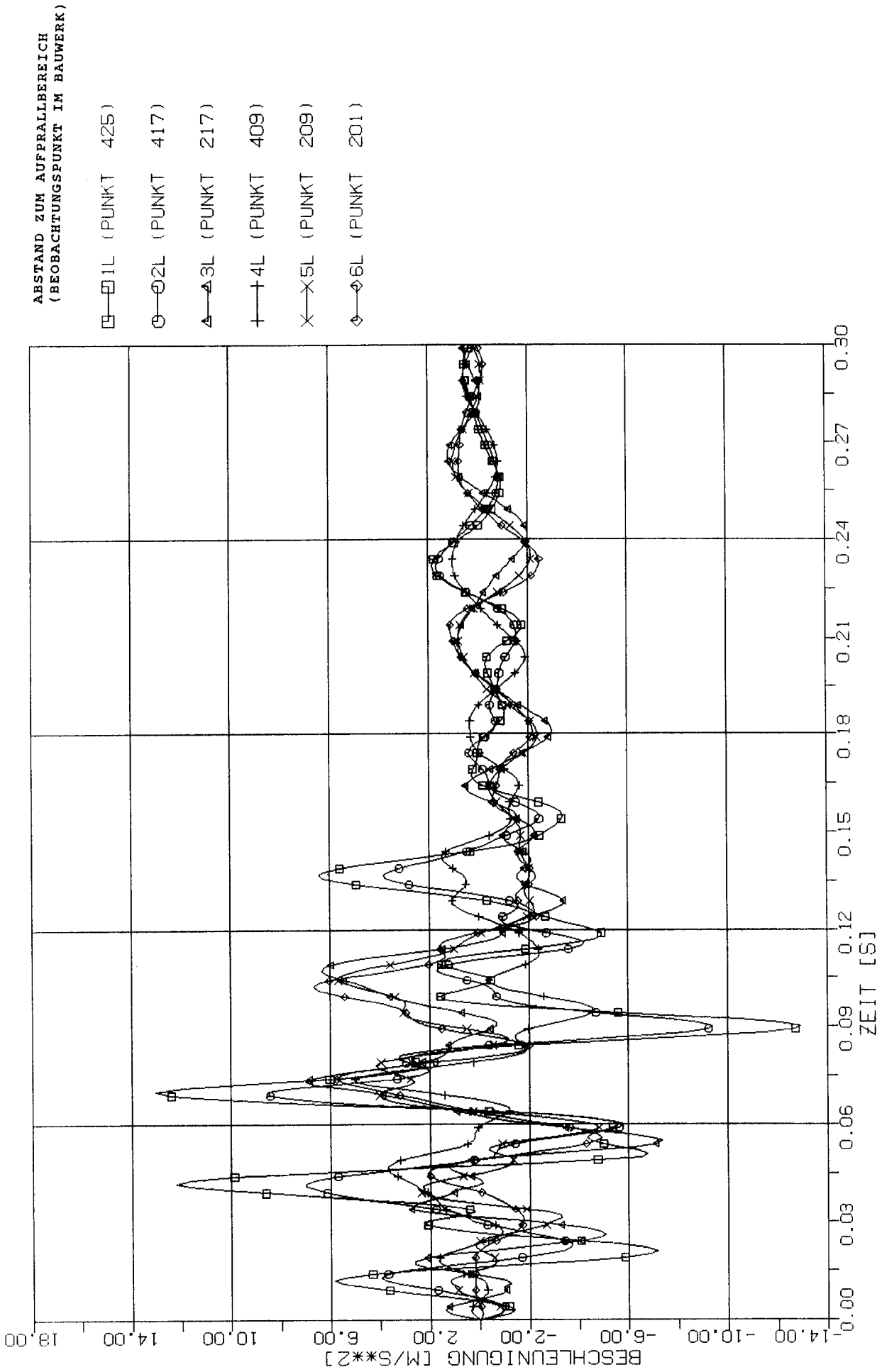


STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM.- BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X3
PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X1 RICHT.

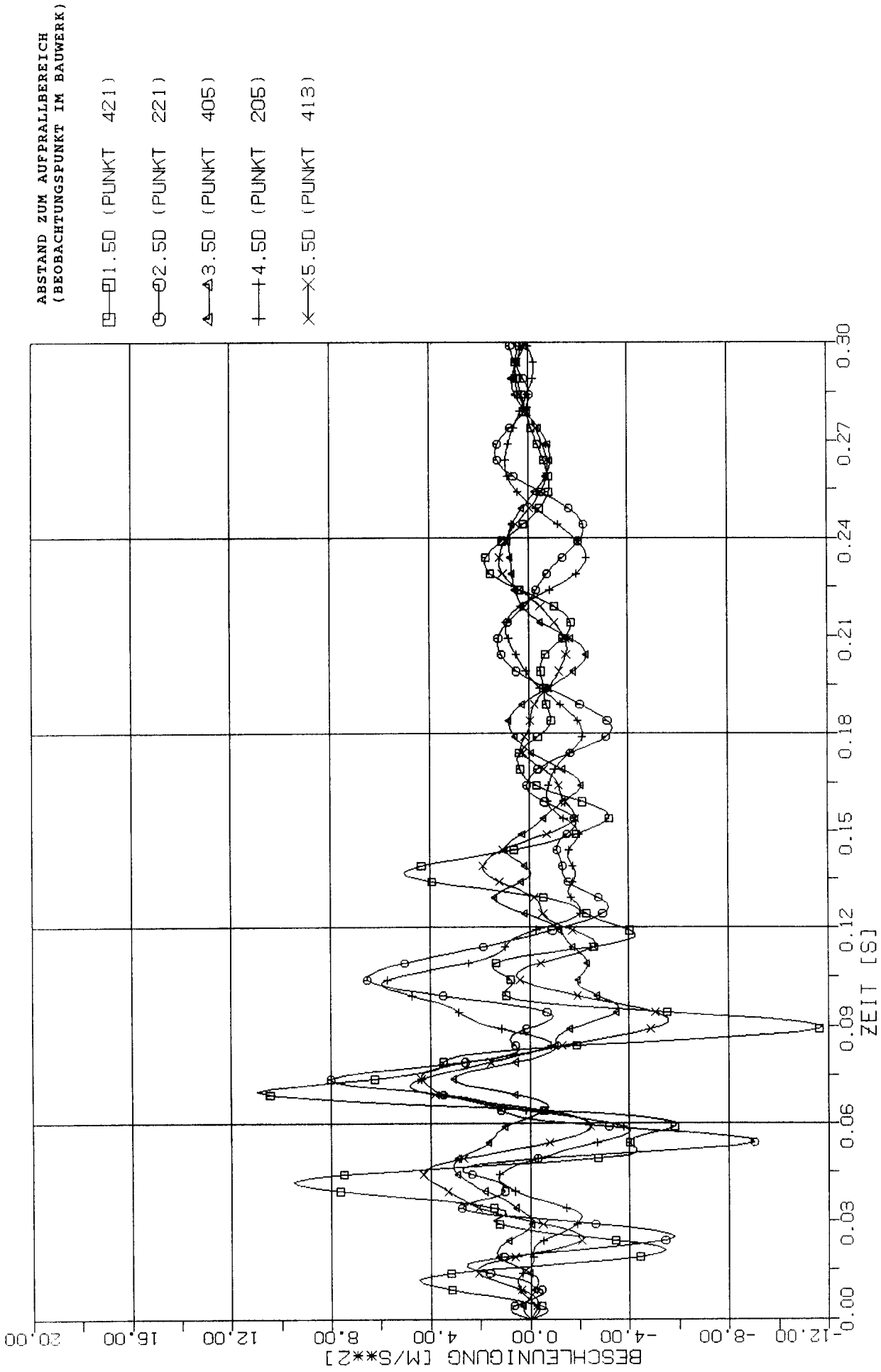
6.2

Stoßbelastung in Vertikalrichtung

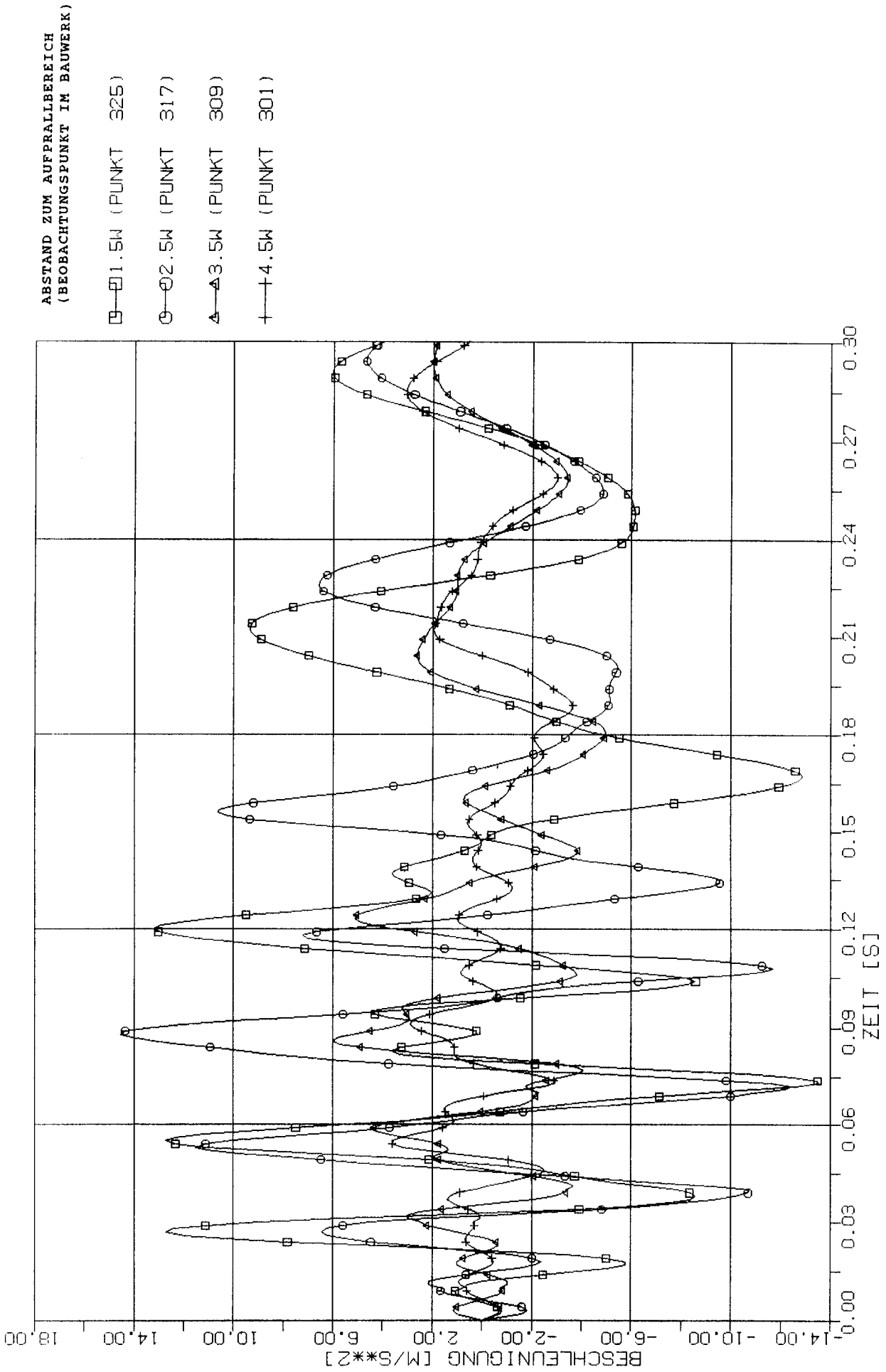




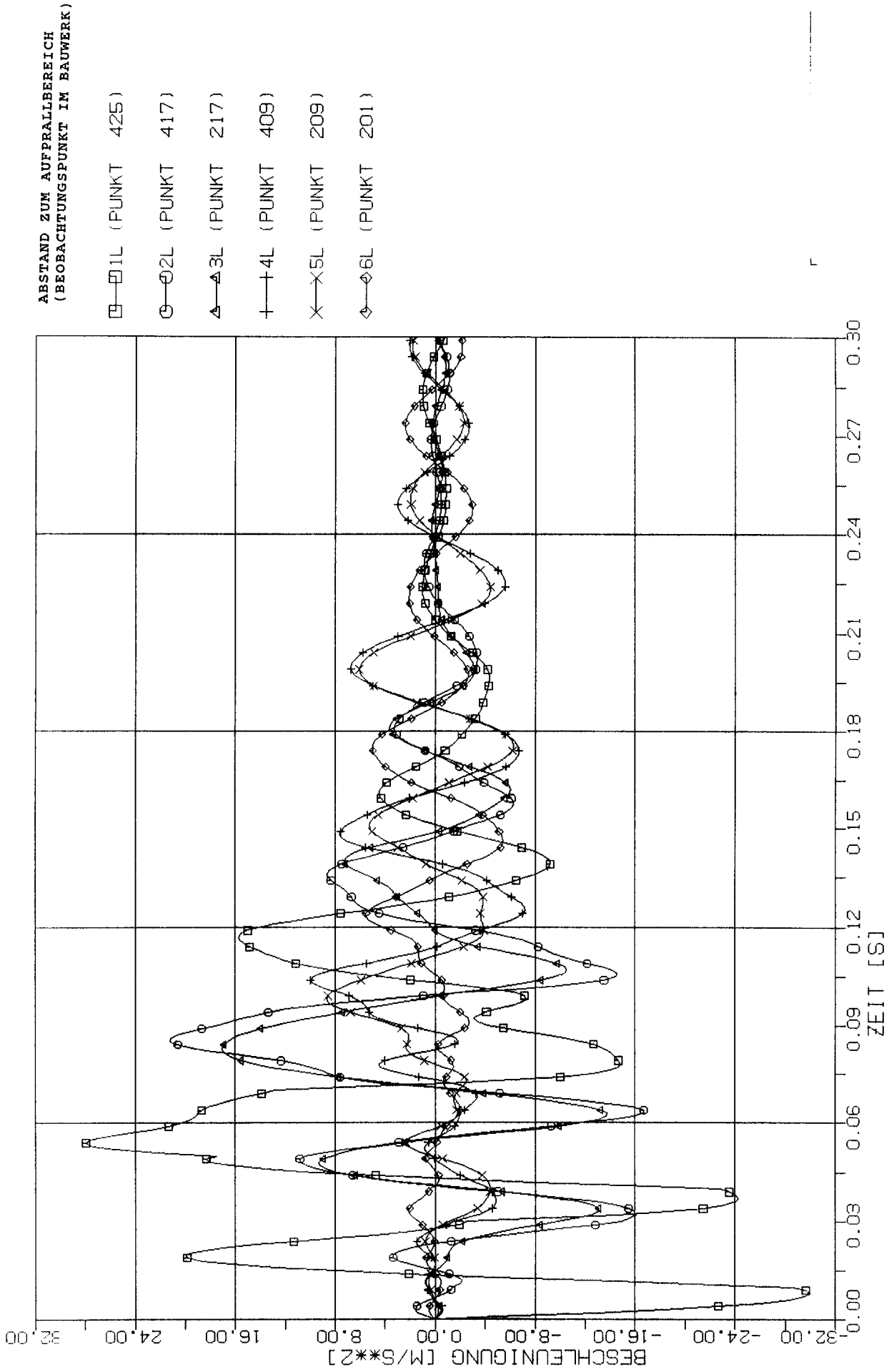
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM. - BAUWERKEN
 ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X1
 PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X3 RICHT.



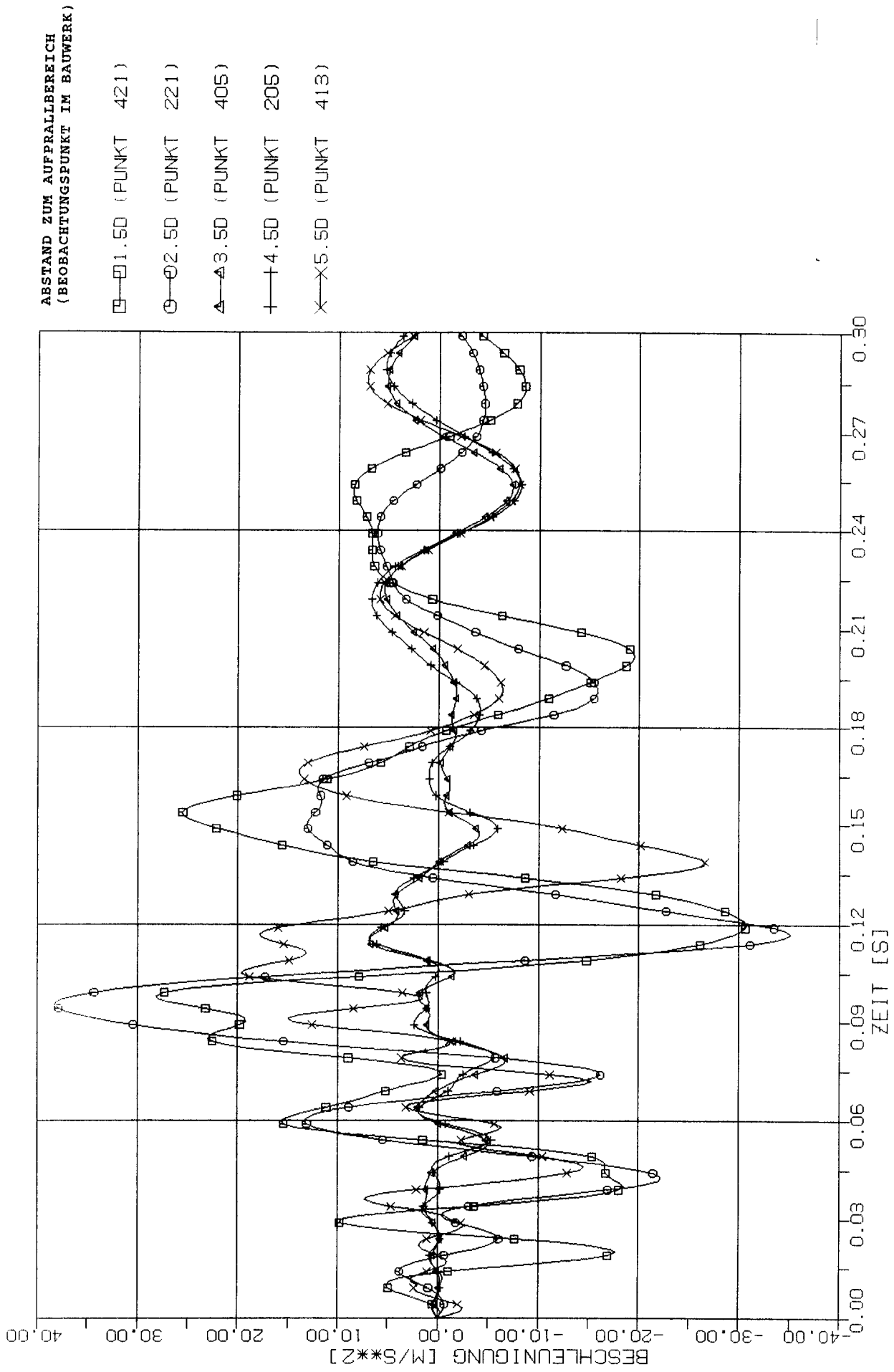
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM. - BAUWERKEN
ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X1
PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X3 RICHT.



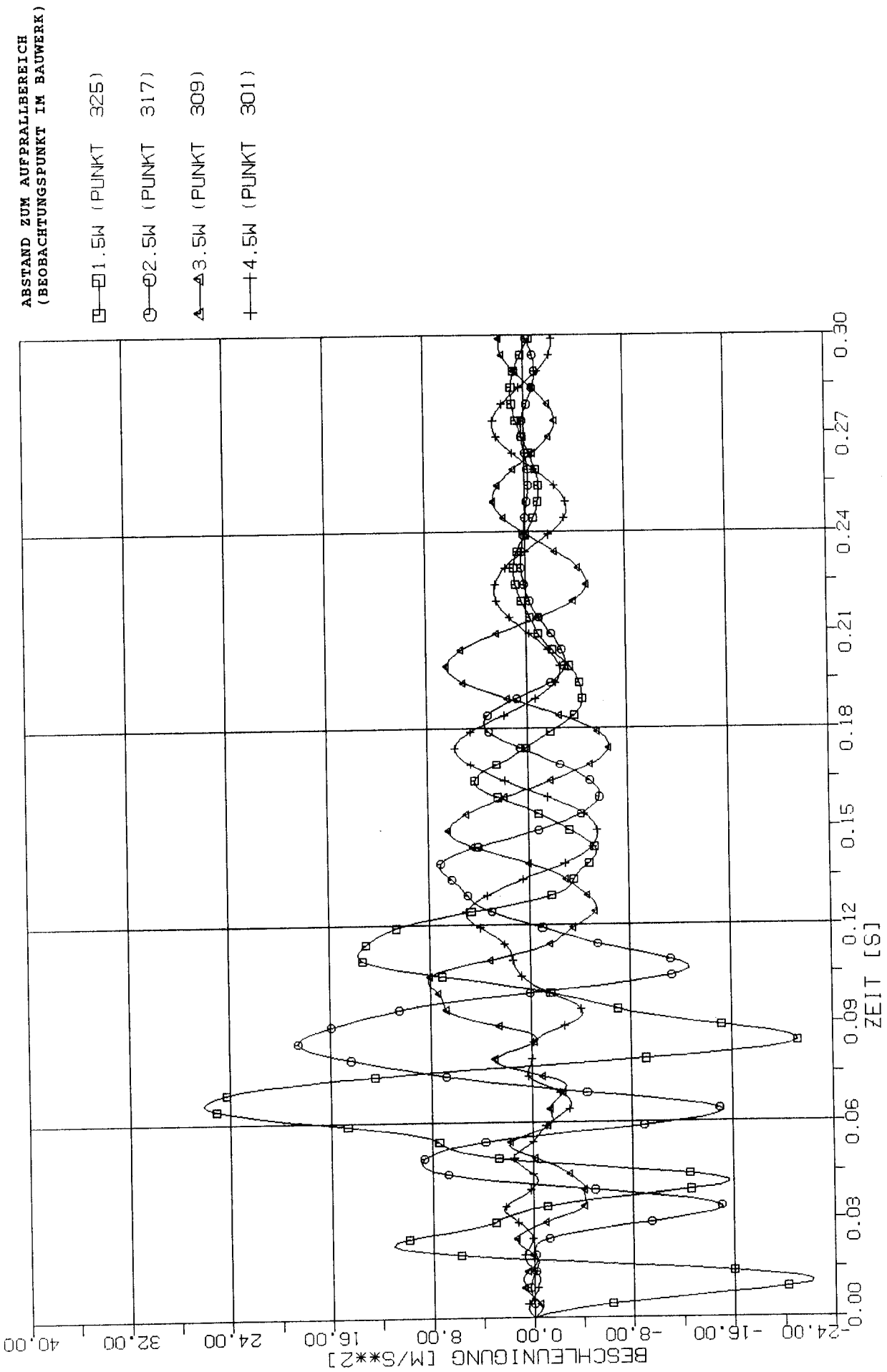
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM. - BAUWERKEN
 ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X1
 PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X3 RICHT.



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM.- BAUWERKEN
 ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X3
 PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X3 RICHT.



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM.- BAUWERKEN
 ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B.PUNK. BESCH: X3
 PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X3 RICHT.



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN KASTENFORM. - BAUWERKEN
 ABKLINGVERHALTEN DER BESCHLEUNIGUNGEN IN DEN B. PUNK. BESCH: X3
 PLATTENELEMENTE (2 X 2M), STOSSBELASTUNG (RLF) IN X3 RICHT.

Zwischenblatt

Zwischenblatt

T e i l 2

Numerische FE-Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen in einem axisymmetrischen Modellbauwerk

Inhaltsverzeichnis

1	Modellabbildungen, Eigenwerte, Stoßbelastung, Beobachtungsbereiche	A2-292
2	Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des axisymmetrischen Modellbauwerks bei Anwendung verschiedenen Diskretisierungen	A2-315
2.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-316
2.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-343
3	Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in den charakteristischen Beobachtungspunkten des axisymmetrischen Modellbauwerks bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen	A2-371
3.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-372
3.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-401
4	Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren in den charakteristischen Beobachtungspunkten des axisymmetrischen Modellbauwerks bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen	A2-431
4.1	Stoßbelastung in Horizontalrichtung	A2-432
4.2	Stoßbelastung in Vertikalrichtung	A2-459

1

**Modellabbildungen, Eigenwerte,
Stoßbelastung, Beobachtungsbereiche**

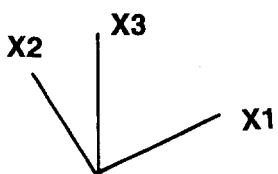
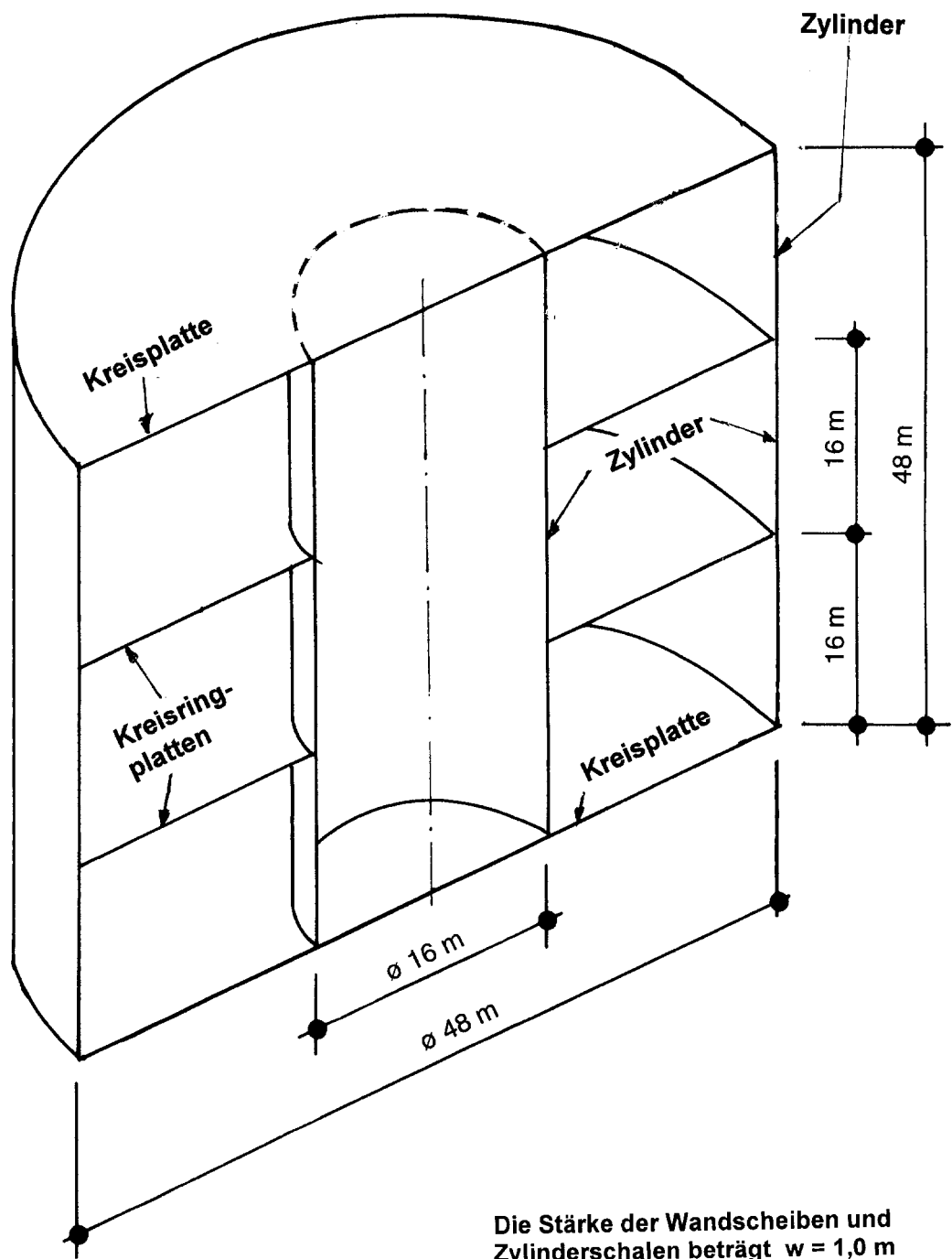


Fig. 1 Axisymmetrisches Modellbauwerk

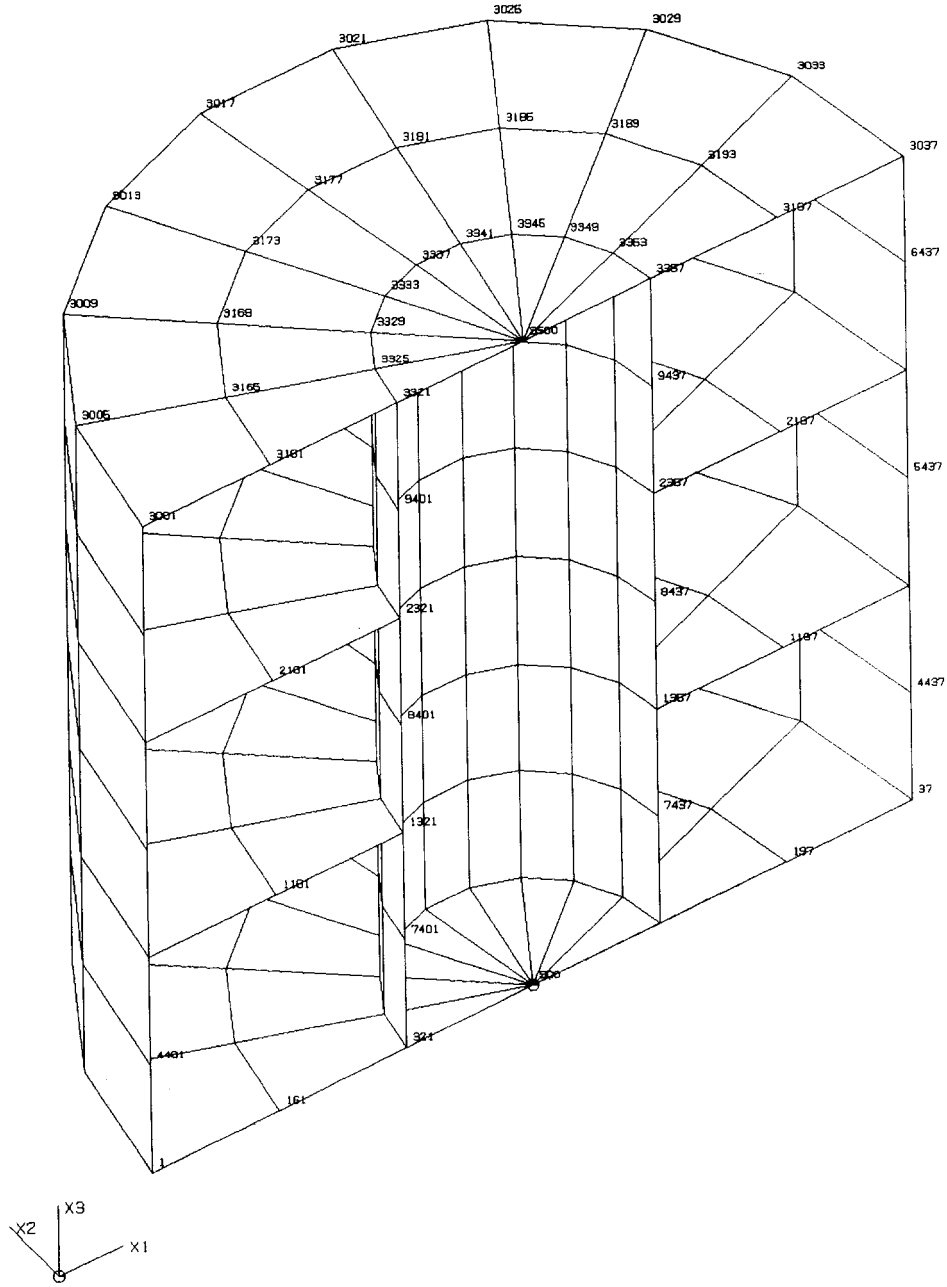


Fig. 1-1 Rechenmodell des axisymmetrischen Modellbauwerks
 Diskretisierungsvariante 8w x 8w (8 m x 8 m)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	1.92	3500-1	146720.31	0.00	0.00	20.50	15.00
2	3.79	3189-3	0.00	1.77	202549.69	60.86	30.00
3	5.92	21-1	55637.88	0.00	0.00	40.42	15.00
4	9.84	3197-3	0.00	38.30	203.69	7.36	7.36
5	10.44	3161-3	240.81	0.00	0.00	7.44	7.44
6	10.69	2197-3	0.00	0.01	9.52	7.02	7.02
7	11.17	1197-3	1.35	0.00	0.00	7.01	7.01
8	11.25	2197-3	287.67	0.00	0.00	7.60	7.60
9	11.26	1161-3	0.00	0.01	335.80	7.79	7.79
10	11.92	3197-3	0.00	246.40	0.00	7.00	7.00
11	12.58	2197-3	0.00	7.53	0.00	7.00	7.00
12	12.64	1197-3	0.00	0.14	0.00	7.00	7.00
13	13.33	3500-3	0.00	43.37	307.57	8.01	8.01
14	14.20	3173-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
15	14.90	1173-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
16	14.92	5437-1	0.00	33917.47	0.00	7.00	7.00
17	15.00	3500-1	59.92	0.00	0.00	7.66	7.66
18	15.13	2173-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
19	16.46	6437-1	0.00	160.41	0.00	7.00	7.00
20	16.78	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
21	17.07	5401-1	0.00	237.66	0.00	7.00	7.00
22	17.19	4401-1	457.52	0.00	0.00	9.25	9.25
23	17.42	6437-1	0.00	665.69	0.00	7.00	7.00
24	17.42	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
25	17.73	6437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
26	17.94	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
27	18.01	4437-1	0.00	207.76	0.00	7.00	7.00
28	18.38	6401-1	0.00	16.21	0.00	7.00	7.00
29	18.47	3161-3	0.00	62.85	0.00	7.00	7.00
30	18.65	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
31	18.95	5437-1	0.00	33.11	0.00	7.00	7.00
32	18.99	2161-3	0.00	0.84	0.00	7.00	7.00
33	19.01	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
34	19.35	1161-3	0.00	10.49	0.00	7.00	7.00
35	19.35	6437-1	10.47	0.00	0.00	7.07	7.07
36	19.49	6437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
37	19.52	4401-1	0.00	69.15	0.00	7.00	7.00
38	19.66	8401-1	0.00	3248.60	0.00	7.00	7.00
39	19.72	4437-1	0.00	263.20	0.00	7.00	7.00
40	20.09	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
41	20.18	5437-1	5.76	0.00	0.00	7.04	7.04
42	20.43	6401-1	0.00	3.32	0.00	7.00	7.00
43	20.64	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
44	20.80	5437-1	0.00	394.42	0.06	7.00	7.00
45	20.80	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
46	21.02	4437-1	18.65	0.00	0.00	7.14	7.14
47	21.05	5401-1	0.00	6.88	0.00	7.00	7.00
48	21.39	9437-1	0.00	28.04	0.00	7.00	7.00
49	21.39	6437-1	0.00	1384.96	1.52	7.01	7.01
50	21.44	5401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
51	21.65	4401-1	0.00	35.90	0.00	7.00	7.00
52	21.97	4437-1	0.00	14401.14	31.11	7.28	7.28
53	22.07	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
54	22.70	3161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
55	23.08	2161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
56	23.13	1161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
57	23.58	4401-1	299.13	0.00	0.00	9.75	9.75
58	25.45	3001-3	0.00	1075.16	0.00	7.00	7.00
59	26.69	9401-1	0.00	1379.20	0.00	7.00	7.00
60	27.37	3500-3	0.00	7.08	210.82	9.92	9.92

Tab. 1-1 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 8w x 8w

61	27.68	3173-3	0.00	0.05	0.00	7.00	7.00
62	27.92	2173-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
63	27.93	1173-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
64	28.89	8401-1	1.33	0.00	0.00	7.21	7.21
65	28.91	9437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
66	29.35	7401-1	0.00	27.37	0.00	7.00	7.00
67	29.60	8437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
68	30.25	3500-3	0.00	1461.97	39.69	7.67	7.67
69	30.98	7401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
70	31.10	7437-1	0.00	519.84	0.00	7.00	7.00
71	31.71	3001-1	0.00	6799.54	0.00	7.00	7.00
72	32.57	3197-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
73	32.67	2197-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
74	32.67	1197-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
75	32.77	2037-1	0.00	46.24	0.25	7.00	7.00
76	32.93	9401-1	1.44	0.00	0.00	7.19	7.19
77	33.09	3500-3	0.00	25387.99	11.52	7.23	7.23
78	34.88	8401-1	0.27	0.00	0.00	7.01	7.01
79	35.72	3013-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
80	36.29	3161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
81	36.31	1161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
82	36.32	2161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
83	36.39	2037-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
84	36.59	9401-1	0.09	0.00	0.00	7.02	7.02
85	37.06	1037-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
86	37.70	2161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
87	37.71	1161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
88	37.72	3161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
89	38.12	8401-1	1.44	0.00	0.00	7.04	7.04
90	38.32	3500-3	0.00	19.03	8.38	7.23	7.23
91	38.85	4437-3	0.00	1176.83	0.00	7.00	7.00
92	38.86	7437-1	0.59	0.00	0.00	7.02	7.02
93	39.19	3037-1	0.00	11855.41	0.04	7.00	7.00
94	41.58	9437-1	0.00	10.79	0.00	7.00	7.00
95	42.19	3037-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
96	42.45	7401-1	6.43	0.00	0.00	7.21	7.21
97	42.48	8401-1	0.00	39.19	0.00	7.00	7.00
98	43.04	2037-1	0.00	430.81	0.00	7.00	7.00
99	43.31	1001-1	0.00	156.62	0.00	7.00	7.00
100	43.39	7437-1	0.00	149.45	0.00	7.00	7.00
101	45.41	3037-3	0.00	105.73	0.00	7.00	7.00
102	46.24	1013-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
103	47.31	2037-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
104	47.49	1037-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
105	47.85	3017-1	0.33	0.00	0.00	7.06	7.06
106	48.90	3321-3	0.00	1.59	32.62	8.44	8.44
107	49.08	6413-1	0.00	26.77	0.00	7.00	7.00
108	49.79	2037-1	0.00	5.68	0.00	7.00	7.00
109	49.90	2001-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
110	50.00	1001-1	0.00	81.89	0.00	7.00	7.00
111	50.13	3001-1	0.00	234.12	0.00	7.00	7.00
112	50.15	2037-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
113	50.41	1001-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
114	50.47	2001-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
115	50.62	1037-1	0.00	27.57	0.00	7.00	7.00
116	50.83	1001-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
117	50.91	1357-3	0.15	0.00	0.00	7.01	7.01
118	51.27	3013-1	0.00	12557.46	0.00	7.00	7.00
119	52.26	3037-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
120	53.69	1037-3	0.00	5.98	0.00	7.00	7.00
121	54.71	8401-1	0.00	195.61	1.30	7.07	7.07
122	55.44	9401-1	0.00	8200.99	0.08	7.00	7.00
123	55.67	2357-1	0.00	25.02	0.00	7.00	7.00
124	56.13	3013-3	0.00	15.99	0.00	7.00	7.00
125	56.31	3037-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00

Tab. 1-1 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 8w x 8w (Fortsetzung)

126	56.43	13-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
127	56.85	3001-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
128	57.11	3037-1	0.00	7.10	0.00	7.00	7.00
129	57.32	3001-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
130	57.78	7401-1	0.00	3.75	1.92	7.12	7.12
131	58.04	1357-1	0.00	395.00	0.00	7.00	7.00
132	59.34	1321-1	0.02	0.00	0.00	7.09	7.09
133	59.45	3357-3	0.00	415.04	0.00	7.00	7.00
134	59.72	9437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
135	60.34	9437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
136	60.37	9437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
137	60.58	2357-1	0.00	0.00	0.00	7.01	7.01
138	60.61	3001-1	0.00	21.98	0.00	7.00	7.00
139	61.09	2037-3	0.00	5.38	0.00	7.00	7.00
140	61.17	7437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
141	61.30	2357-1	0.00	2398.52	0.00	7.00	7.00
142	61.52	2321-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
143	61.89	2321-1	0.00	0.00	0.00	7.02	7.02
144	62.75	3037-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
145	62.85	1321-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
146	63.03	3037-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
147	63.14	3005-3	0.00	2.64	0.98	7.07	7.07
148	63.16	3500-1	0.19	0.00	0.00	7.02	7.02
149	63.19	3001-3	0.00	3.44	0.00	7.00	7.00
150	63.87	3500-1	0.13	0.00	0.00	7.01	7.01
151	64.09	2037-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
152	64.31	4405-2	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
153	64.60	4425-1	0.00	780.80	0.00	7.00	7.00
154	65.81	1013-3	0.00	0.22	0.00	7.00	7.00
155	66.03	2321-3	0.05	0.00	0.00	7.01	7.01
156	66.72	2013-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
157	68.42	1037-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
158	68.42	1001-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
159	68.67	1177-1	0.20	0.00	0.00	7.02	7.02
160	68.89	2037-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
161	68.90	2001-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
162	68.95	2001-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
163	68.95	1001-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
164	69.06	2177-1	0.01	0.00	0.00	7.00	7.00
165	69.19	1-3	0.00	0.82	0.00	7.00	7.00
166	69.50	3017-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
167	69.57	1-3	0.00	165.35	0.00	7.00	7.00
168	70.41	2329-3	0.00	163.03	3.54	7.32	7.32
169	72.57	2017-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
170	73.65	3333-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
171	74.36	2321-1	0.00	1.34	0.07	7.01	7.01
172	75.04	1017-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
173	75.17	3321-1	0.00	66.37	0.00	7.00	7.00
174	75.31	2321-1	0.00	0.16	0.00	7.00	7.00
175	76.11	1321-1	0.00	3002.34	0.00	7.00	7.00
176	76.18	4437-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
177	76.21	2005-2	0.00	5.91	0.00	7.00	7.00
178	76.54	1321-1	0.00	104.41	0.00	7.00	7.00
179	76.55	2357-3	0.00	233.28	0.00	7.00	7.00
180	77.20	1357-3	0.00	44.73	0.00	7.00	7.00
181	77.35	2181-1	0.00	0.00	0.00	7.01	7.01
182	78.83	5437-3	0.00	0.06	0.00	7.00	7.00
183	78.86	6409-2	0.00	1533.00	0.00	7.00	7.00
184	78.89	2005-2	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
185	79.30	2037-3	0.02	0.00	0.00	7.05	7.05
186	79.81	8437-1	0.00	1.47	0.00	7.00	7.00
SUMMEN:			203752.14	136868.69	203750.19		
GESAMT-GEWICHTE:			203752.16	171870.89	203752.16		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1-1 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 8w x 8w (Fortsetzung)

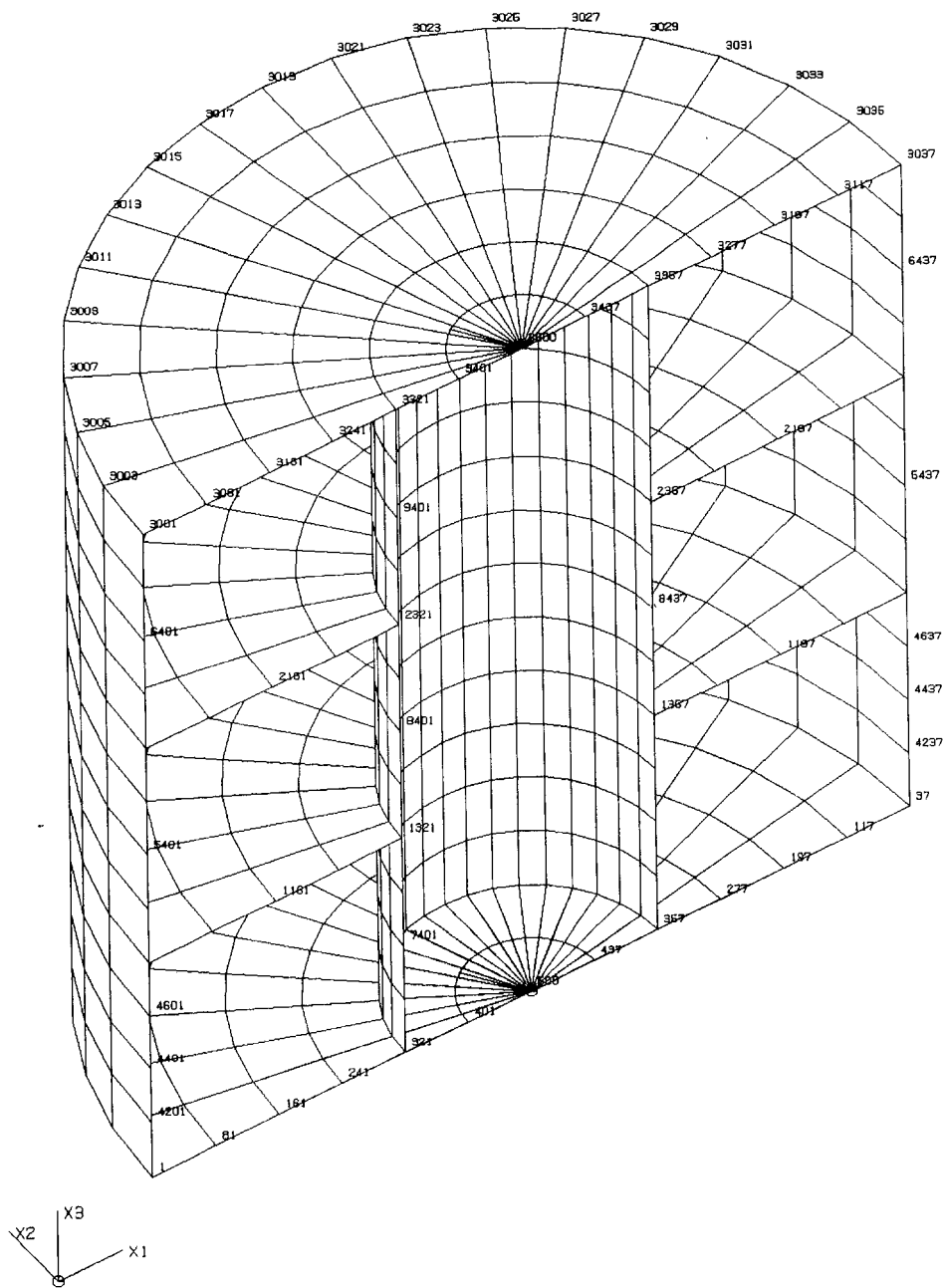


Fig. 1-2 Rechenmodell des axisymmetrischen Modellbauwerks
Diskretisierungsvariante $4w \times 4w$ (4 m x 4 m)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE GEWICHTE			DAEMPfung (%)	
			X1	X2	X3	MODAL	KTA
1	1.92	3500-1	149227.76	0.00	0.00	20.60	15.00
2	3.57	3139-3	0.00	8.02	204428.64	55.53	30.00
3	5.92	19-1	55319.23	0.00	0.00	40.21	15.00
4	10.70	3197-3	0.00	32.43	53.61	7.15	7.15
5	11.03	3161-3	320.77	0.00	0.00	7.65	7.65
6	11.63	2237-3	0.00	119.38	53.73	7.26	7.26
7	11.88	3161-3	0.00	345.35	49.30	7.19	7.19
8	11.93	3179-3	0.00	85.01	20.78	7.09	7.09
9	12.04	1161-3	47.01	0.00	0.00	7.13	7.13
10	12.14	2161-3	231.63	0.00	0.00	7.56	7.56
11	13.15	2161-3	0.00	116.93	0.05	7.00	7.00
12	13.20	1179-3	0.00	36.96	4.46	7.02	7.02
13	13.85	3500-3	0.00	313.50	803.20	9.89	9.89
14	14.13	3185-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
15	14.86	5401-1	0.00	39172.06	0.89	7.01	7.01
16	15.28	1201-3	99.80	0.00	0.00	7.85	7.85
17	15.33	1173-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
18	15.62	2173-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
19	16.26	6401-1	0.00	95.18	0.00	7.00	7.00
20	17.44	5401-1	0.00	173.13	0.00	7.00	7.00
21	17.49	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
22	17.73	5737-1	404.05	0.00	0.00	9.13	9.13
23	17.94	6419-2	0.00	270.34	0.16	7.00	7.00
24	18.04	6437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
25	18.69	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
26	18.83	4419-2	0.00	169.61	0.07	7.00	7.00
27	18.85	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
28	19.32	6401-1	0.00	8.09	0.00	7.00	7.00
29	19.52	3161-3	0.00	571.36	0.05	7.00	7.00
30	20.23	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
31	20.29	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
32	20.38	2179-3	0.00	4.46	0.02	7.00	7.00
33	20.54	5401-1	0.00	34.57	0.01	7.00	7.00
34	20.82	1197-3	0.00	28.47	0.01	7.00	7.00
35	20.92	4519-2	0.00	1189.93	2.54	7.03	7.03
36	21.40	3500-3	0.00	800.82	143.38	8.23	8.23
37	21.61	6437-1	107.26	0.00	0.00	7.84	7.84
38	21.66	5437-1	0.00	634.58	0.00	7.00	7.00
39	21.99	4401-1	0.00	134.65	0.00	7.00	7.00
40	22.09	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
41	23.07	4419-2	0.00	229.18	0.53	7.01	7.01
42	23.11	5337-1	34.49	0.00	0.00	7.30	7.30
43	23.24	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
44	23.63	5437-1	28.21	0.00	0.00	7.26	7.26
45	23.79	3121-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
46	24.12	5437-1	0.00	61.88	2.41	7.03	7.03
47	24.57	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
48	24.58	6419-2	0.00	3767.26	14.04	7.16	7.16
49	24.76	1161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
50	25.17	2161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
51	25.68	3500-3	0.00	26131.52	8.90	7.12	7.12
52	25.73	6419-2	0.00	5.26	0.00	7.00	7.00
53	26.11	4537-1	86.21	0.00	0.00	7.99	7.99
54	26.16	9519-2	0.00	1779.17	12.45	7.20	7.20
55	26.76	6419-2	0.00	11.09	0.00	7.00	7.00
56	27.13	9401-1	0.00	1008.78	1.45	7.03	7.03
57	27.93	4419-2	0.00	46.04	0.00	7.00	7.00
58	28.22	3241-3	22.97	0.00	0.00	7.48	7.48
59	29.25	7419-2	0.00	30.52	48.86	7.83	7.83
60	29.47	9437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 4w x 4w

61	29.47	3127-3	0.00	2.03	0.00	7.00	7.00
62	29.71	3241-3	0.00	7.27	128.37	9.12	9.12
63	30.09	8437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
64	30.13	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
65	30.53	1139-3	0.00	0.05	0.00	7.00	7.00
66	30.98	2157-3	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
67	31.01	3500-3	0.00	2346.44	48.99	7.88	7.88
68	31.02	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
69	31.28	2241-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
70	31.67	3259-3	0.00	3320.86	0.00	7.00	7.00
71	31.71	7437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
72	32.05	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
73	32.31	3277-3	0.08	0.00	0.00	7.11	7.11
74	32.40	2259-3	0.00	877.29	0.35	7.03	7.03
75	32.49	3241-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
76	32.76	3277-3	0.00	181.09	3.68	7.09	7.09
77	33.42	3500-3	0.00	14.41	0.89	7.02	7.02
78	33.61	1277-3	0.30	0.00	0.00	7.05	7.05
79	33.62	6119-2	0.00	56.98	3.80	7.09	7.09
80	33.94	5237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
81	34.70	7419-2	0.00	0.05	0.31	7.01	7.01
82	35.21	6437-1	0.00	0.82	0.00	7.00	7.00
83	35.25	6501-1	0.12	0.00	0.00	7.16	7.16
84	35.35	4719-2	0.00	5276.32	17.58	7.45	7.45
85	35.93	3157-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
86	35.93	6201-1	0.00	2.21	0.00	7.00	7.00
87	35.96	5419-2	0.00	5.56	0.00	7.00	7.00
88	36.49	8437-1	0.00	339.26	0.72	7.03	7.03
89	36.86	4401-1	0.00	17.80	0.00	7.00	7.00
90	37.00	2241-3	0.00	905.42	0.01	7.00	7.00
91	37.09	1157-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
92	37.41	5201-1	0.00	2.09	0.00	7.00	7.00
93	37.43	1277-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
94	37.70	2157-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
95	37.73	3401-3	0.45	0.00	0.00	7.02	7.02
96	37.93	3253-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
97	38.81	6237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
98	38.93	2241-3	0.06	0.00	0.00	7.01	7.01
99	39.55	1259-3	0.00	14830.60	11.36	7.44	7.44
100	39.56	2277-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
101	40.21	5237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
102	40.42	4619-2	0.00	61.35	1.00	7.04	7.04
103	40.50	3500-3	0.00	476.06	15.13	7.61	7.61
104	40.85	1253-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
105	40.91	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
106	40.93	3401-3	0.82	0.00	0.00	7.03	7.03
107	41.47	4637-1	0.00	631.54	0.89	7.03	7.03
108	41.54	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
109	41.60	9301-1	1.48	0.00	0.00	7.07	7.07
110	41.66	3268-3	0.00	1.65	0.00	7.00	7.00
111	41.80	6619-2	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
112	41.97	1259-3	0.00	2952.35	1.48	7.08	7.08
113	42.33	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
114	42.60	9401-1	0.09	0.00	0.00	7.01	7.01
115	42.81	3139-3	0.00	0.16	0.00	7.00	7.00
116	43.05	5601-1	0.00	0.37	0.00	7.00	7.00
117	43.13	4601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
118	43.20	8419-2	0.00	275.72	3.29	7.14	7.14
119	43.20	8401-1	0.00	43.51	2.89	7.12	7.12
120	43.31	8437-1	0.59	0.00	0.00	7.02	7.02
121	44.06	5337-1	0.00	3104.31	5.43	7.21	7.21
122	44.12	1121-3	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
123	44.38	1268-3	0.00	8.60	0.01	7.00	7.00
124	44.50	2253-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
125	45.09	4219-2	0.00	853.96	0.18	7.01	7.01

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 4w x 4w (Fortsetzung)

126	45.12	2139-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
127	45.35	6601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
128	45.64	4619-2	0.00	1.51	0.00	7.00	7.00
129	45.66	4637-1	3.33	0.00	0.00	7.16	7.16
130	45.90	9437-1	0.00	303.96	0.00	7.00	7.00
131	46.05	5537-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
132	46.20	8419-2	0.00	30.85	0.00	7.00	7.00
133	46.28	5637-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
134	46.72	7401-1	0.00	35.40	0.00	7.00	7.00
135	46.94	7437-1	3.04	0.00	0.00	7.12	7.12
136	47.21	6401-1	0.00	0.52	0.00	7.00	7.00
137	47.28	3500-3	0.00	362.69	4.70	7.23	7.23
138	47.73	5401-1	0.00	3.82	0.00	7.00	7.00
139	48.05	3201-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
140	48.44	4419-2	0.00	7.10	0.00	7.00	7.00
141	48.57	4637-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
142	48.87	8601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
143	49.03	6319-2	0.00	1403.72	6.10	7.28	7.28
144	49.47	3117-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
145	49.85	6237-1	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
146	50.16	2241-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
147	50.19	5619-2	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
148	50.58	3401-3	0.02	0.00	0.00	7.01	7.01
149	50.75	9601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
150	50.91	1241-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
151	51.09	1085-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
152	51.95	3059-1	0.72	0.00	0.00	7.11	7.11
153	52.11	4601-1	0.00	0.31	0.00	7.00	7.00
154	52.61	3500-3	0.00	499.82	17.66	7.92	7.92
155	52.99	2125-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
156	53.19	1253-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
157	53.34	6431-2	0.00	1524.00	0.58	7.05	7.05
158	54.09	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
159	54.50	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
160	54.98	5737-1	0.00	587.98	0.00	7.00	7.00
161	55.04	3157-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
162	55.09	3250-3	0.00	98.44	0.00	7.00	7.00
163	55.16	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
164	55.32	3213-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
165	55.56	6601-1	0.00	0.02	0.00	7.00	7.00
166	55.88	8619-2	0.00	12207.95	0.01	7.00	7.00
167	55.93	2121-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
168	56.65	9619-2	0.00	246.25	0.02	7.00	7.00
169	56.77	4601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
170	57.18	5619-2	0.00	0.02	0.00	7.00	7.00
171	57.47	2231-3	0.00	0.28	0.00	7.00	7.00
172	57.76	8201-1	0.00	1345.94	0.05	7.01	7.01
173	57.98	3317-3	0.04	0.00	0.00	7.01	7.01
174	58.23	8237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
175	58.26	1231-3	0.00	0.34	0.00	7.00	7.00
176	59.01	6701-1	0.00	0.60	0.00	7.00	7.00
177	59.31	9237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
178	59.31	7619-2	0.00	419.43	0.13	7.02	7.02
179	59.84	2281-3	0.00	2.91	1.21	7.08	7.08
180	59.91	4619-2	0.00	0.04	0.00	7.00	7.00
181	60.21	7637-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
182	60.74	1317-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
183	61.52	6419-2	0.00	0.46	0.00	7.00	7.00
184	61.60	6601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
185	61.76	3081-3	0.00	0.02	0.00	7.00	7.00
186	61.83	5419-2	0.00	2.74	0.00	7.00	7.00
187	62.07	5701-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
188	62.15	3281-3	0.00	122.46	0.16	7.02	7.02
189	62.46	4419-2	0.00	2.98	0.00	7.00	7.00
190	62.48	3441-3	0.10	0.00	0.00	7.26	7.26

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 4w x 4w (Fortsetzung)

191	62.92	5637-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
192	63.00	1277-3	0.00	34.77	0.40	7.05	7.05
193	63.48	9219-2	0.00	133.12	1.33	7.17	7.17
194	63.50	2139-3	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
195	63.55	8601-1	0.02	0.00	0.00	7.01	7.01
196	63.79	3237-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
197	64.16	9201-1	0.02	0.00	0.00	7.01	7.01
198	64.20	1139-3	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
199	64.23	3299-3	0.00	131.57	0.12	7.01	7.01
200	64.46	3265-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
201	64.64	3500-3	0.00	854.27	1.33	7.15	7.15
202	65.44	4119-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
203	65.58	9401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
204	65.87	2237-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
205	66.16	8401-1	0.00	52.37	1.07	7.11	7.11
206	66.34	8437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
207	66.36	7601-1	0.13	0.00	0.00	7.02	7.02
208	66.44	8437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
209	66.74	3500-3	0.00	0.02	0.10	7.05	7.05
210	66.79	5401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
211	66.90	1237-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
212	66.91	3379-3	0.00	1040.35	0.00	7.00	7.00
213	66.92	9401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
214	67.22	3361-3	0.00	90.23	0.01	7.01	7.01
215	67.28	7437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
216	67.82	5701-1	0.00	108.64	0.00	7.00	7.00
217	67.92	8201-1	0.00	34.17	0.00	7.00	7.00
218	67.98	6601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
219	68.05	6737-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
220	68.74	9219-2	0.00	1.77	0.00	7.00	7.00
221	68.97	5601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
222	69.25	3305-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
223	69.49	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
224	69.51	7419-2	0.00	6412.56	0.07	7.01	7.01
225	69.71	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
226	70.05	9519-2	0.00	383.98	0.10	7.02	7.02
227	70.07	8419-2	0.00	332.23	0.12	7.02	7.02
228	70.33	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
229	70.71	3081-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
230	70.73	7519-2	0.00	616.23	0.87	7.08	7.08
231	70.89	7601-1	0.24	0.00	0.00	7.04	7.04
232	70.91	7637-1	0.00	0.21	0.00	7.00	7.00
233	71.06	6737-1	0.00	0.03	0.00	7.00	7.00
234	71.22	3419-3	0.00	344.66	0.00	7.00	7.00
235	71.39	4117-5	0.00	0.03	0.00	7.00	7.00
236	71.47	7319-2	0.00	43.13	1.59	7.20	7.20
237	71.50	4701-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
238	71.88	2241-3	0.10	0.00	0.00	7.01	7.01
239	72.36	3419-3	0.00	50.33	0.00	7.00	7.00
240	72.62	2081-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
241	72.65	3500-1	0.01	0.00	0.00	7.00	7.00
242	72.71	8601-1	0.00	316.35	0.22	7.02	7.02
243	72.94	3219-3	0.00	0.65	0.00	7.00	7.00
244	73.00	5737-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
245	73.05	3281-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
246	73.29	1117-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
247	73.32	9601-1	0.00	16.34	0.01	7.00	7.00
248	73.86	2305-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
249	74.20	7619-2	0.00	39.31	0.30	7.04	7.04
250	74.39	3308-3	0.00	0.87	0.04	7.00	7.00
251	74.67	1219-3	0.00	2.65	0.00	7.00	7.00
252	74.77	9301-1	0.23	0.00	0.00	7.02	7.02
253	74.78	1277-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
254	74.81	6419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
255	74.90	3419-3	0.00	678.81	0.01	7.00	7.00

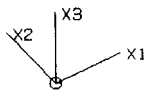
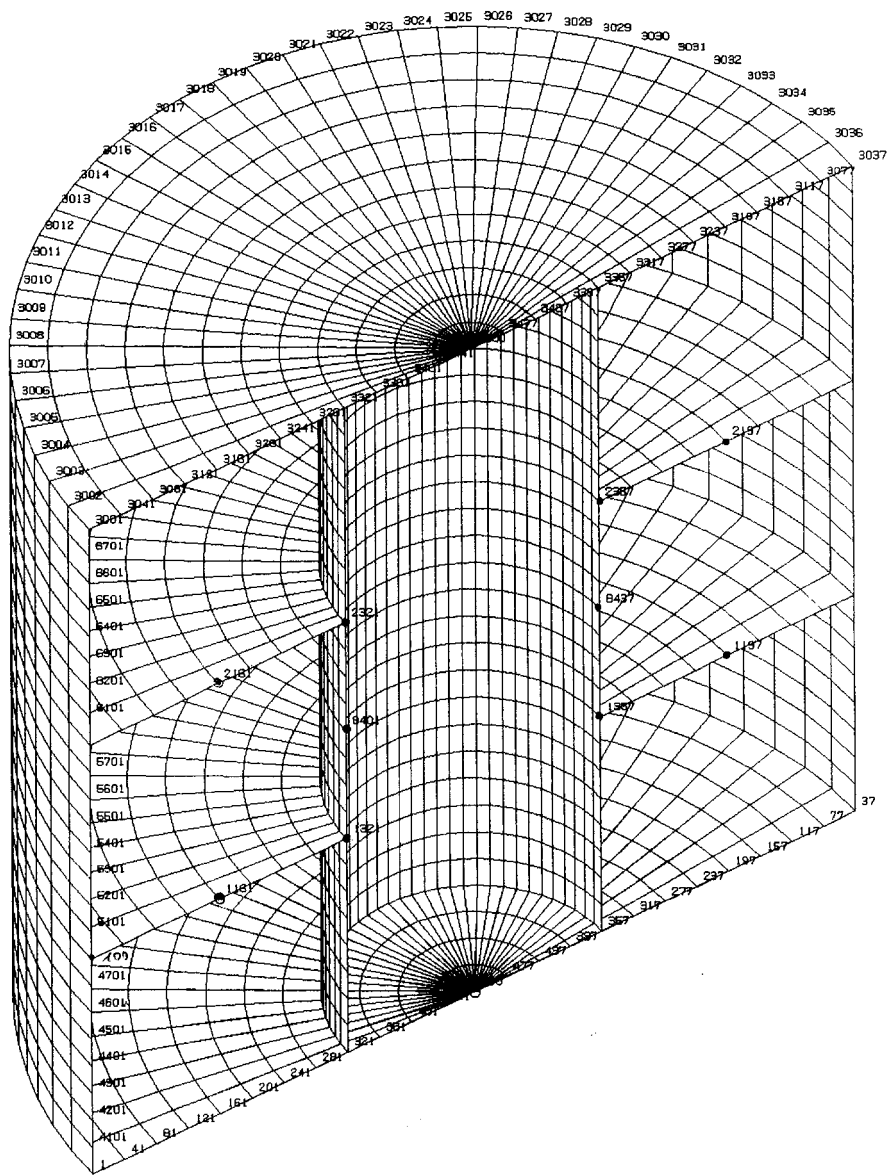
Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung $4w \times 4w$ (Fortsetzung)

256	75.48	4237-1	0.00	0.08	0.00	7.00	7.00
257	75.50	5719-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
258	76.04	6437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
259	76.15	4719-2	0.00	12.28	0.00	7.00	7.00
260	76.43	1201-3	0.00	1.16	0.00	7.00	7.00
261	76.66	6419-2	0.00	9.95	0.02	7.01	7.01
262	76.73	3500-1	0.02	0.00	0.00	7.00	7.00
263	77.05	8319-2	0.00	6.02	0.09	7.03	7.03
264	77.15	1305-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
265	77.48	3500-3	0.00	589.66	0.00	7.01	7.01
266	77.82	8637-1	0.06	0.00	0.00	7.07	7.07
267	77.90	4119-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
268	77.98	6437-1	0.00	0.88	0.00	7.00	7.00
269	78.14	3271-3	0.00	3.11	0.00	7.00	7.00
270	78.14	5437-1	0.00	1.51	0.00	7.00	7.00
271	78.30	3001-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
272	78.53	1201-3	0.00	21.76	0.00	7.00	7.00
273	78.75	4419-2	0.00	1.25	0.00	7.00	7.00
274	78.84	1179-1	0.09	0.00	0.00	7.02	7.02
275	79.17	2299-3	0.00	393.48	0.00	7.00	7.00
276	79.63	8401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
SUMMEN:			205941.52	145985.06	205934.32		

GESAMT-GEWICHTE:			205941.80	200291.16	205941.80		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung $4w \times 4w$ (Fortsetzung)



Tab. 1-3 Rechenmodell des axisymmetrischen Modellbauwerks
 Diskretisierungsvariante $2w \times 2w$ (2 m x 2 m)

MODE NR	FREQUENZ (HZ)	MAX DOF	MODALE			DAEMPfung (%)	
			X1	GEWICHTE X2	X3	MODAL	KTA
1	1.92	3500-1	148804.31	0.00	0.00	20.58	15.00
2	3.55	3179-3	0.00	8.69	203832.49	54.95	30.00
3	5.92	19-1	55338.01	0.00	0.00	40.22	15.00
4	10.54	3161-3	0.00	27.13	51.91	7.14	7.14
5	10.96	3197-3	311.58	0.00	0.00	7.63	7.63
6	11.52	2197-3	0.00	97.95	62.24	7.29	7.29
7	11.77	1197-3	0.00	124.37	87.61	7.35	7.35
8	11.97	1161-3	45.75	0.00	0.00	7.12	7.12
9	12.00	3179-3	0.00	375.15	0.08	7.00	7.00
10	12.06	2161-3	228.82	0.00	0.00	7.55	7.55
11	13.22	2161-3	0.00	107.06	0.13	7.00	7.00
12	13.26	1179-3	0.00	36.49	11.98	7.04	7.04
13	13.62	3500-3	0.00	321.58	870.05	10.05	10.05
14	14.30	3161-3	0.00	0.01	0.01	7.00	7.00
15	14.82	5437-1	0.00	38501.23	1.24	7.01	7.01
16	15.25	3500-1	97.60	0.00	0.00	7.83	7.83
17	15.48	1173-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
18	15.80	2185-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
19	16.38	6419-2	0.00	98.30	0.00	7.00	7.00
20	17.47	5437-1	0.00	207.97	0.00	7.00	7.00
21	17.63	2197-1	407.19	0.00	0.00	9.12	9.12
22	17.66	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
23	17.86	5401-1	0.00	0.02	0.00	7.00	7.00
24	17.86	6401-1	0.00	292.61	0.39	7.00	7.00
25	18.75	5401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
26	18.78	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
27	18.91	4419-2	0.00	305.24	0.18	7.00	7.00
28	19.52	6437-1	0.00	7.82	0.00	7.00	7.00
29	19.60	3161-3	0.00	355.61	0.01	7.00	7.00
30	20.19	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
31	20.21	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
32	20.59	2179-3	0.00	3.04	0.14	7.00	7.00
33	20.66	5401-1	0.00	31.08	0.02	7.00	7.00
34	20.71	4419-2	0.00	838.81	2.61	7.03	7.03
35	21.09	1197-3	0.00	6.43	0.22	7.00	7.00
36	21.14	3500-3	0.01	804.55	160.07	8.35	8.35
37	21.20	5437-1	0.01	1140.58	1.06	7.01	7.01
38	21.24	6437-1	83.14	0.51	0.03	7.63	7.63
39	22.01	4437-1	0.00	117.92	0.01	7.00	7.00
40	22.29	6437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
41	22.55	5401-1	31.55	0.01	0.00	7.27	7.27
42	22.68	4419-2	0.00	221.36	0.92	7.01	7.01
43	23.03	5437-1	40.68	0.00	0.00	7.36	7.36
44	23.36	5401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
45	23.44	5437-1	0.00	26.52	3.15	7.03	7.03
46	23.95	6419-2	0.00	2184.39	20.52	7.23	7.23
47	24.12	3161-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
48	24.57	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
49	25.13	1161-3	0.00	2.42	0.00	7.00	7.00
50	25.15	3500-3	0.00	26729.55	4.04	7.06	7.06
51	25.55	2161-3	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
52	25.59	4437-1	118.63	0.00	0.00	8.29	8.29
53	25.88	6419-2	0.00	3.00	0.00	7.00	7.00
54	26.04	9419-2	0.00	1435.55	20.66	7.32	7.32
55	26.79	5401-1	0.00	12.82	0.00	7.00	7.00
56	26.99	9401-1	0.00	1148.43	4.20	7.07	7.07
57	27.84	4419-2	0.00	39.55	0.01	7.00	7.00
58	27.94	3277-3	14.63	0.01	0.00	7.33	7.33
59	28.73	3259-3	0.00	90.86	182.68	9.92	9.92
60	29.25	7437-1	0.00	34.41	30.67	7.49	7.49

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung 2w x 2w

61	29.69	9437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
62	29.86	3167-3	0.00	1.48	0.00	7.00	7.00
63	30.13	6437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
64	30.14	8401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
65	30.44	1277-3	0.34	0.31	0.00	7.01	7.01
66	30.50	1255-3	0.00	1007.72	22.86	7.39	7.39
67	30.86	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
68	30.92	3241-3	0.00	3189.35	0.09	7.00	7.00
69	30.93	1197-3	0.00	0.02	0.00	7.00	7.00
70	31.38	2185-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
71	31.61	3500-3	0.00	1599.99	15.15	7.30	7.30
72	31.71	7401-1	0.00	0.07	0.01	7.00	7.00
73	31.73	3277-3	0.00	3.62	14.89	7.29	7.29
74	31.74	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
75	31.75	3241-3	0.16	1.49	0.16	7.12	7.12
76	32.49	3241-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
77	32.61	3500-3	0.00	5.36	4.47	7.09	7.09
78	32.76	6619-2	0.00	109.83	5.96	7.14	7.14
79	32.89	1241-3	0.39	0.00	0.00	7.05	7.05
80	33.48	5237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
81	33.77	7419-2	0.00	3.44	0.04	7.00	7.00
82	34.16	4619-2	0.00	4977.92	26.23	7.64	7.64
83	34.71	6401-1	0.11	0.02	0.00	7.13	7.13
84	34.91	6401-1	0.00	1.55	0.00	7.00	7.00
85	35.46	5419-2	0.00	6.63	0.00	7.00	7.00
86	35.64	6219-2	0.00	2.72	0.00	7.00	7.00
87	35.85	8437-1	0.00	339.59	1.15	7.05	7.05
88	36.19	4401-1	0.00	13.85	0.00	7.00	7.00
89	36.31	3117-3	0.00	0.06	0.00	7.00	7.00
90	36.38	2259-3	0.00	986.72	0.00	7.00	7.00
91	36.71	3437-3	0.51	0.41	0.00	7.02	7.02
92	36.73	5637-1	0.07	1.51	0.00	7.00	7.00
93	36.74	4637-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
94	37.24	3265-3	0.00	0.32	0.00	7.00	7.00
95	37.44	1117-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
96	37.86	2241-3	0.06	0.05	0.00	7.00	7.00
97	38.01	2197-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
98	38.11	1259-3	0.00	13138.35	15.36	7.58	7.58
99	38.40	6601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
100	38.79	3500-3	0.00	481.90	14.87	7.56	7.56
101	38.83	2241-3	0.00	1.94	0.07	7.00	7.00
102	39.29	3437-3	1.55	0.10	0.01	7.05	7.05
103	39.32	5237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
104	39.44	4637-1	0.00	4.43	0.00	7.00	7.00
105	39.76	4601-1	0.00	2340.91	0.85	7.02	7.02
106	40.07	1265-3	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
107	40.07	6437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
108	40.38	6237-1	1.49	1.45	0.00	7.07	7.07
109	40.46	1259-3	0.00	3777.54	4.05	7.18	7.18
110	40.46	5401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
111	41.07	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
112	41.15	9437-1	0.05	0.06	0.00	7.01	7.01
113	41.31	6601-1	0.00	0.27	0.00	7.00	7.00
114	41.57	3241-3	0.00	838.01	9.40	7.38	7.38
115	41.60	3259-3	0.00	133.65	1.24	7.05	7.05
116	41.73	4601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
117	41.91	5619-2	0.00	0.06	0.00	7.00	7.00
118	42.12	8437-1	1.12	0.02	0.00	7.03	7.03
119	42.23	5637-1	0.00	1419.40	1.15	7.04	7.04
120	42.99	8401-1	0.00	16.25	0.00	7.00	7.00
121	43.04	3081-3	0.00	0.19	0.00	7.00	7.00
122	43.31	4219-2	0.00	1632.70	0.00	7.02	7.02
123	43.44	4201-1	1.14	0.11	0.00	7.07	7.07
124	43.52	2241-3	0.00	1.40	0.00	7.00	7.00
125	43.91	1277-3	0.00	19.16	0.00	7.00	7.00

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung $2w \times 2w$ (Fortsetzung)

126	44.00	4619-2	0.00	1.32	0.00	7.00	7.00
127	44.22	1099-3	0.00	0.03	0.00	7.00	7.00
128	44.55	6419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
129	44.80	5419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
130	44.88	2037-1	0.00	0.02	0.00	7.00	7.00
131	45.12	2099-3	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
132	45.25	4201-1	0.00	969.15	5.25	7.23	7.23
133	45.45	6401-1	0.00	2.18	0.00	7.00	7.00
134	45.58	9401-1	0.00	251.32	0.00	7.00	7.00
135	45.73	5401-1	0.00	3.96	0.00	7.00	7.00
136	45.75	8437-1	0.00	72.36	0.00	7.00	7.00
137	45.88	7437-1	5.11	0.03	0.00	7.20	7.20
138	46.25	4401-1	0.00	4.08	0.00	7.00	7.00
139	46.25	7437-1	0.00	74.51	0.00	7.00	7.00
140	46.39	3241-3	0.00	913.58	6.21	7.27	7.27
141	46.61	4419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
142	47.38	8601-1	0.00	0.04	0.00	7.00	7.00
143	47.82	3241-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
144	47.99	6435-4	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
145	48.51	3437-3	0.11	0.02	0.00	7.01	7.01
146	48.59	5403-4	0.00	0.03	0.00	7.00	7.00
147	49.08	6419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
148	49.29	3037-1	0.00	0.10	0.00	7.00	7.00
149	49.54	2241-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
150	49.74	4403-4	0.00	0.23	0.00	7.00	7.00
151	50.06	1277-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
152	50.08	5419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
153	50.84	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
154	51.06	5401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
155	51.16	3500-3	0.00	467.00	17.52	7.90	7.90
156	51.22	3019-1	0.63	0.22	0.01	7.09	7.09
157	51.51	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
158	51.86	4419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
159	52.05	8619-2	0.00	199.42	2.89	7.15	7.15
160	52.09	4625-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
161	52.48	3081-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
162	53.12	5401-1	0.00	444.56	0.00	7.00	7.00
163	53.65	3019-3	0.00	135.87	0.00	7.00	7.00
164	53.78	9619-2	0.00	2004.39	0.00	7.00	7.00
165	53.81	6417-5	0.00	0.03	0.00	7.00	7.00
166	53.81	2081-3	0.00	0.10	0.00	7.00	7.00
167	54.26	8601-1	0.00	7039.20	0.00	7.01	7.01
168	54.36	5403-4	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
169	54.44	1081-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
170	54.85	3259-3	0.00	0.30	0.00	7.00	7.00
171	55.04	3161-3	0.01	0.07	0.00	7.00	7.00
172	55.16	3257-3	0.00	77.50	0.75	7.04	7.04
173	55.29	7637-1	0.00	1839.43	0.01	7.00	7.00
174	55.90	8237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
175	55.98	4417-5	0.00	0.04	0.00	7.00	7.00
176	56.00	6437-1	0.00	3.16	0.00	7.00	7.00
177	56.20	5437-1	0.00	1.27	0.00	7.00	7.00
178	56.26	1161-3	0.09	0.11	0.00	7.01	7.01
179	56.39	2247-3	0.00	0.02	0.00	7.00	7.00
180	56.45	7619-2	0.00	3353.61	0.05	7.01	7.01
181	56.59	4419-2	0.00	1.25	0.00	7.00	7.00
182	56.60	6437-1	0.00	5.36	0.00	7.00	7.00
183	56.88	1259-3	0.00	0.18	0.00	7.00	7.00
184	56.90	9237-1	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
185	57.34	2241-3	0.00	230.13	0.05	7.01	7.01
186	57.88	7637-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
187	57.98	6419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
188	57.99	8601-1	0.01	0.00	0.00	7.00	7.00
189	58.54	5419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
190	58.64	2179-3	0.00	63.56	2.21	7.17	7.17

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung $2w \times 2w$ (Fortsetzung)

191	58.71	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
192	59.04	9201-1	0.01	0.53	0.01	7.00	7.00
193	59.15	3500-3	0.00	5.03	1.69	7.14	7.14
194	59.35	3179-3	0.00	1420.89	0.61	7.04	7.04
195	59.70	3081-3	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
196	59.73	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
197	59.80	7637-1	0.27	0.00	0.00	7.03	7.03
198	59.93	4419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
199	60.41	4201-1	0.00	96.75	0.00	7.00	7.00
200	60.62	1161-3	0.00	180.22	0.19	7.03	7.03
201	60.62	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
202	60.78	2197-3	0.00	264.48	0.22	7.02	7.02
203	60.80	5437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
204	60.98	6201-1	0.09	0.00	0.00	7.03	7.03
205	61.01	2117-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
206	61.14	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
207	61.24	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
208	61.31	9601-1	0.10	0.04	0.00	7.03	7.03
209	61.34	1117-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
210	61.78	4419-2	0.00	191.26	0.51	7.06	7.06
211	62.04	6417-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
212	62.11	1249-3	0.00	1.02	0.02	7.00	7.00
213	62.37	2179-3	0.00	336.71	0.00	7.00	7.00
214	62.42	3241-3	0.00	0.03	0.00	7.00	7.00
215	62.57	7637-1	0.09	0.08	0.00	7.02	7.02
216	62.61	5401-1	0.00	57.63	0.00	7.00	7.00
217	62.72	5403-4	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
218	62.73	3161-3	0.00	0.06	0.00	7.00	7.00
219	62.82	4237-1	0.06	0.26	0.00	7.07	7.07
220	62.89	6401-1	0.00	0.04	0.00	7.00	7.00
221	63.25	3419-3	0.00	363.51	0.18	7.03	7.03
222	63.43	3001-1	0.00	64.77	0.01	7.00	7.00
223	63.48	9237-1	0.01	7.99	0.01	7.03	7.03
224	63.50	5437-1	0.00	122.15	0.13	7.02	7.02
225	63.72	9437-1	0.00	407.40	0.09	7.01	7.01
226	63.83	4637-1	0.00	184.83	0.00	7.00	7.00
227	63.85	2241-3	0.00	0.10	0.00	7.00	7.00
228	63.91	4403-4	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
229	63.92	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
230	64.32	8219-2	0.00	41.98	0.42	7.07	7.07
231	64.34	6437-1	0.00	2.75	0.00	7.00	7.00
232	64.48	5437-1	0.00	0.39	0.00	7.00	7.00
233	64.49	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
234	64.51	1277-3	0.00	0.02	0.00	7.00	7.00
235	64.57	3037-3	0.00	0.27	0.00	7.00	7.00
236	64.64	3500-3	0.00	82.69	0.18	7.06	7.06
237	64.68	2241-3	0.00	0.04	0.00	7.00	7.00
238	64.78	4419-2	0.00	0.79	0.00	7.00	7.00
239	65.29	8237-1	0.00	36.42	0.00	7.00	7.00
240	65.33	1241-3	0.00	0.05	0.00	7.00	7.00
241	65.50	9601-1	0.00	120.69	0.03	7.01	7.01
242	65.73	3419-3	0.00	293.47	0.08	7.01	7.01
243	65.94	8437-1	0.00	0.44	0.00	7.00	7.00
244	66.02	6419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
245	66.03	5401-1	0.00	0.04	0.00	7.00	7.00
246	66.15	9401-1	0.00	0.17	0.00	7.00	7.00
247	66.32	7237-1	0.00	3.23	0.01	7.00	7.00
248	66.46	4419-2	0.00	2.86	0.00	7.00	7.00
249	66.51	7419-2	0.00	6509.01	0.11	7.01	7.01
250	66.66	7437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
251	66.73	5401-1	0.00	0.02	0.00	7.00	7.00
252	66.76	5419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
253	66.77	9201-1	0.00	8.71	0.00	7.00	7.00
254	66.77	6401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
255	66.88	5401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung $2w \times 2w$ (Fortsetzung)

256	67.15	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
257	67.20	8405-4	0.00	5.00	0.00	7.00	7.00
258	67.35	3117-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
259	67.61	6437-1	0.00	1.23	0.00	7.00	7.00
260	67.69	6437-1	0.00	4.78	0.00	7.00	7.00
261	67.69	7401-1	0.00	561.05	0.44	7.04	7.04
262	67.71	5401-1	0.00	0.09	0.00	7.00	7.00
263	67.80	4419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
264	67.84	3241-3	0.01	0.03	0.00	7.07	7.07
265	67.91	7415-5	0.00	2.47	0.00	7.00	7.00
266	67.98	4437-1	0.00	0.39	0.00	7.00	7.00
267	68.02	2197-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
268	68.46	6419-2	0.00	8.75	0.00	7.00	7.00
269	68.65	2117-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
270	68.81	1117-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
271	68.83	7601-1	0.00	1.06	1.56	7.21	7.21
272	69.06	7423-5	0.00	27.73	1.11	7.15	7.15
273	69.11	4401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
274	69.26	5401-1	0.00	0.34	0.00	7.00	7.00
275	69.53	2241-3	0.00	5.03	0.04	7.00	7.00
276	69.77	6423-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
277	70.40	9437-1	0.20	0.00	0.00	7.02	7.02
278	70.50	5405-4	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
279	70.79	1277-3	0.00	1.73	0.00	7.00	7.00
280	70.91	4617-5	0.00	1.27	0.00	7.00	7.00
281	71.41	4405-4	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
282	71.50	5401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
283	71.57	1259-3	0.00	127.42	0.00	7.00	7.00
284	71.89	9401-1	0.00	4.35	0.32	7.04	7.04
285	72.03	9401-1	0.11	0.00	0.00	7.01	7.01
286	72.09	1277-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
287	72.17	3197-3	0.00	0.79	0.00	7.00	7.00
288	72.27	8437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
289	72.56	6619-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
290	72.82	8401-1	0.00	212.95	0.00	7.00	7.00
291	72.90	3037-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
292	73.08	6419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
293	73.46	2179-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
294	73.73	6419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
295	73.74	9419-2	0.00	172.29	0.00	7.00	7.00
296	73.82	1197-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
297	73.86	3241-3	0.00	0.10	0.00	7.00	7.00
298	73.88	4619-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
299	73.98	7437-1	0.03	0.00	0.00	7.00	7.00
300	74.21	6619-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
301	74.41	5617-5	0.00	2.71	0.00	7.00	7.00
302	74.52	4419-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
303	74.92	3099-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
304	74.98	7201-1	0.00	637.47	0.02	7.01	7.01
305	75.04	2277-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
306	75.21	3037-3	0.00	0.63	0.00	7.00	7.00
307	75.32	9219-2	0.00	179.68	0.26	7.03	7.03
308	75.48	3241-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
309	75.52	6617-5	0.00	0.05	0.00	7.00	7.00
310	75.70	6237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
311	75.71	9201-1	0.00	13.40	0.01	7.00	7.00
312	75.82	7401-1	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
313	75.97	7237-1	0.27	0.04	0.00	7.04	7.04
314	76.05	7219-2	0.00	1827.03	0.09	7.01	7.01
315	76.13	2081-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung $2w \times 2w$ (Fortsetzung)

316	76.22	1081-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
317	76.24	6637-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
318	76.38	1241-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
319	76.64	4401-1	0.00	0.18	0.00	7.00	7.00
320	76.73	8437-1	0.00	0.01	0.00	7.00	7.00
321	76.93	4237-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
322	77.01	1179-1	0.10	0.00	0.00	7.01	7.01
323	77.26	5619-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
324	77.39	5601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
325	77.54	1277-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
326	77.84	6637-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
327	77.96	7437-1	0.00	10.25	0.04	7.04	7.04
328	77.97	5619-2	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
329	78.31	9637-1	0.00	0.00	0.00	7.01	7.01
330	78.35	6619-5	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
331	78.39	6601-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
332	78.41	2357-3	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
333	78.47	4201-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
334	78.91	8401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
335	79.00	4637-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
336	79.33	4437-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
337	79.98	9401-1	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00
SUMMEN:			205536.21	144581.00	205530.69		

GESAMT-GEWICHTE:			205536.32	194401.22	205536.32		

(GESAMT-GEWICHTE OHNE GEWICHTE FESTGEHALTENER FREIHEITSGRADE.)

Tab. 1-2 Axisymmetrisches Modellbauwerk
Eigenwerte bei Diskretisierung $2w \times 2w$ (Fortsetzung)

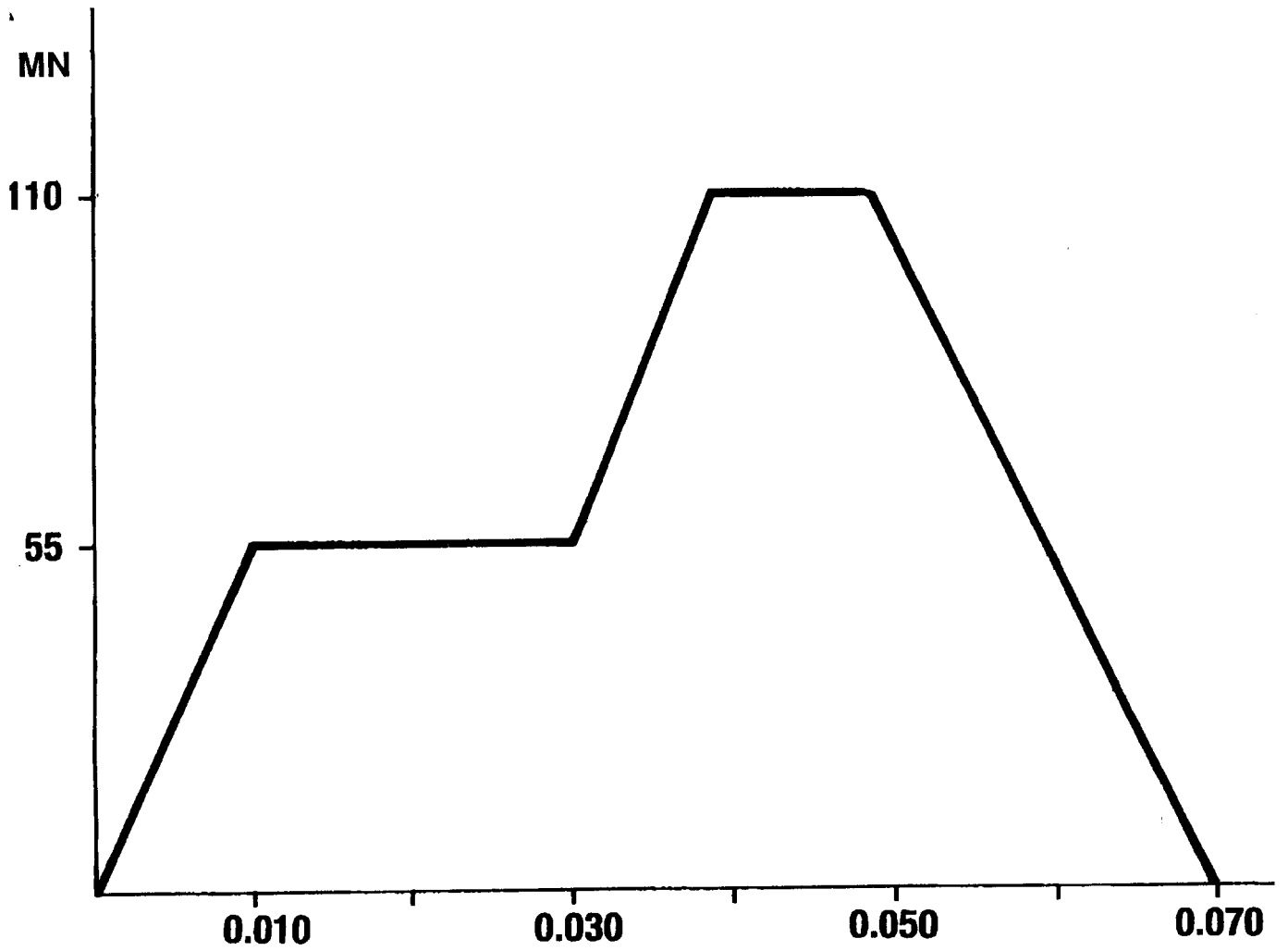


Fig. 1-4 Referenz-Stoßlastfunktion (RLF) [2-10]

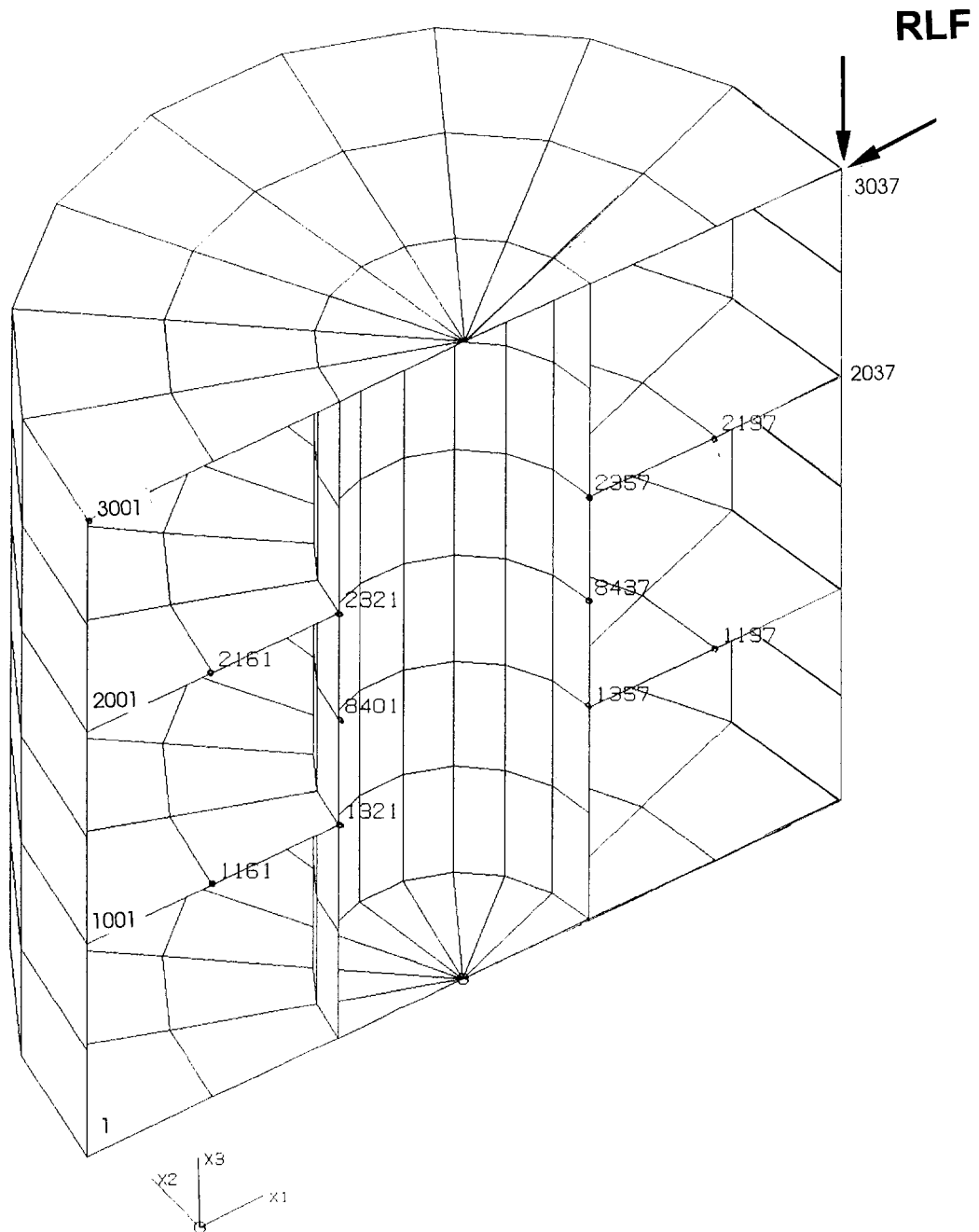


Fig. 1-5 Charakteristische Beobachtungspunkte
(Ausgabebereiche) von Strukturantworten

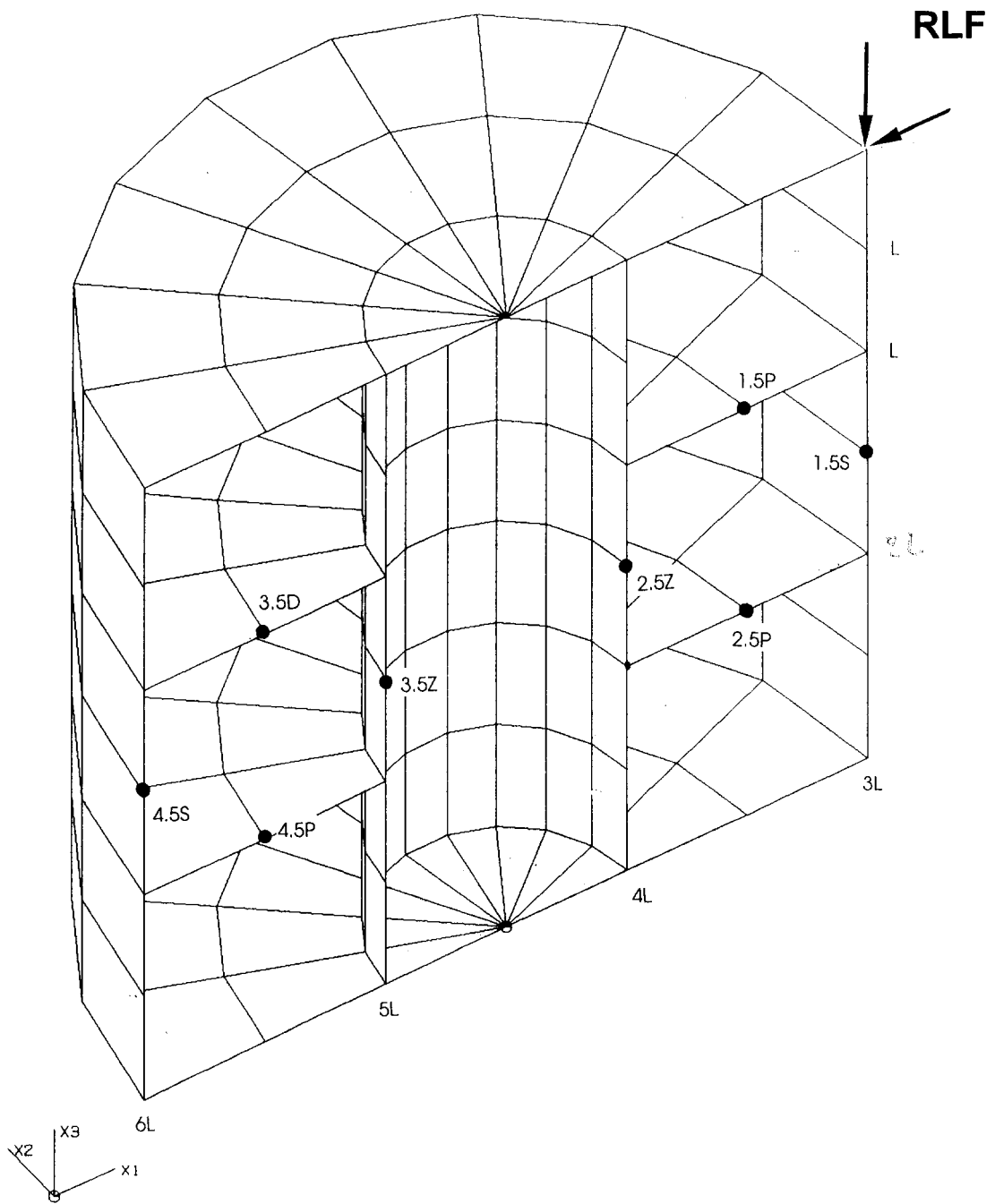


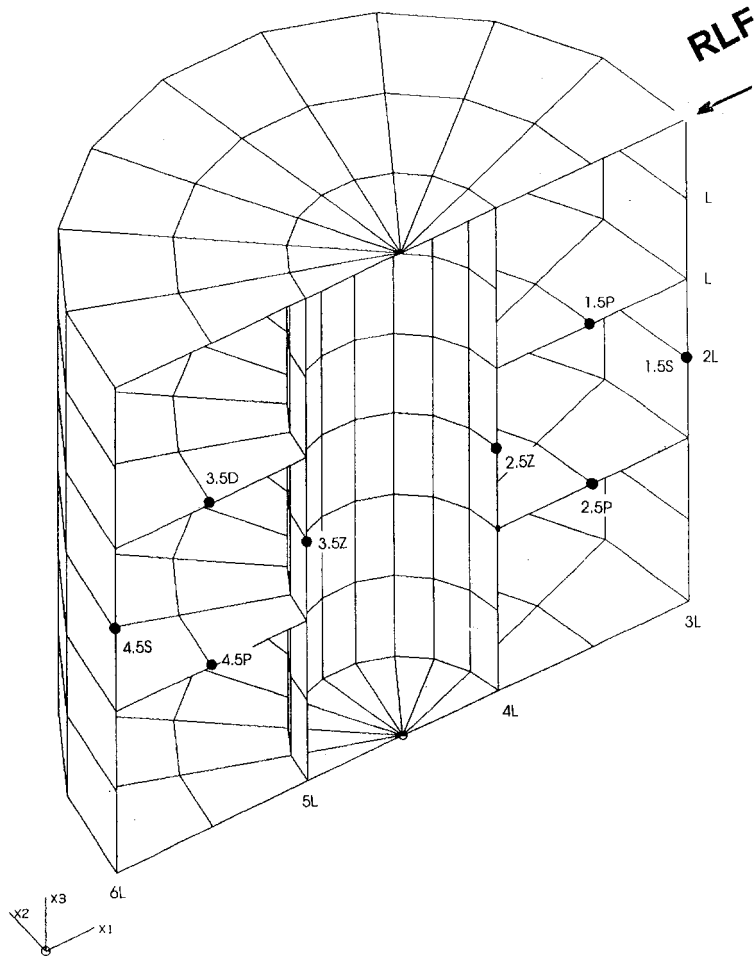
Fig. 1-6 Charakteristische Beobachtungspunkte
(Abstände in Moduleinheiten der Länge L)

Zwischenblatt

2

**Vergleich zeitabhängiger Verschiebungen in
den charakteristischen Beobachtungspunkten
des axisymmetrischen Modellbauwerks bei
Anwendung verschiedener Diskretisierungen**

2.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung

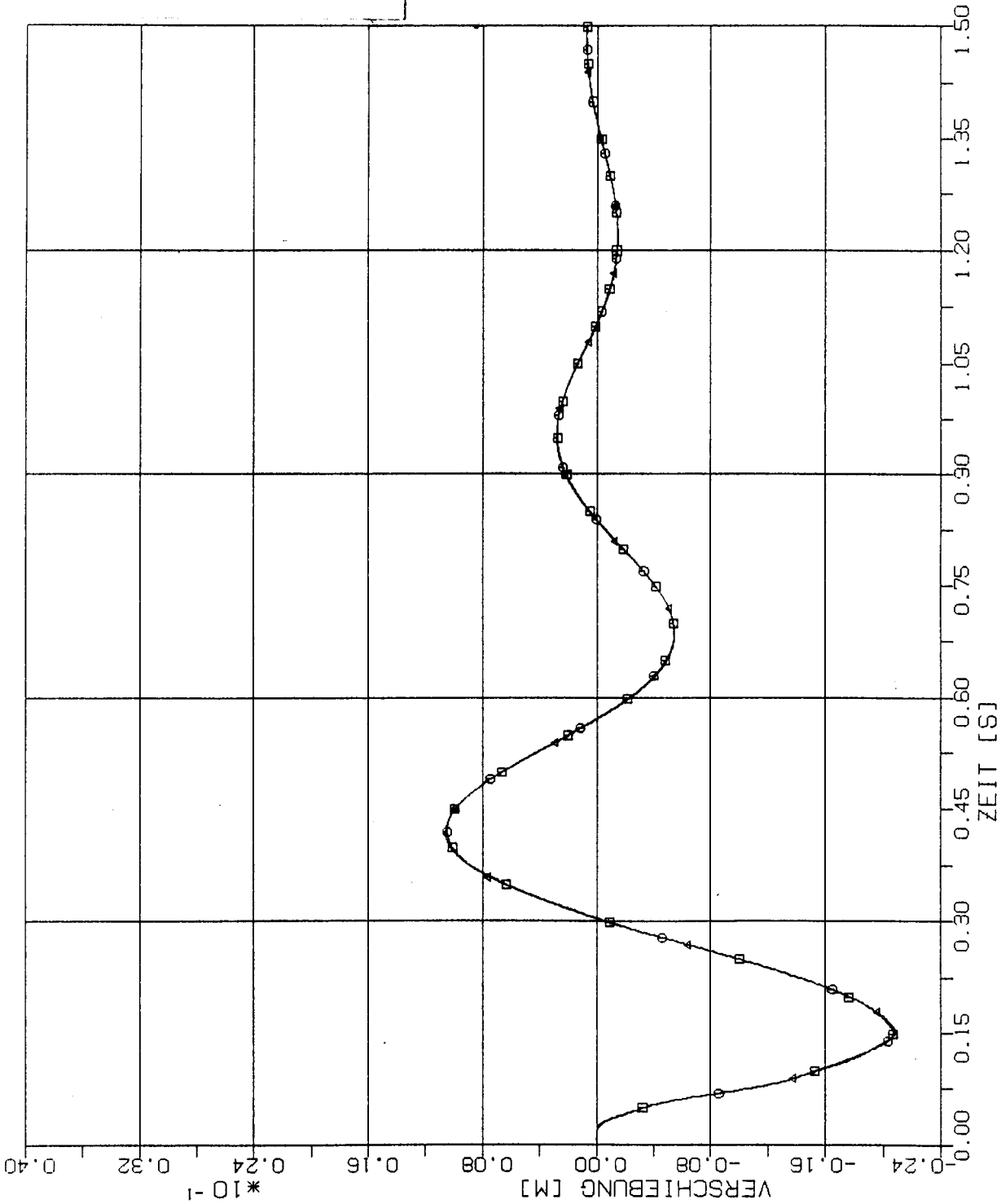


Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



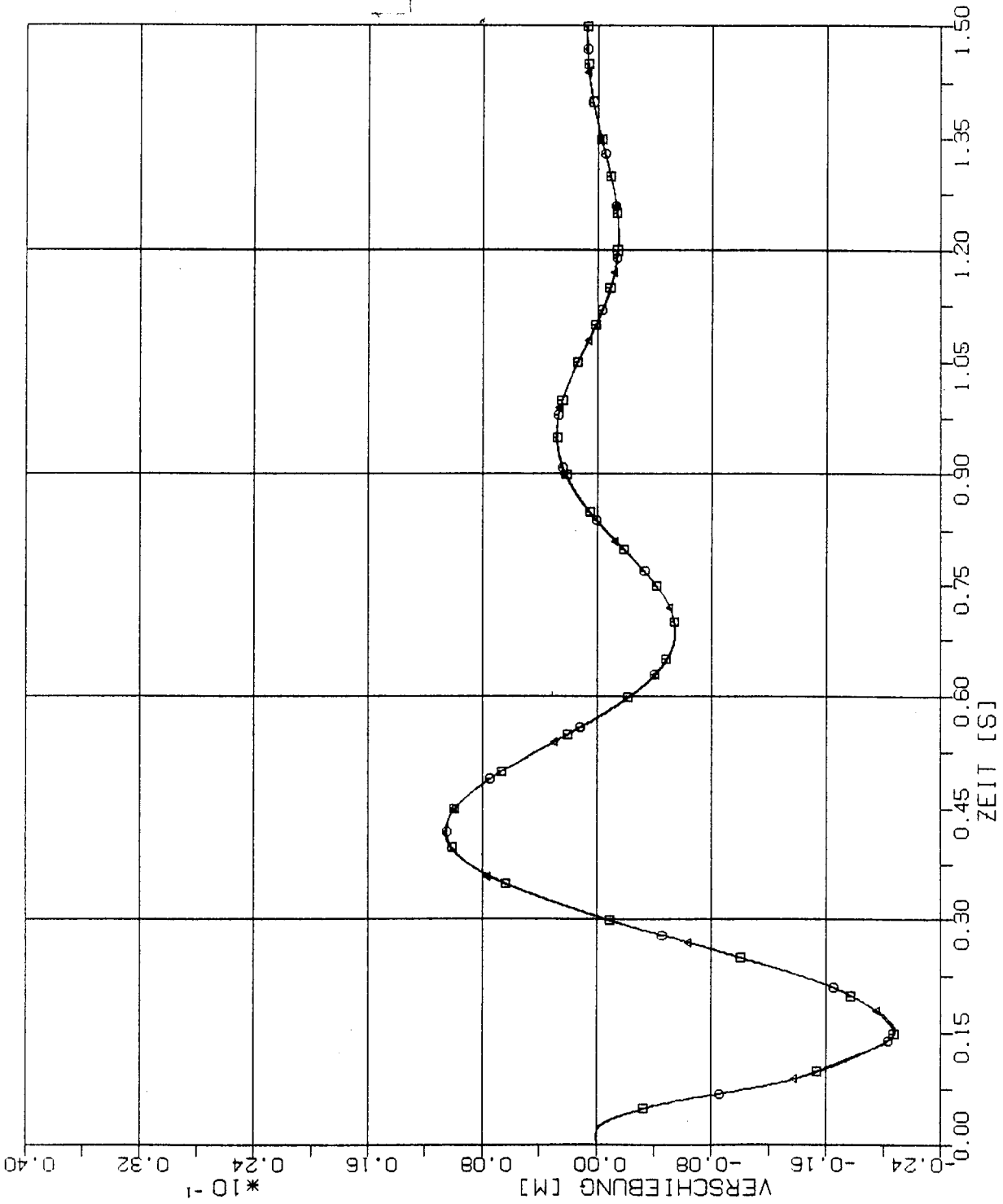
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1L(2037) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



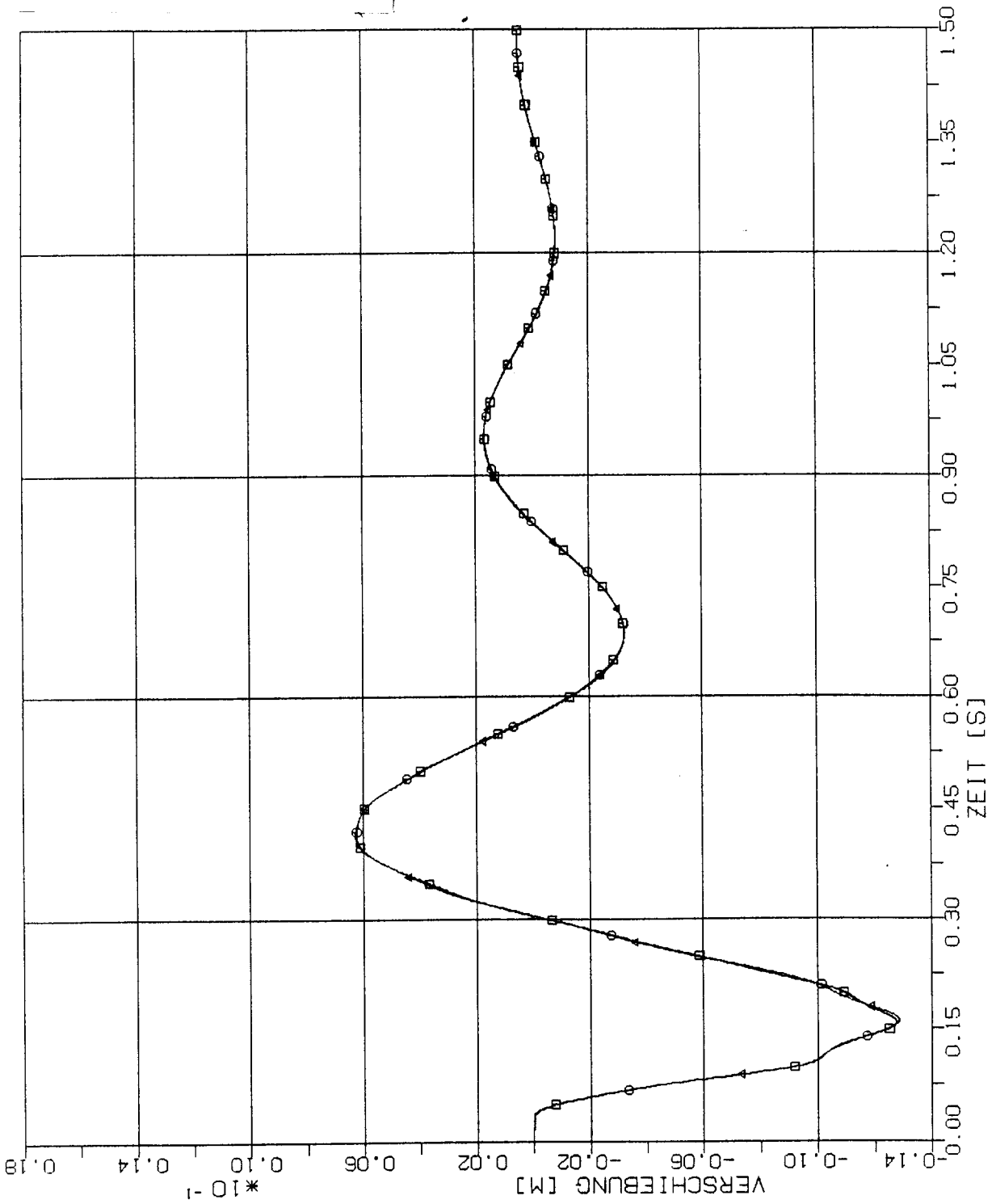
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 2L(2357) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

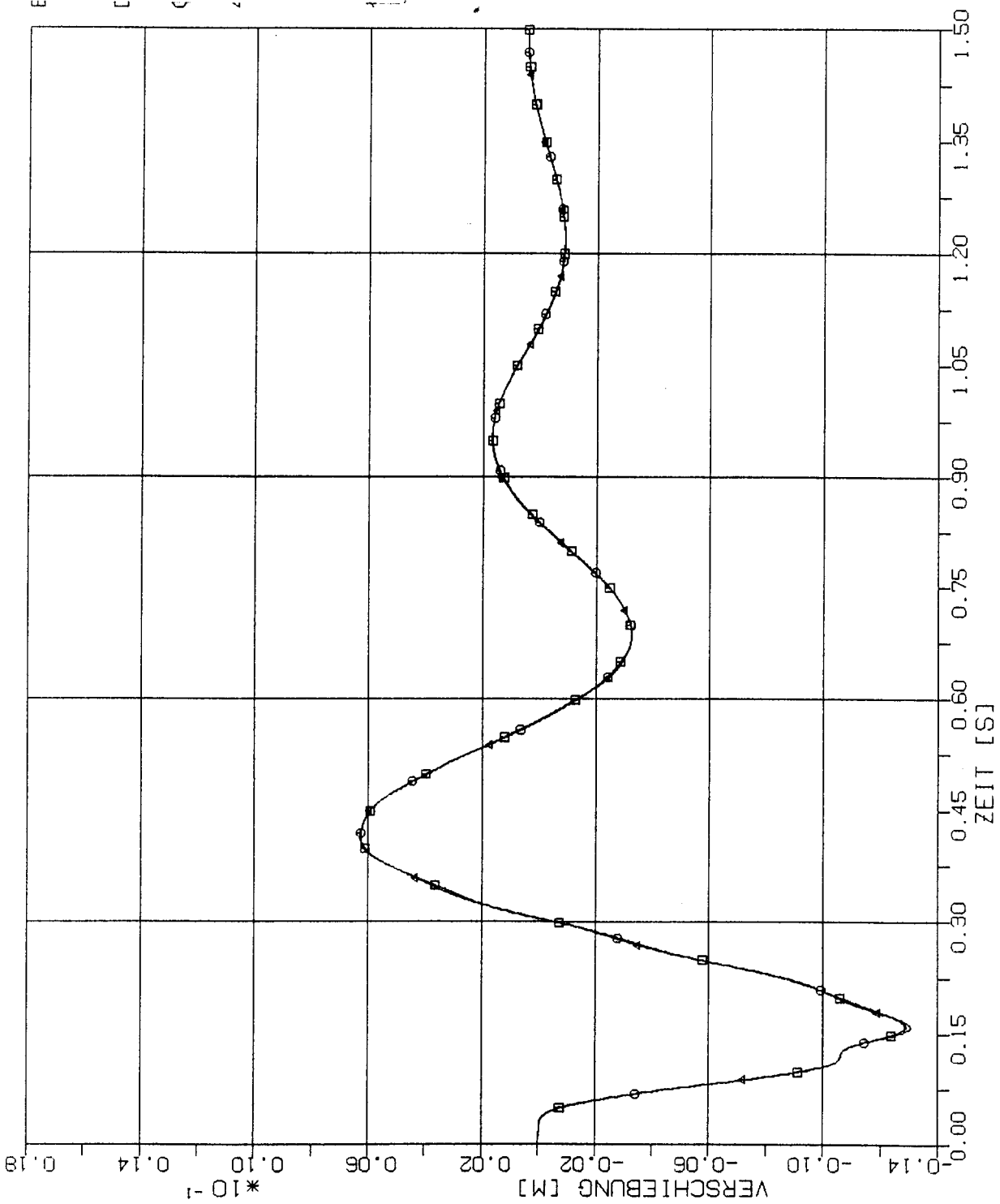
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 3L(1357) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)



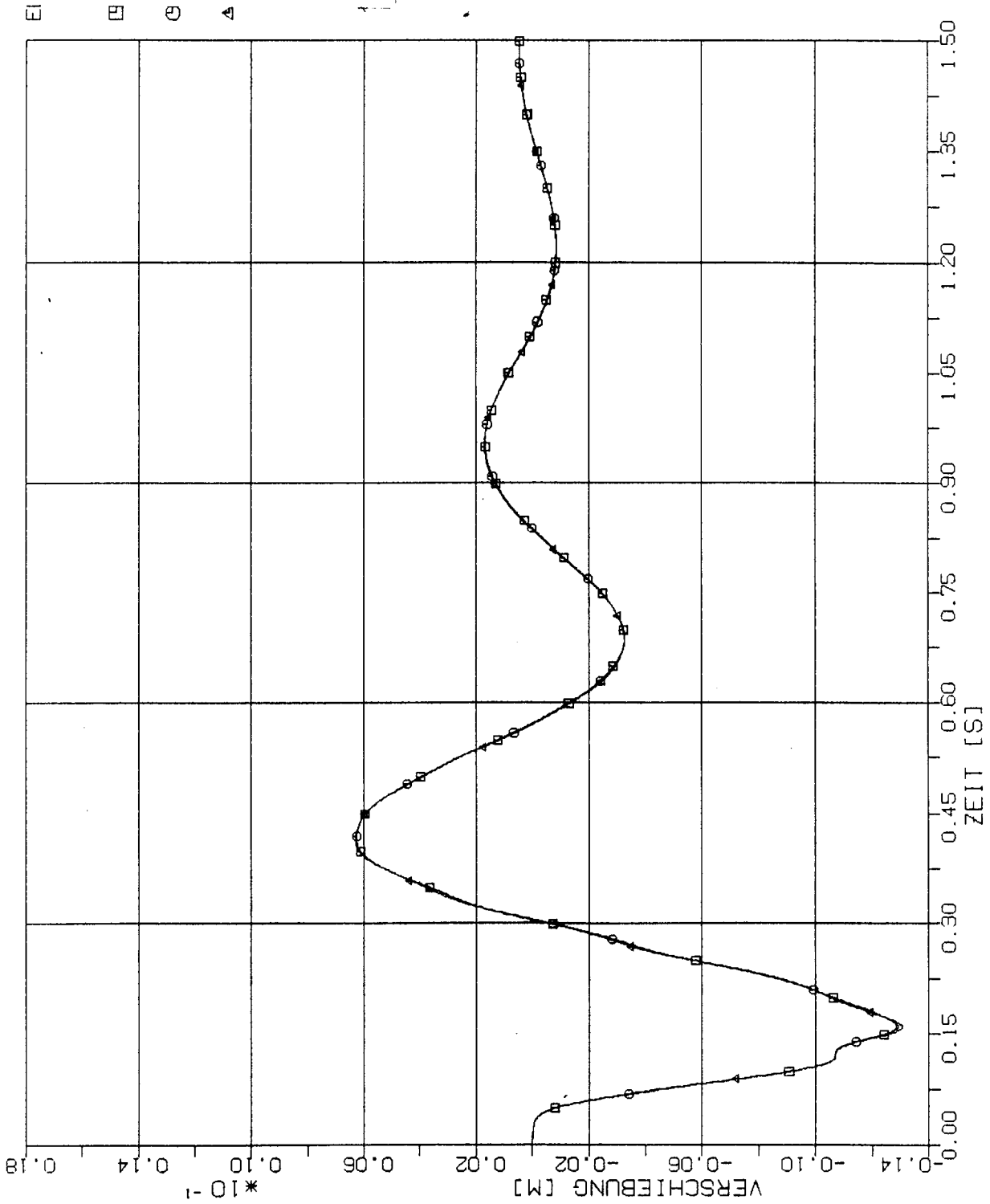
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4L(1321) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



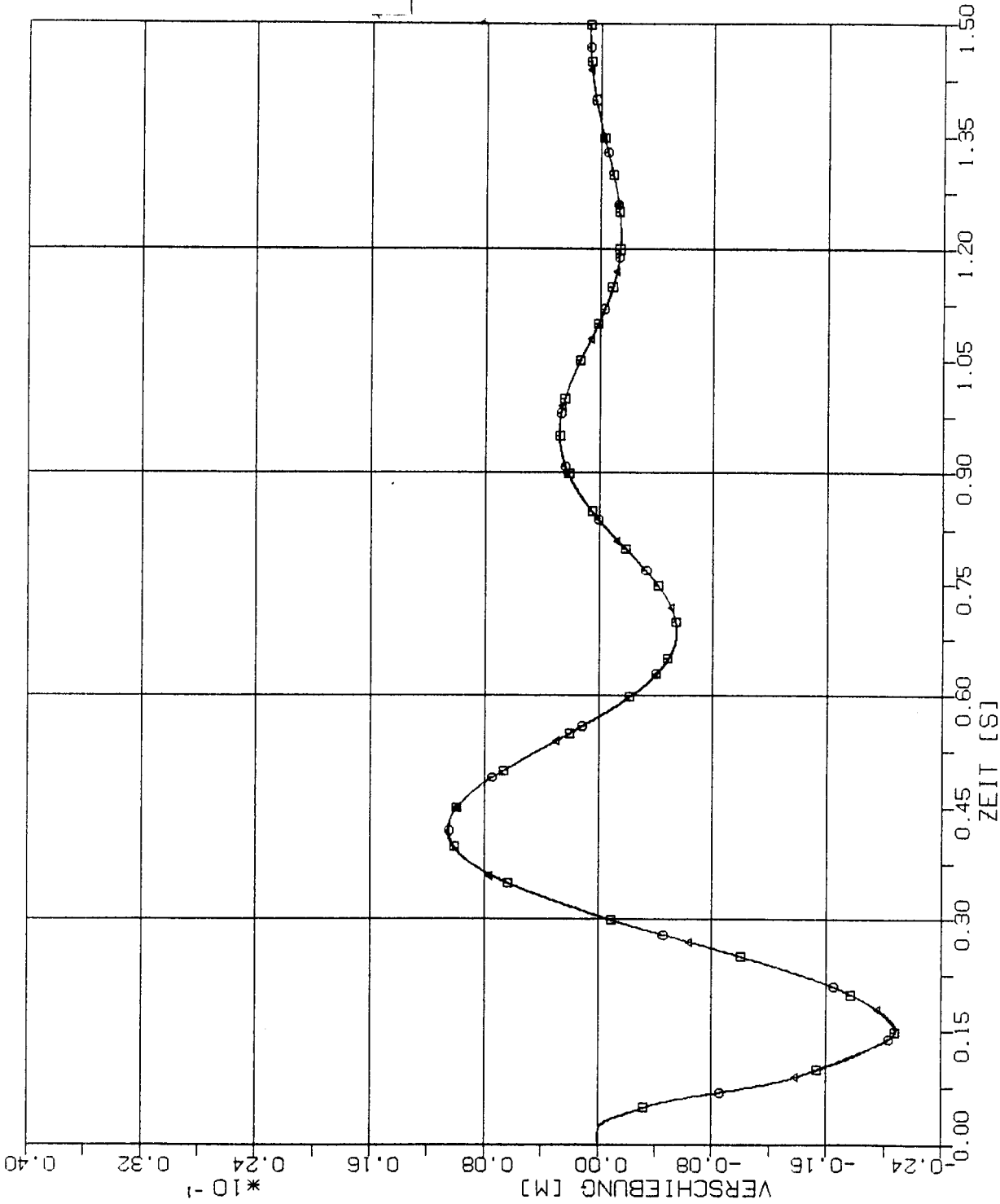
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 5L(1001) RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

2m x 2m

4m x 4m

8m x 8m



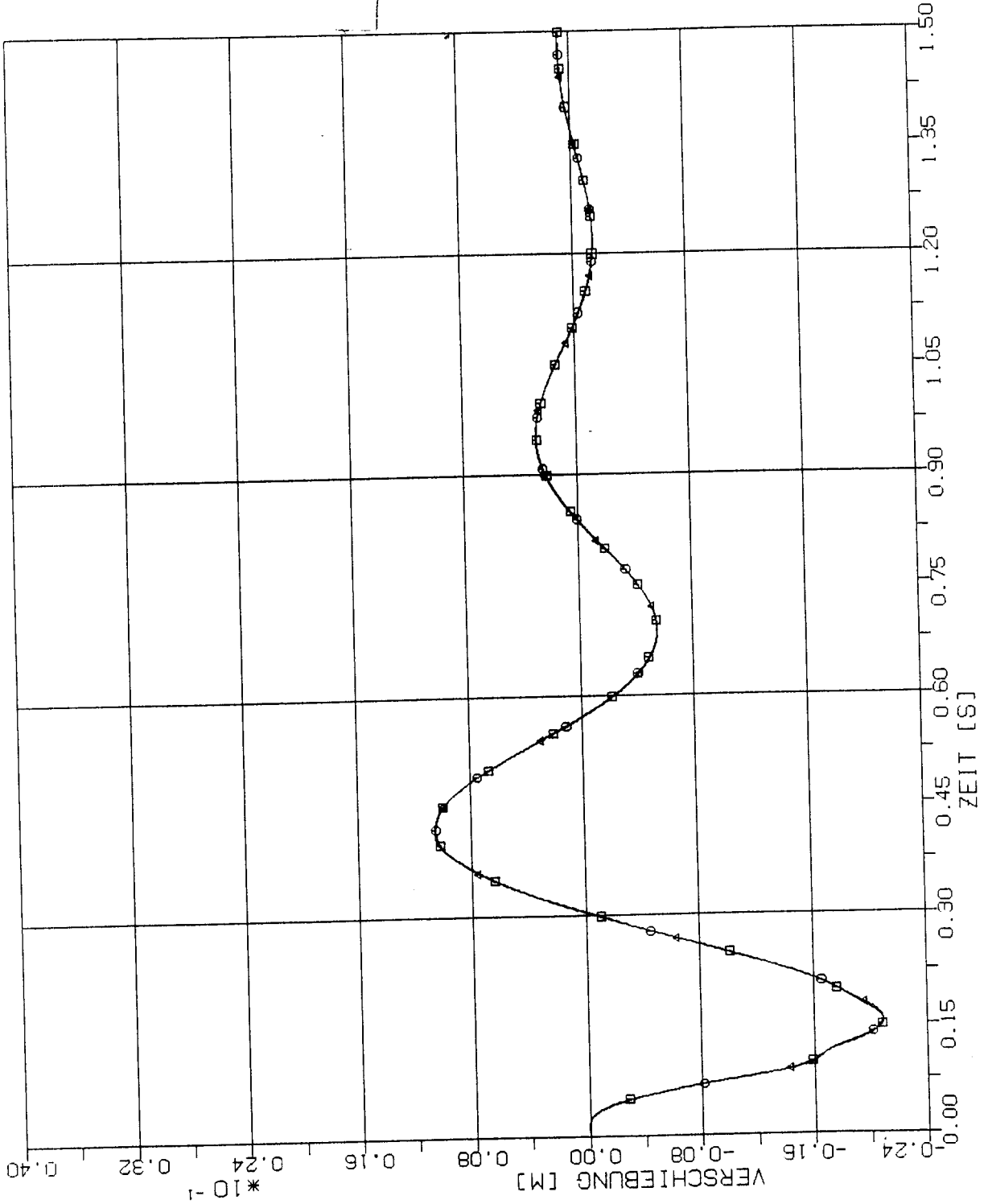
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5P(2197) RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



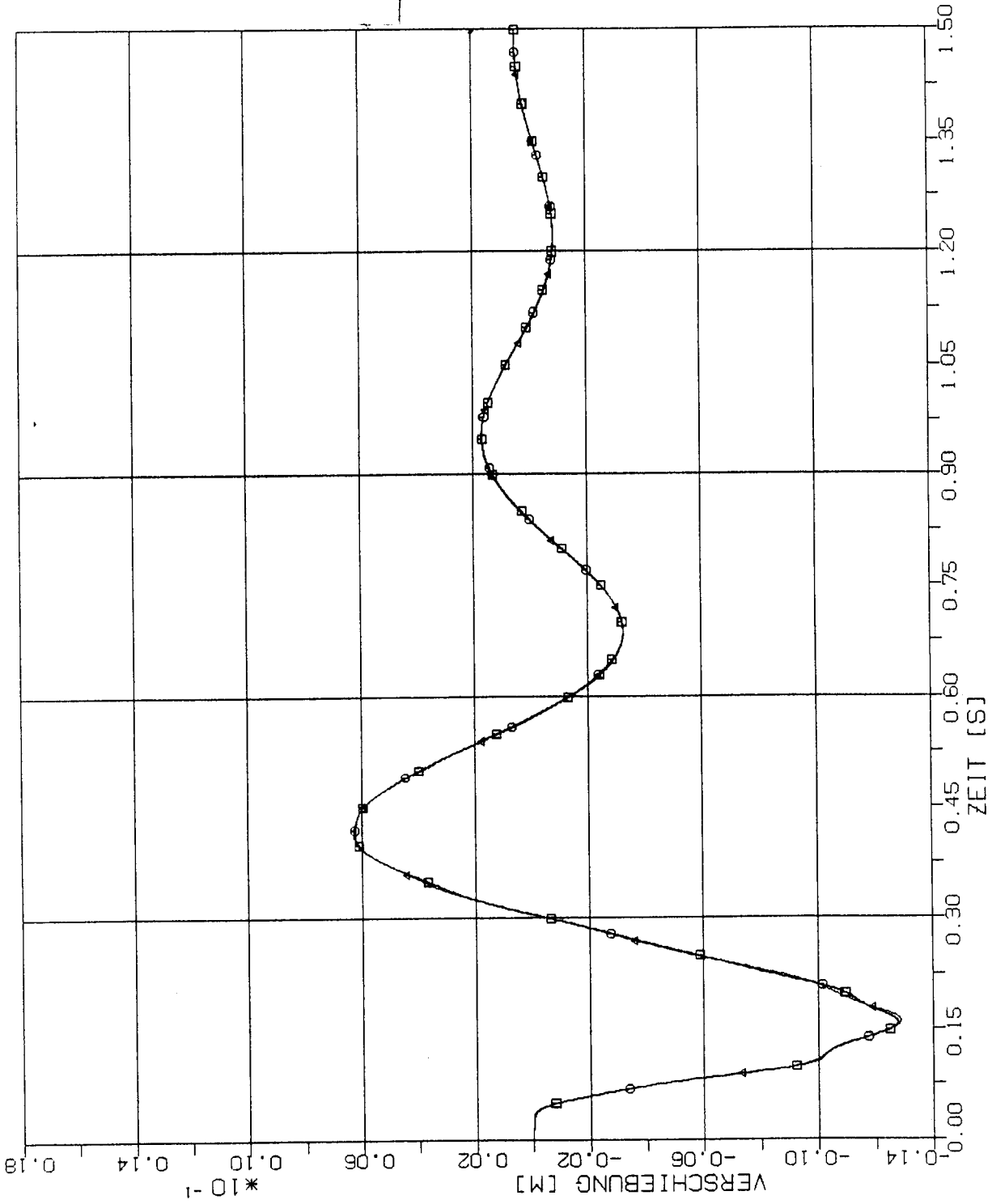
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 3.SP(2161) RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



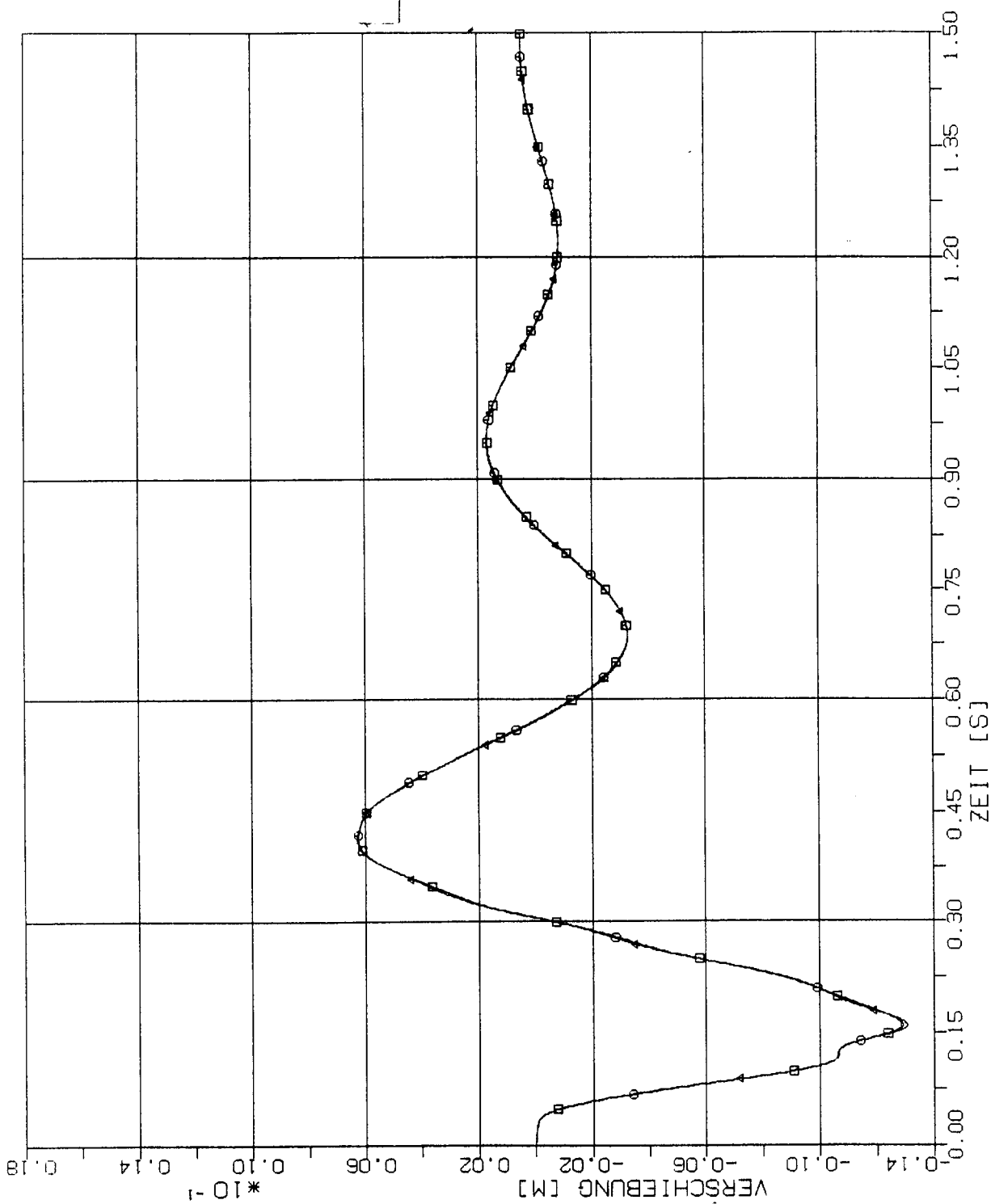
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5P(1197) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



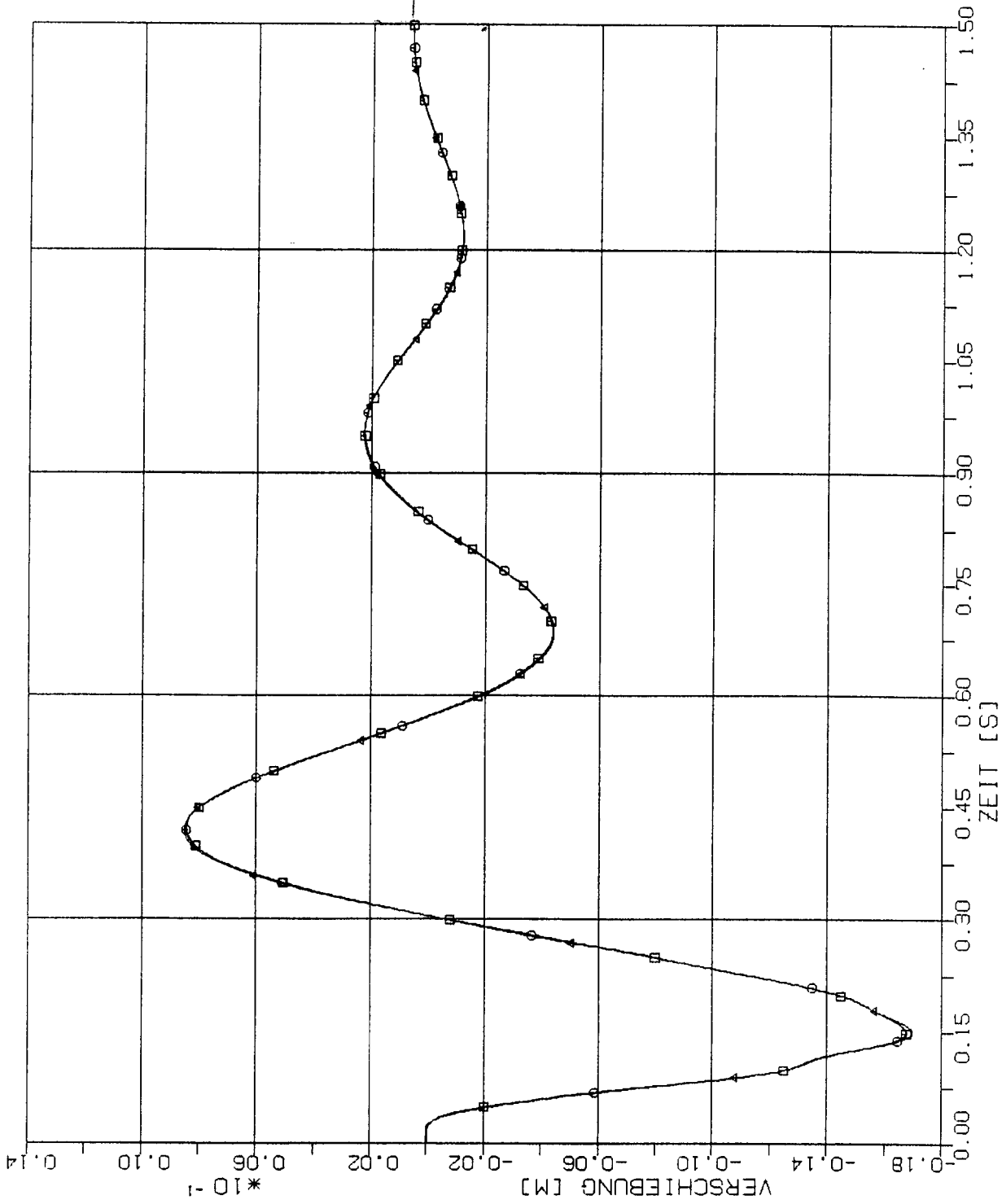
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 4.5P(1161) RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



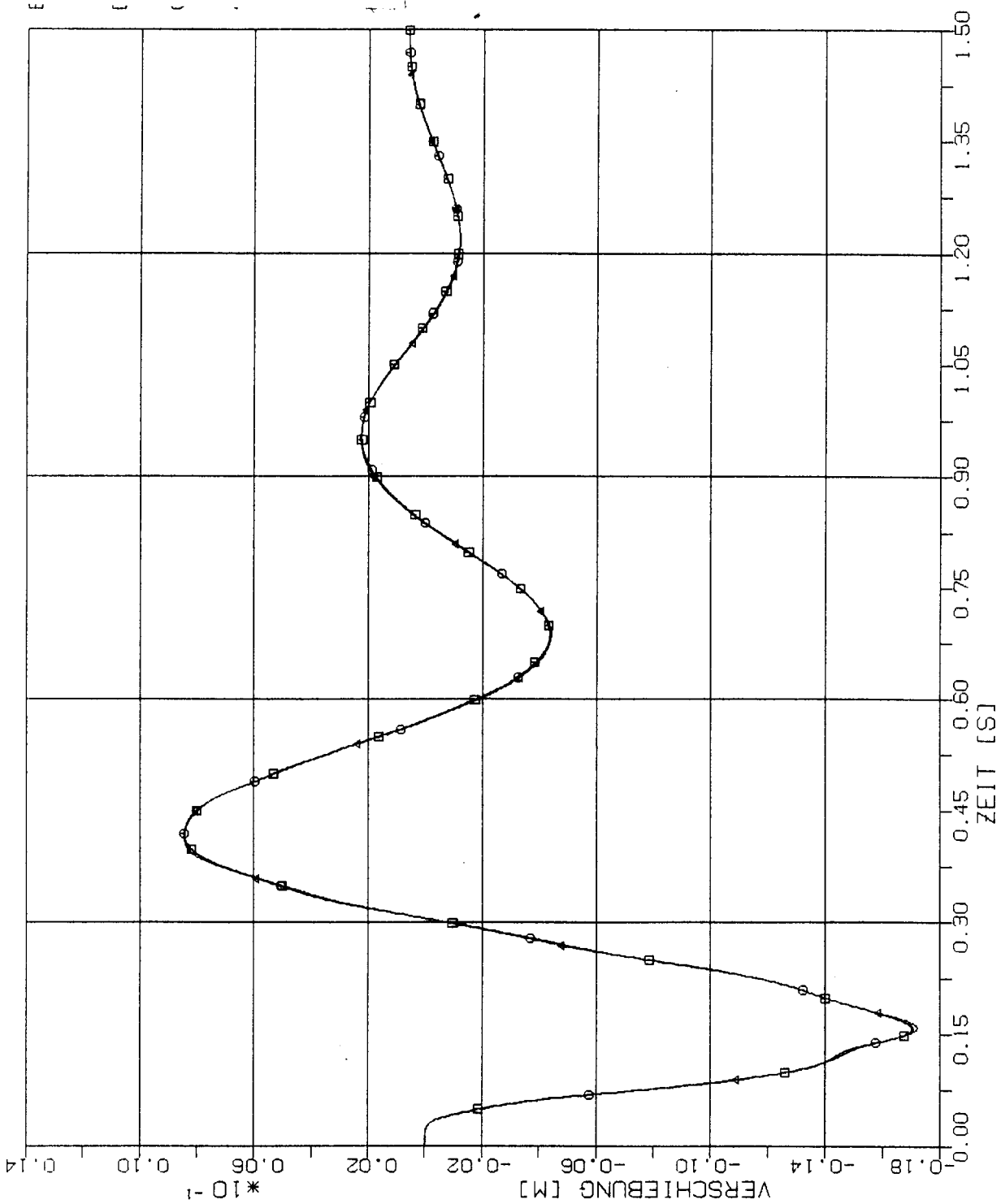
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5S(5437) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



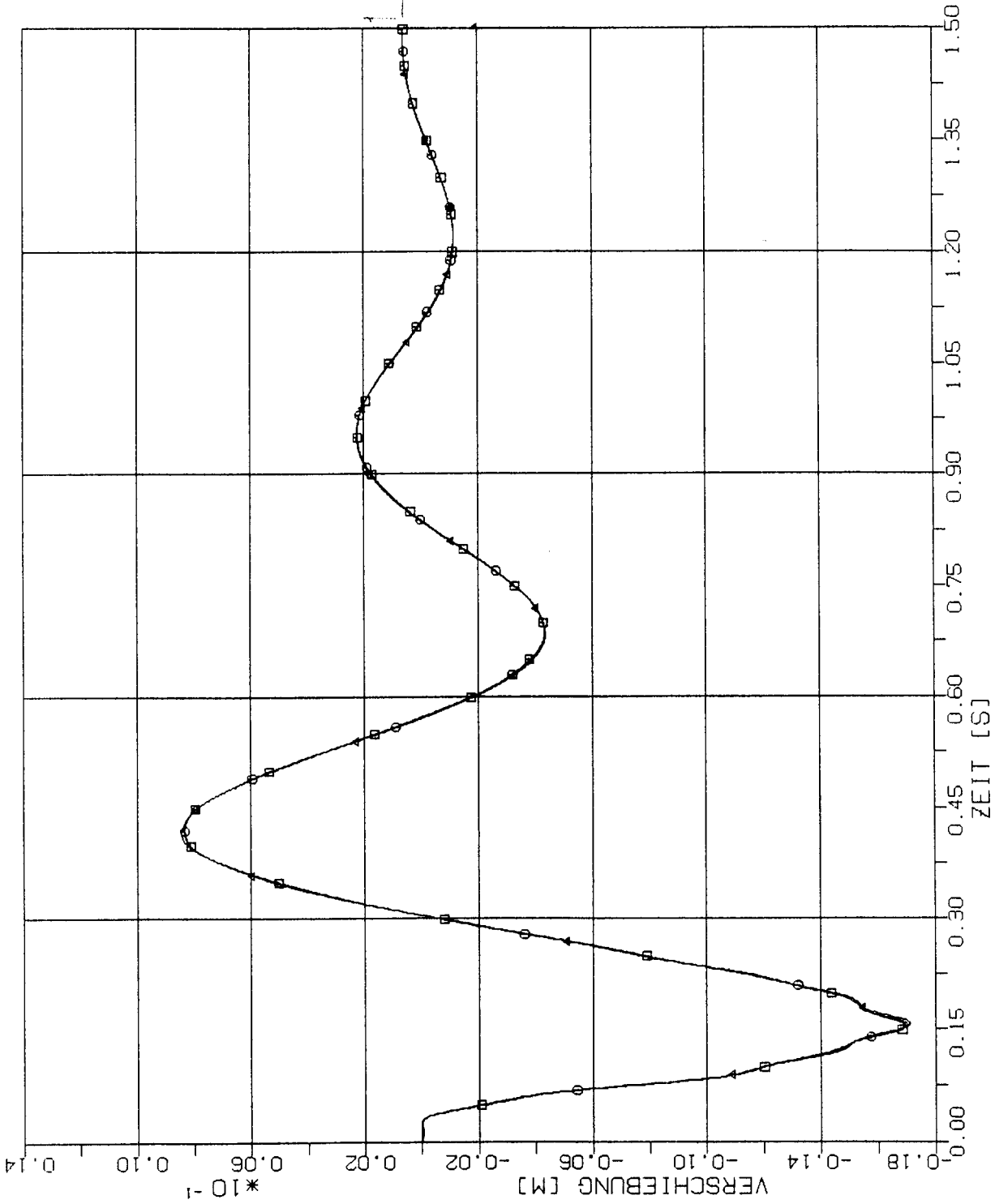
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5S(5401) RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



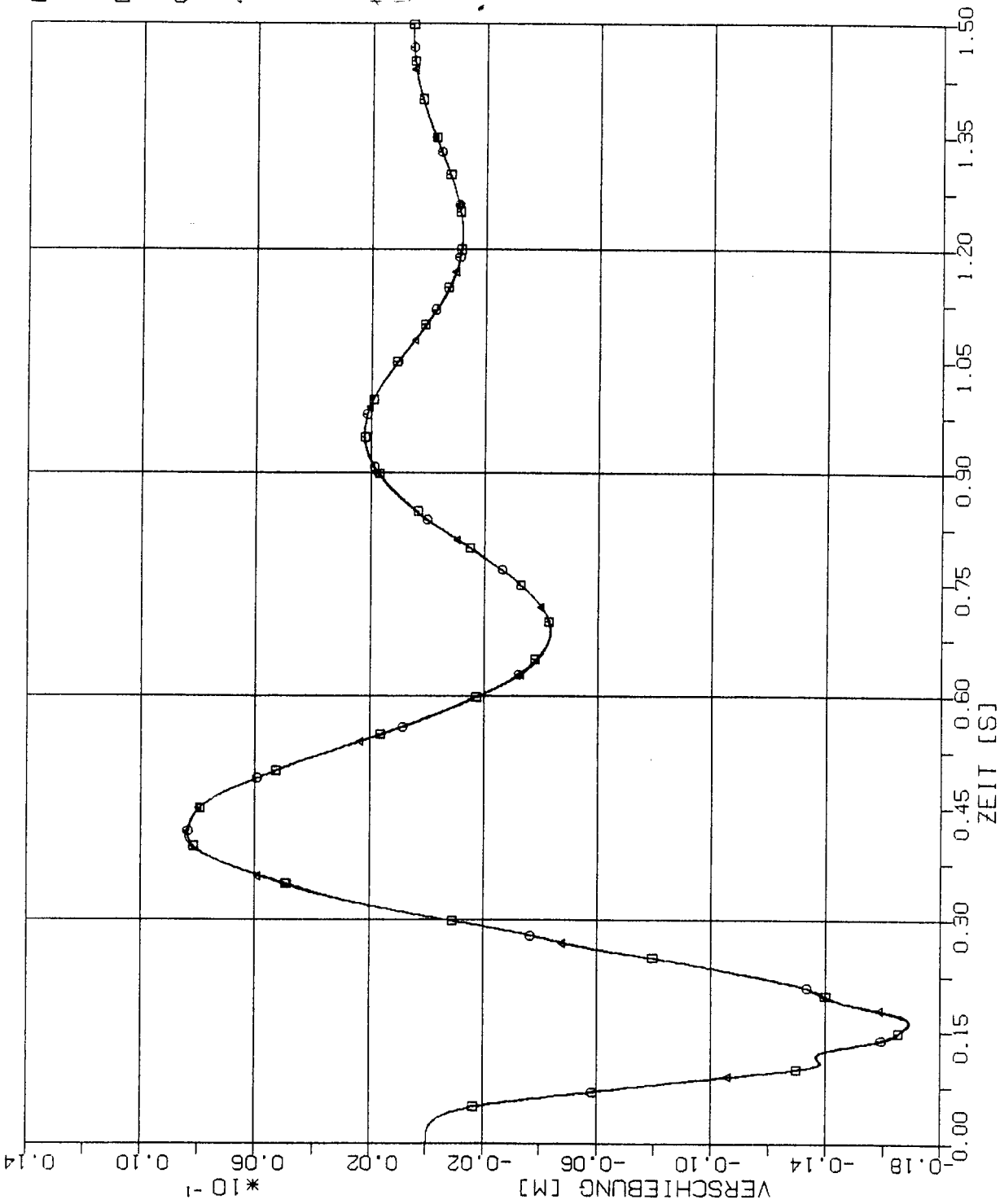
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5Z(8437) RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



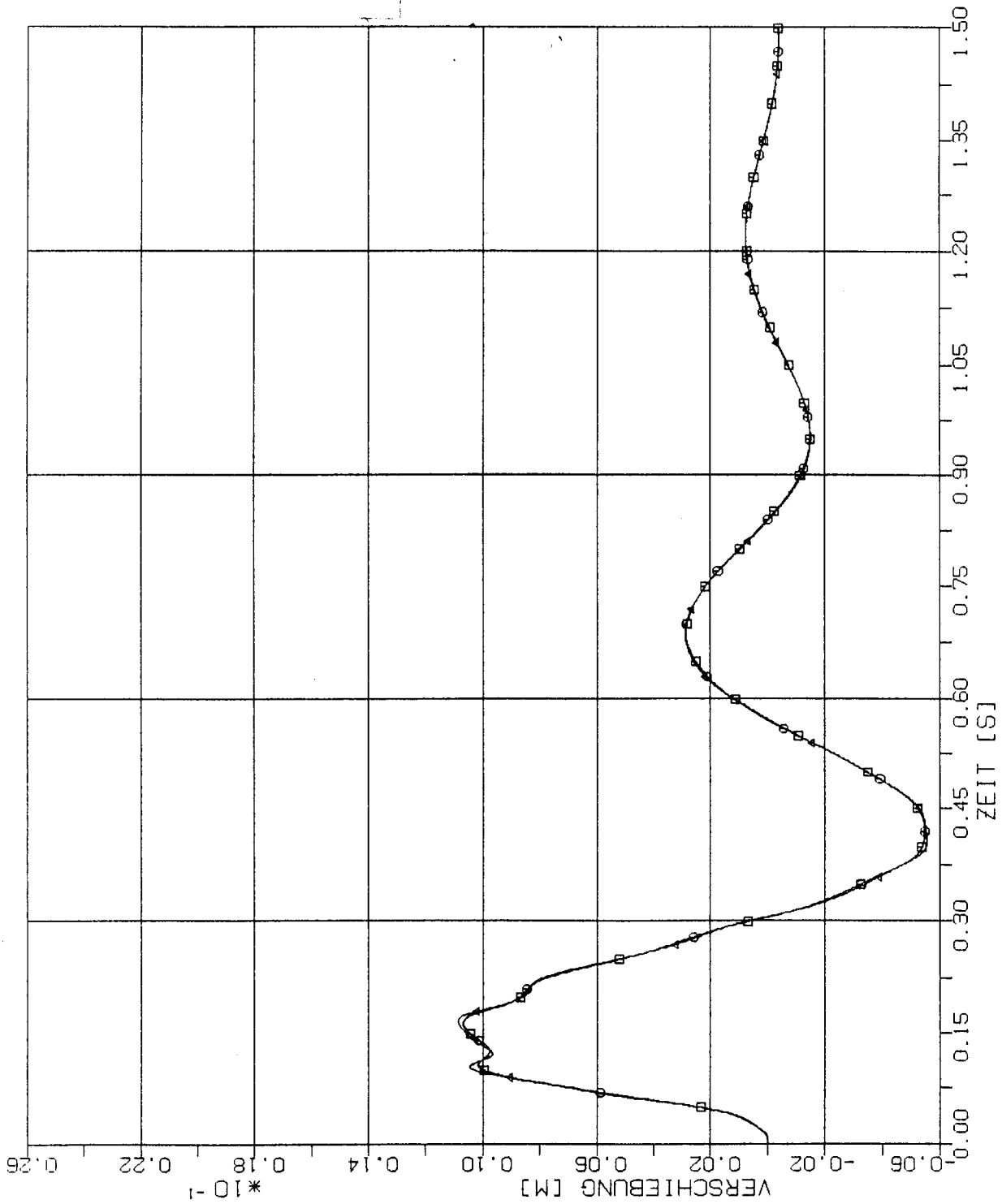
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5Z(8401) RICHTUNG X1
STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



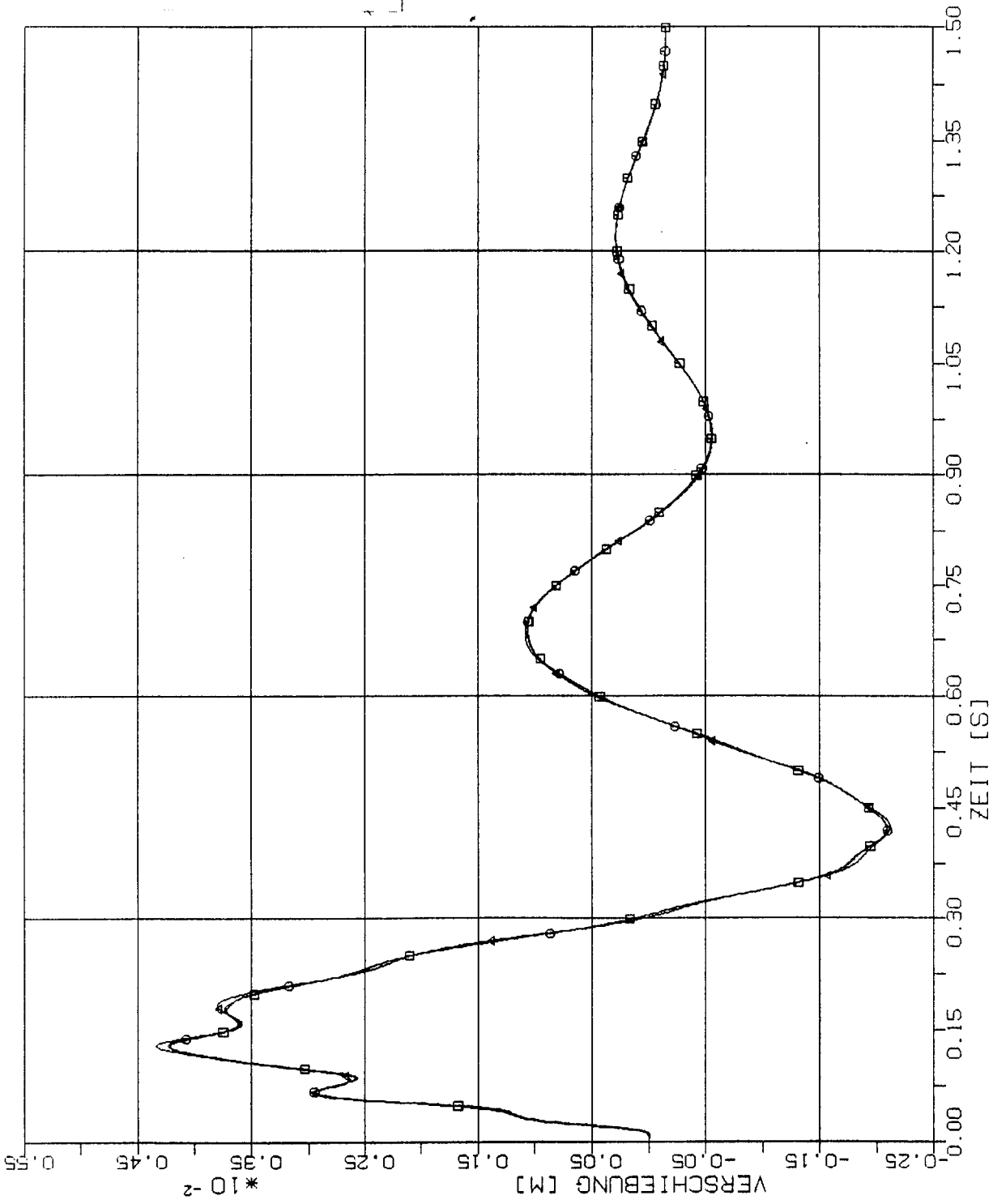
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1L(2037) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

2m x 2m

4m x 4m

8m x 8m



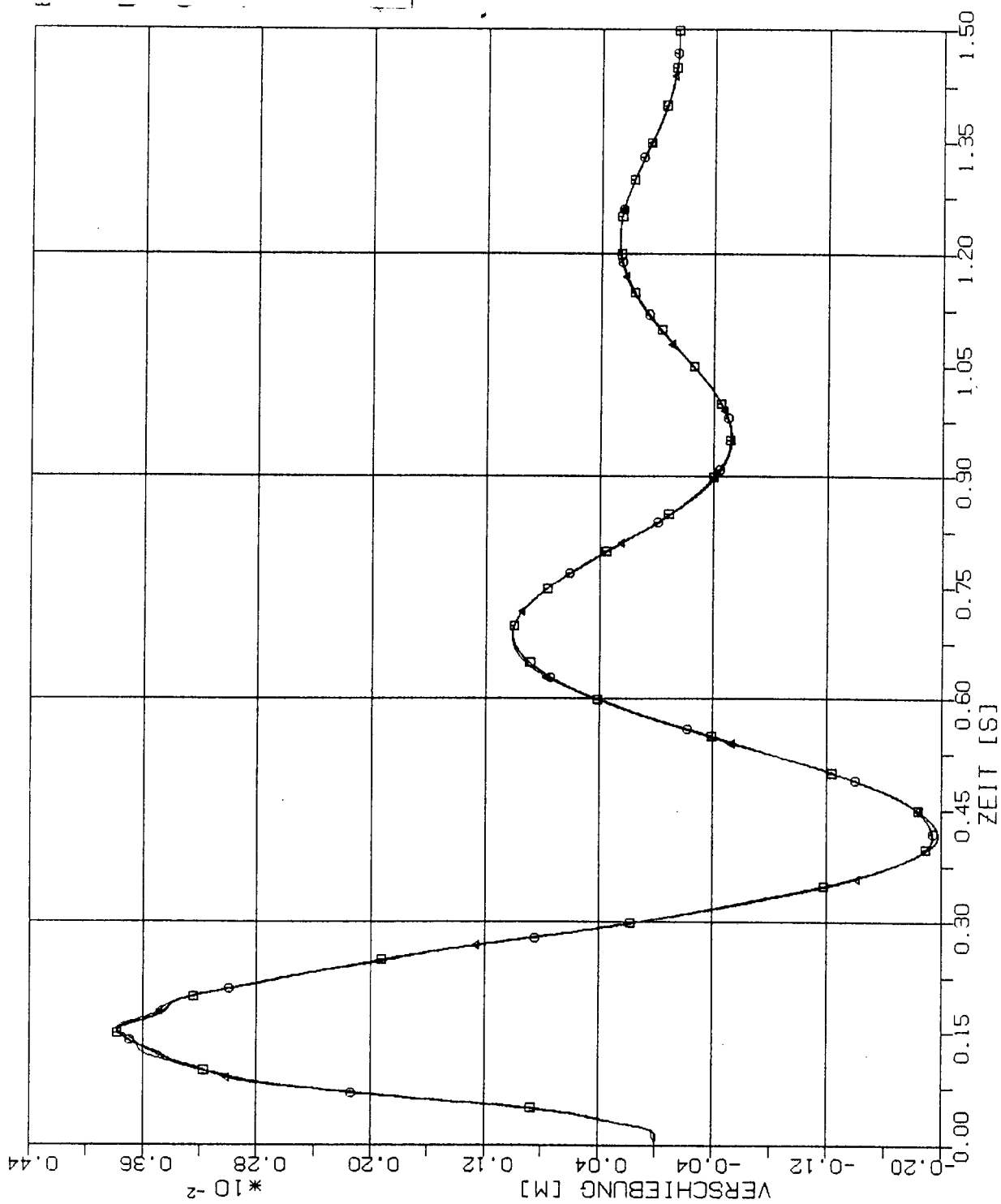
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2L(2357) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

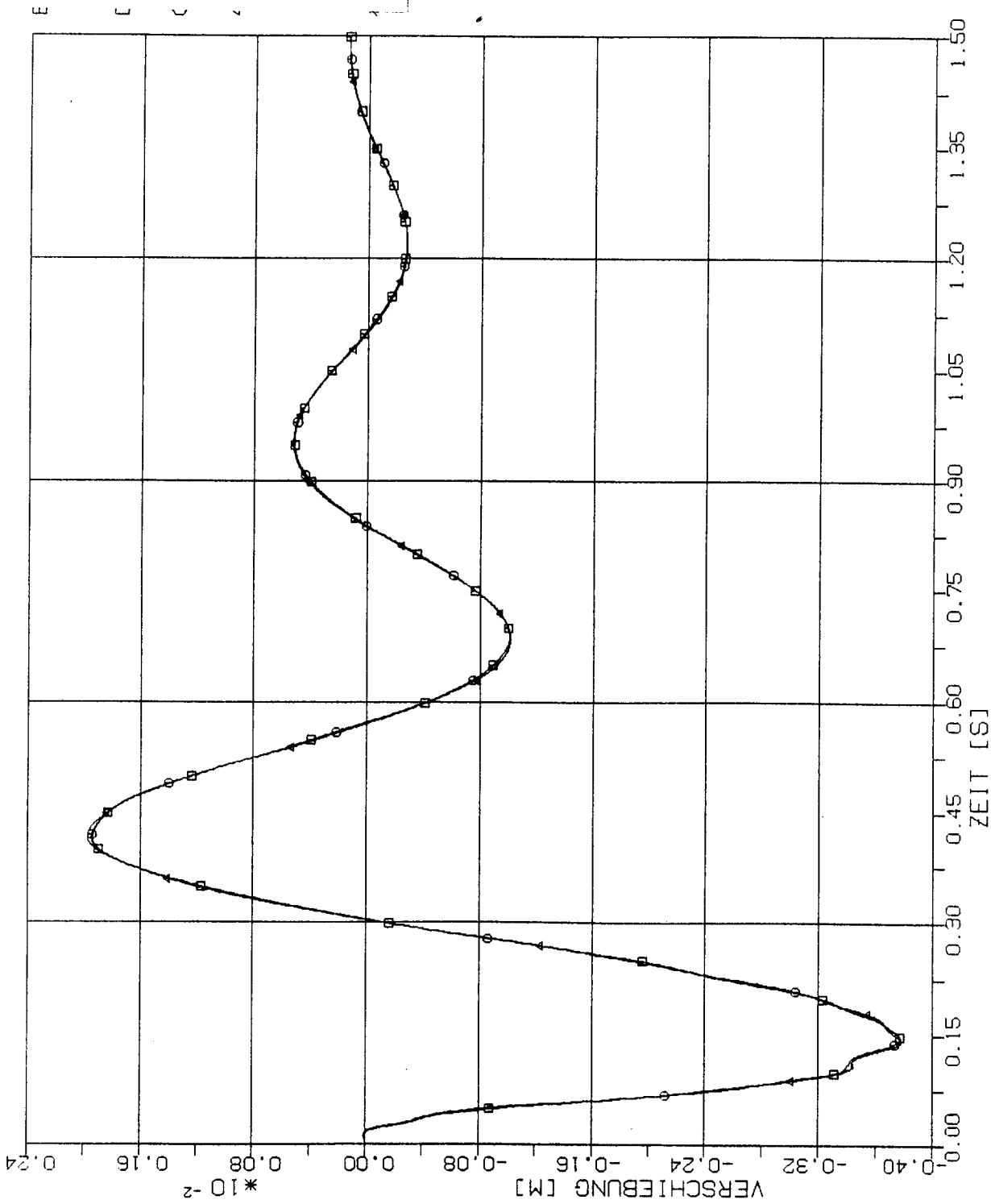
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3L(1357) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)



Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

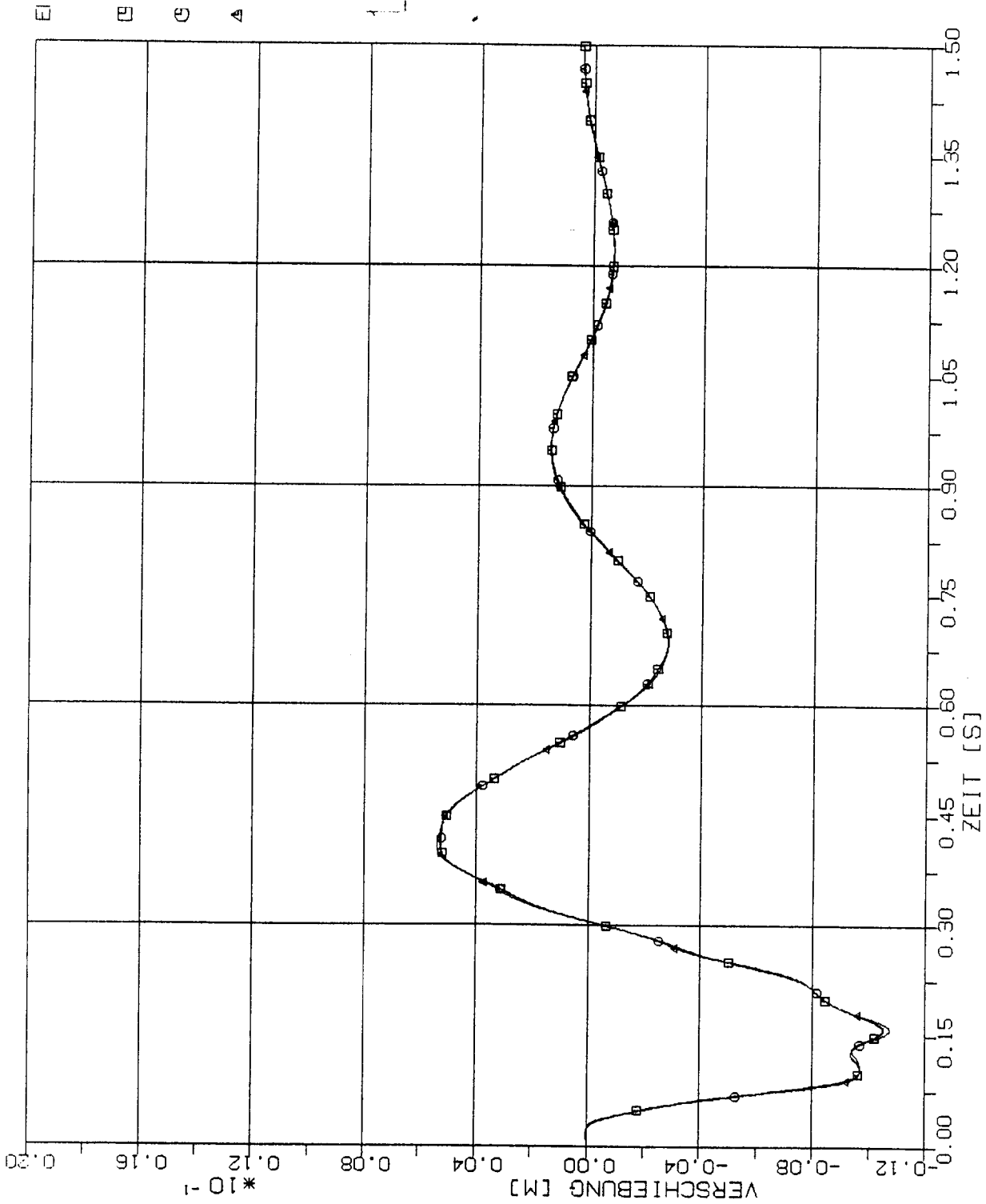
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4L(1321) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



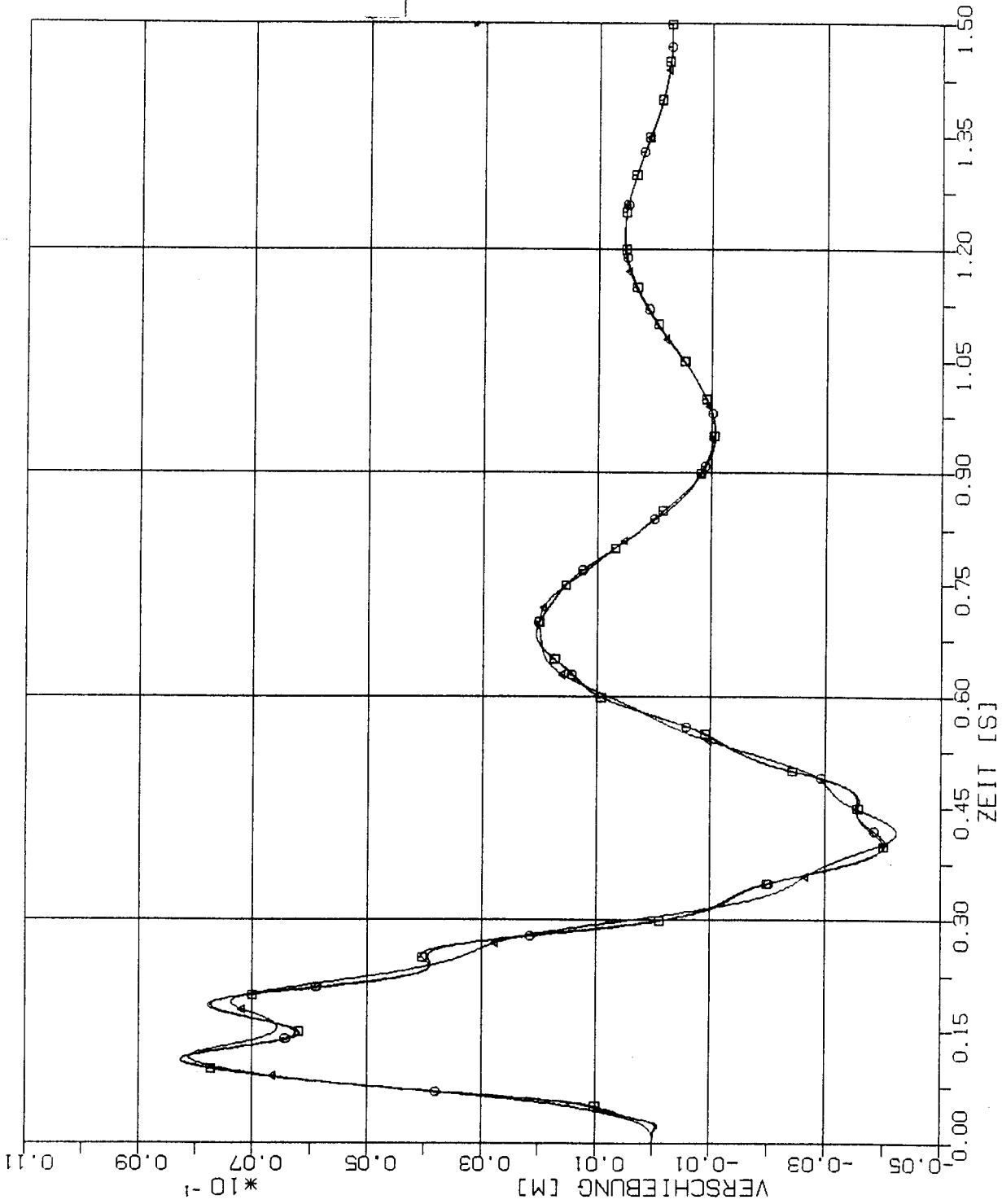
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 5L(1001) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



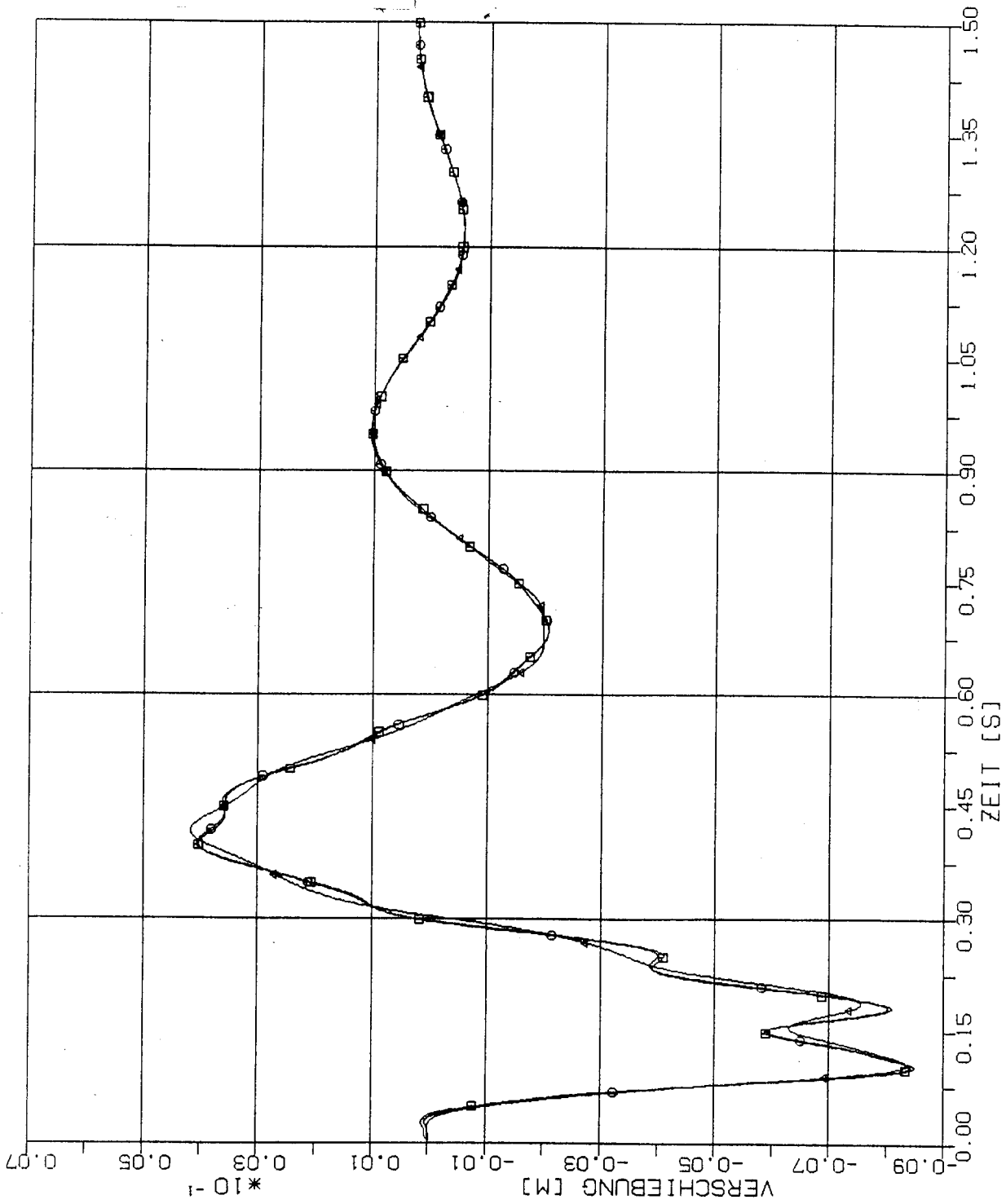
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5P(2197) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



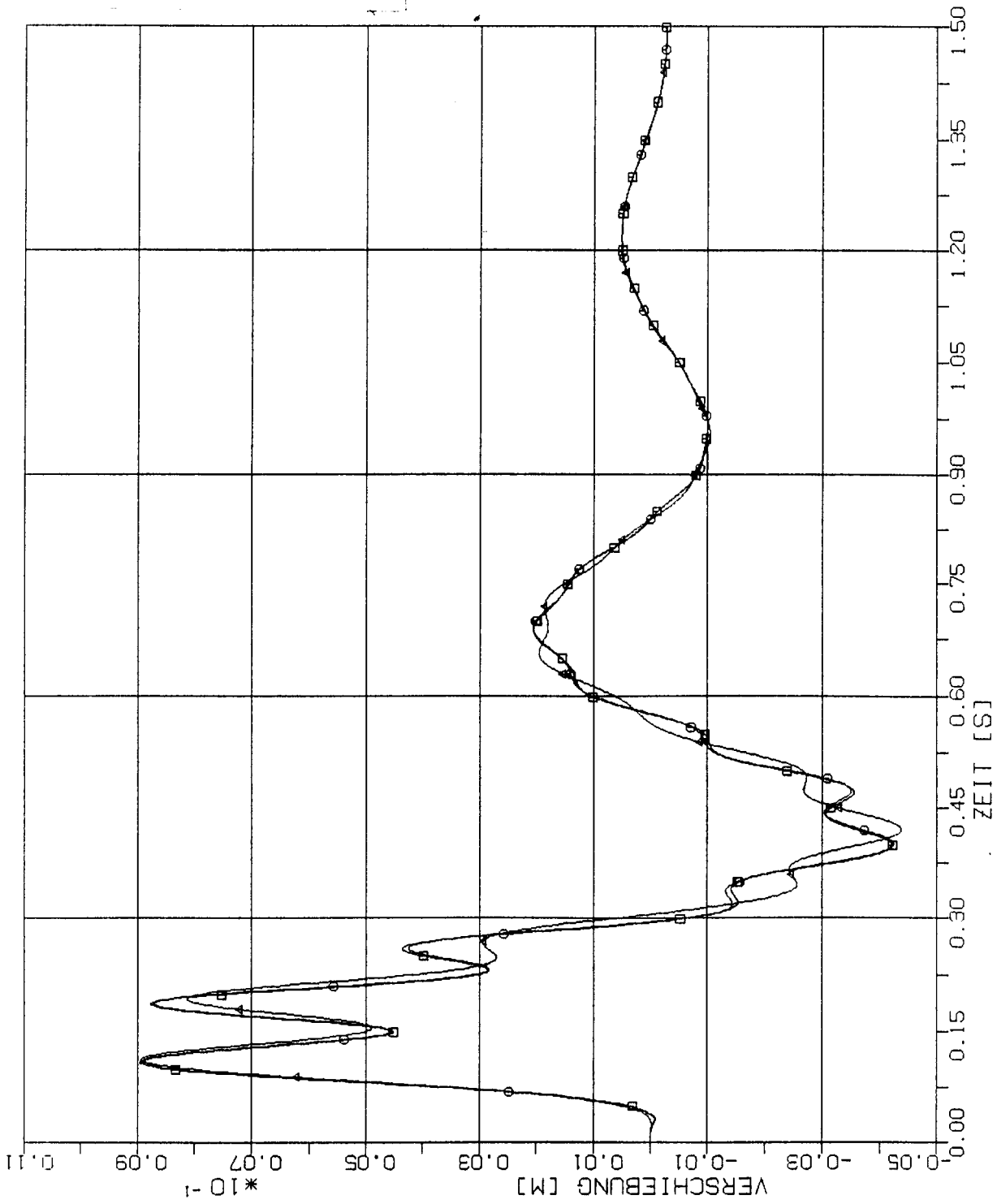
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.SP(2161) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

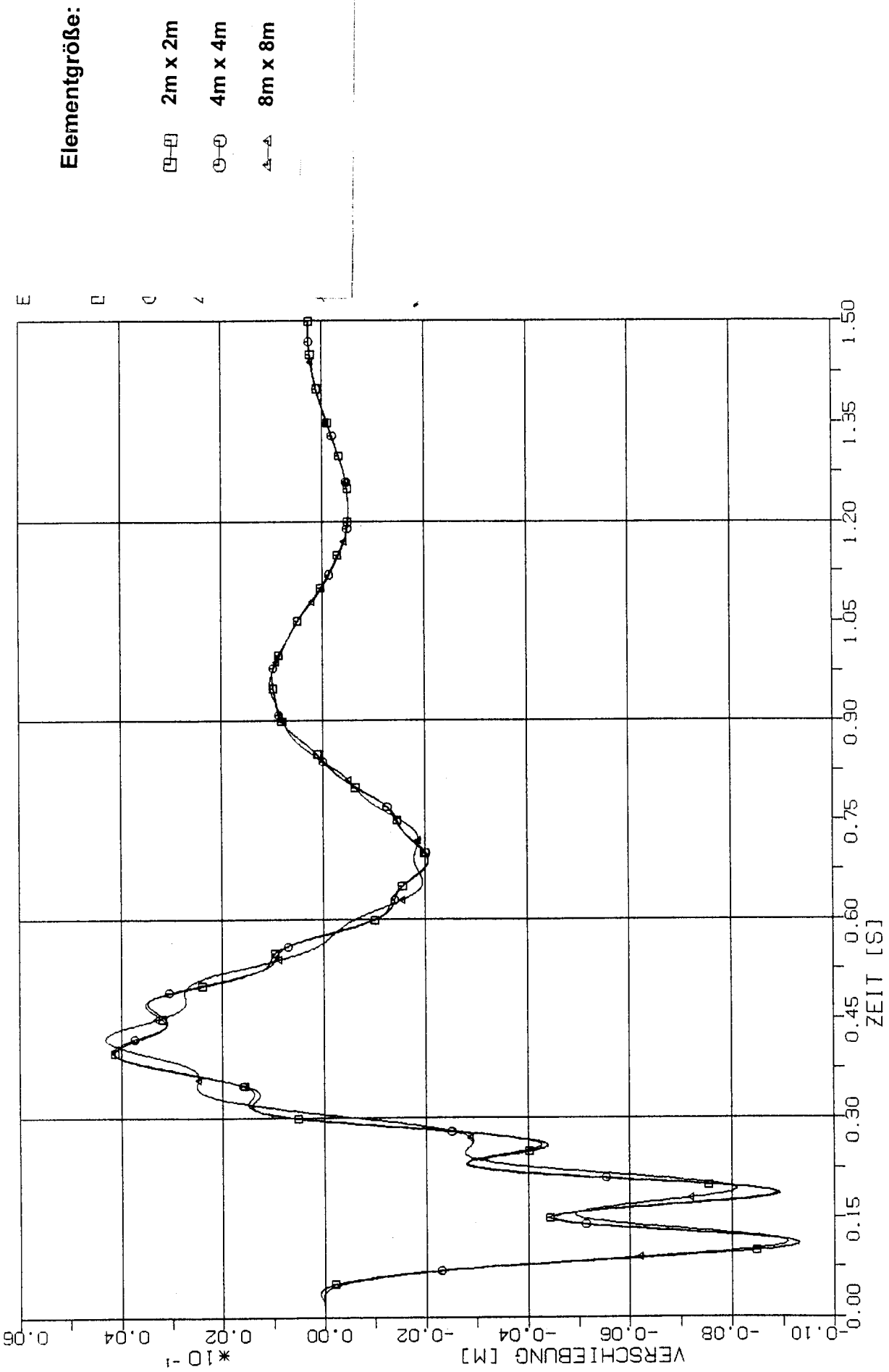
□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5P(1197) RICHTUNG X3
STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)



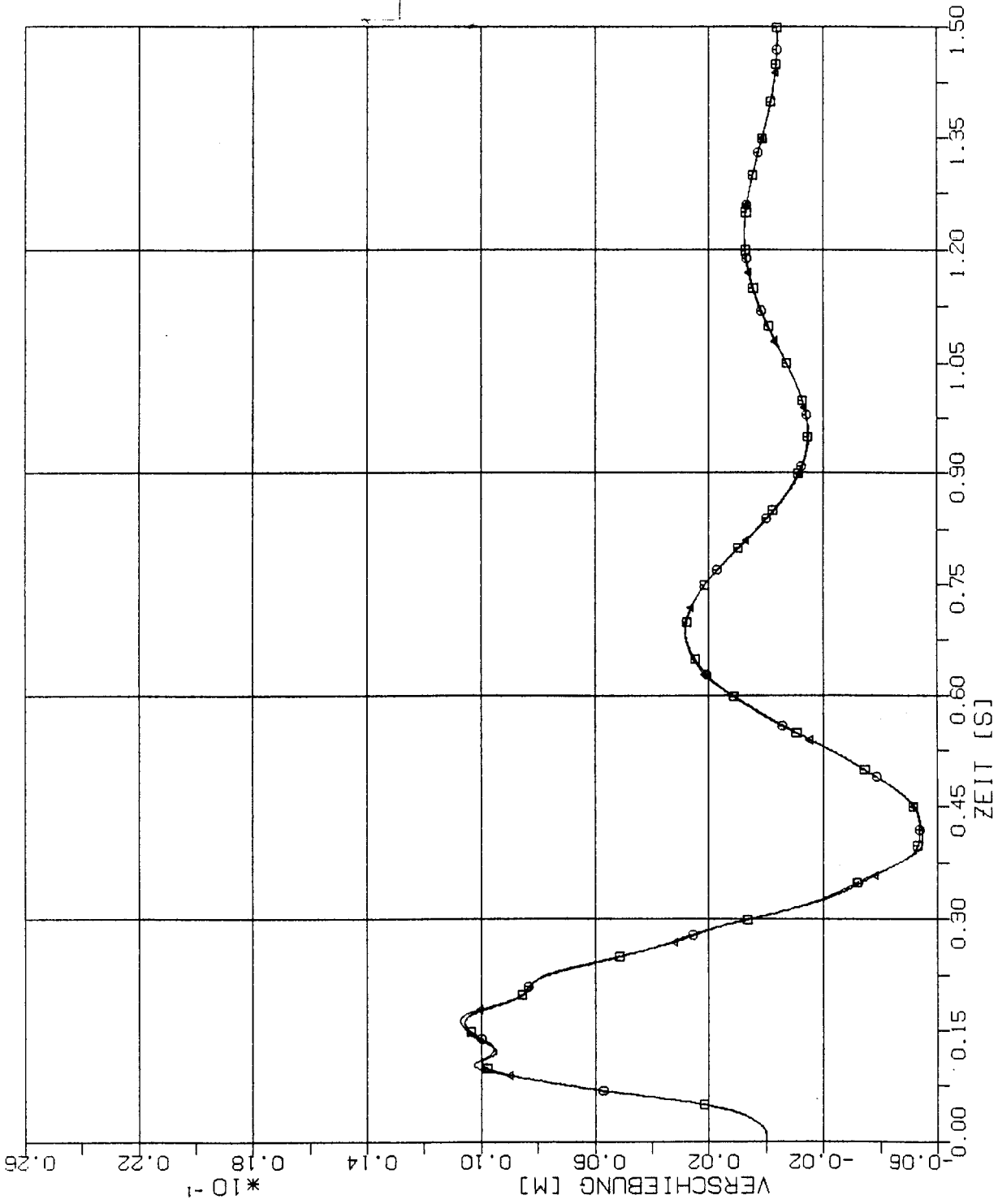
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5P(1161) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

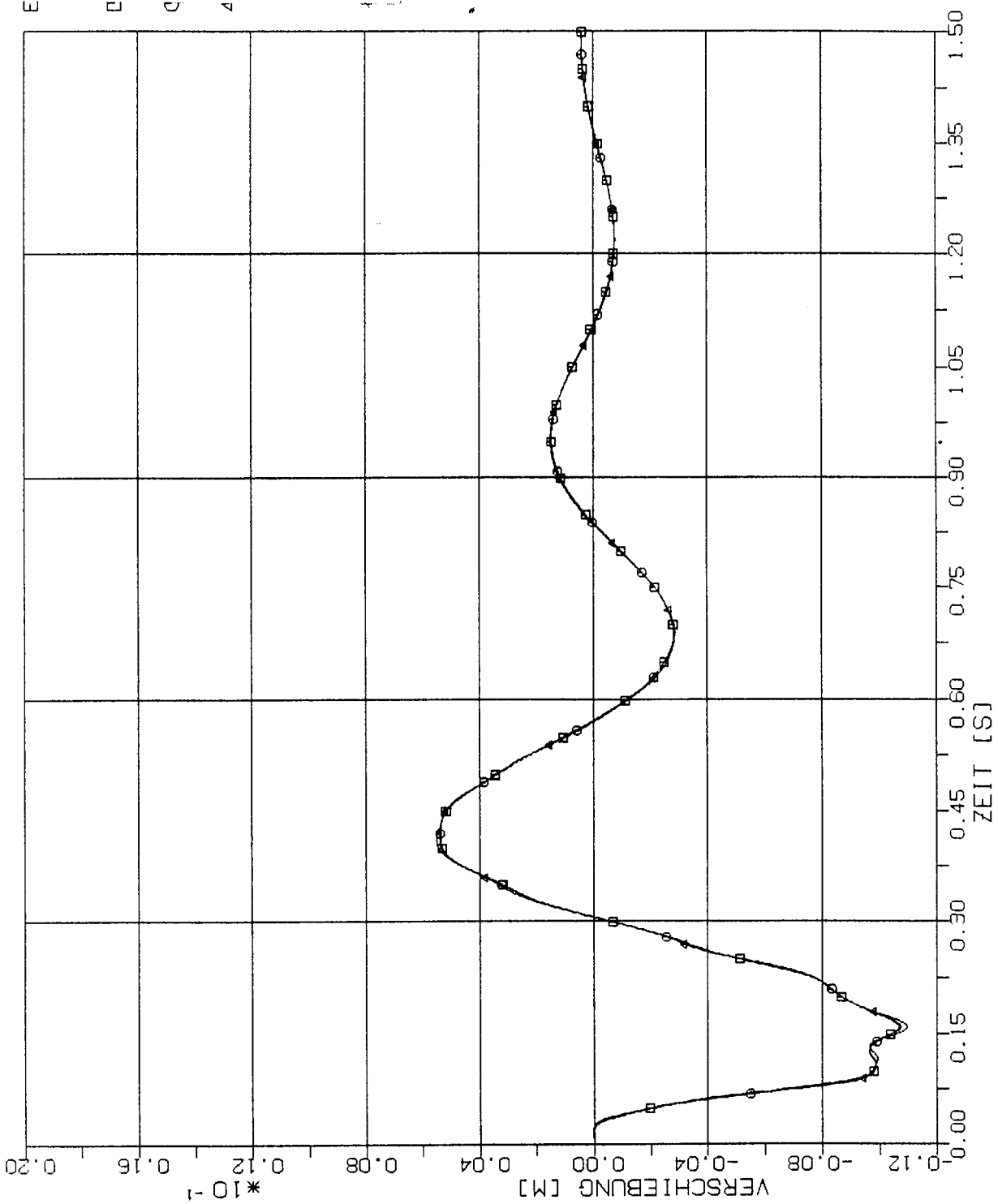
△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5S(5437) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



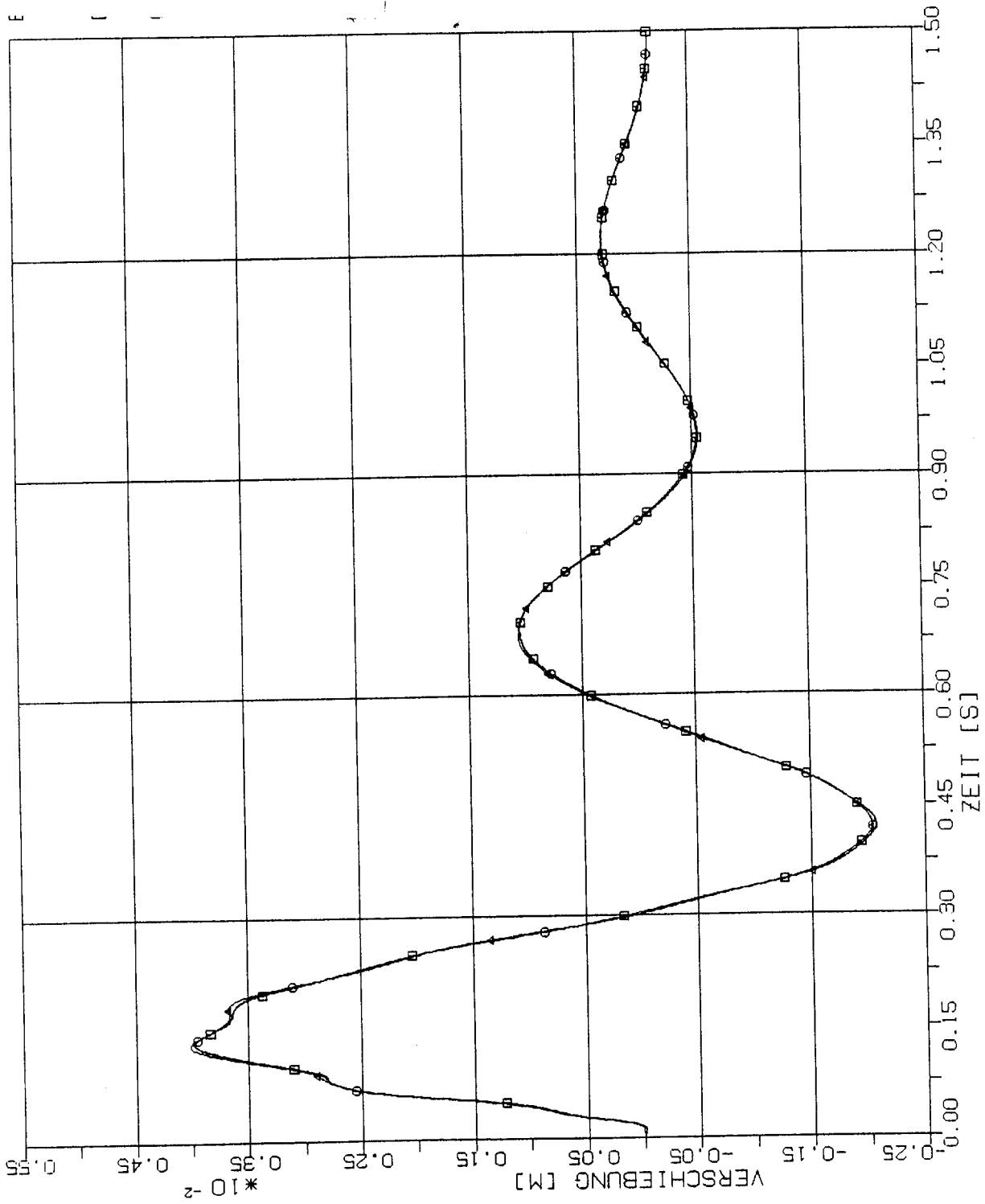
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 4.5S(5401) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

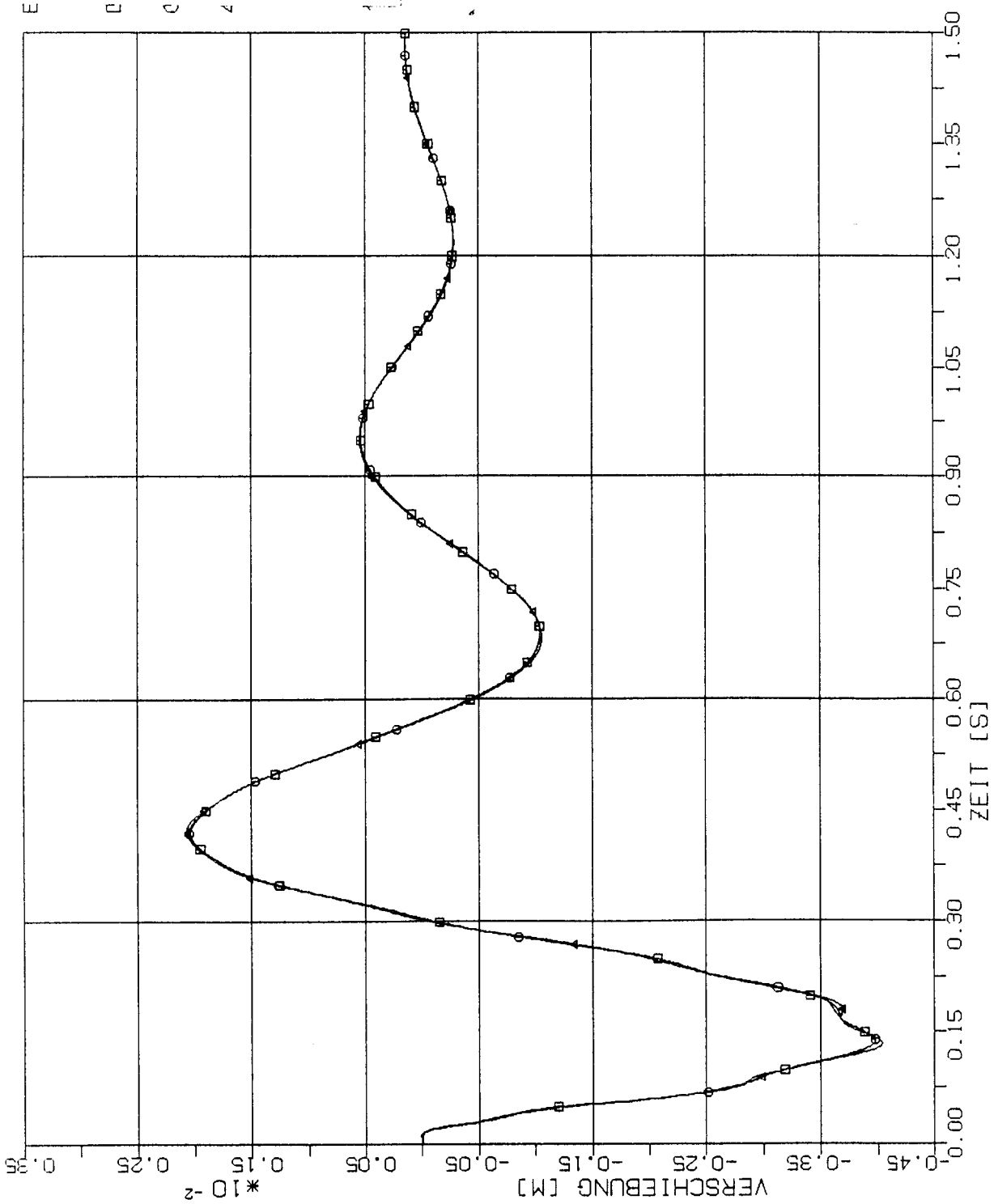
□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5Z(8437) RICHTUNG x3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)



Elementgröße:

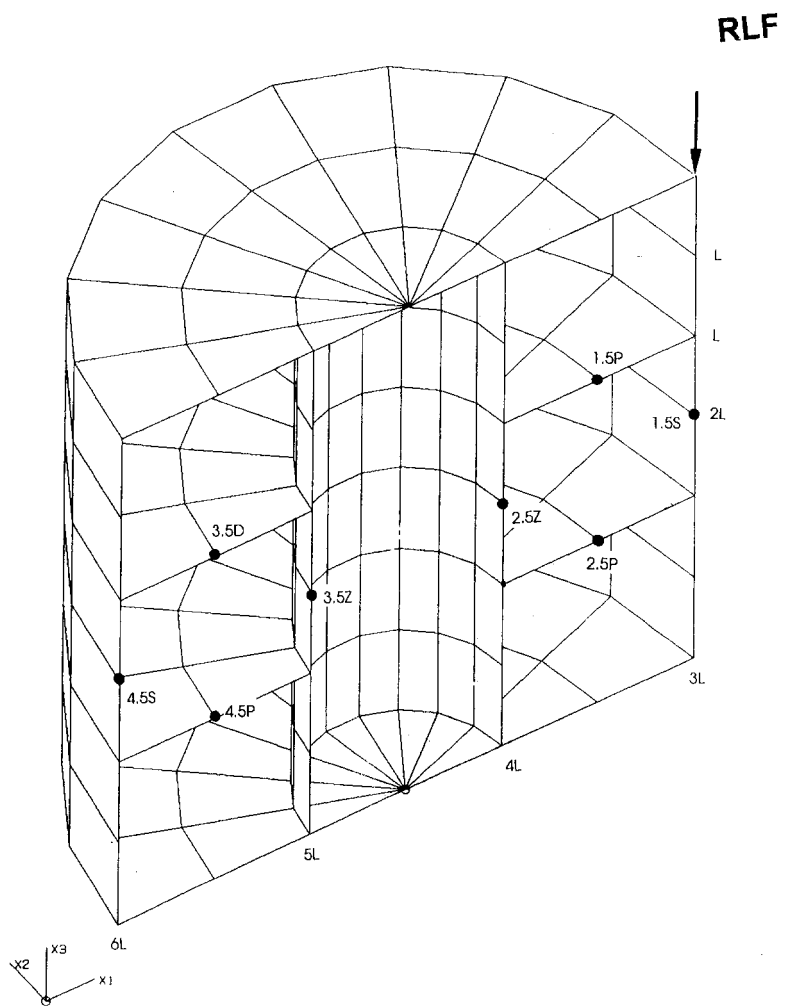
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

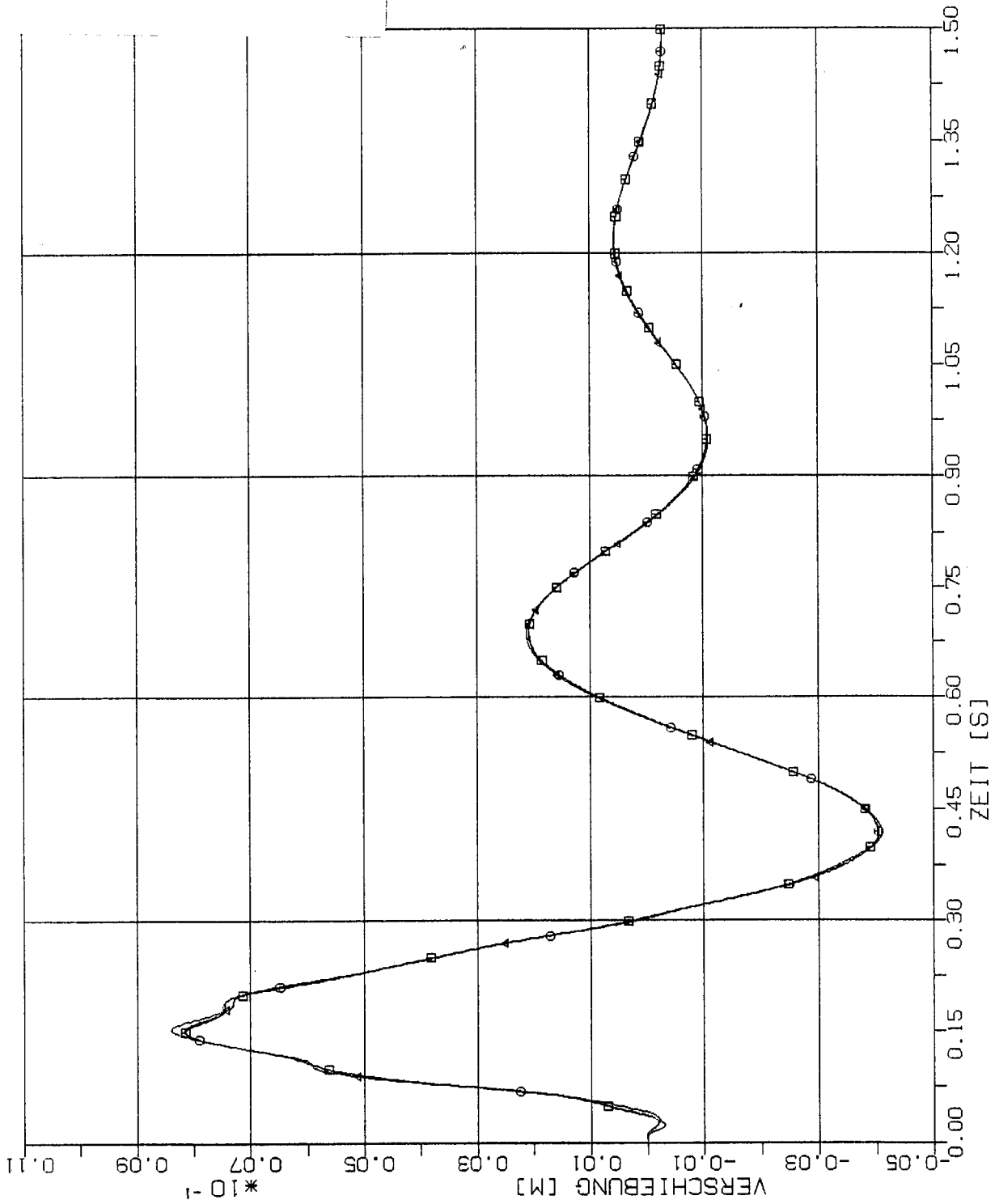
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5Z (8401) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

2.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung



Elementgröße:

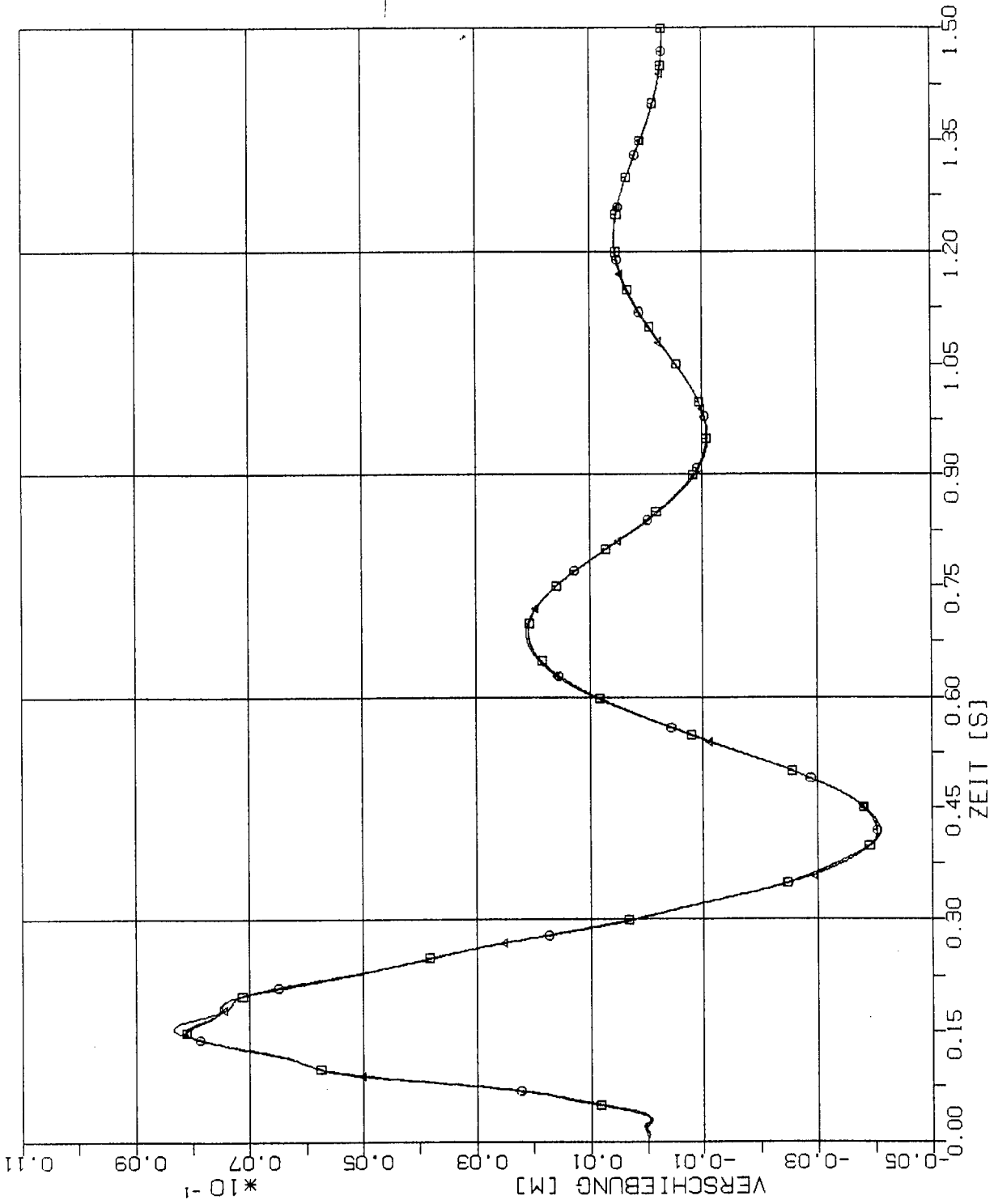
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1L(2037) RICHTUNG X1
STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



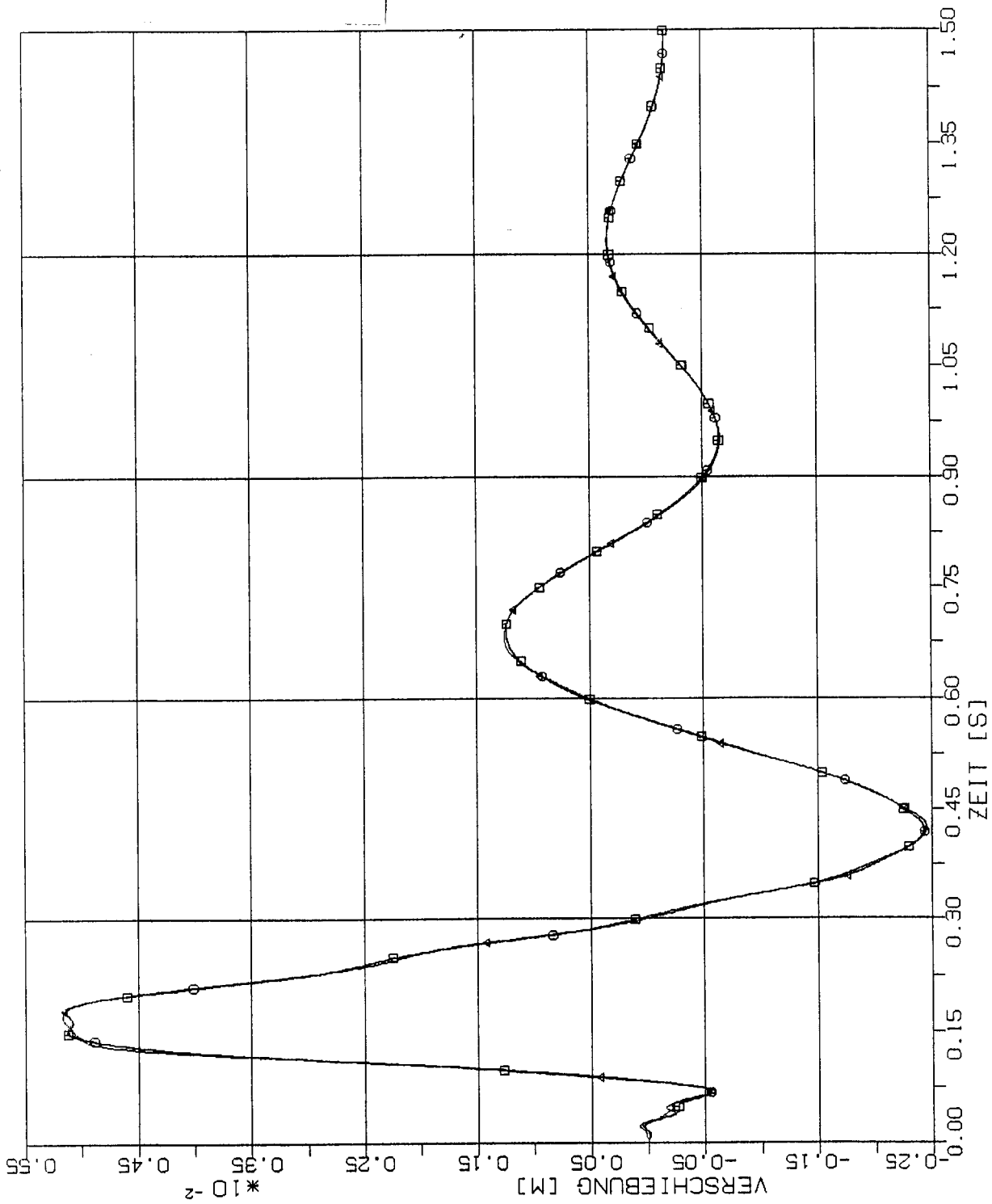
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 2L(2357) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

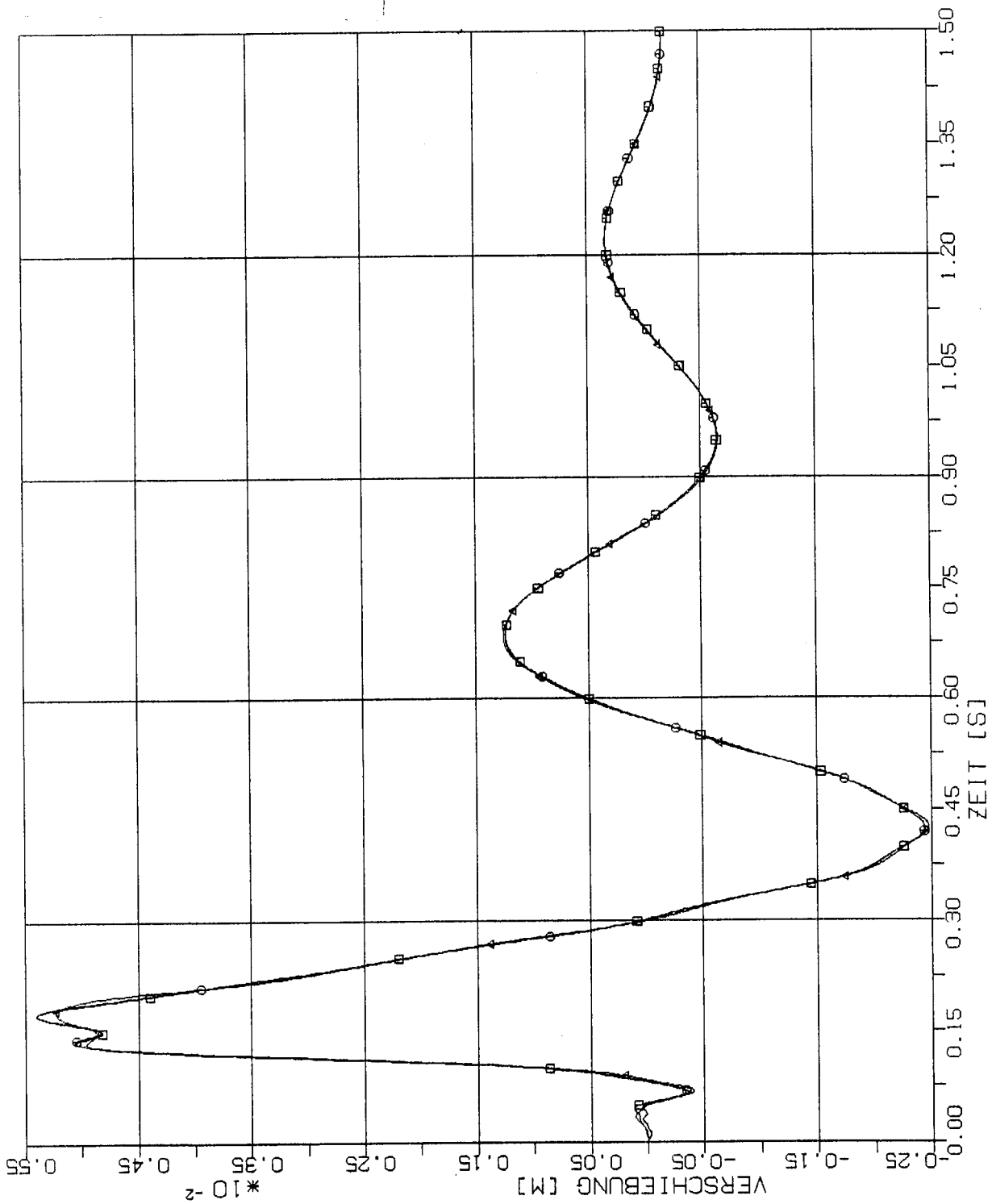
△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 3L(1357) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

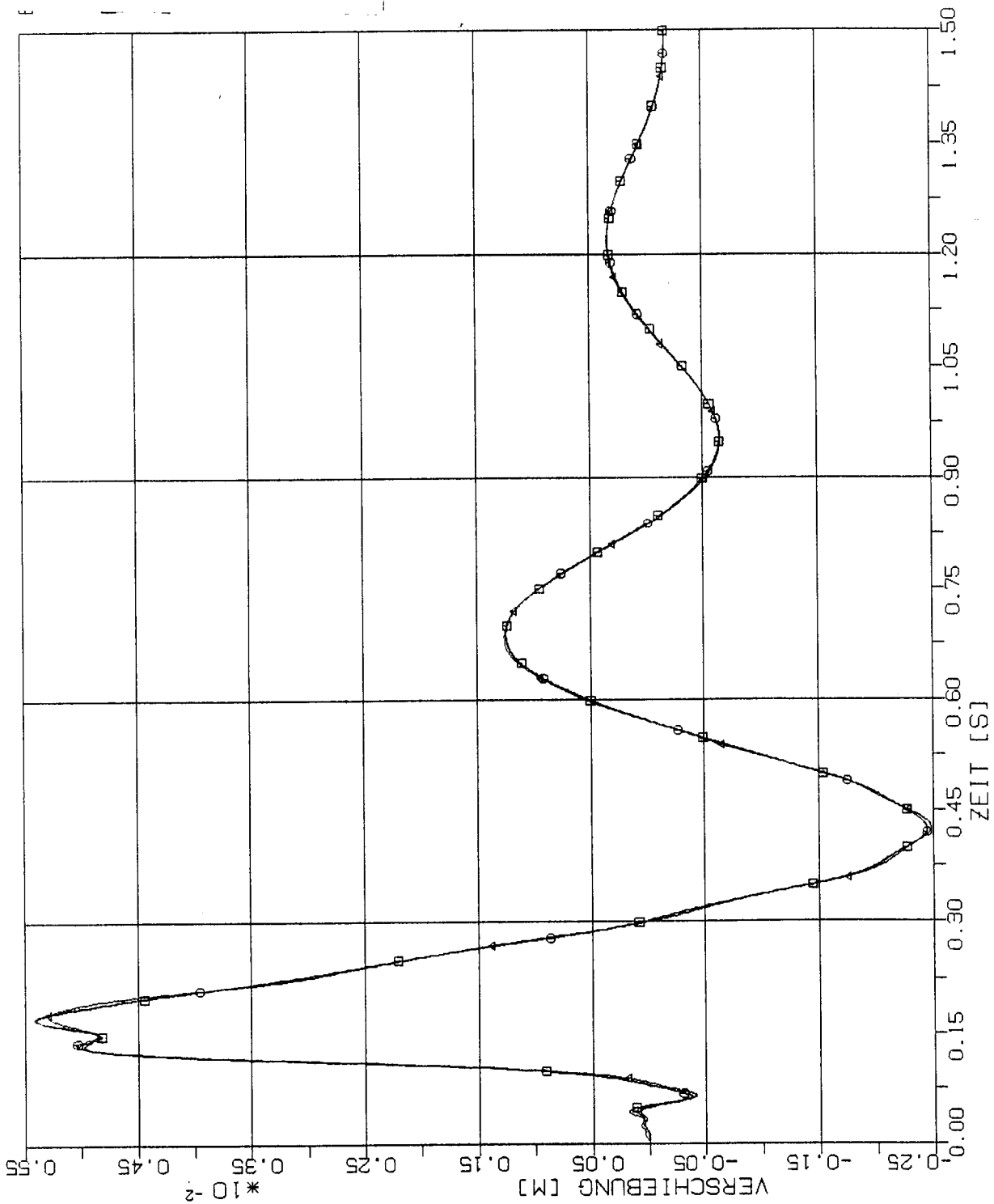
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4L(1321) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



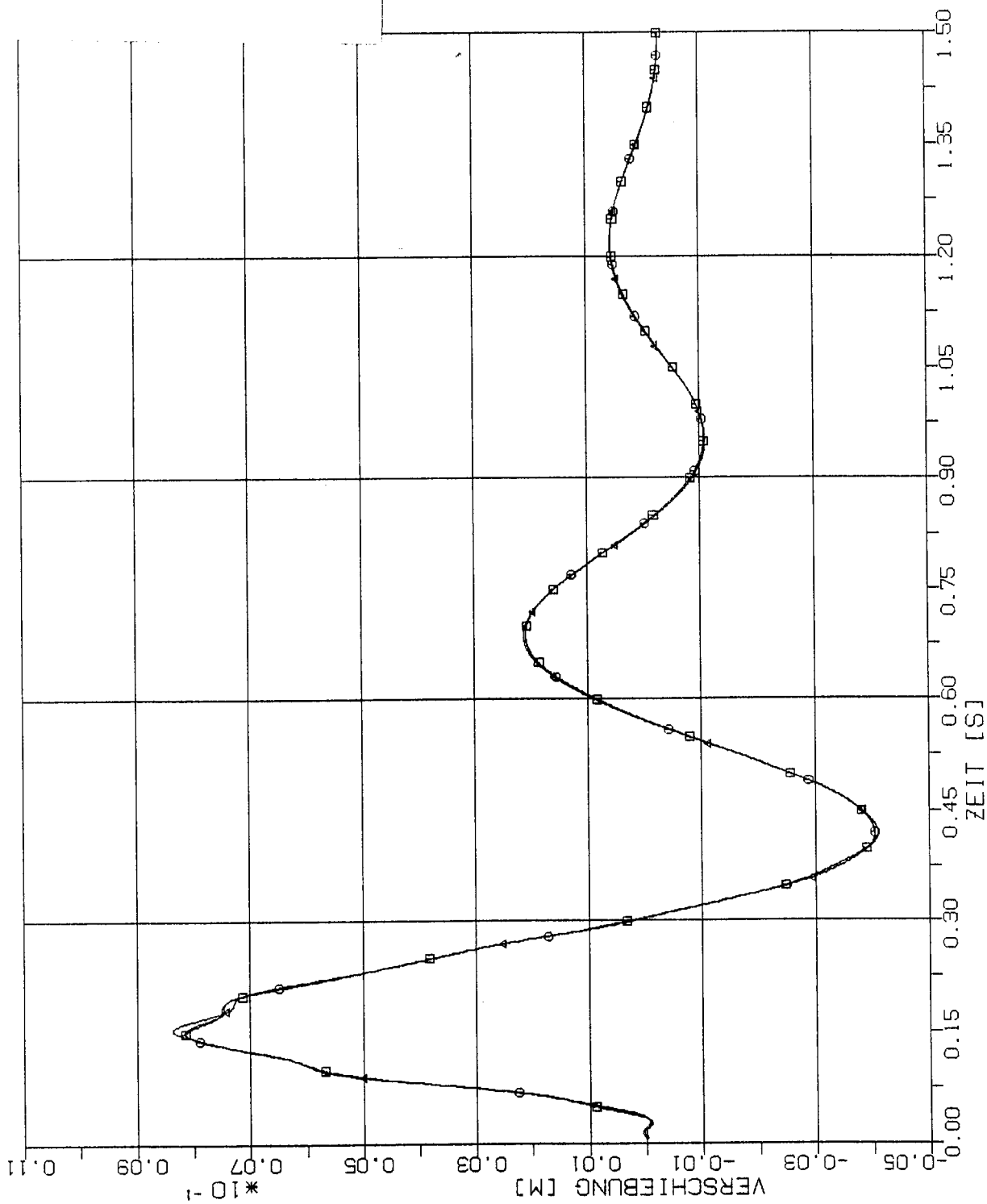
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 5L(1001) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



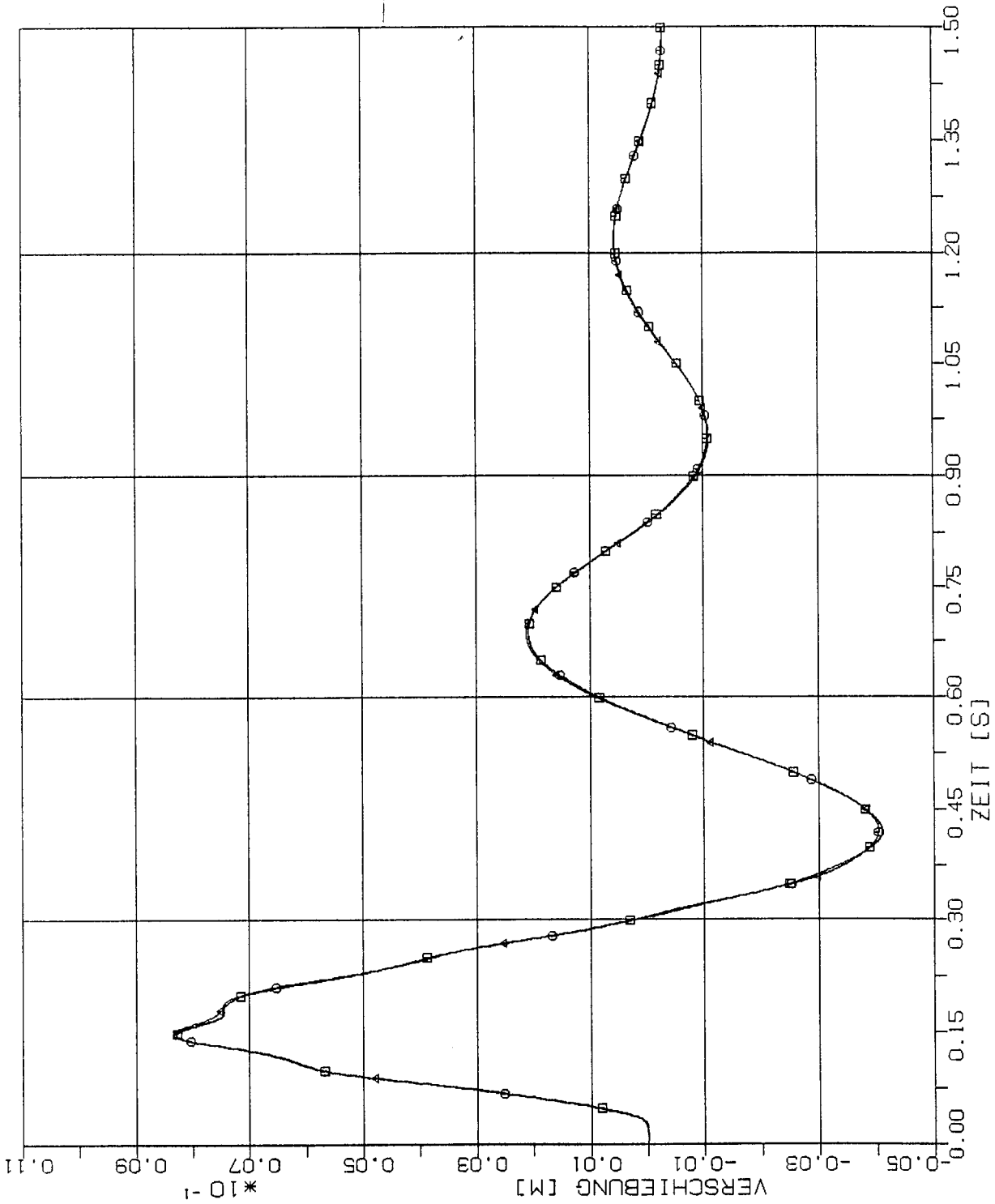
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5P(2197) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



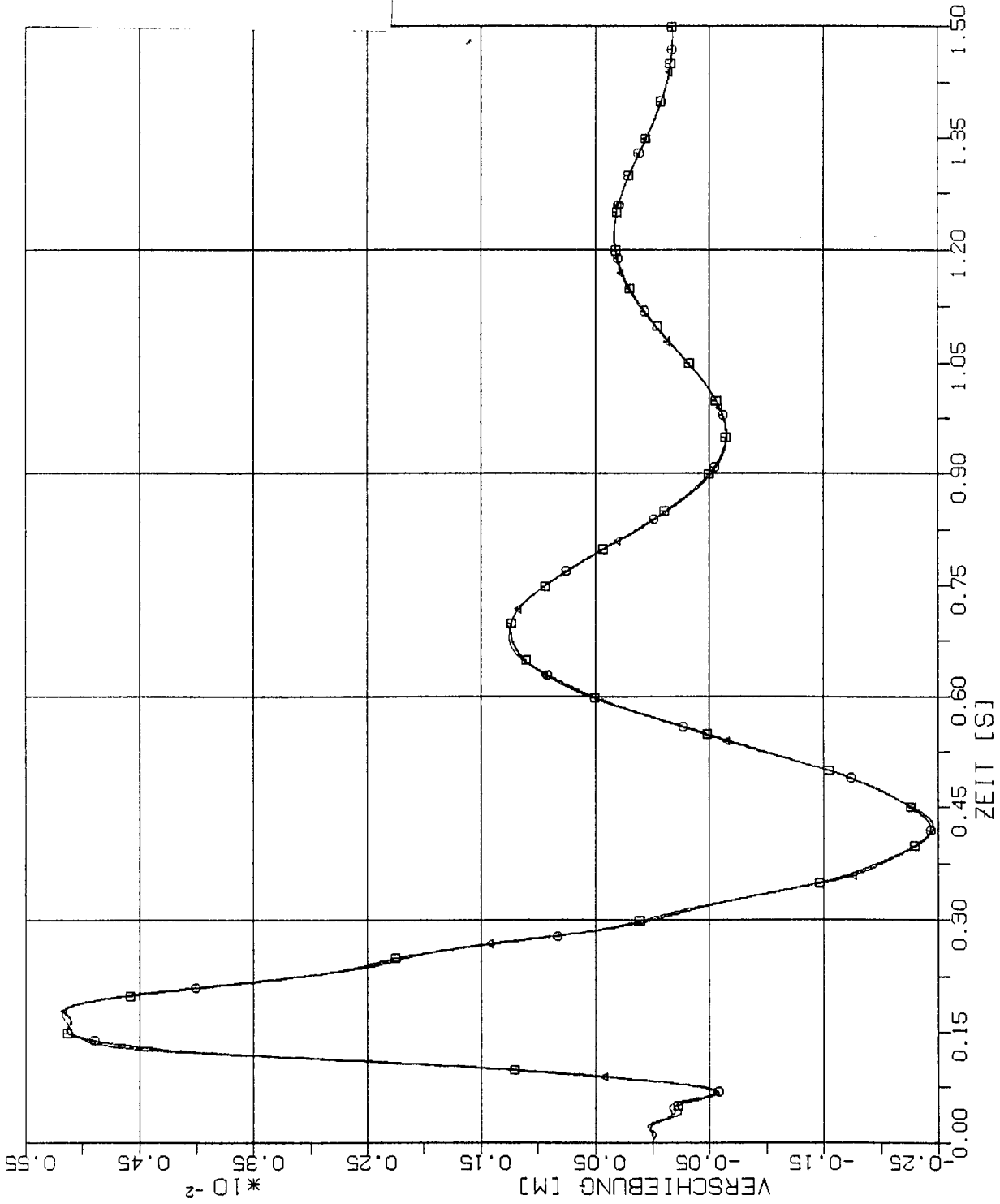
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5P(2161) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

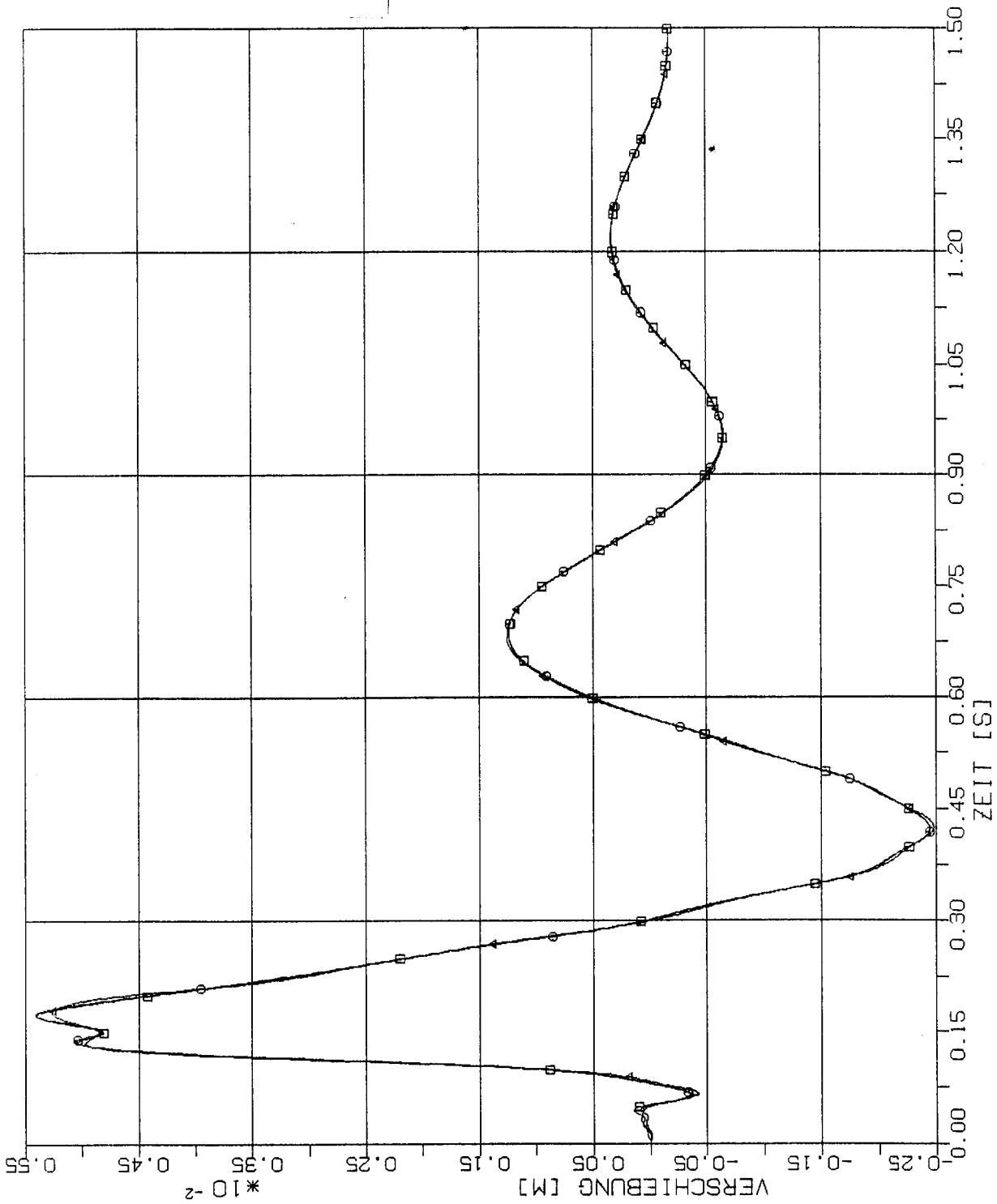
△ 8m x 8m



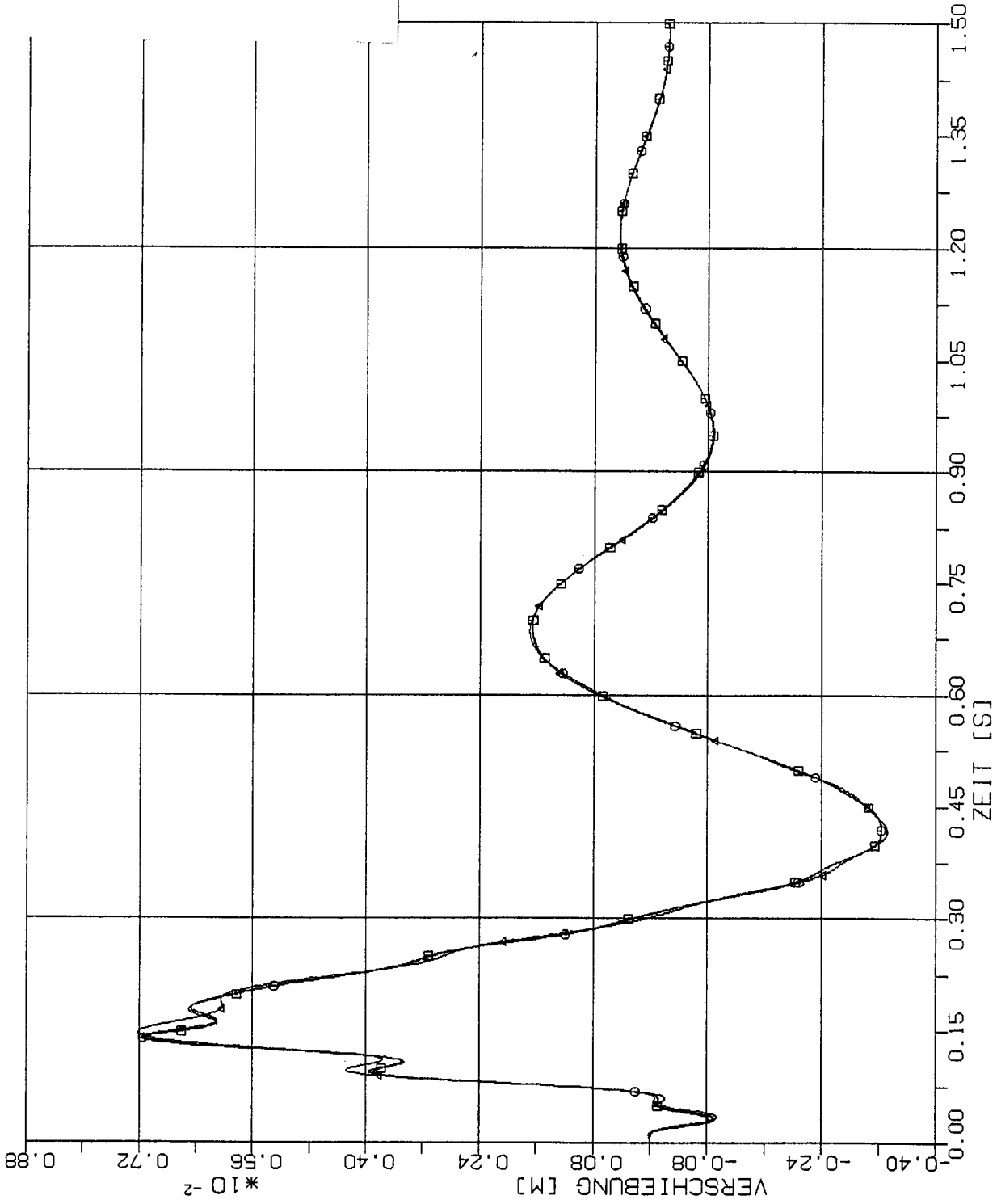
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5P(1197) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5P(1161) RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



Elementgröße:

□ 2m x 2m

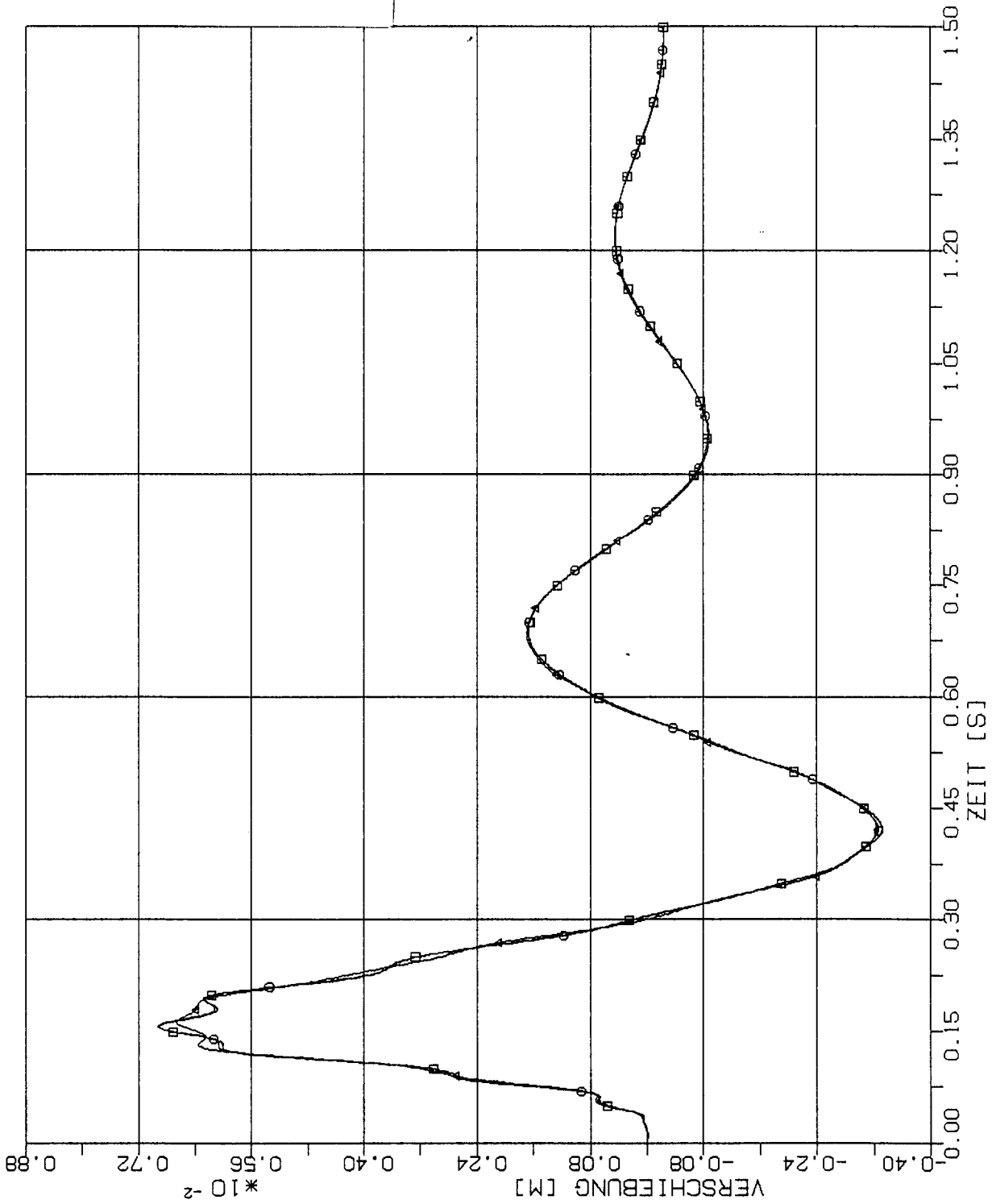
○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5S(5437) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

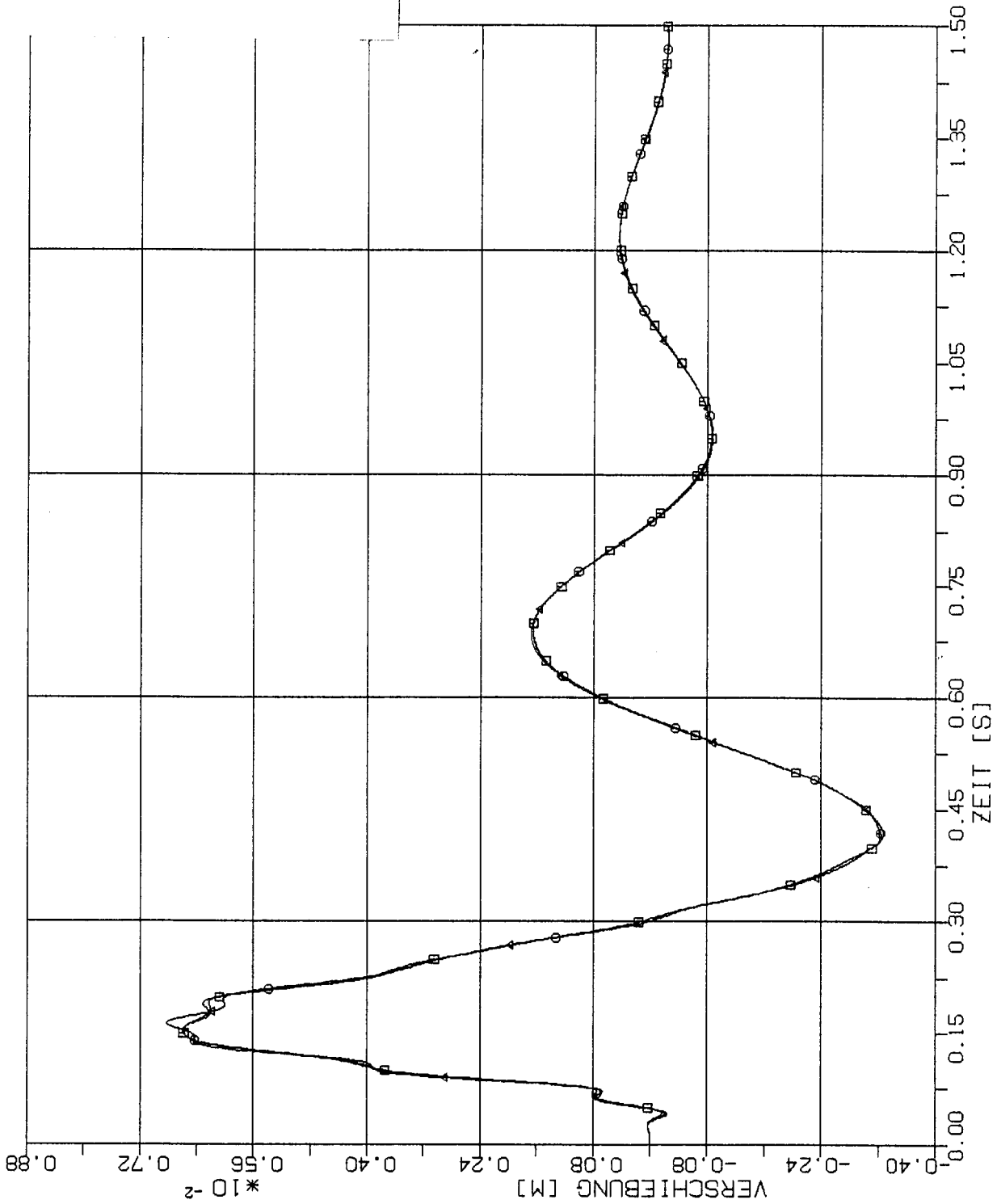
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOß - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5S(5401) RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

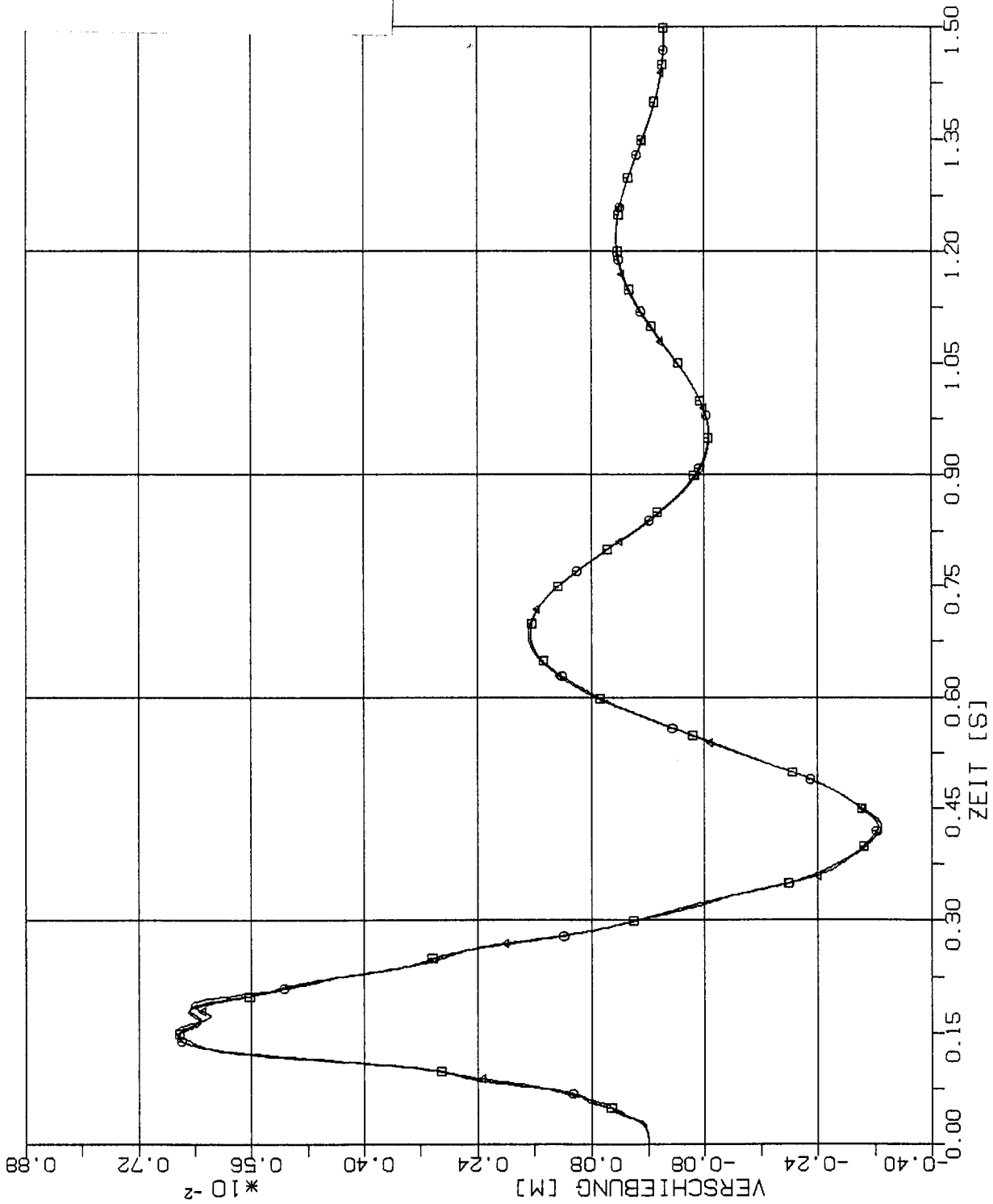
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5Z(8437) RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

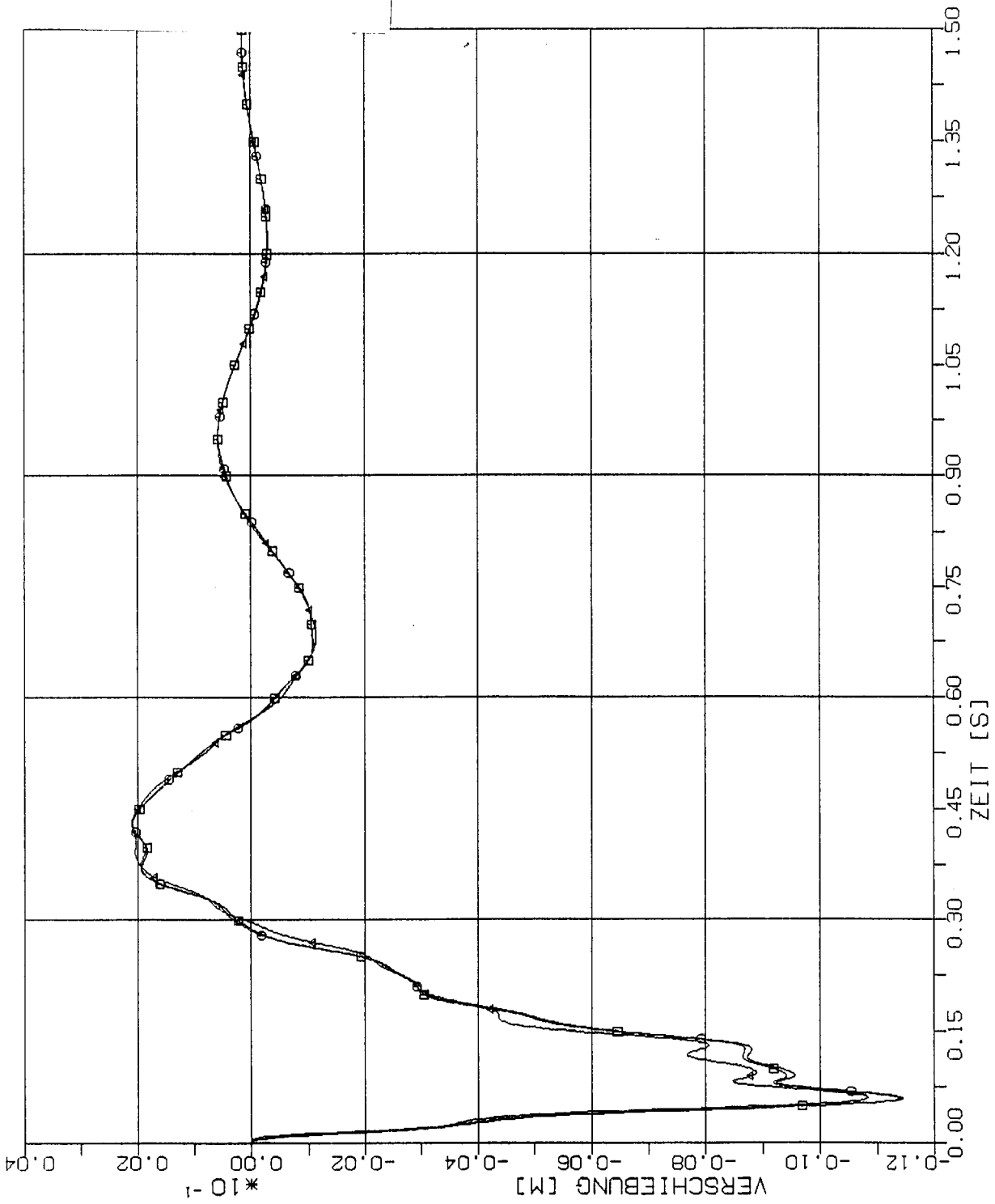
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5Z(8401) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

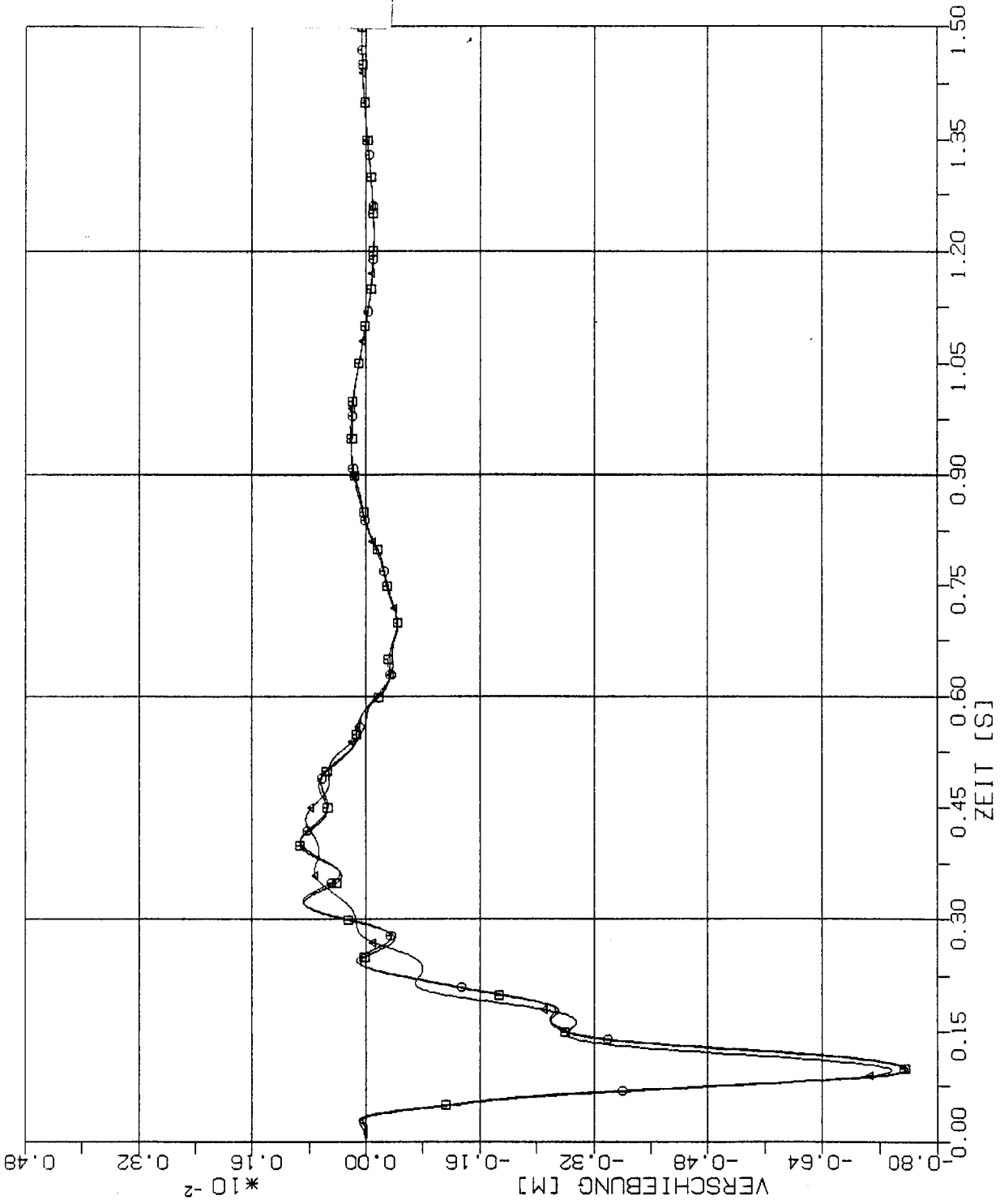
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



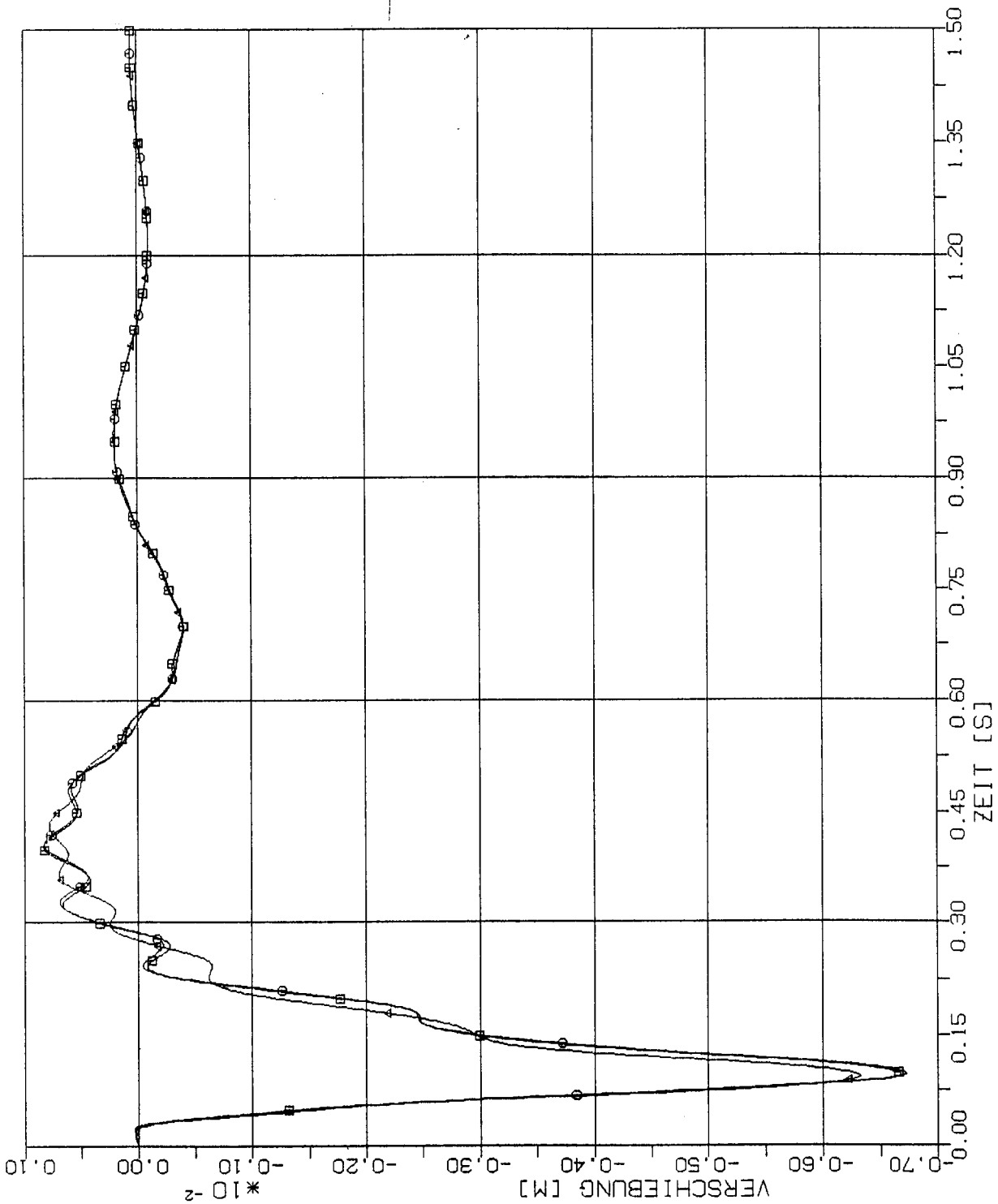
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1L(2037) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 2L(2357) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



Elementgröße:
 □ 2m x 2m
 ○ 4m x 4m
 ▲ 8m x 8m

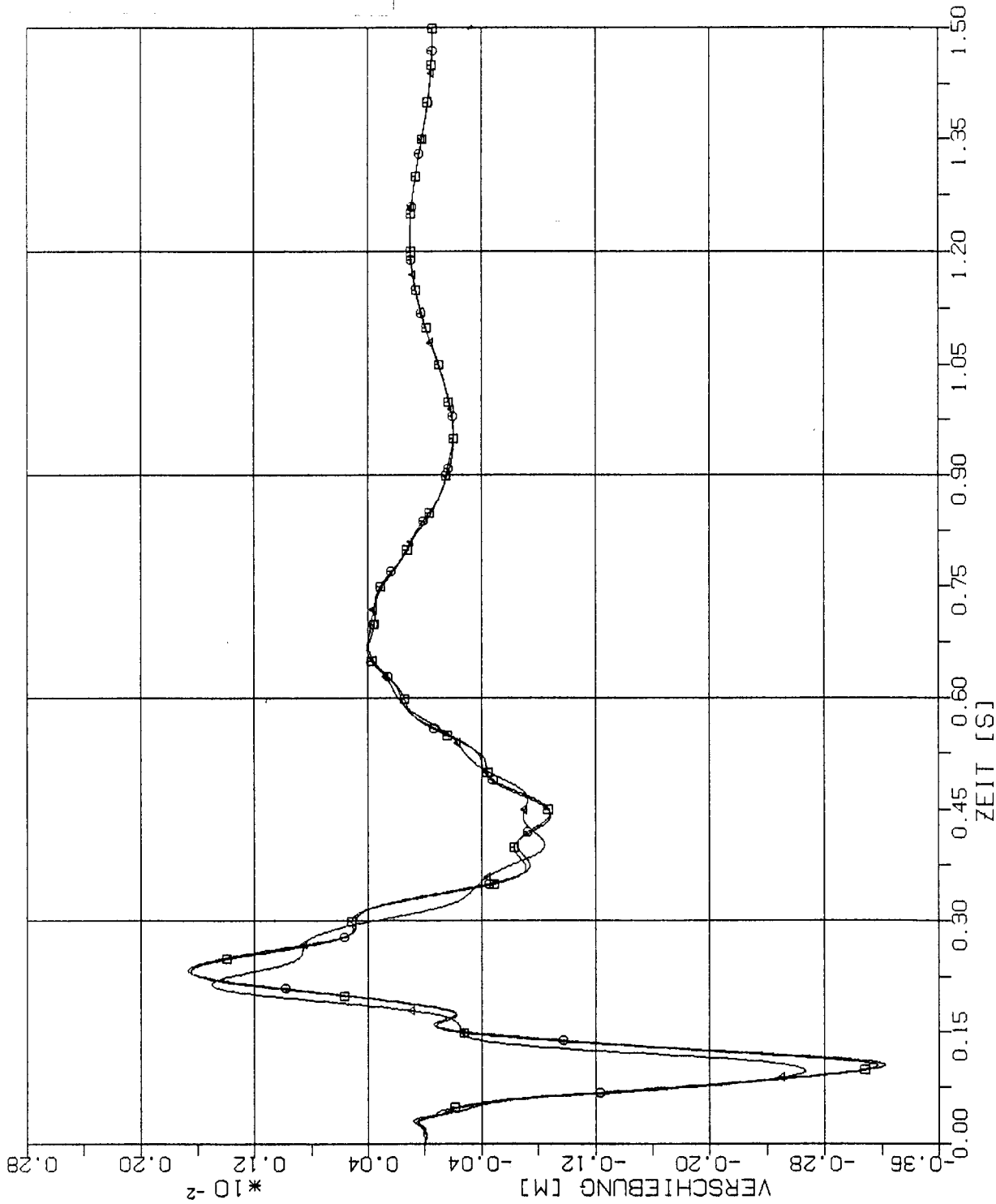
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3L(1357) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

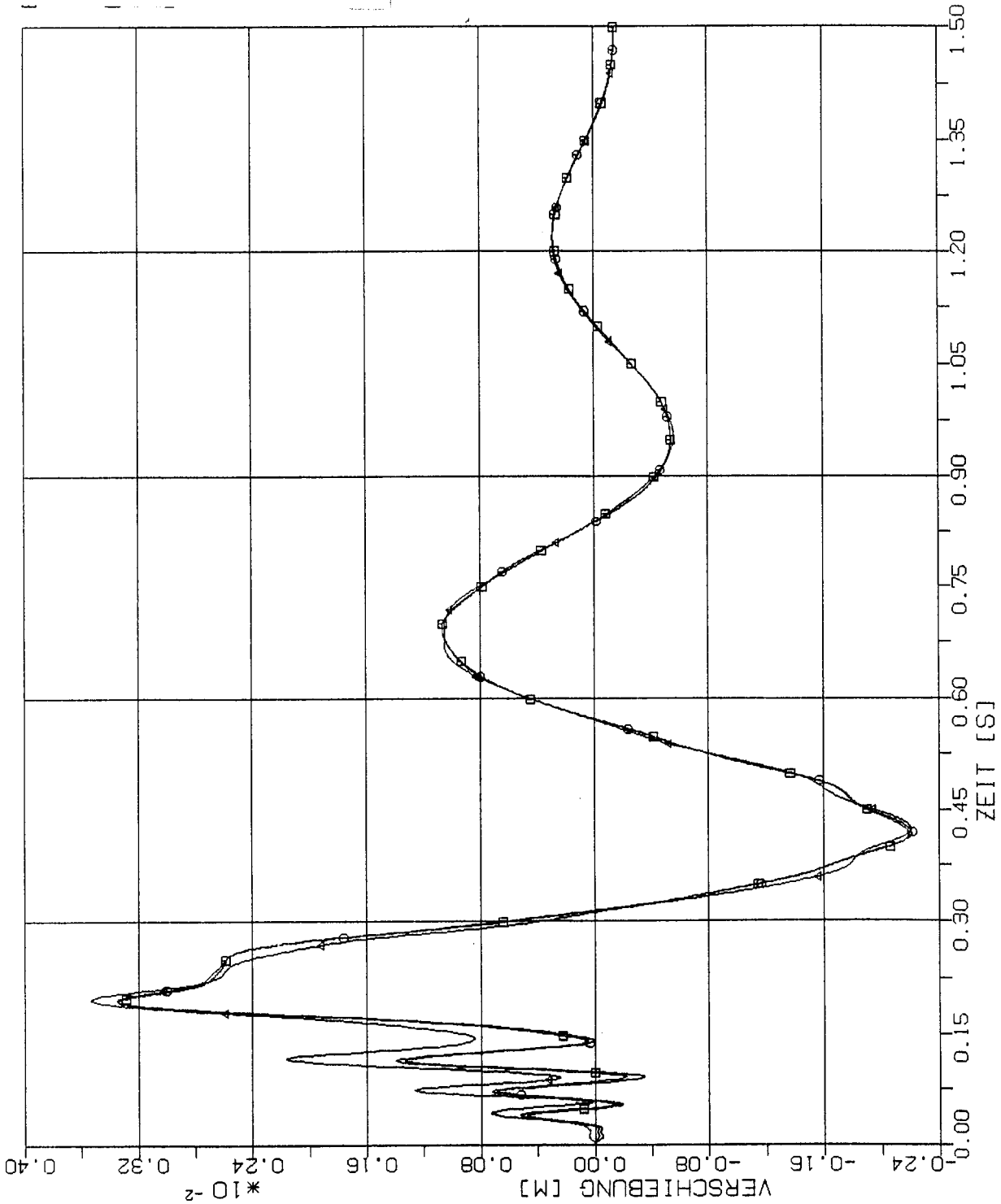
△ 8m x 8m



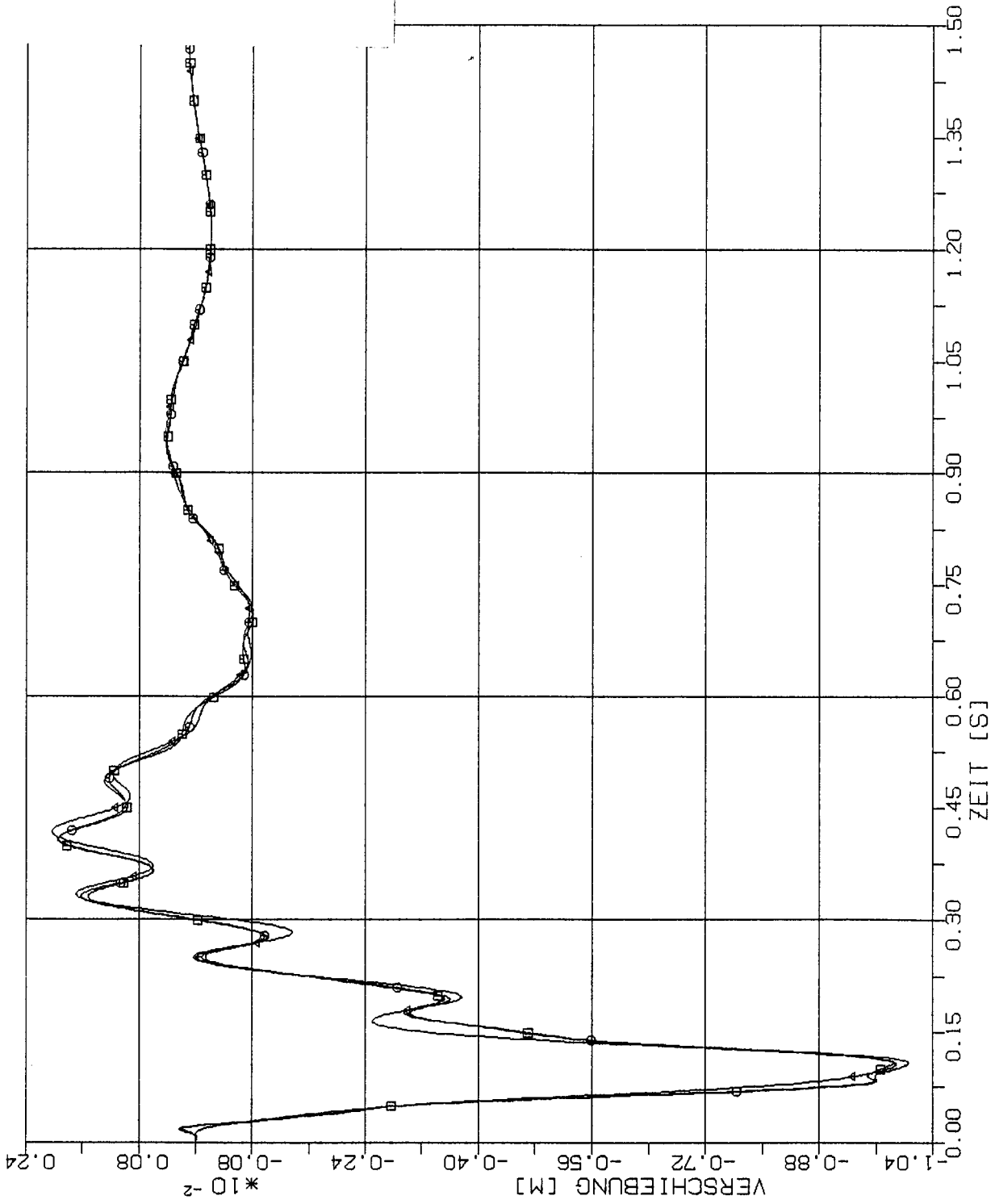
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4L(1321) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

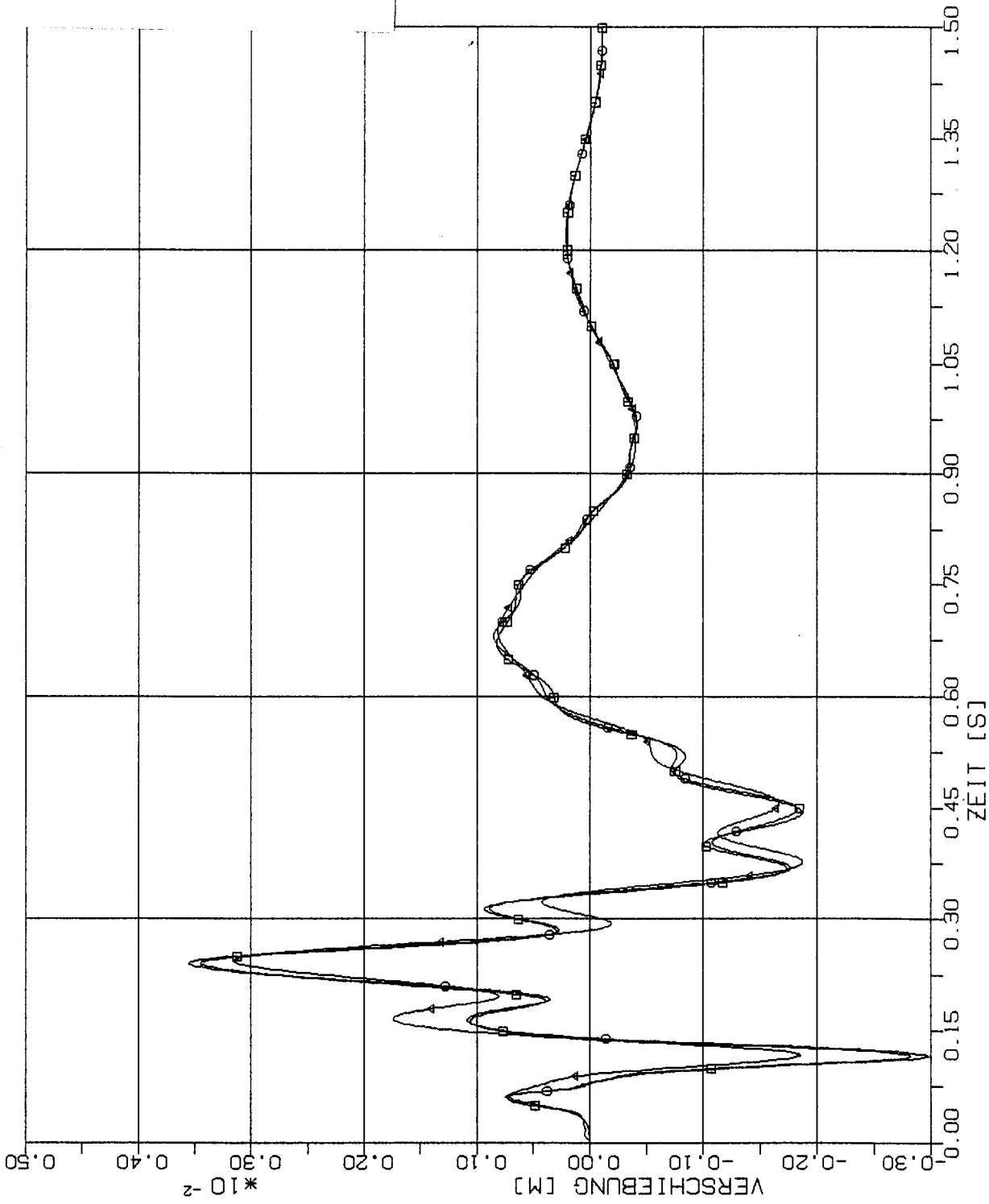
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



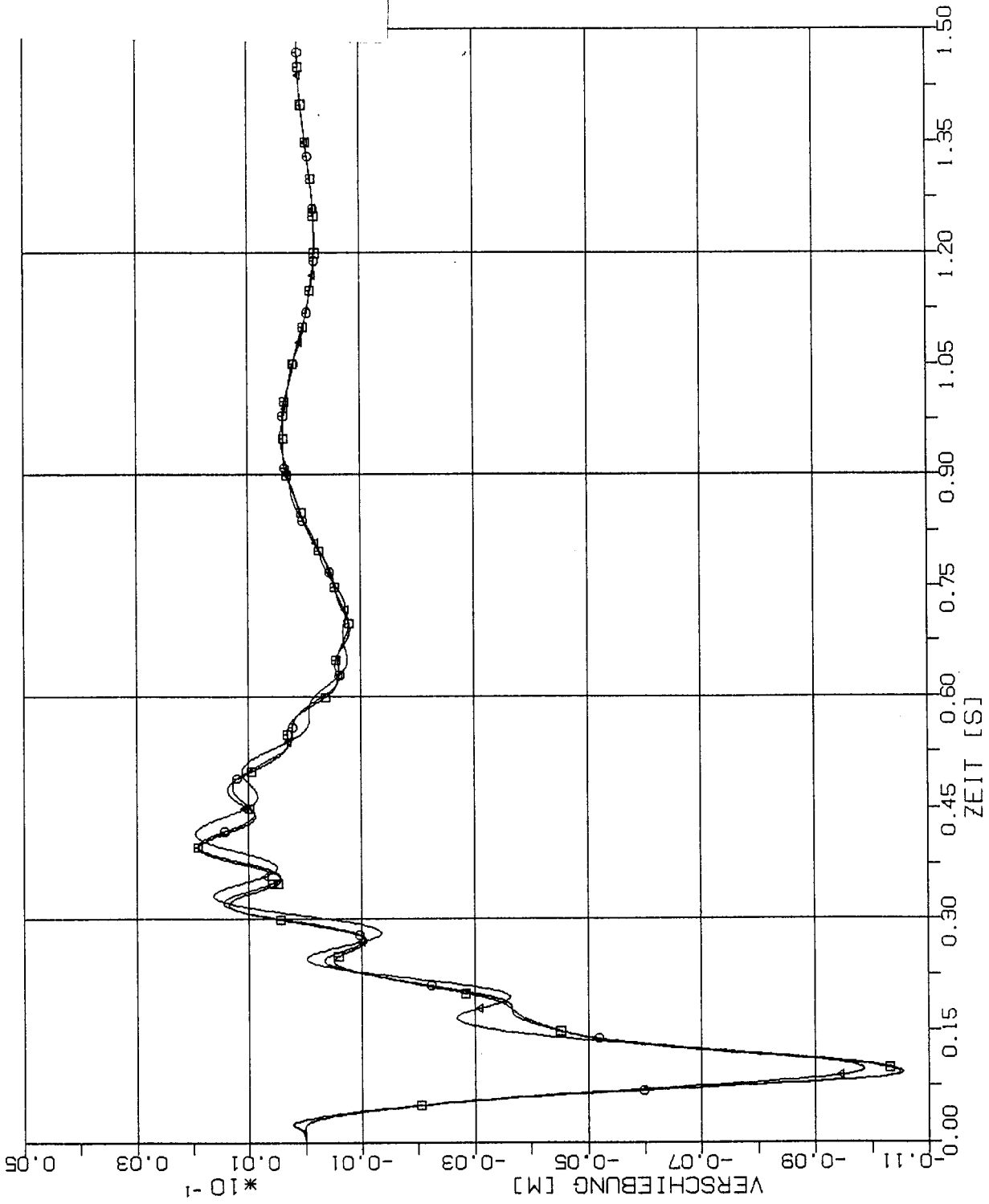
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 5L(1001) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5P(2197) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.SP(2161) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m

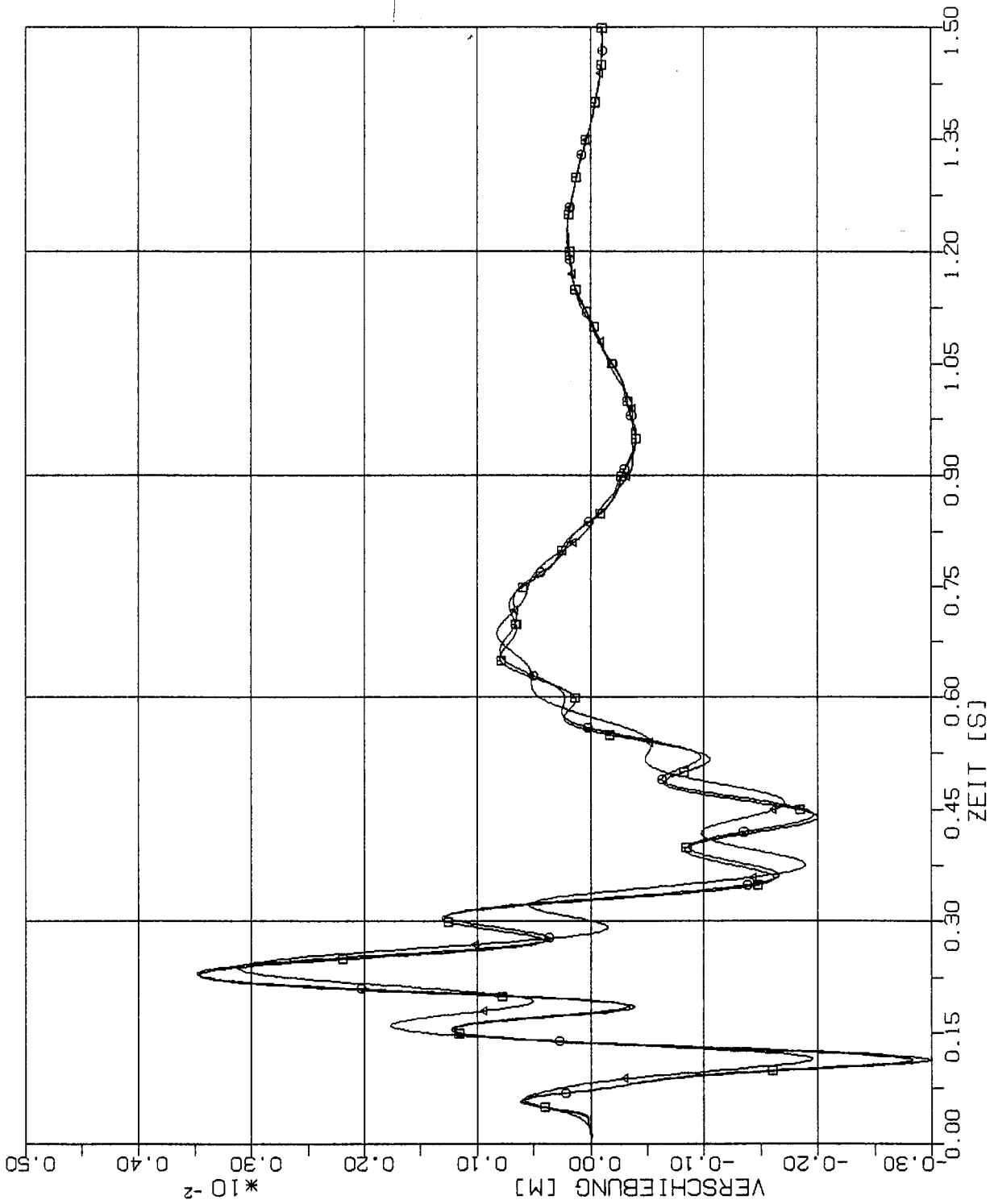
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5P(1197) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

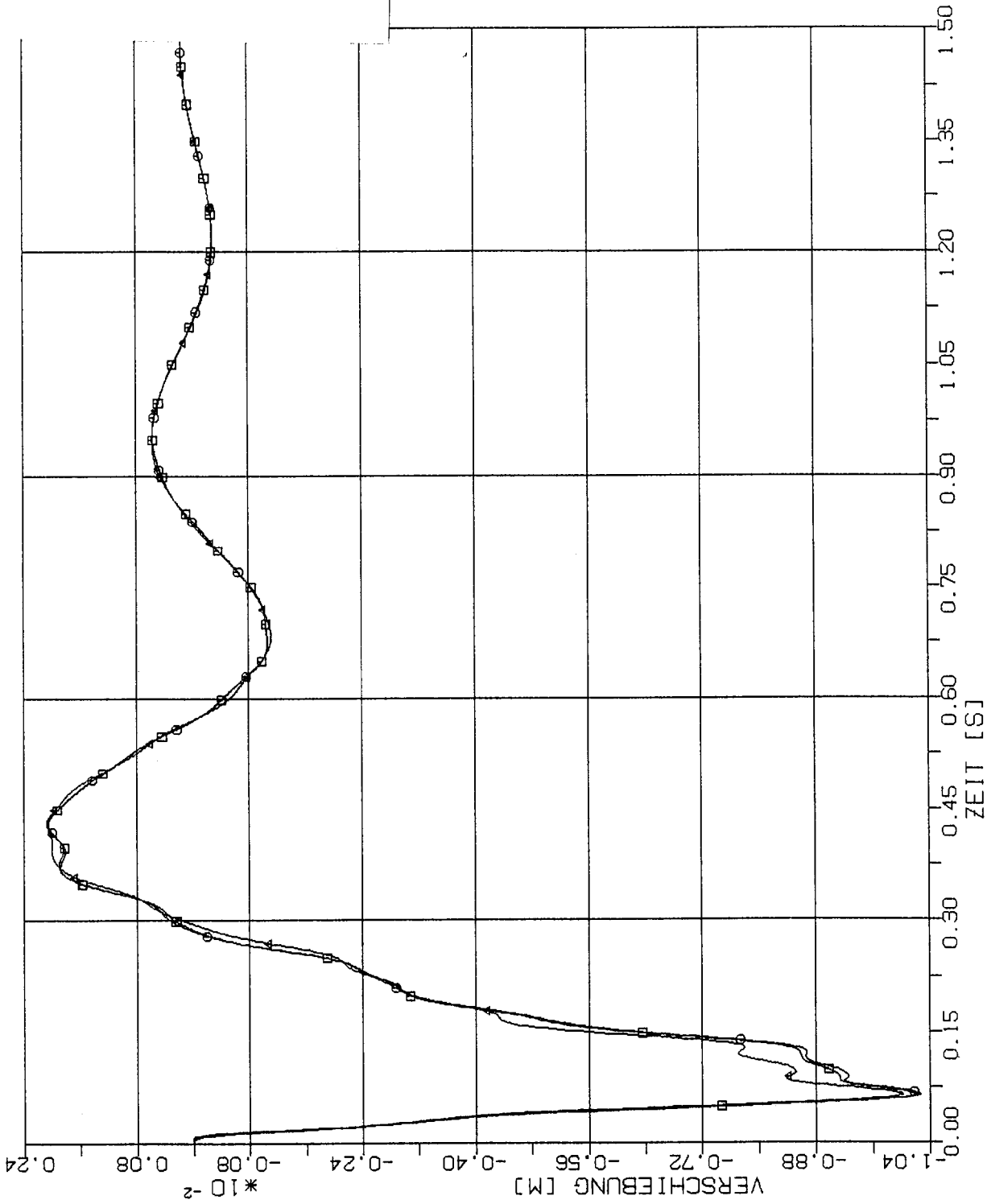
□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.SP(1161) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



Elementgröße:

□ 2m x 2m

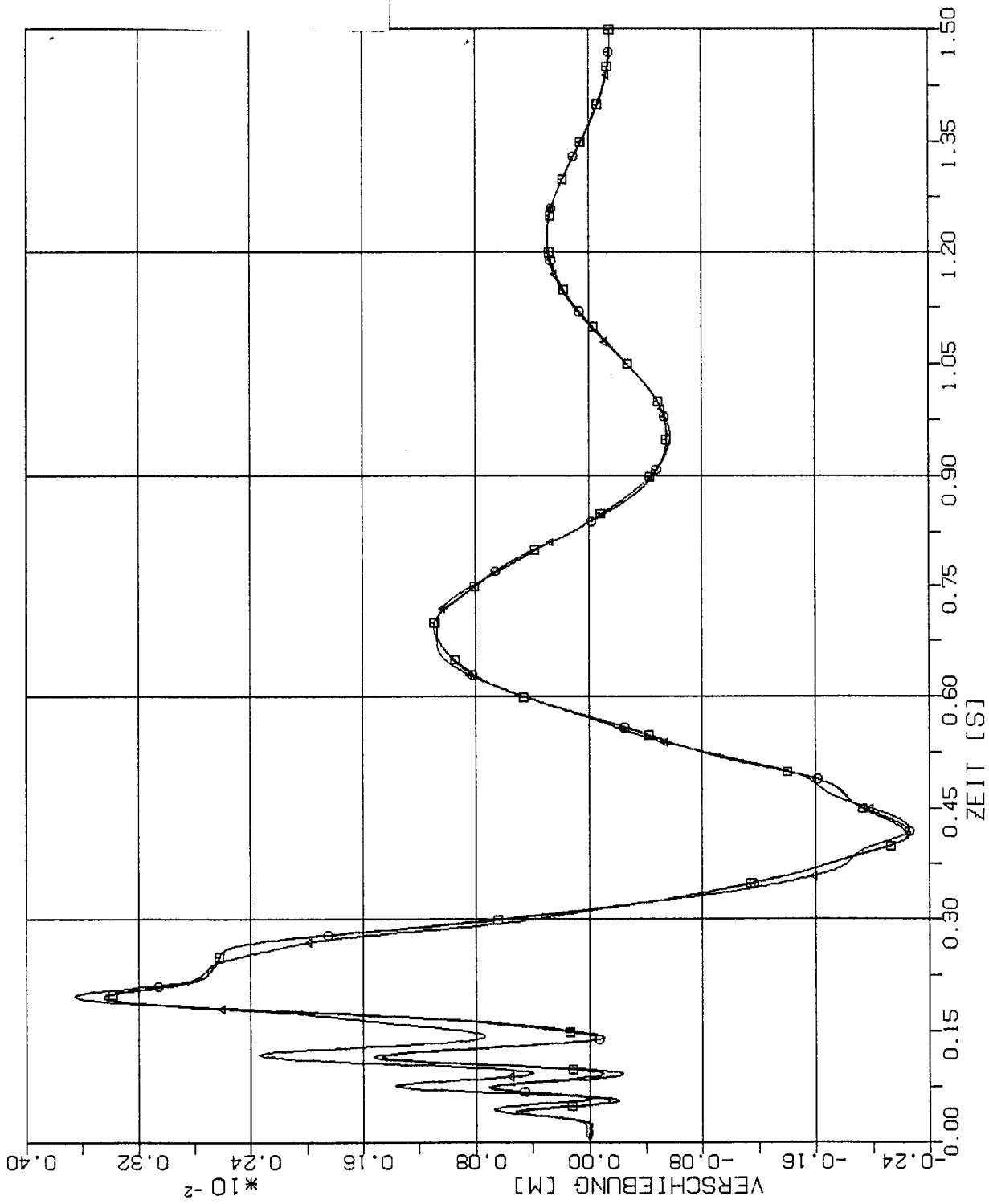
○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

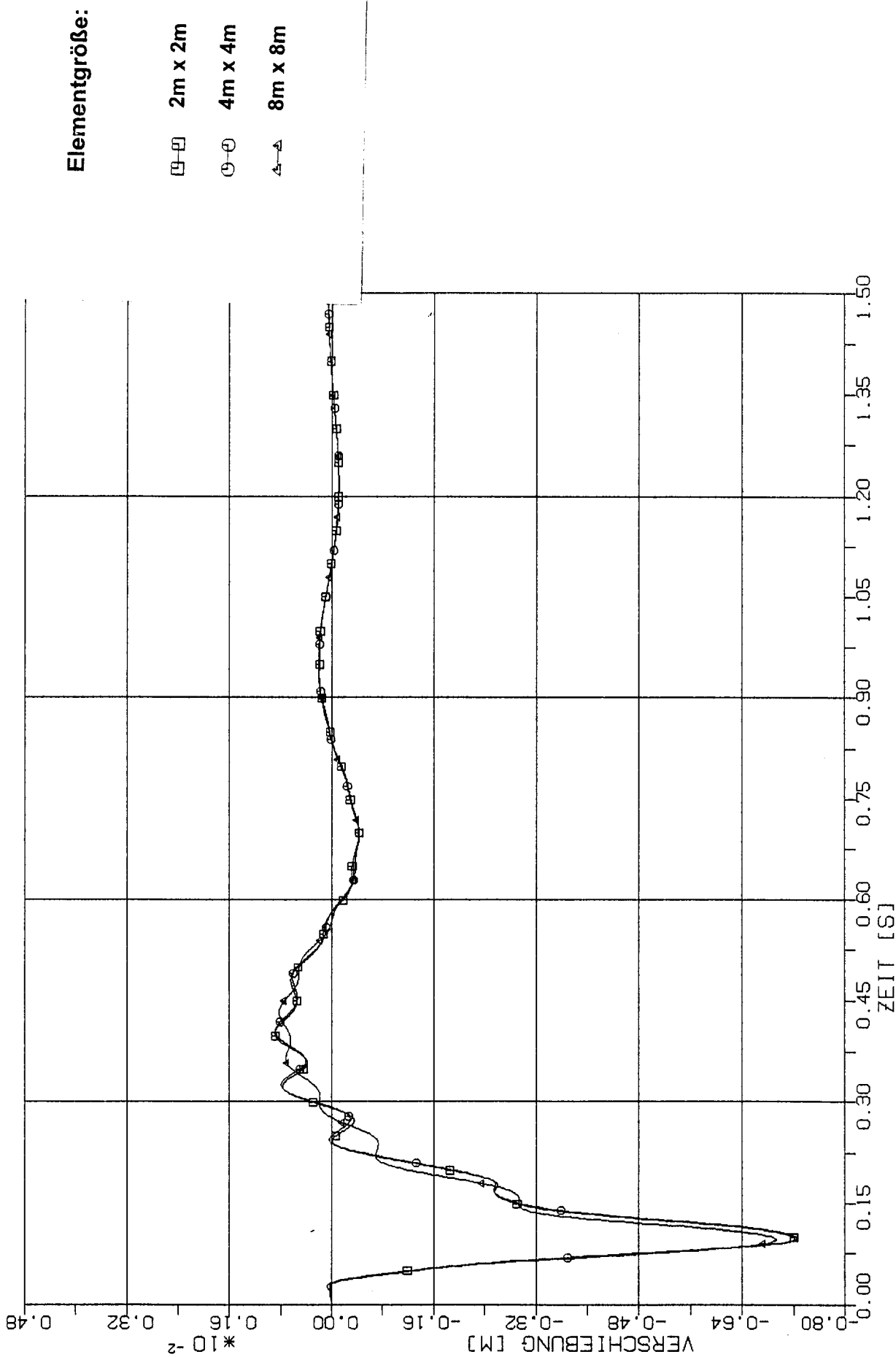
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5S(5437) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

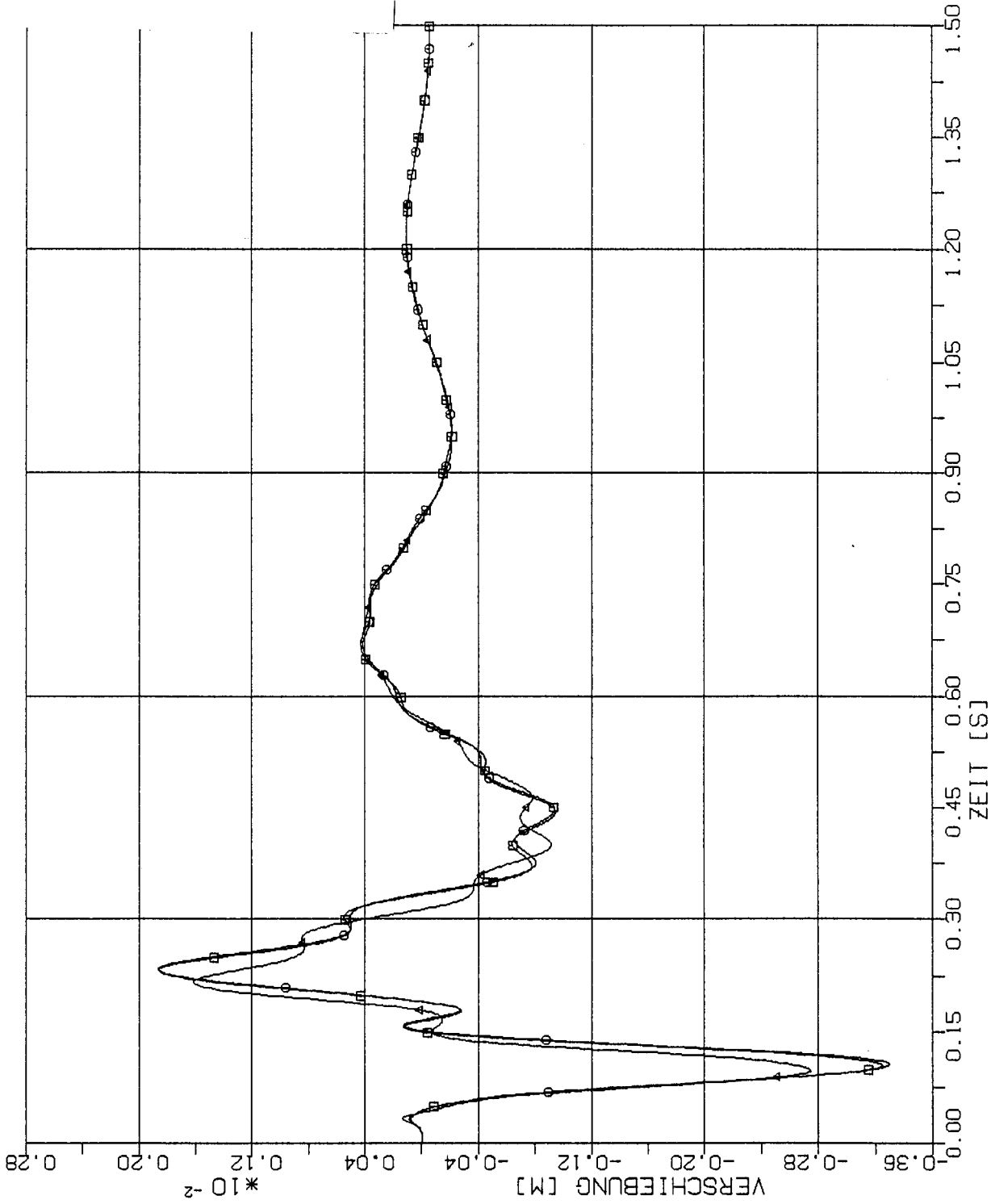
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5S(5401) RICHTUNG X3
STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5Z(8437) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

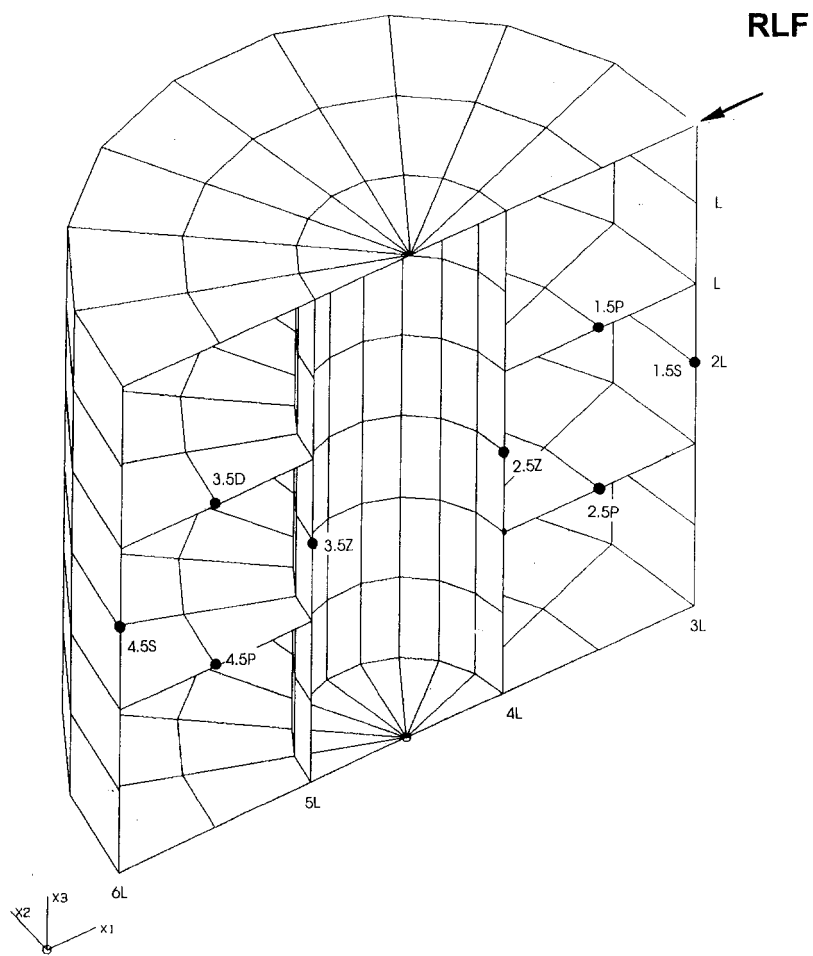
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER VERSCHIEBUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5Z(8401) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Zwischenblatt

3

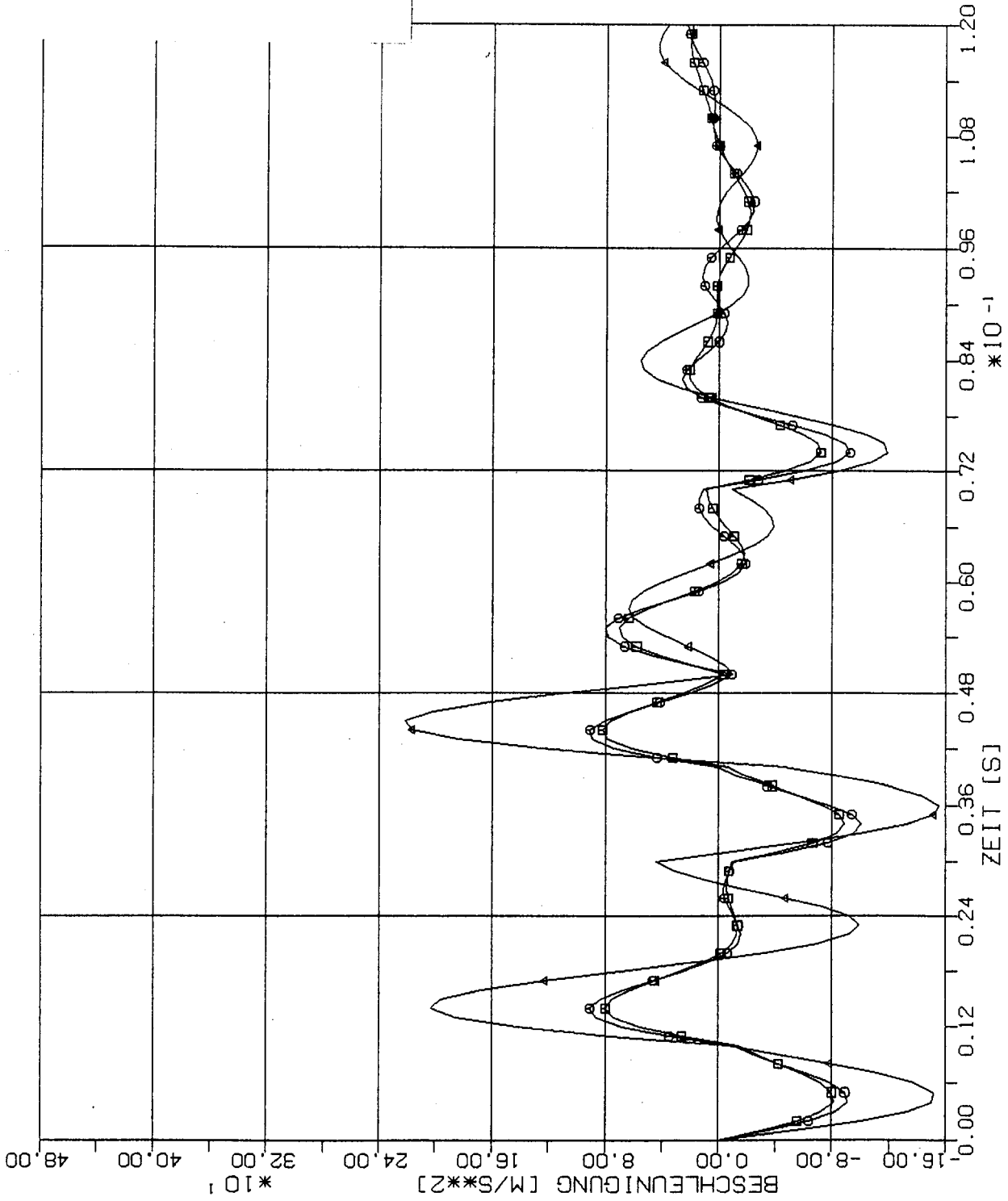
**Vergleich zeitabhängiger Beschleunigungen in
den charakteristischen Beobachtungspunkten
des axisymmetrischen Modellbauwerks
bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen**

3.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung



Elementgröße:

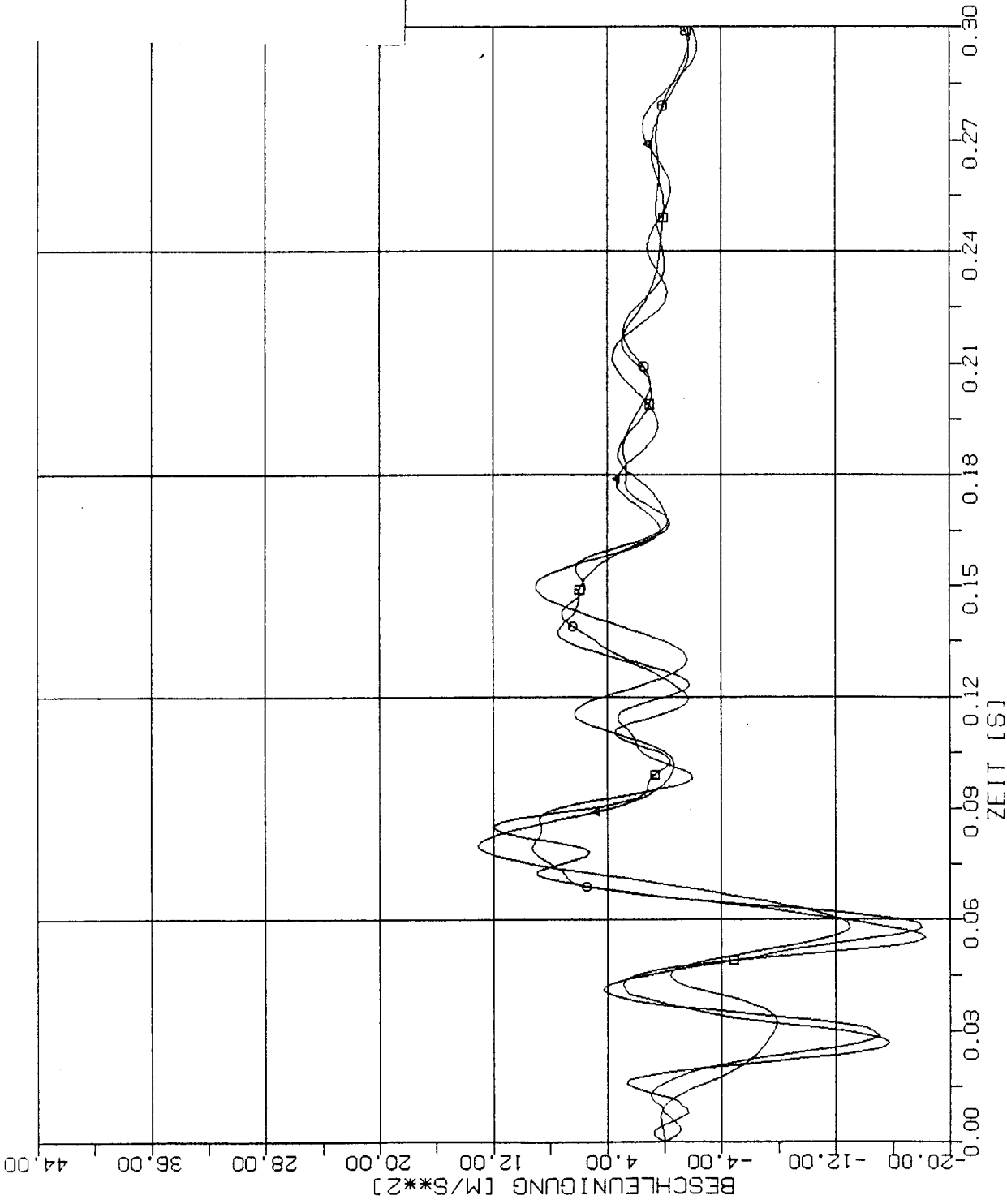
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



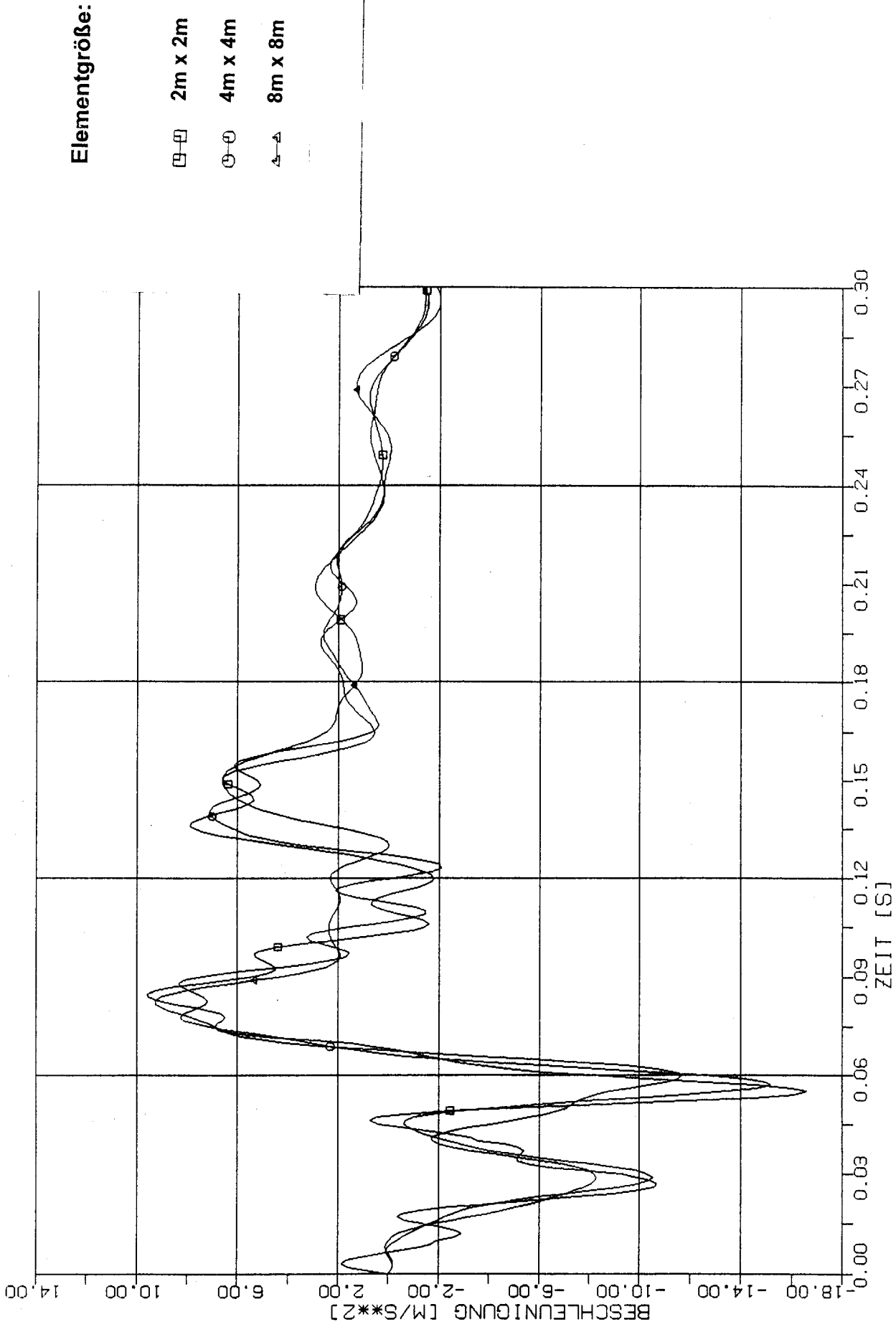
STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM LASTEINLEITUNGSBEREICH (KN 3037), RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



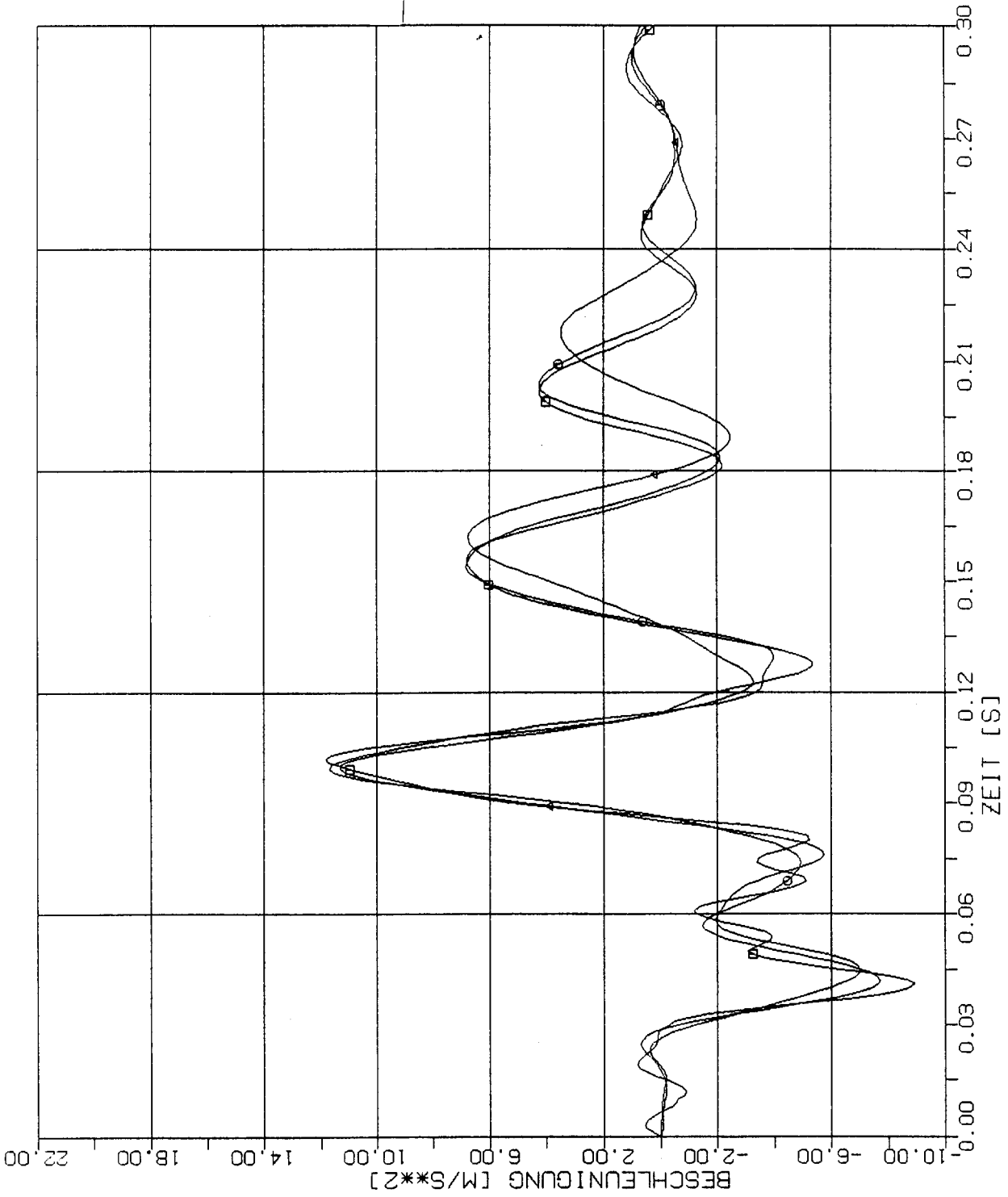
STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1L (2037), RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2L (2357), RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)

Elementgröße:

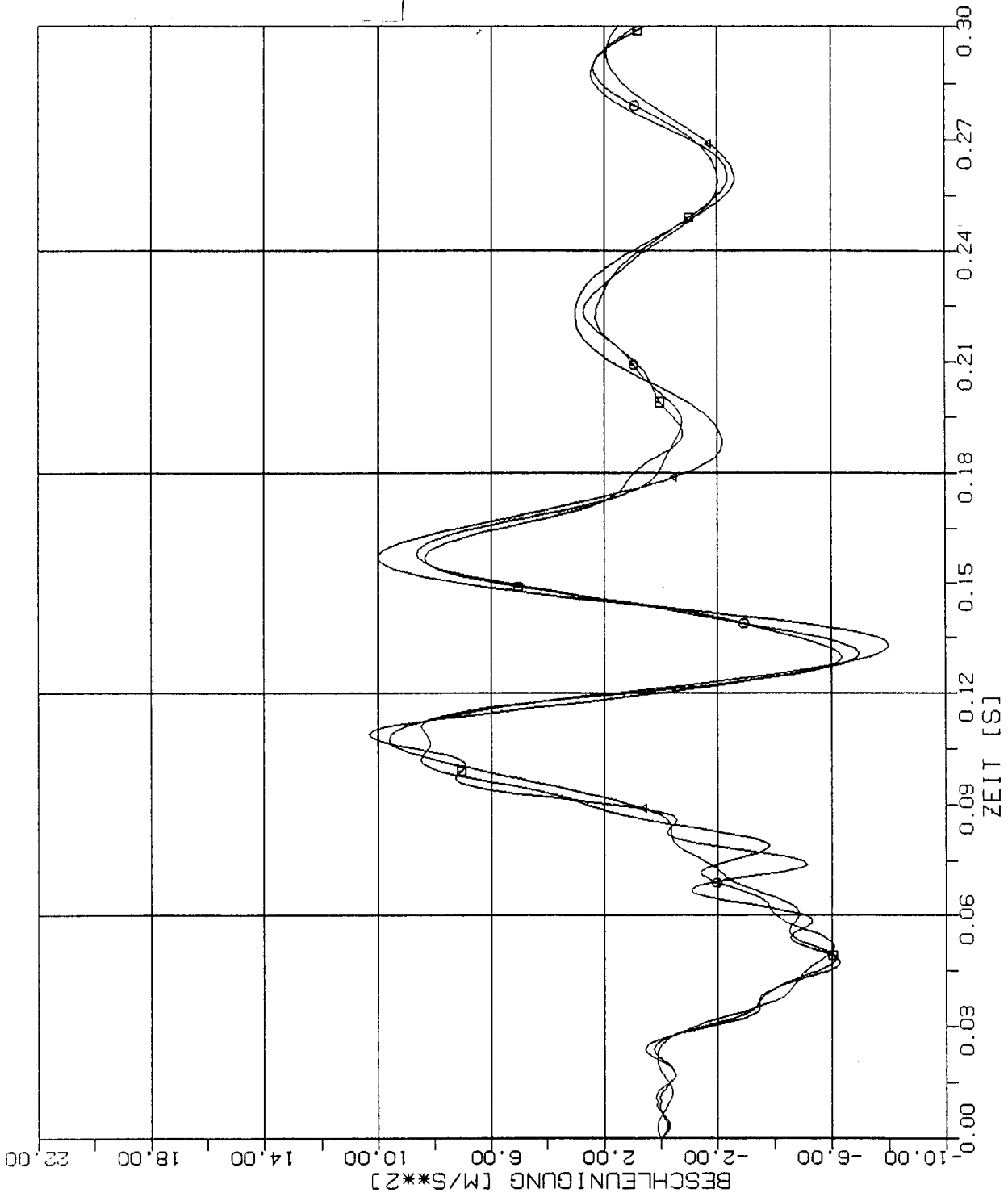
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3L (1357), RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

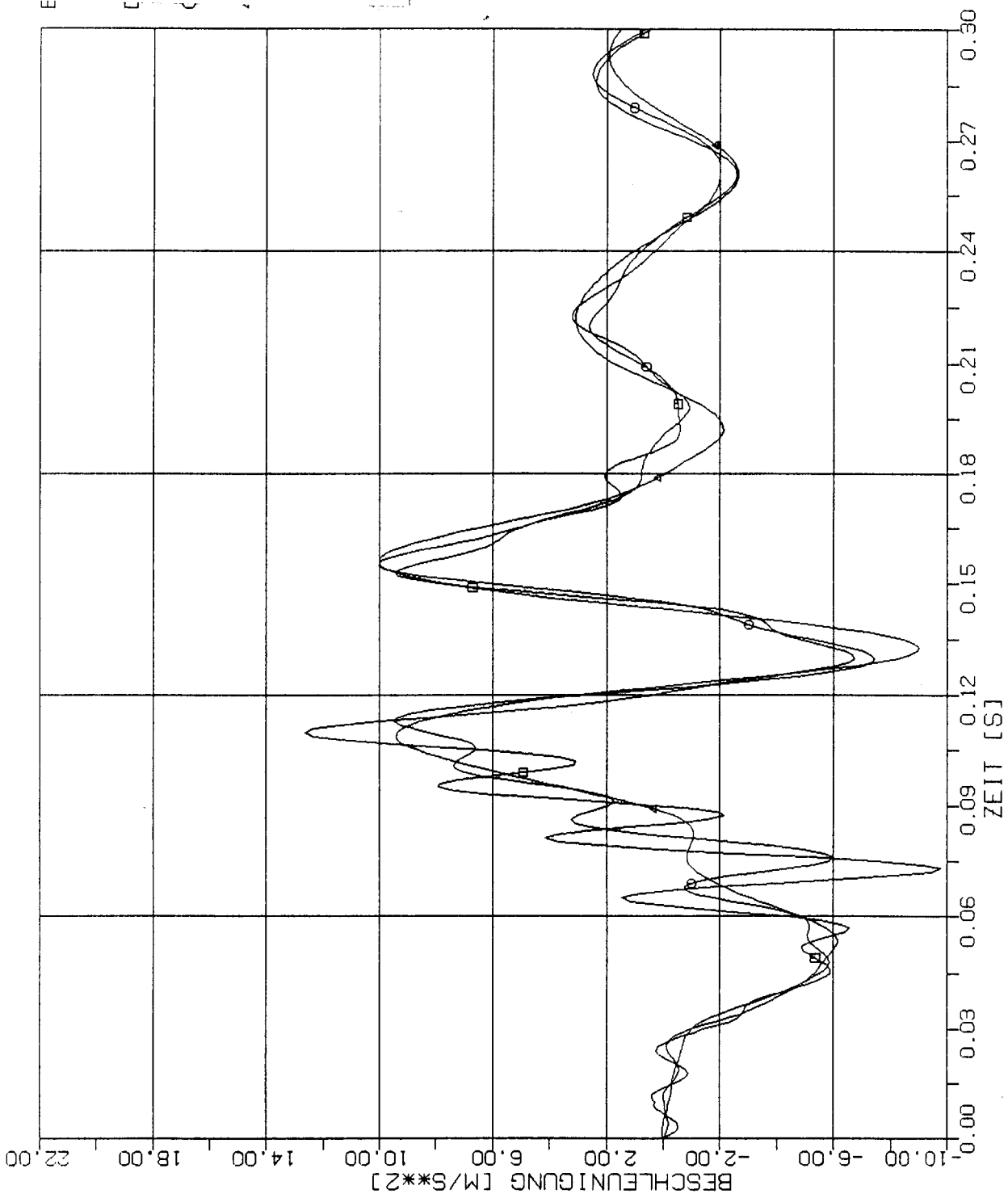
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



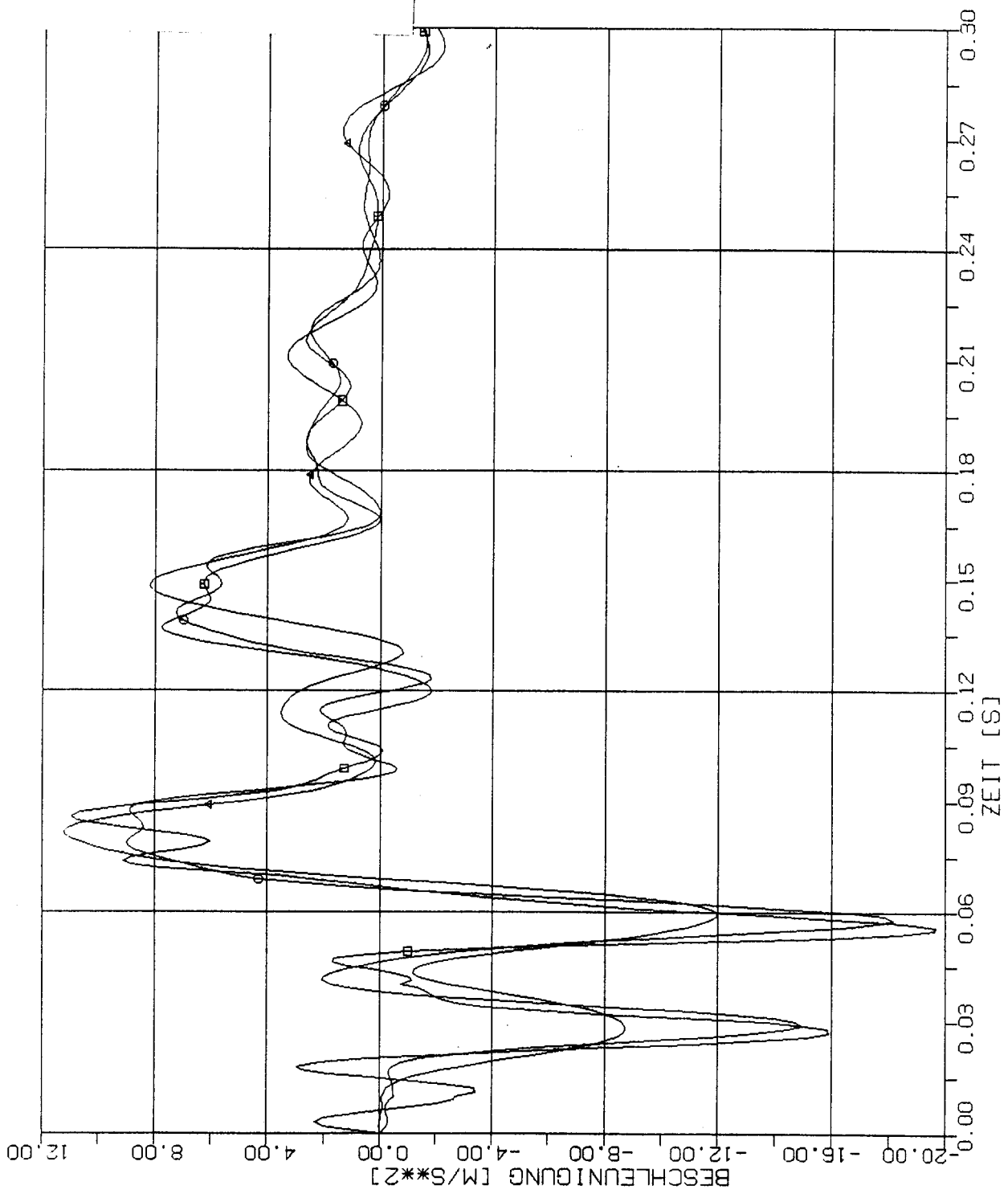
STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4L (1321), RICHTUNG XI
STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



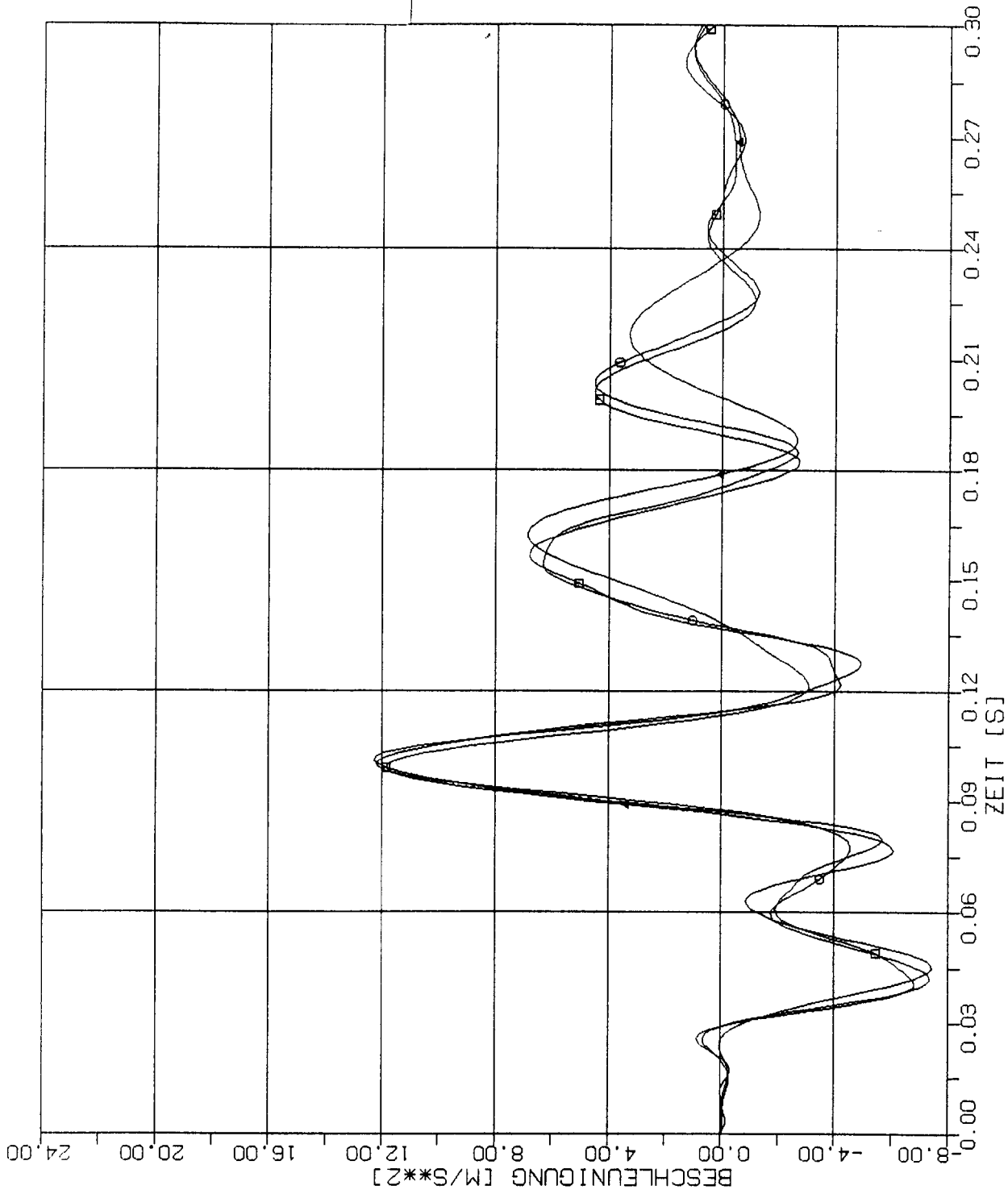
STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 5L (1001), RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5P (2197), RICHTUNG X1
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

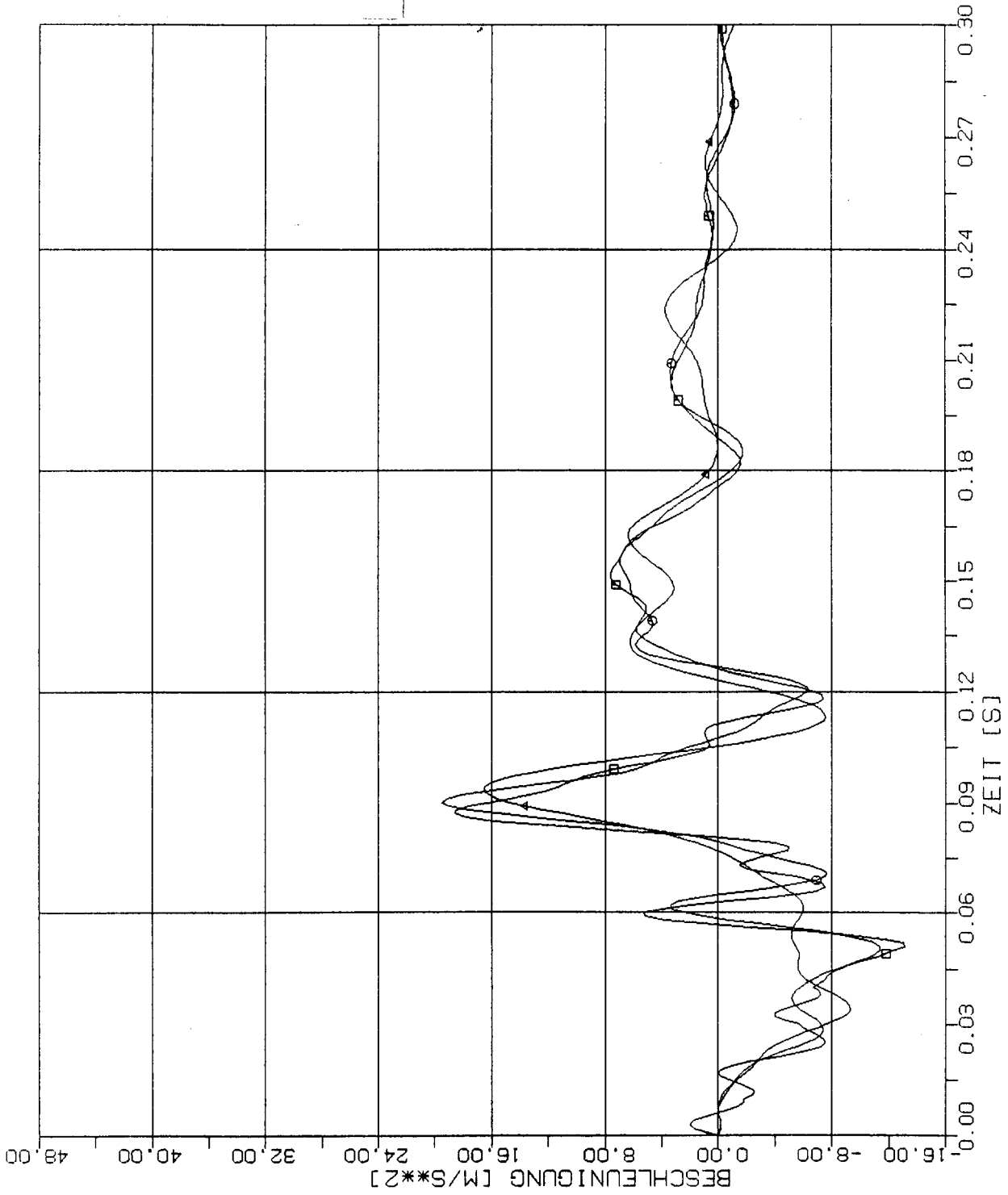
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5P (1197), RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

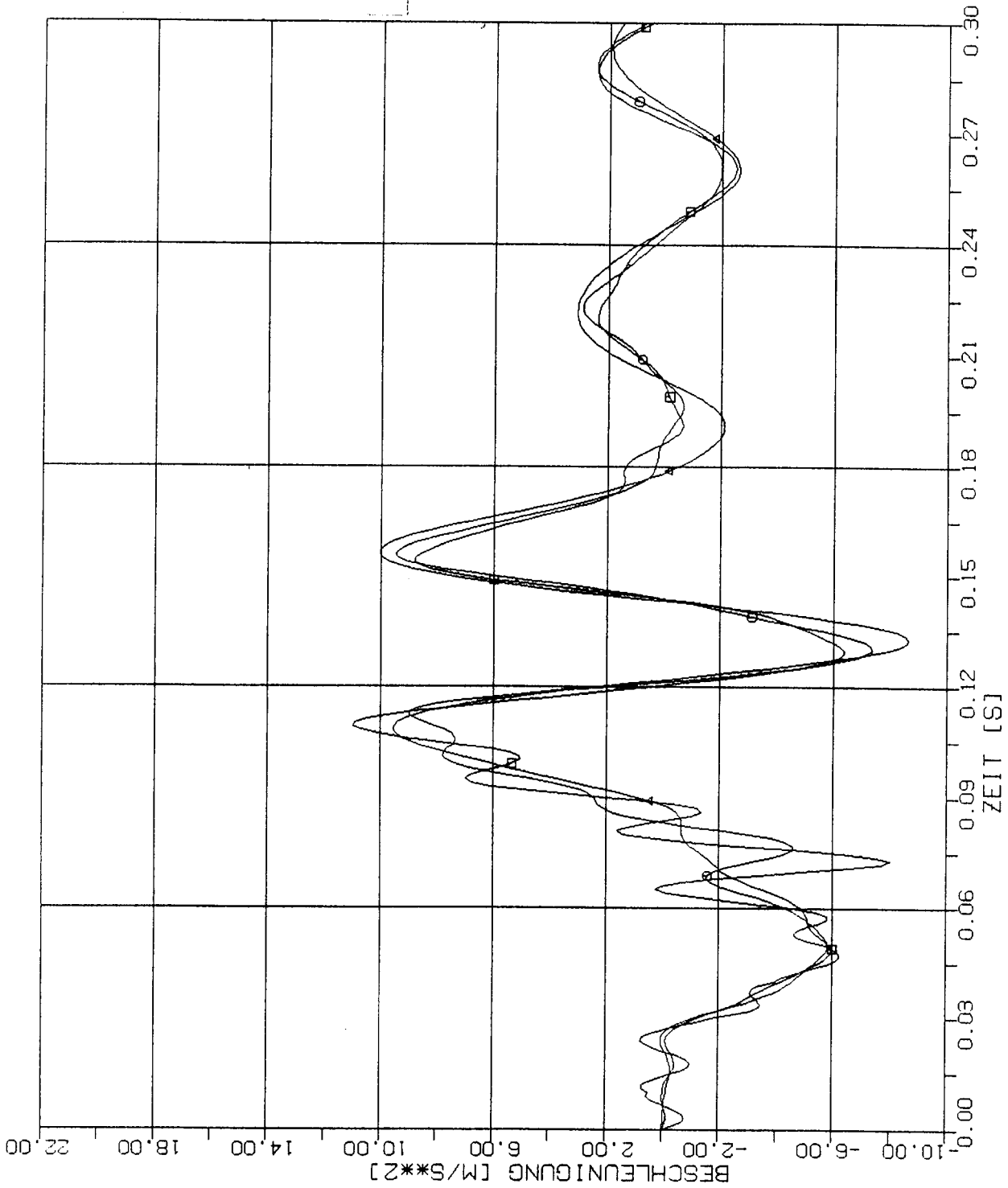
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5P (2161), RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)

Elementgröße:

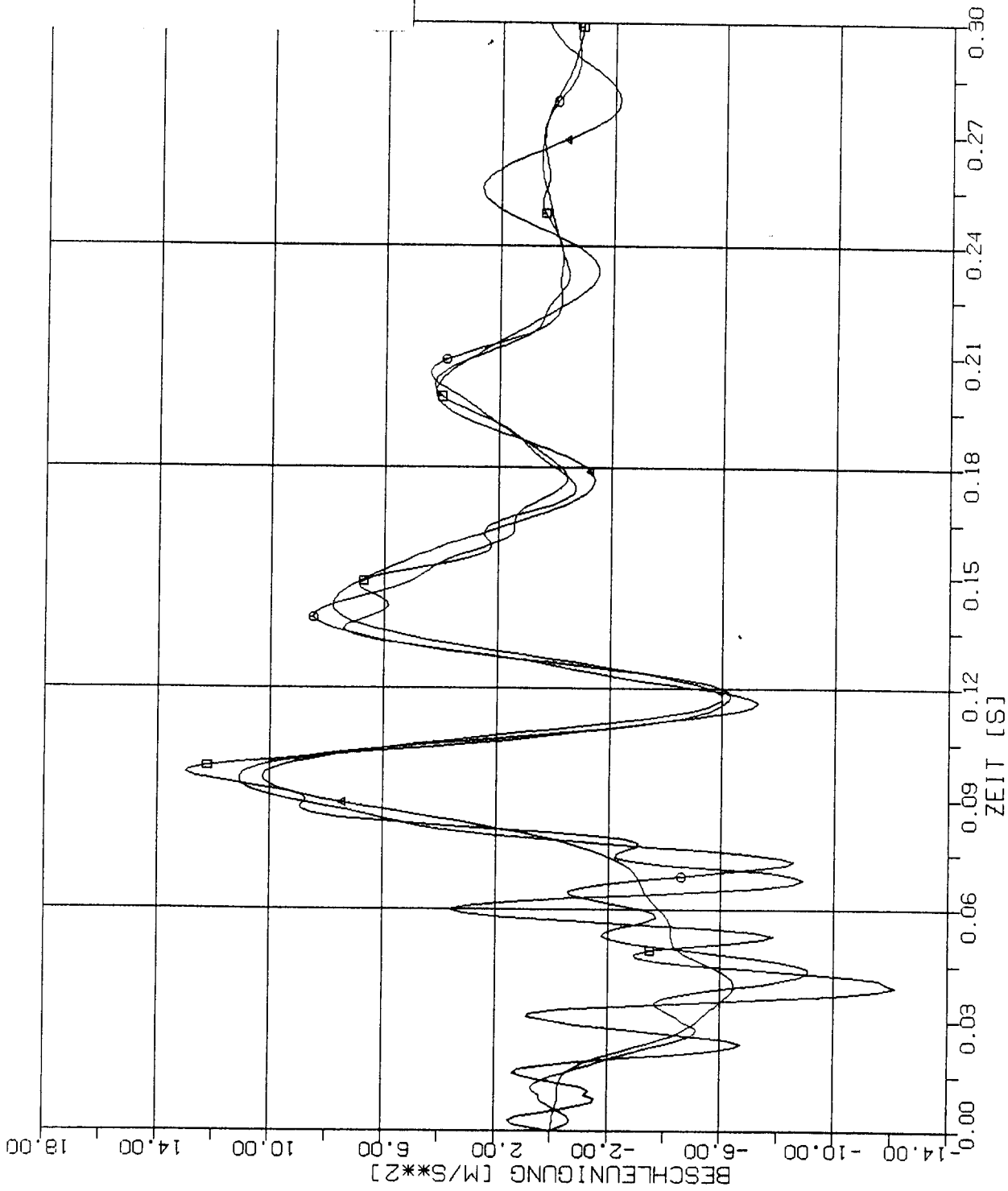
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △—△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5P (1161), RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

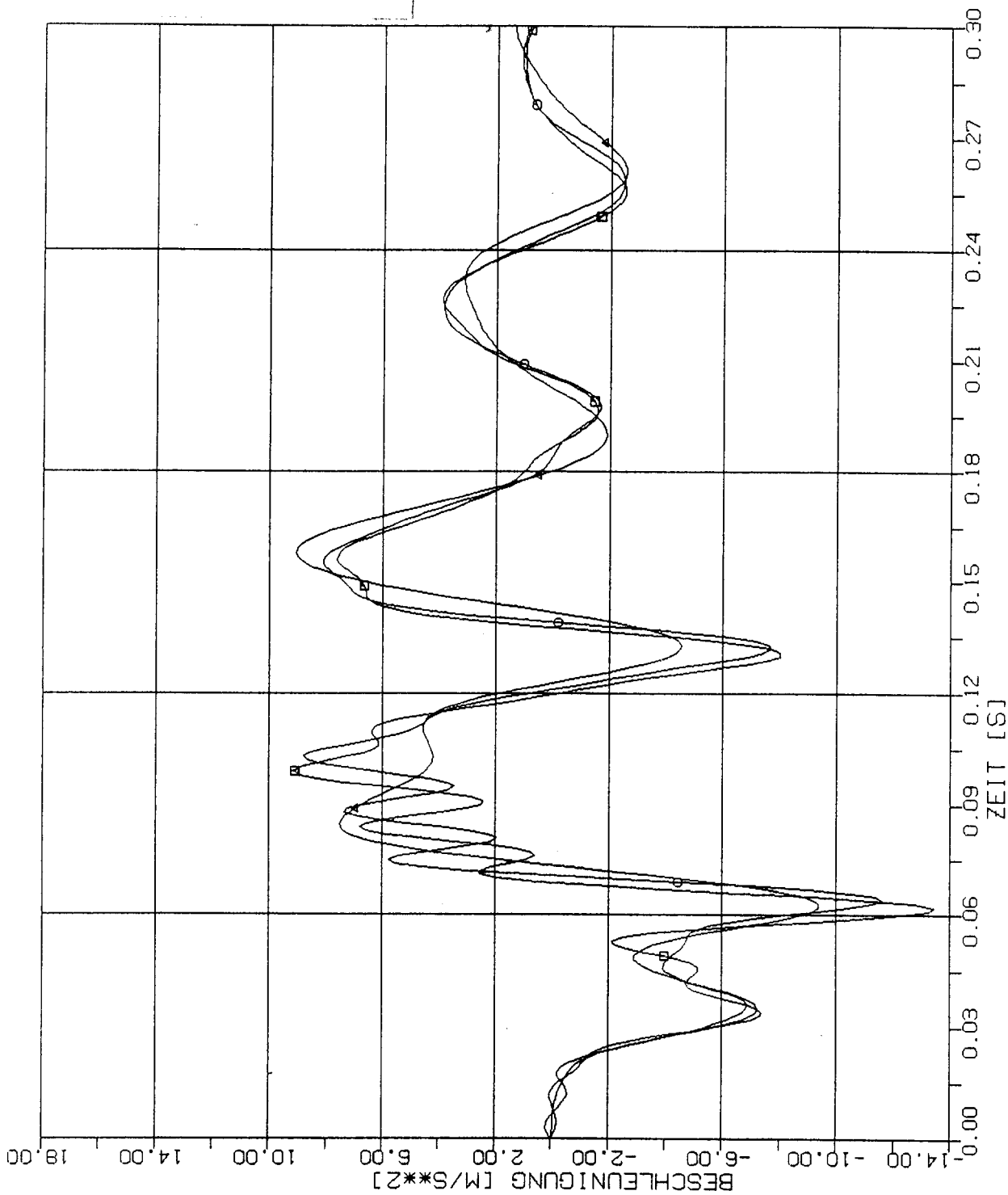
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



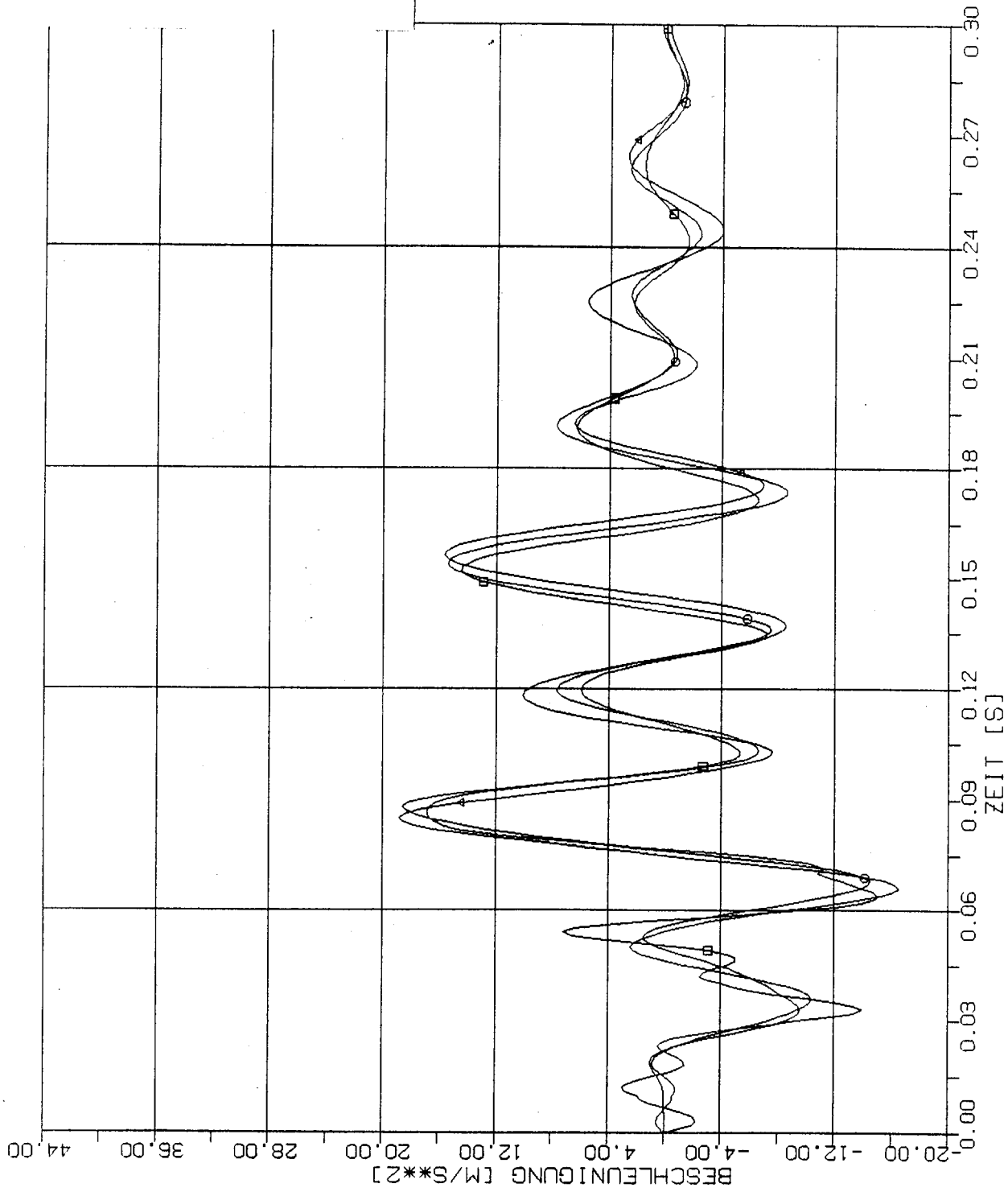
STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5S (5437), RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5S (5401), RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)



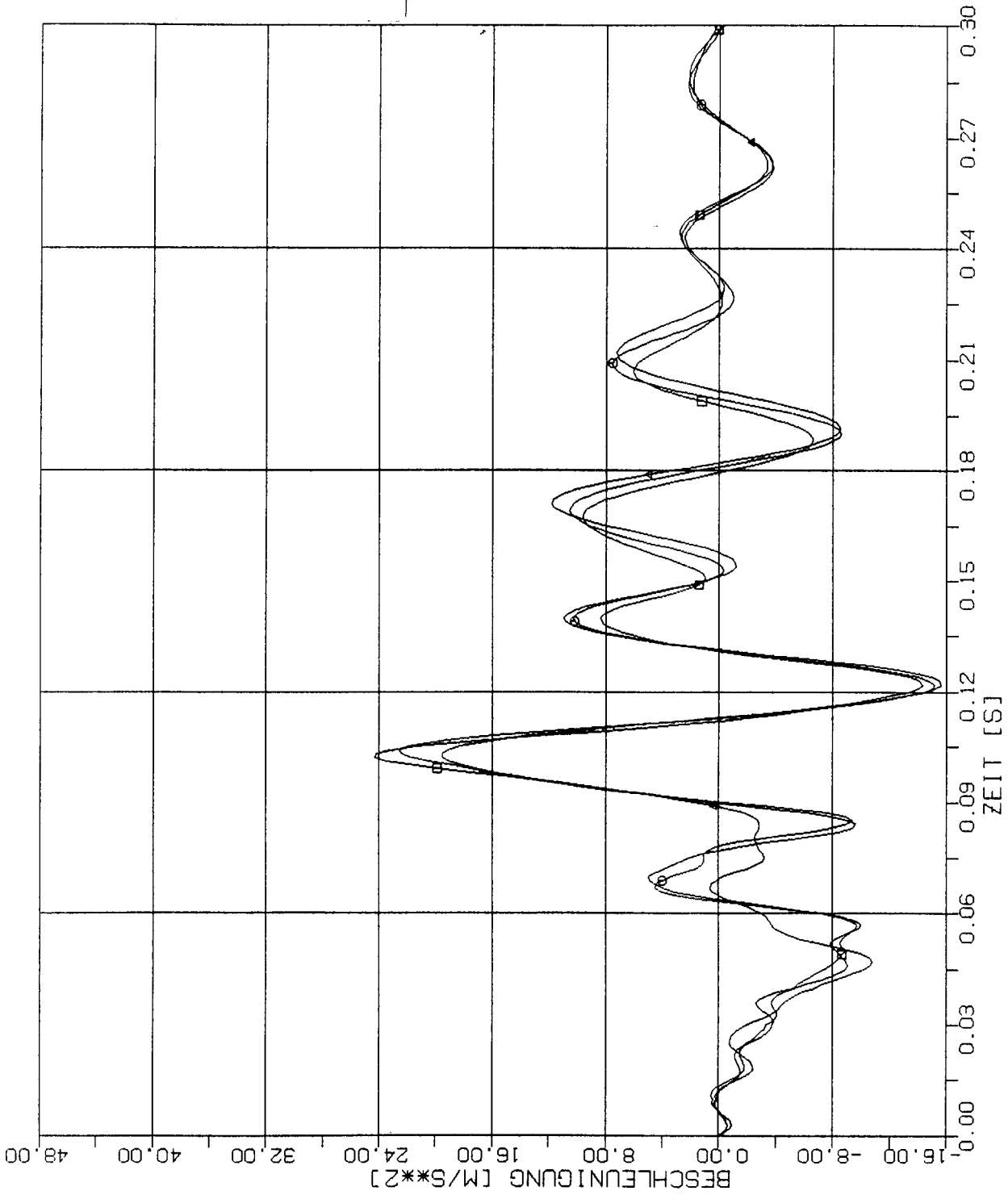
Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m

STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5Z (8437), RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)

Elementgröße:

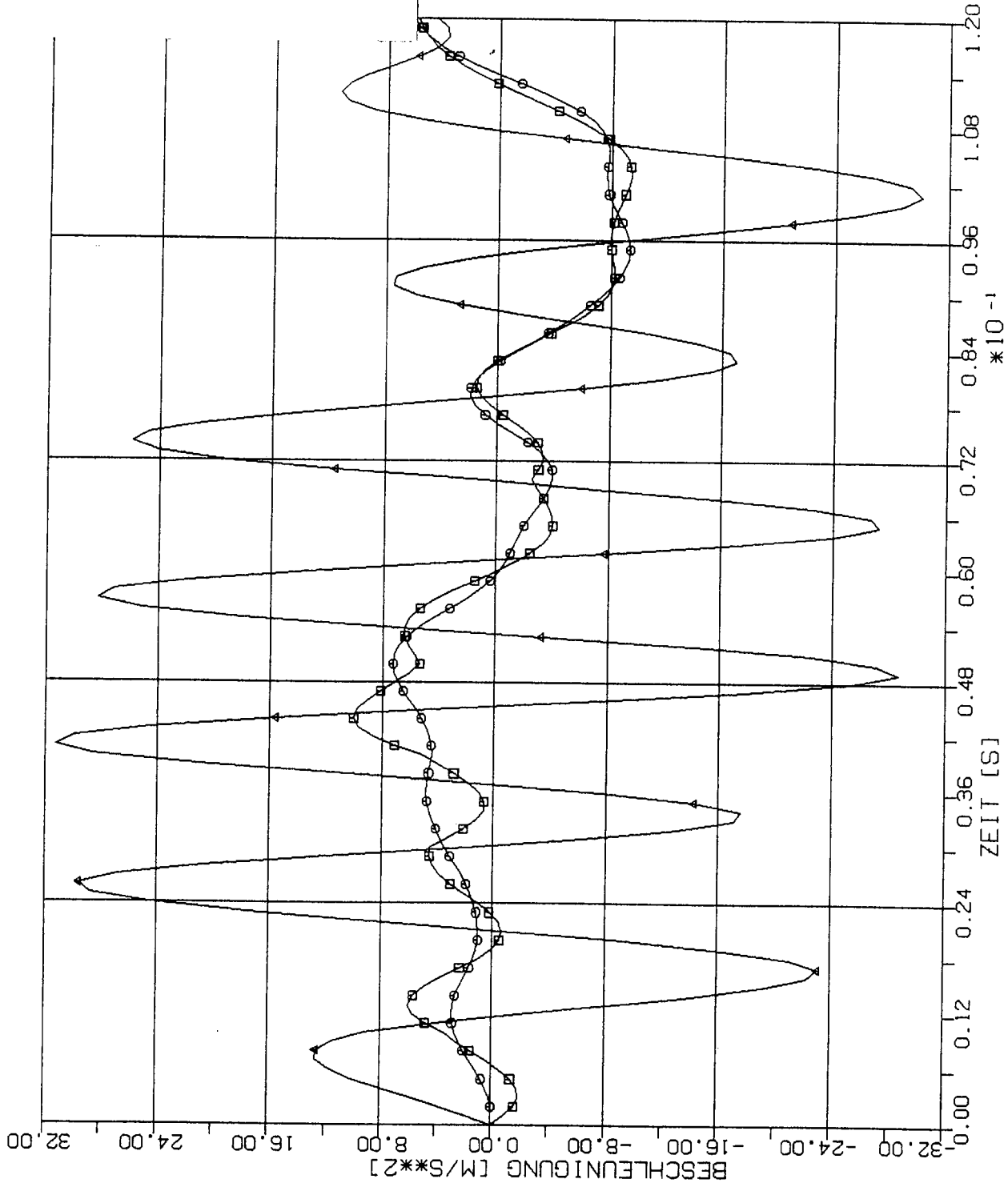
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5Z (8401), RICHTUNG X1
STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

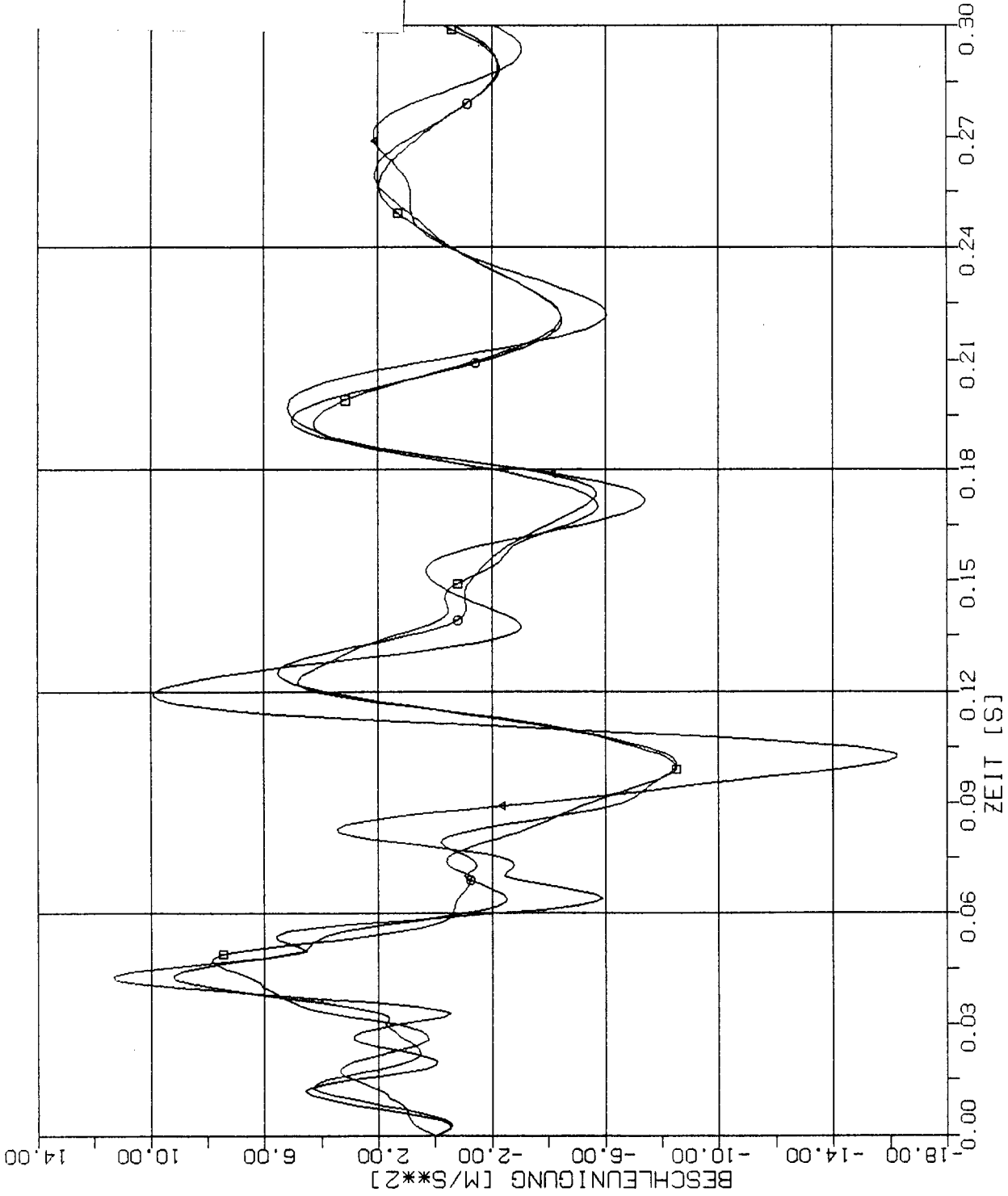
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM LASTEINLEITUNGSBEREICH (KN 3037), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

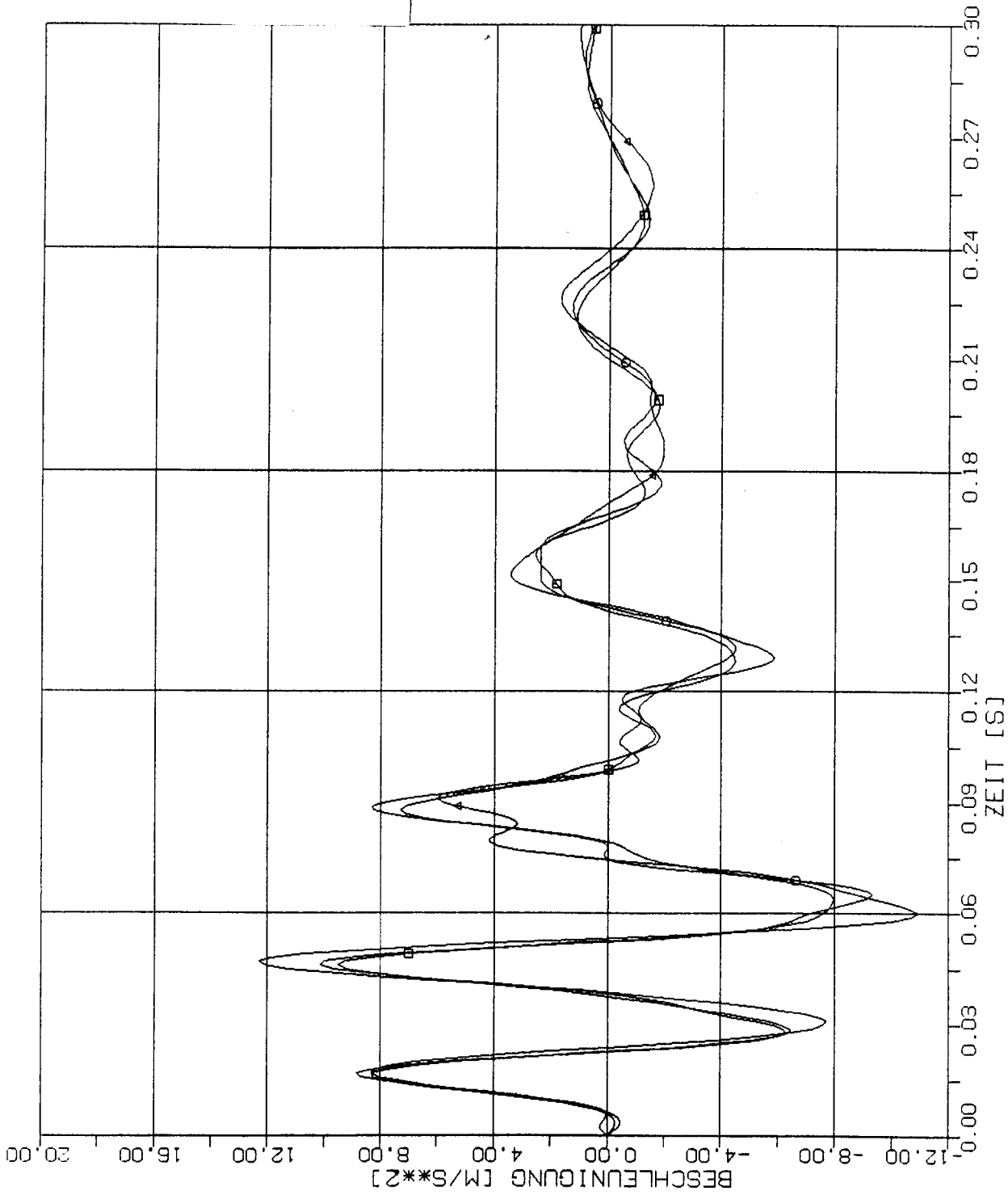
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT IL (2037), RICHTUNG X3
STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

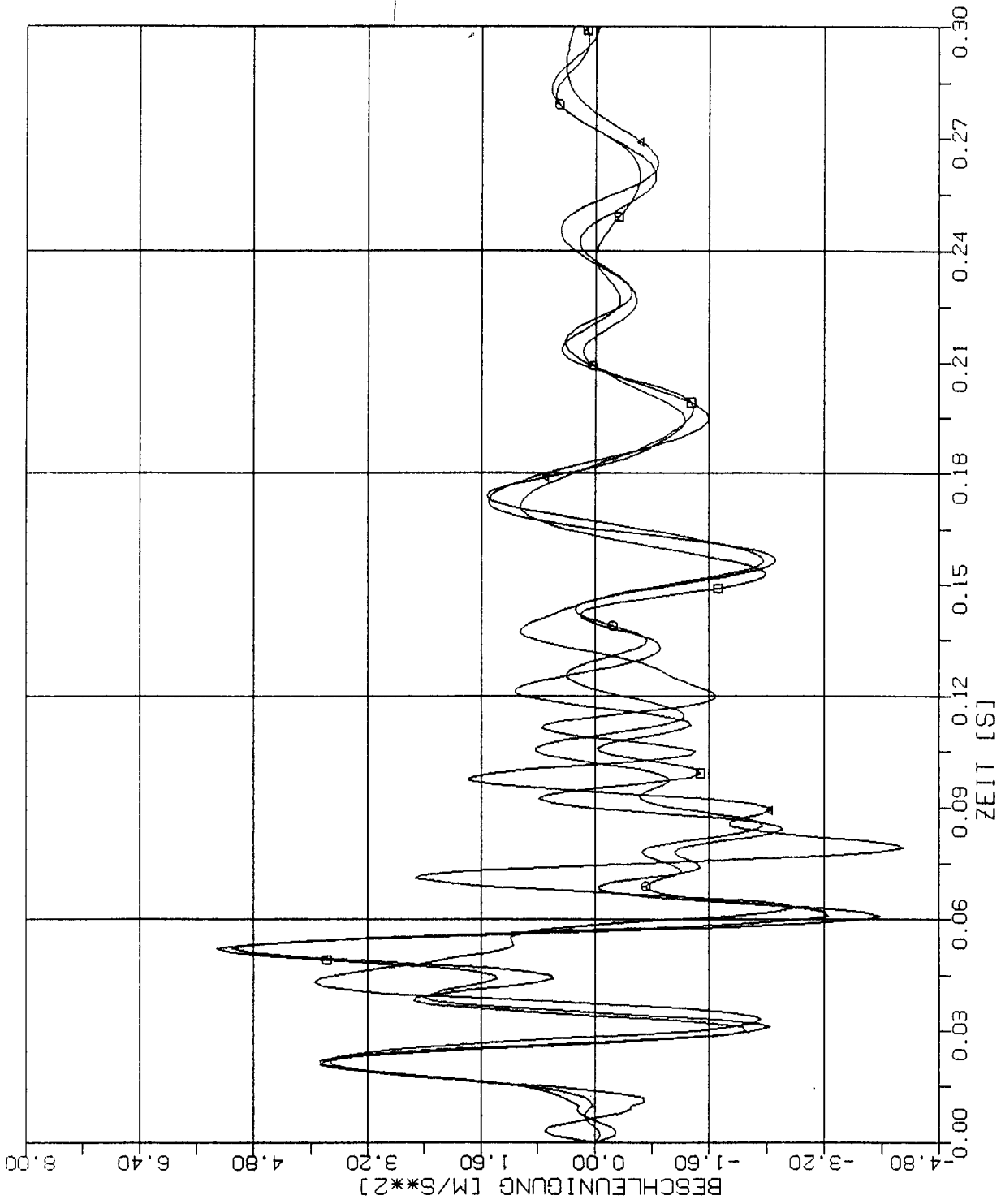
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2L (2357), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

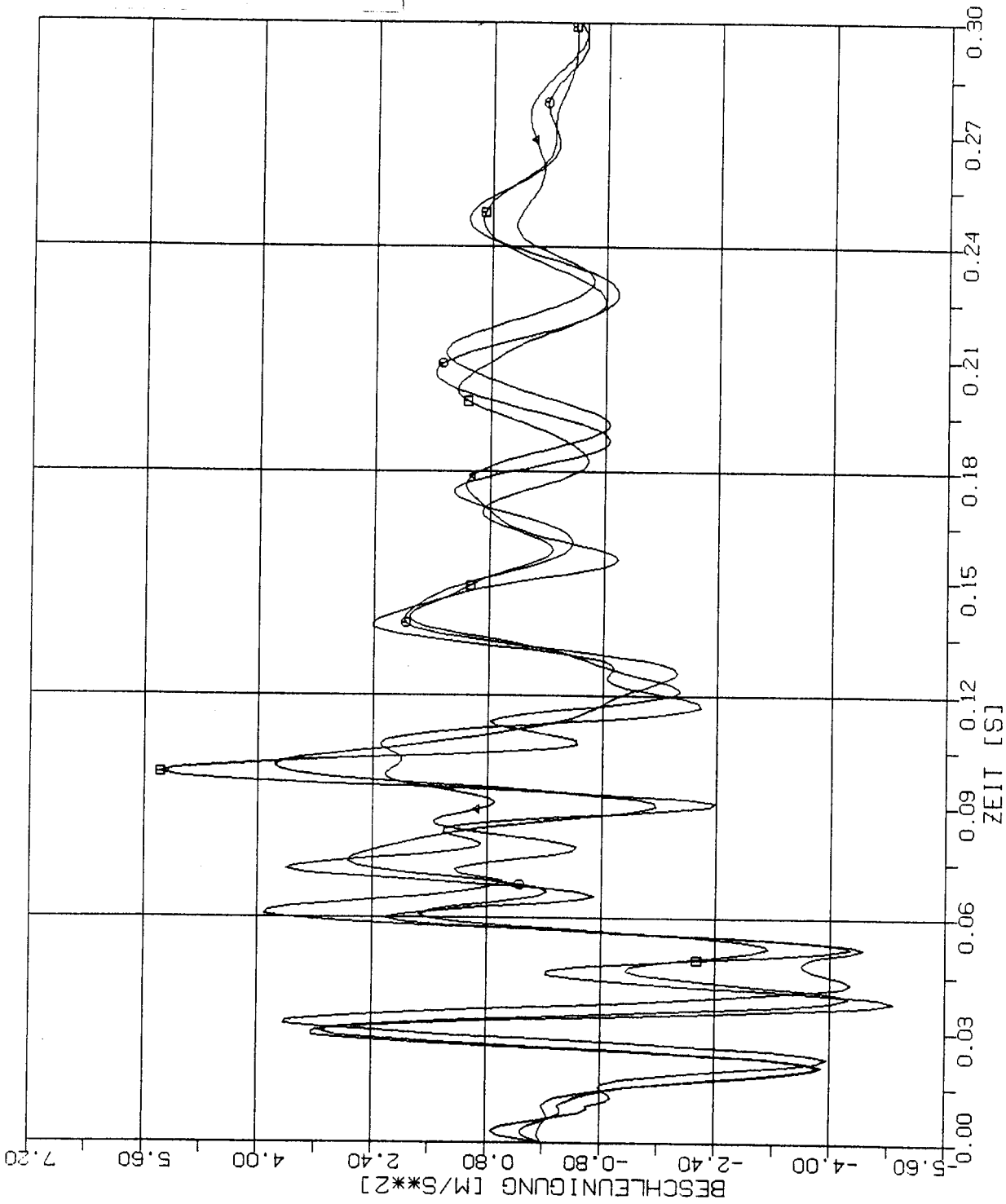
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3L (1357), RICHTUNG X3
STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

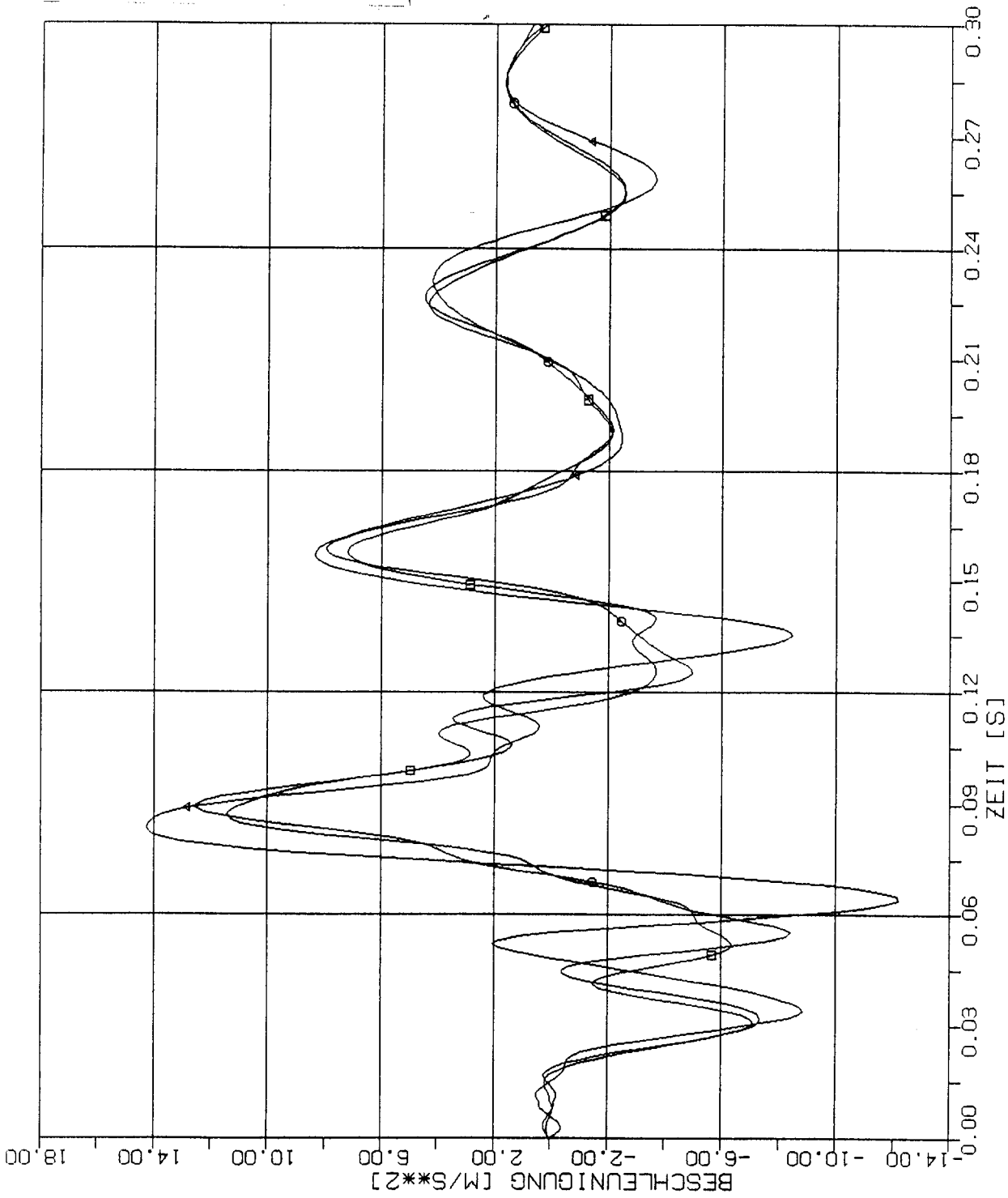
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4L (1321), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

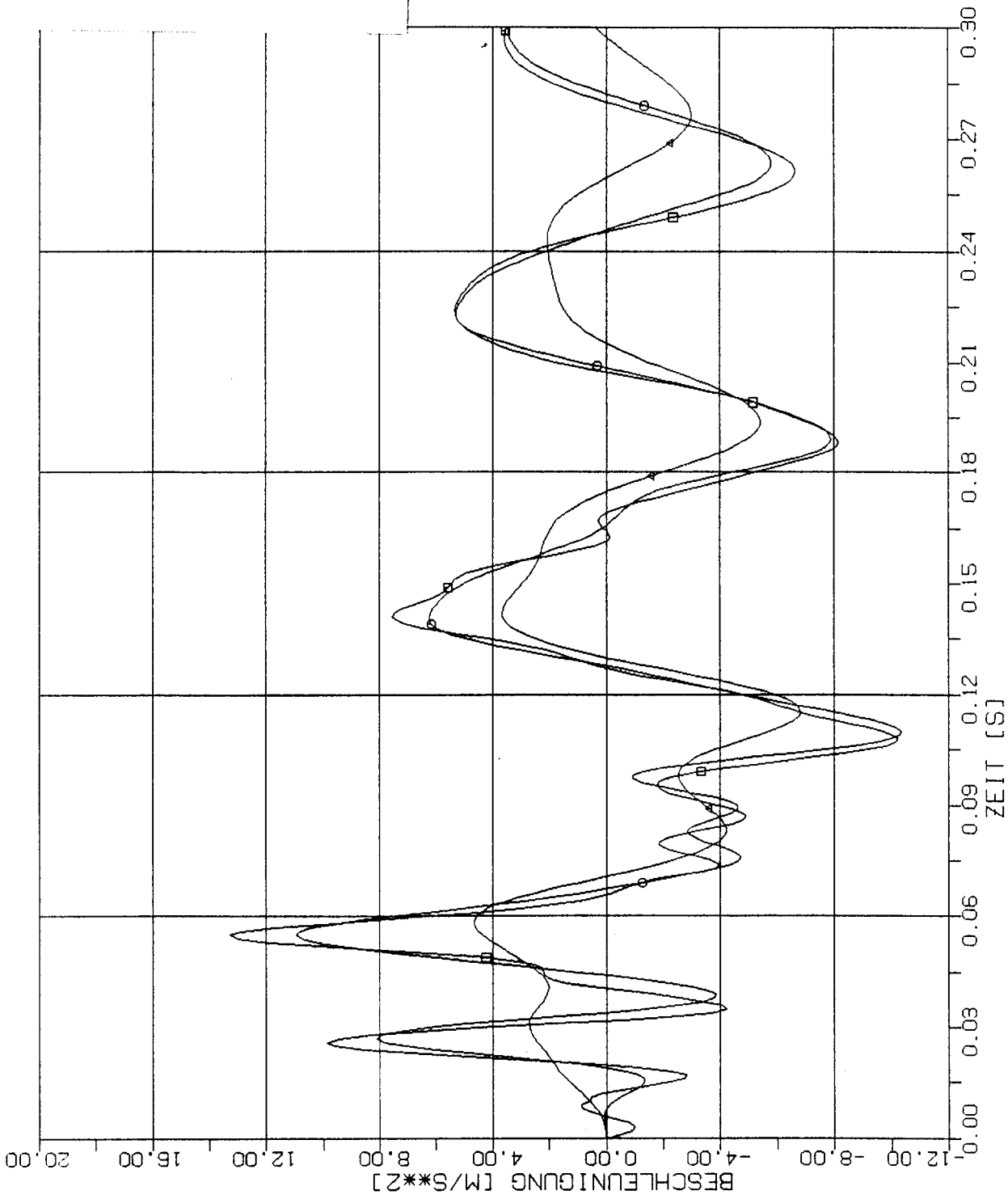
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 5L (1001), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

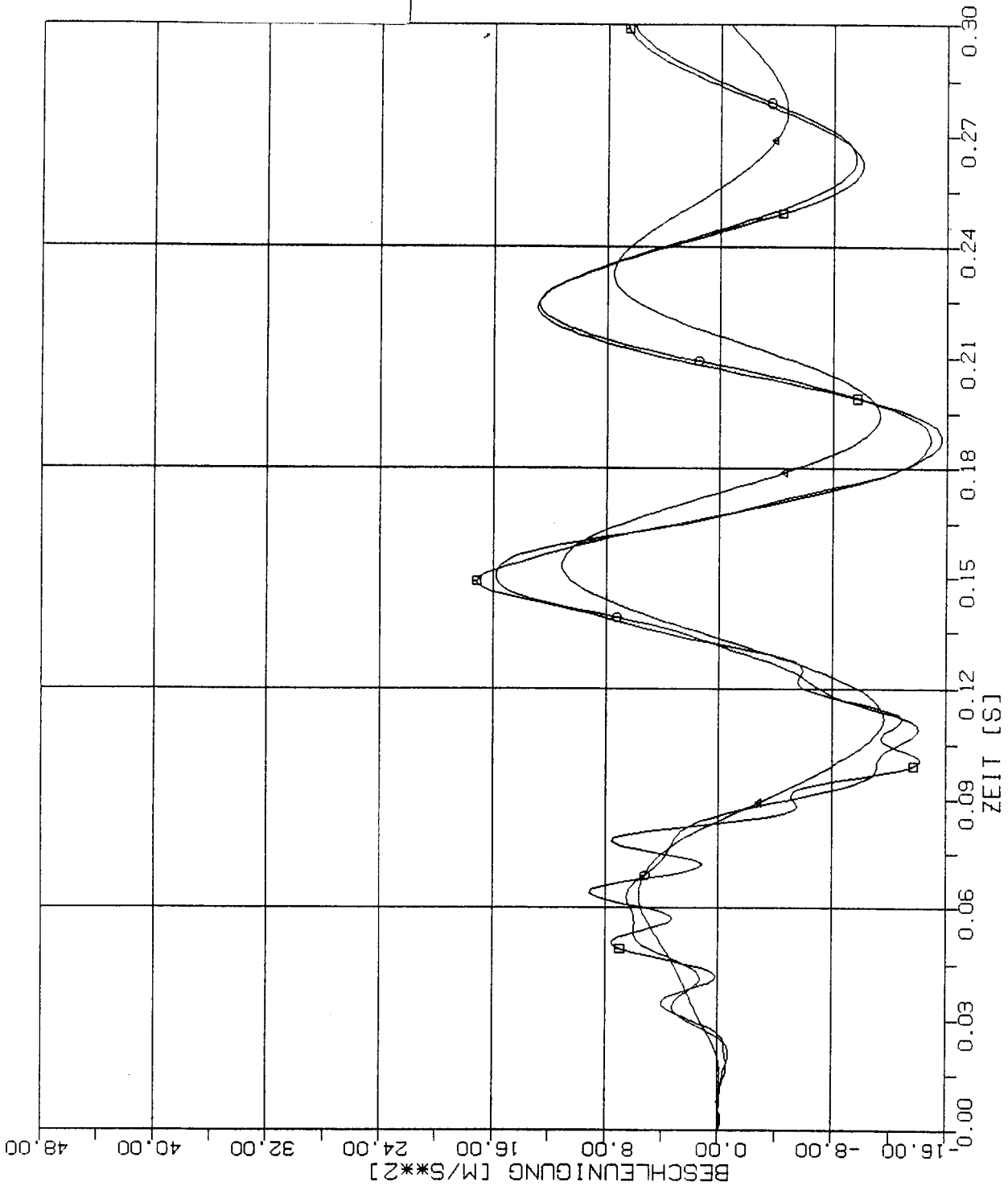
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5P (2197), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)

Elementgröße:

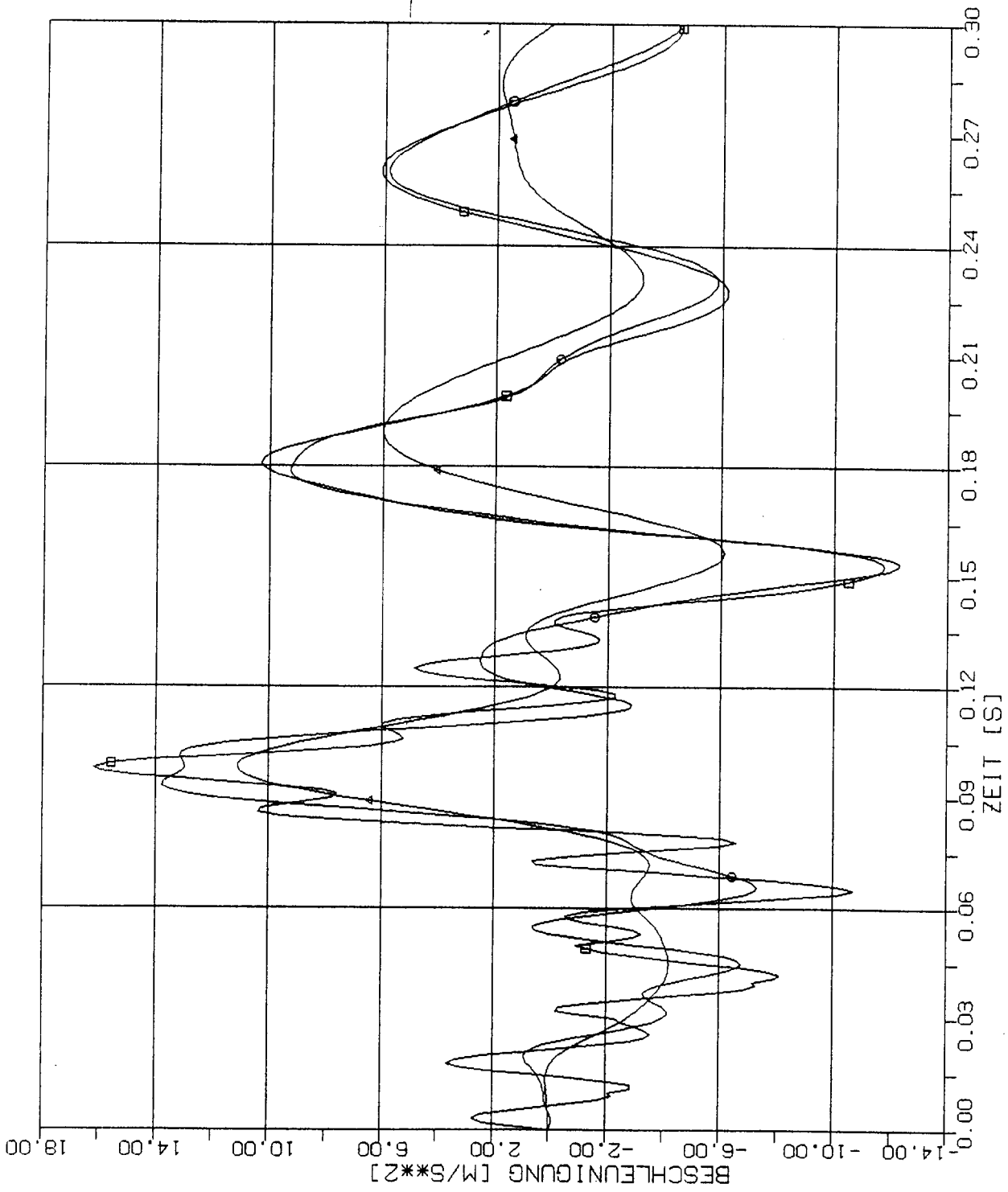
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5P (1197), RICHTUNG X3
STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

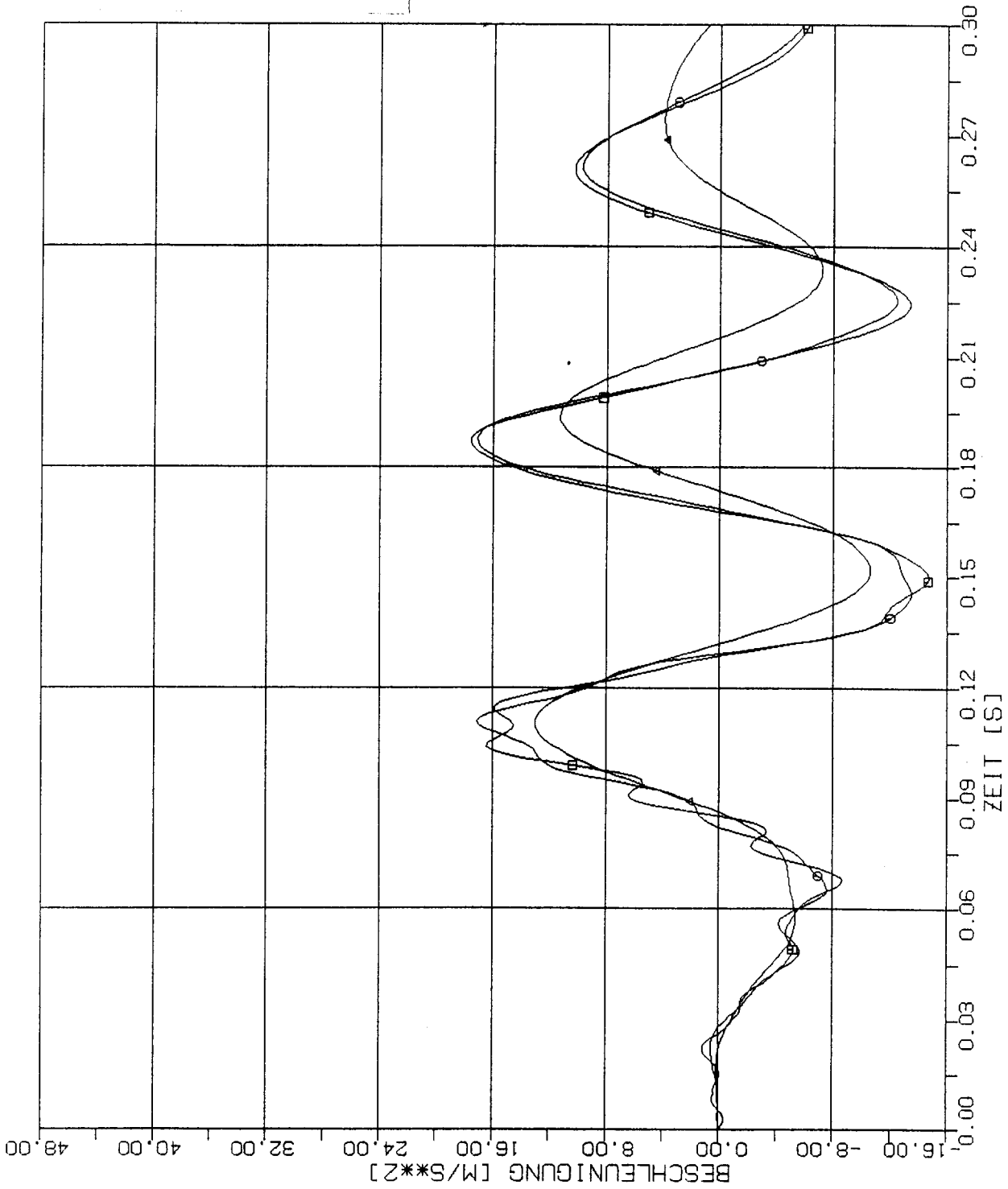
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



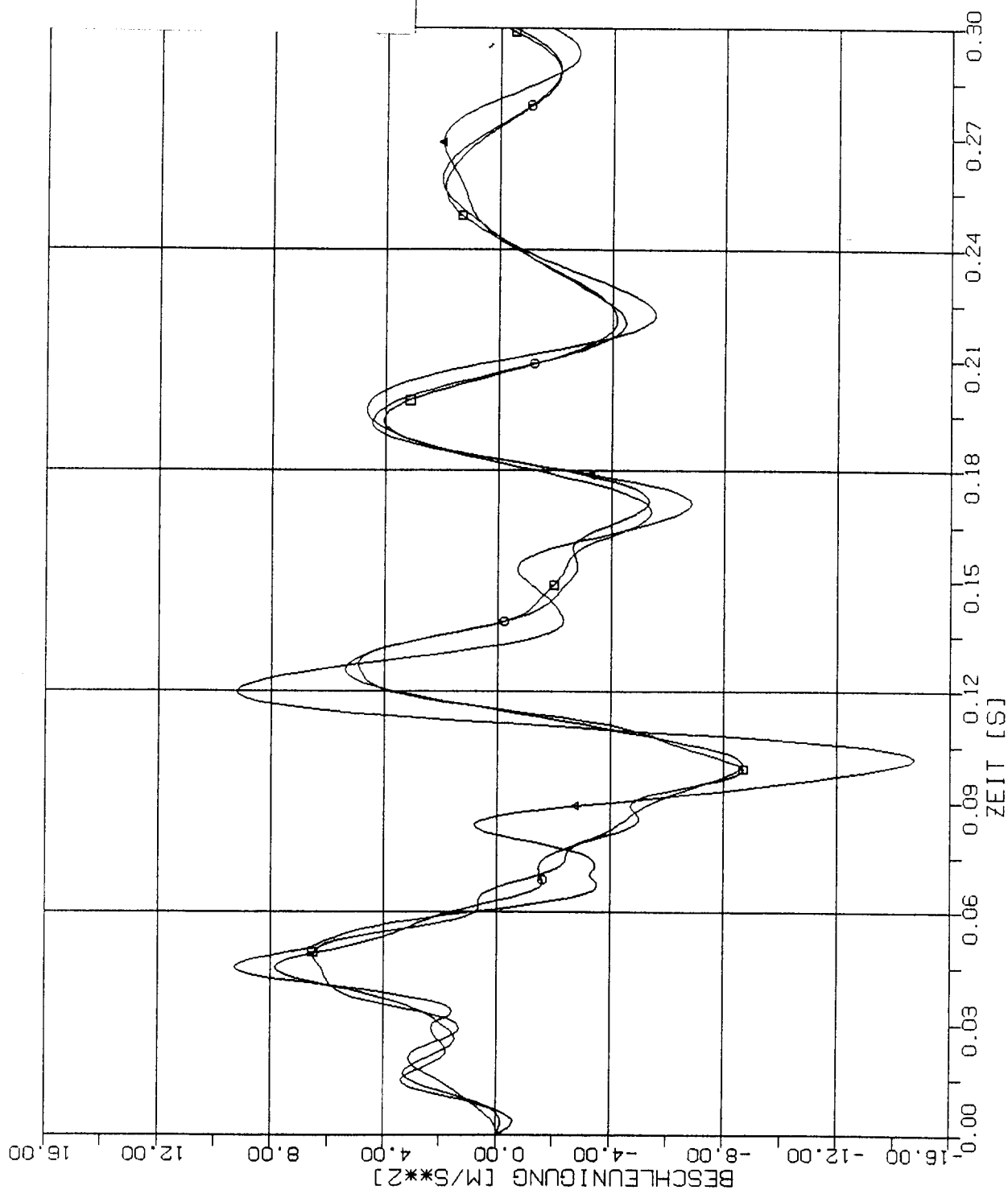
STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5P (2161), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (XI)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



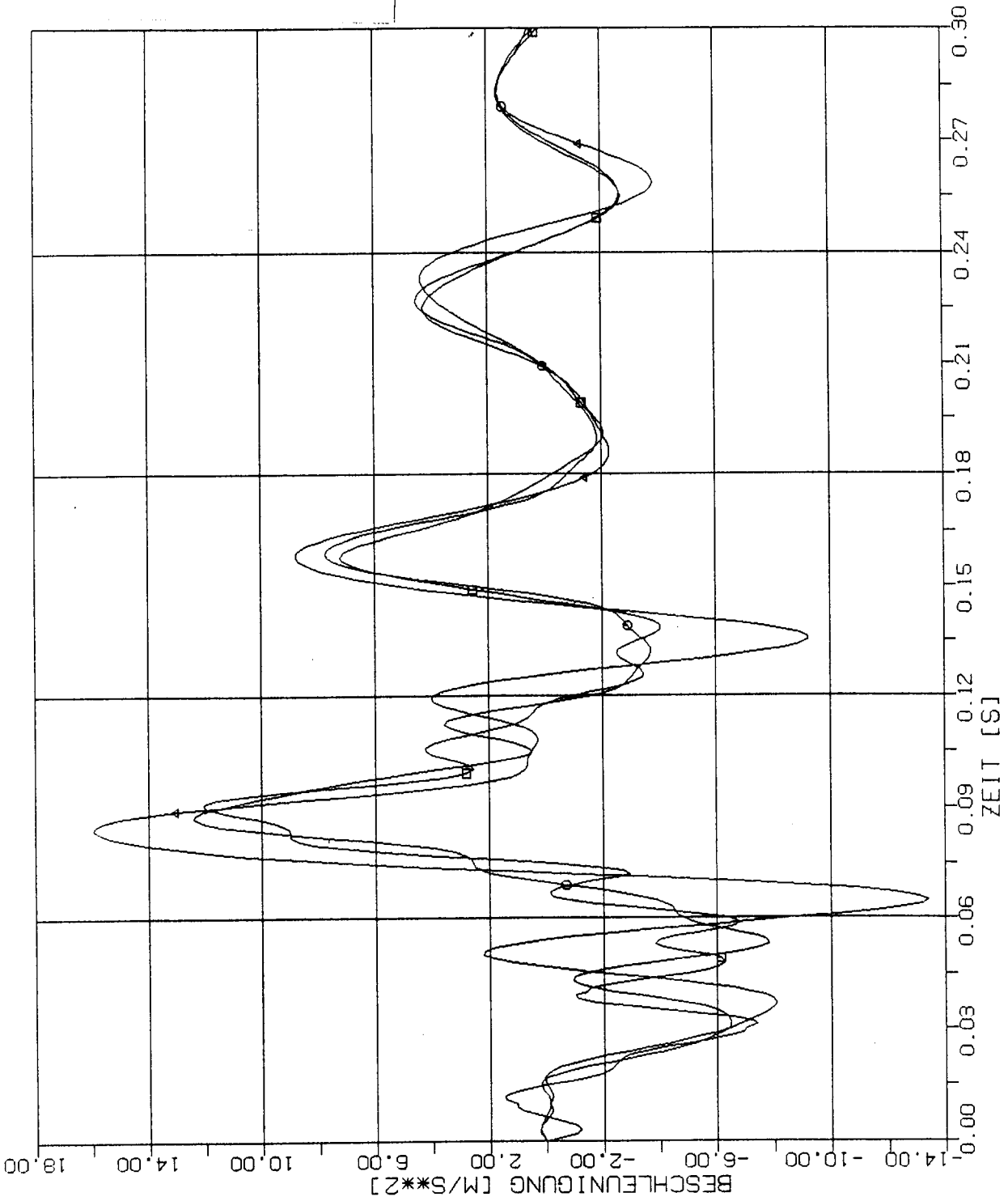
STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5P (1161), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5S (5437), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

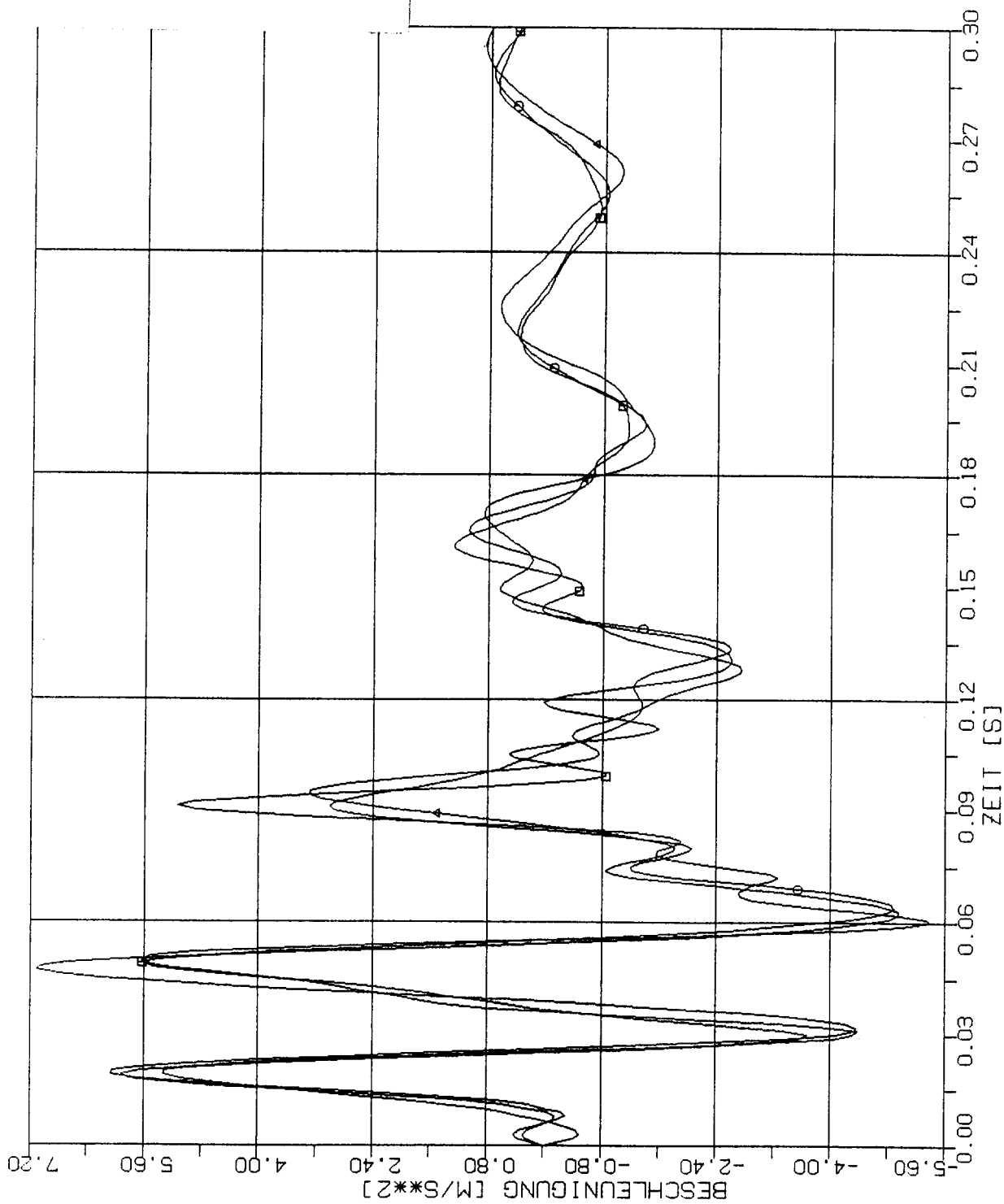
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5S (5401), RICHTUNG X3
STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



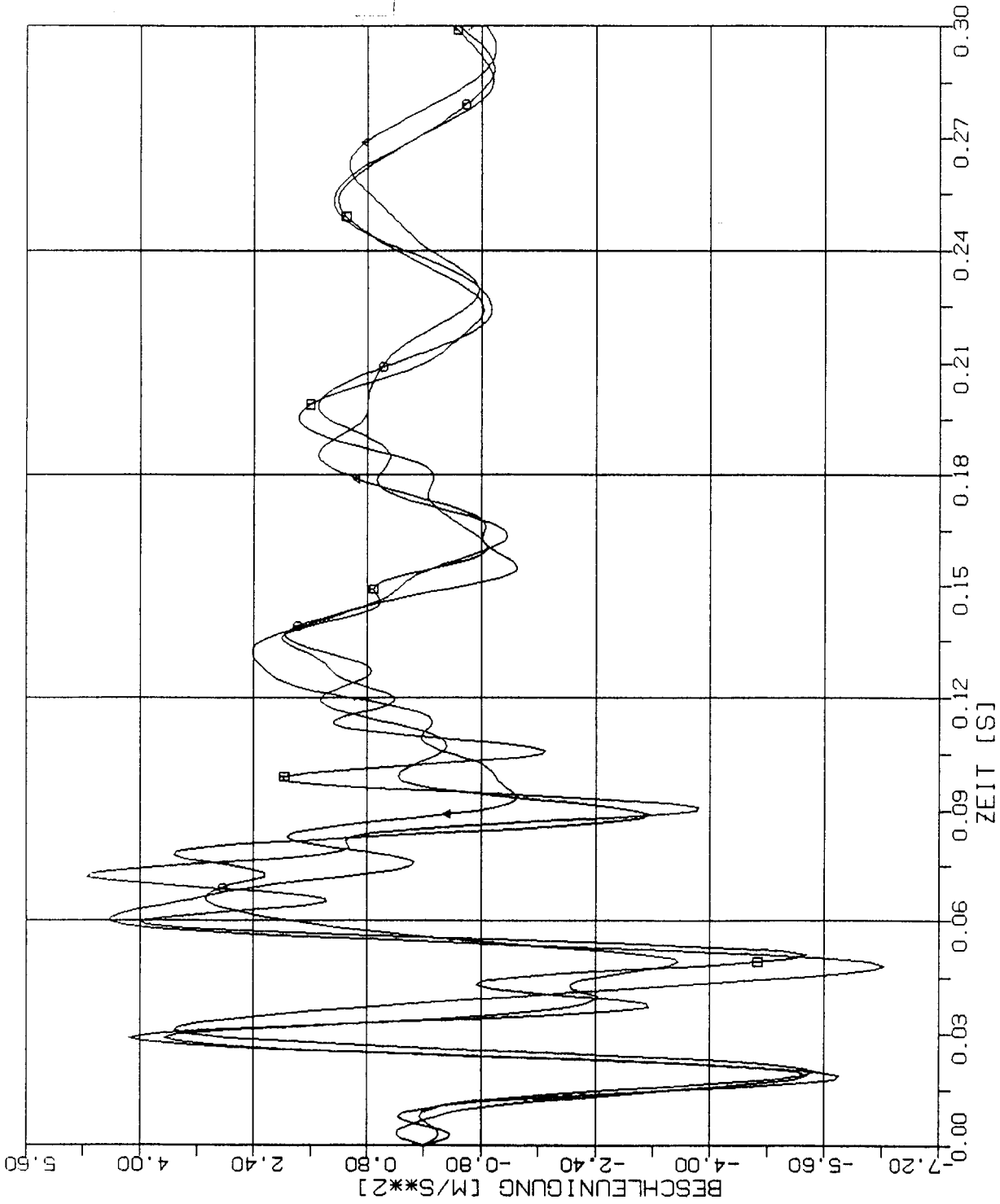
STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5Z (8437), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

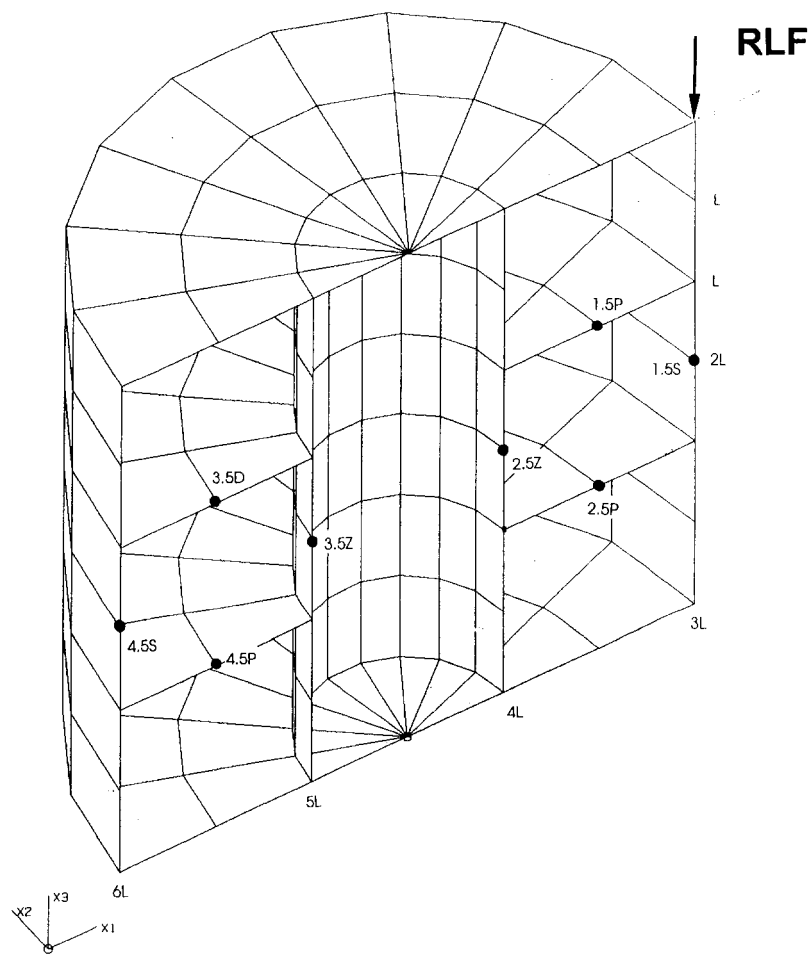
○ 4m x 4m

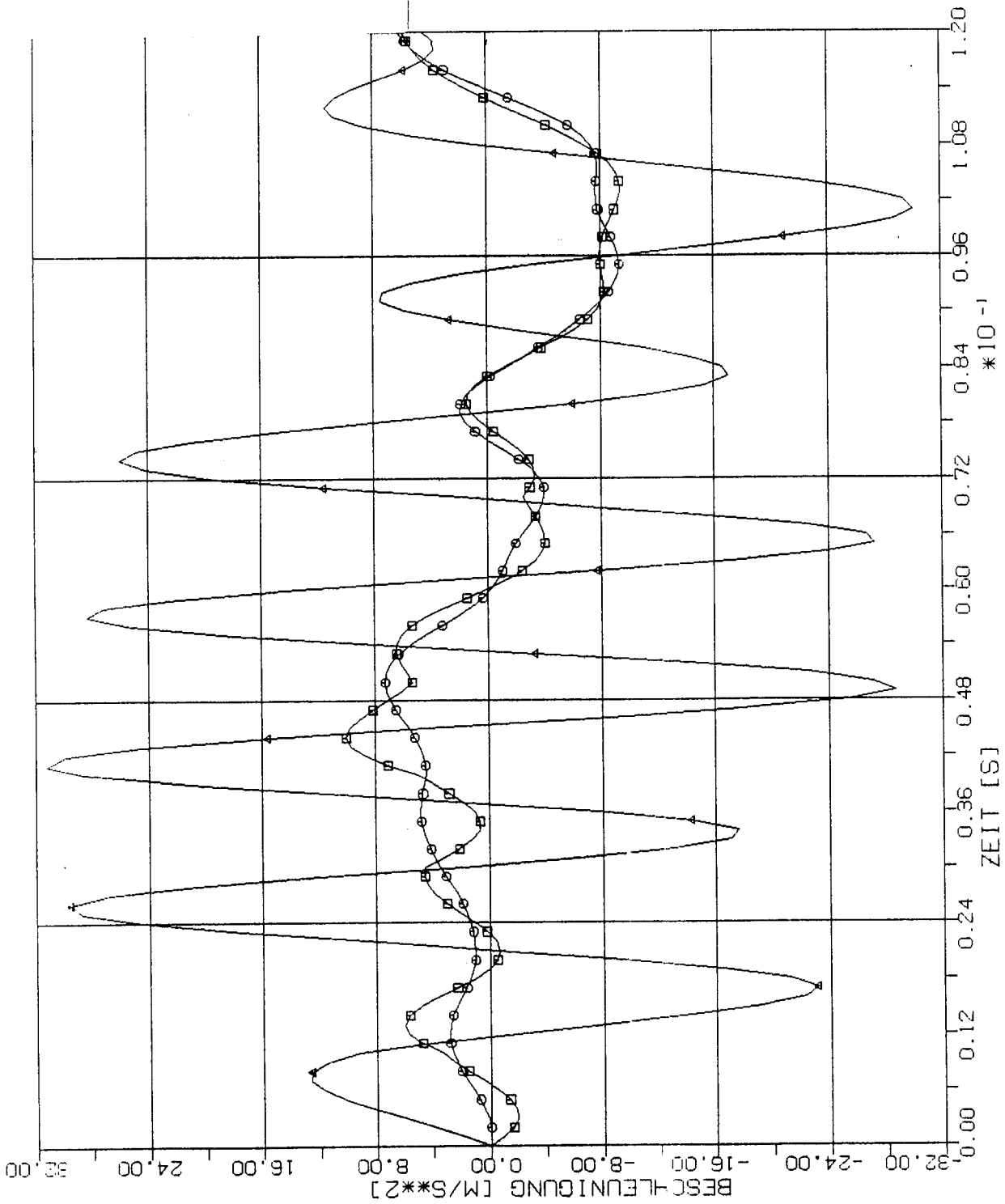
△ 8m x 8m



STOSS - UEBETRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYMMETRISCHEN BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5Z (8401), RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG (RLF) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

3.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung





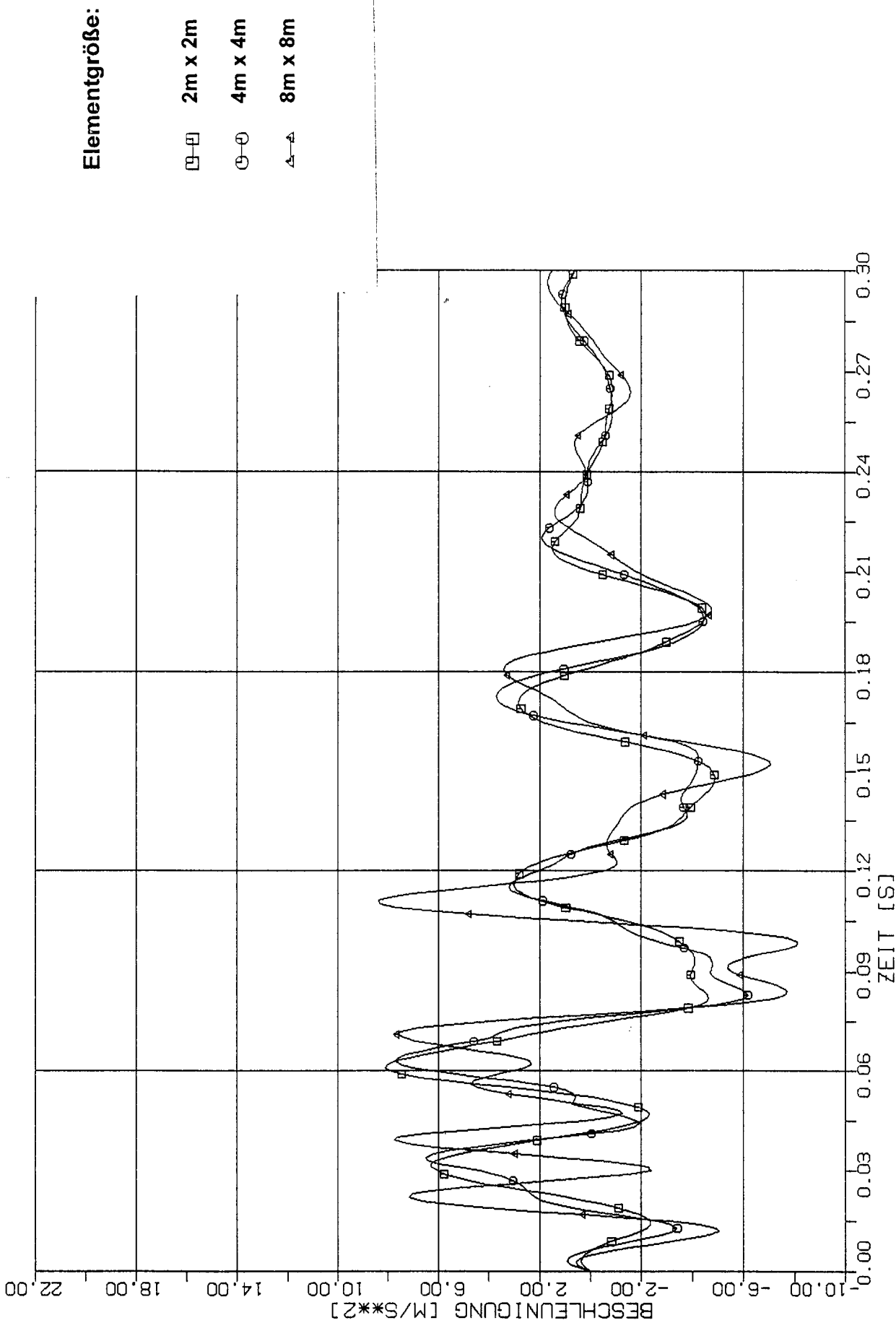
Elementgröße:

□ 2m x 2m

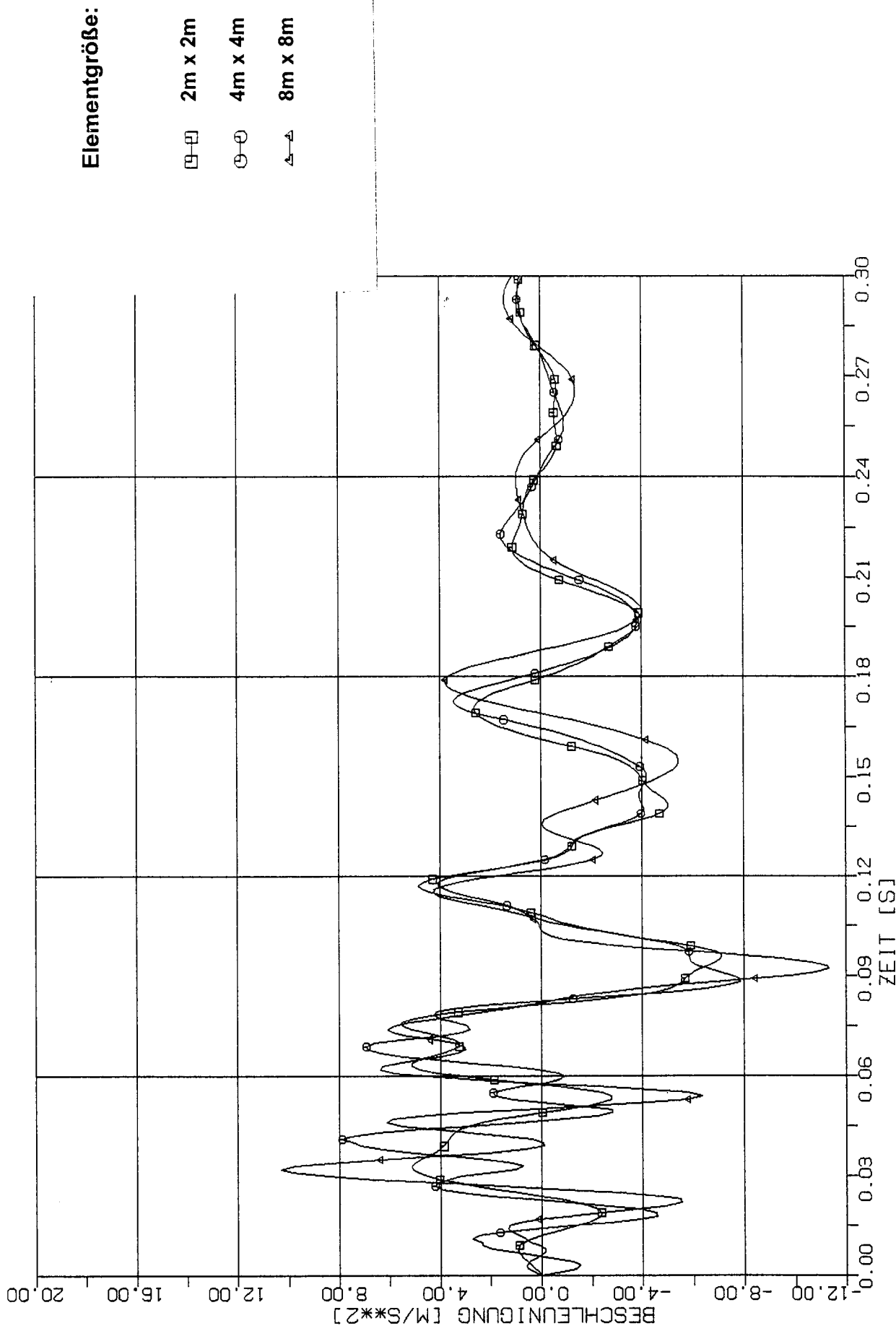
○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 BESCHELUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM LARSEINLEITUNGS B.KNOTEN 3037 RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1L(2037) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



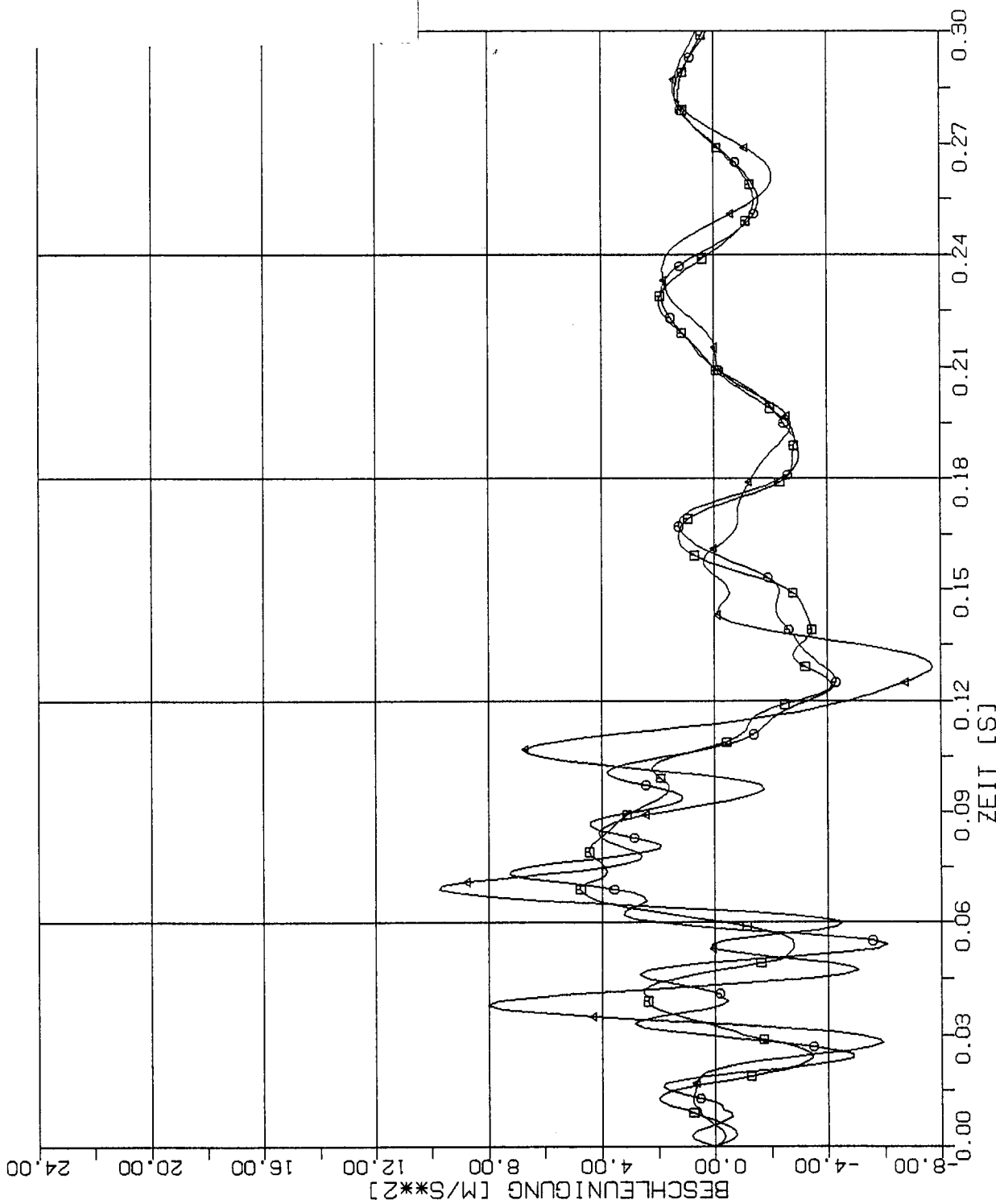
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2L (2357) RICHTUNG XI
STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

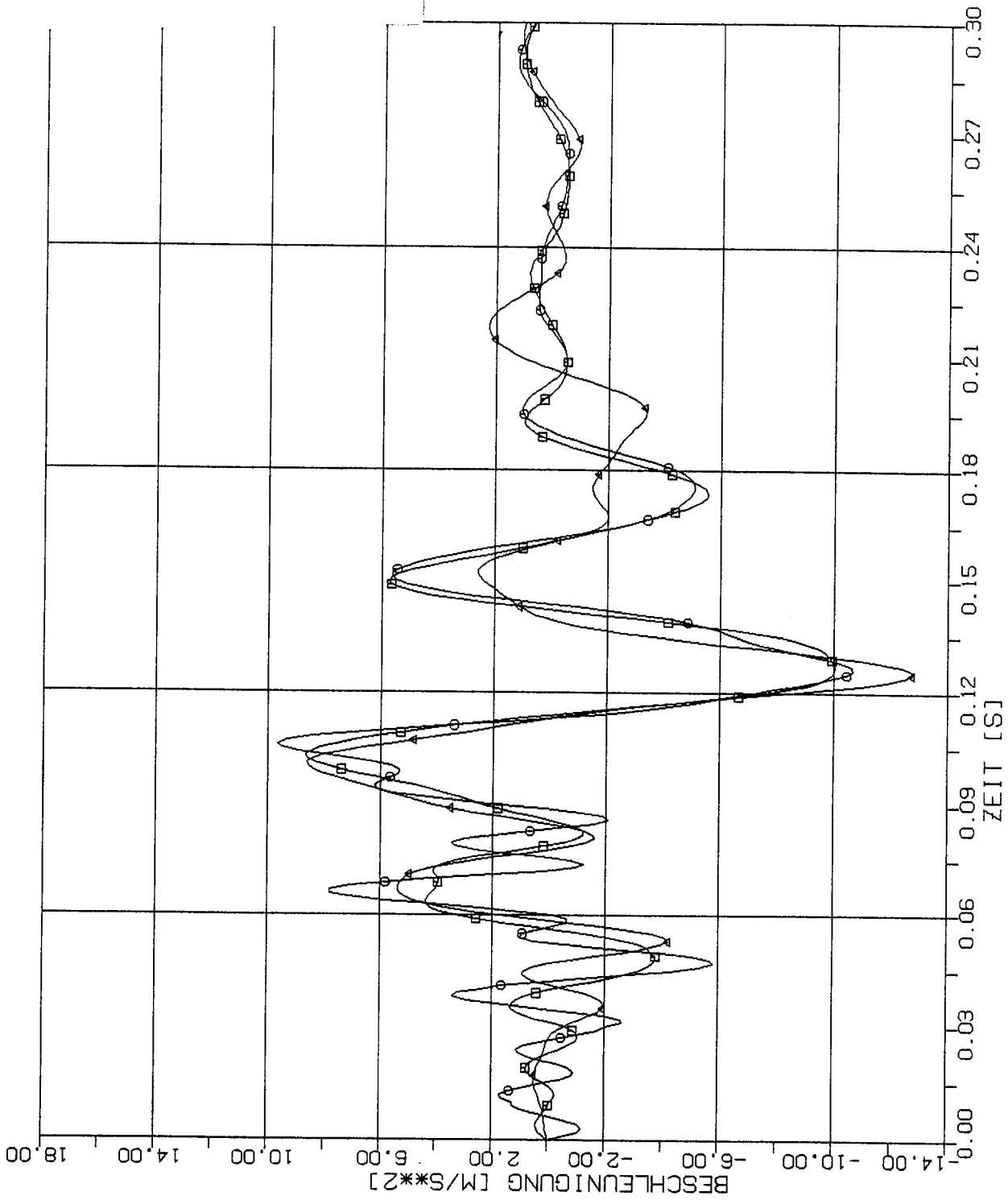
△-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3L (1357) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



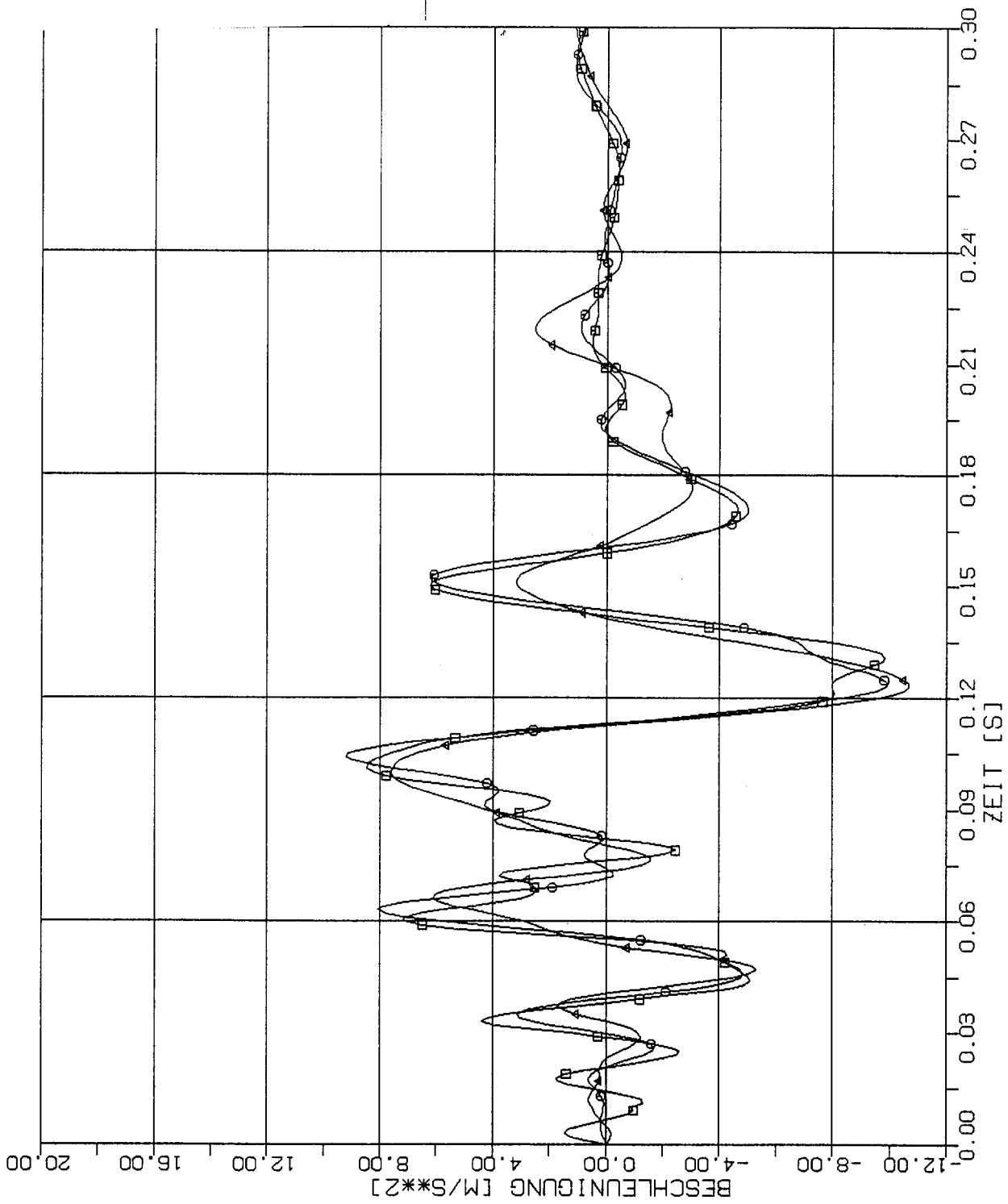
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4L (1321) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(PLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



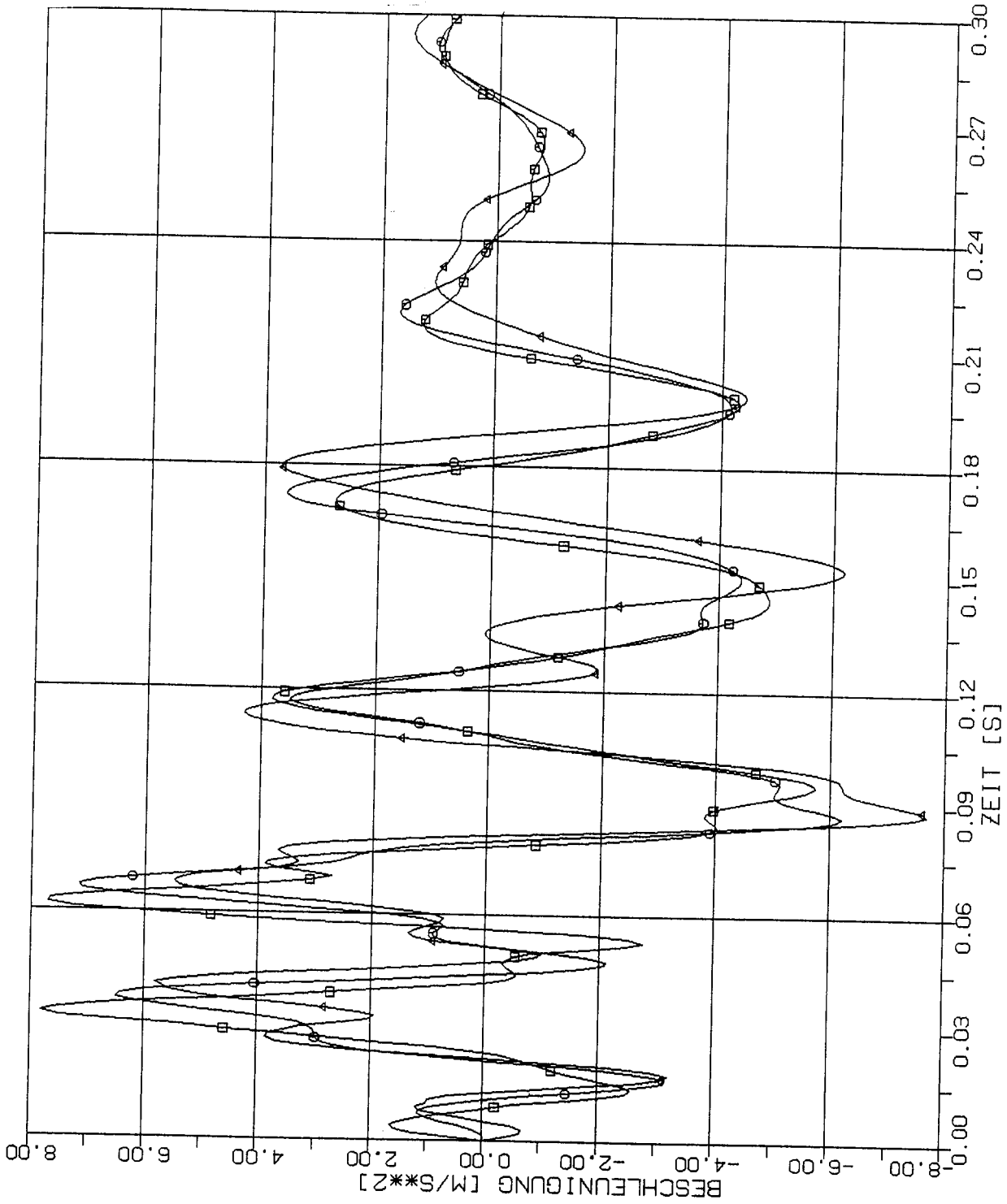
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 5L(1001) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



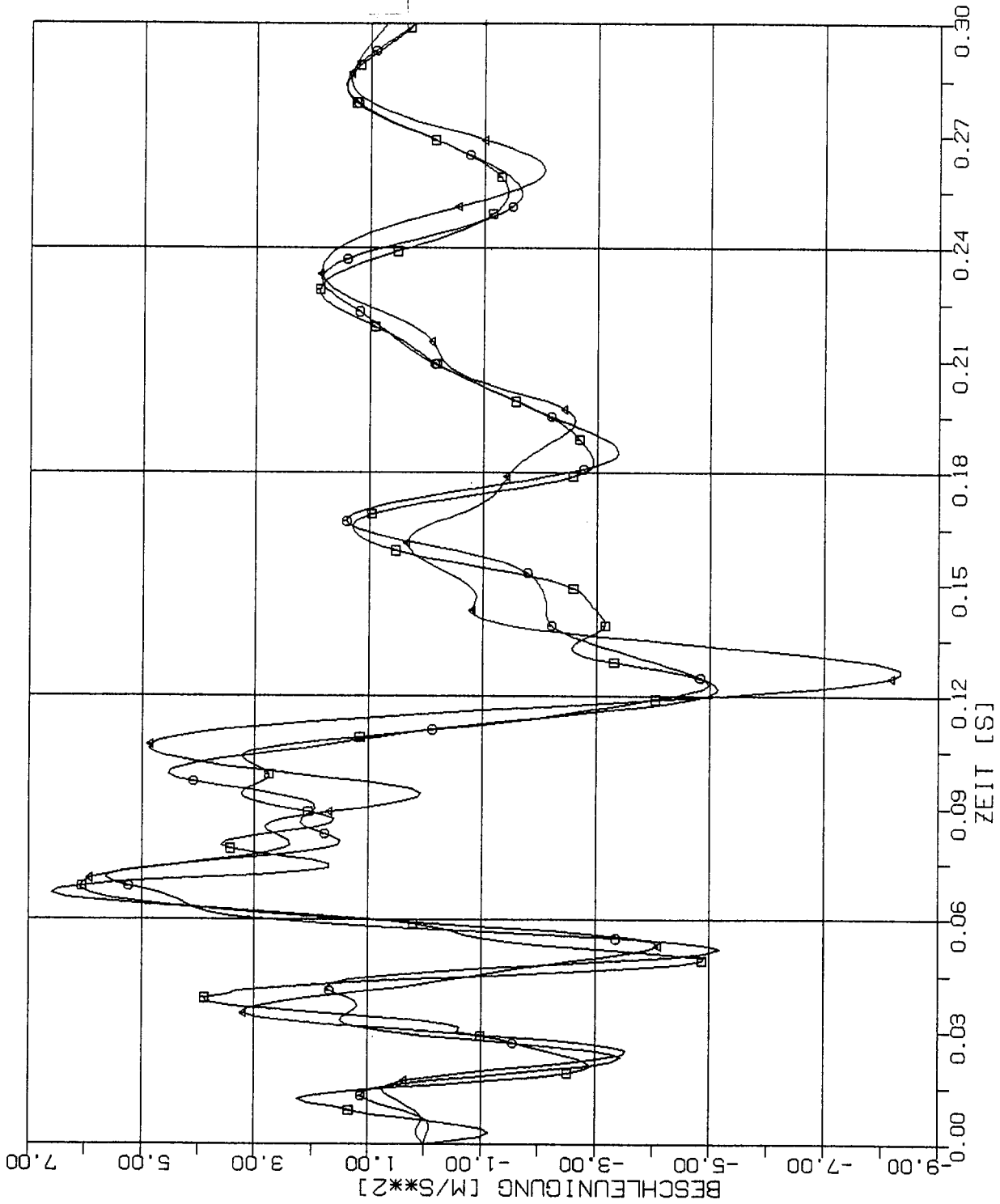
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5P(2197) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

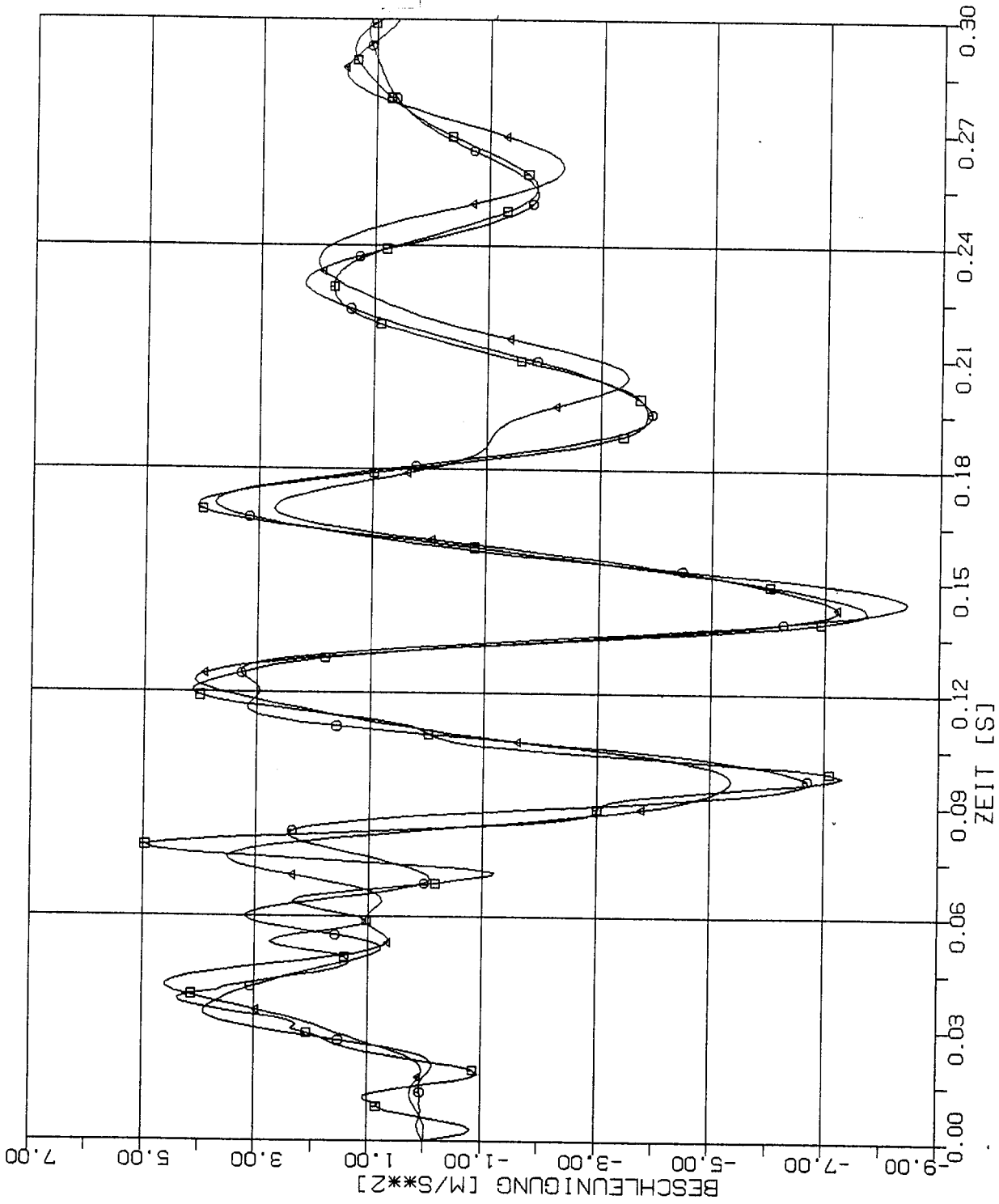
□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5P(1197) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(PLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



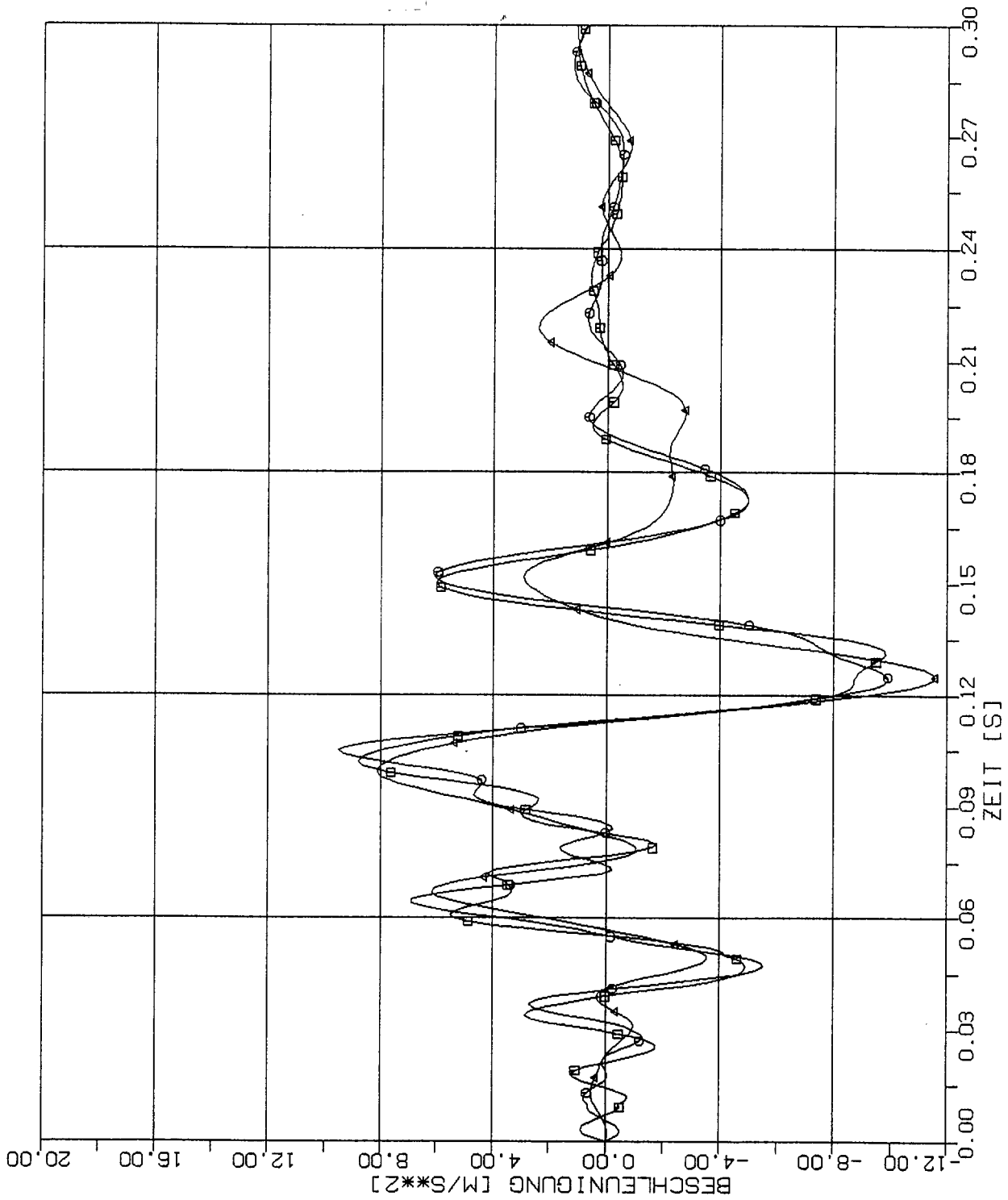
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5P(2161) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



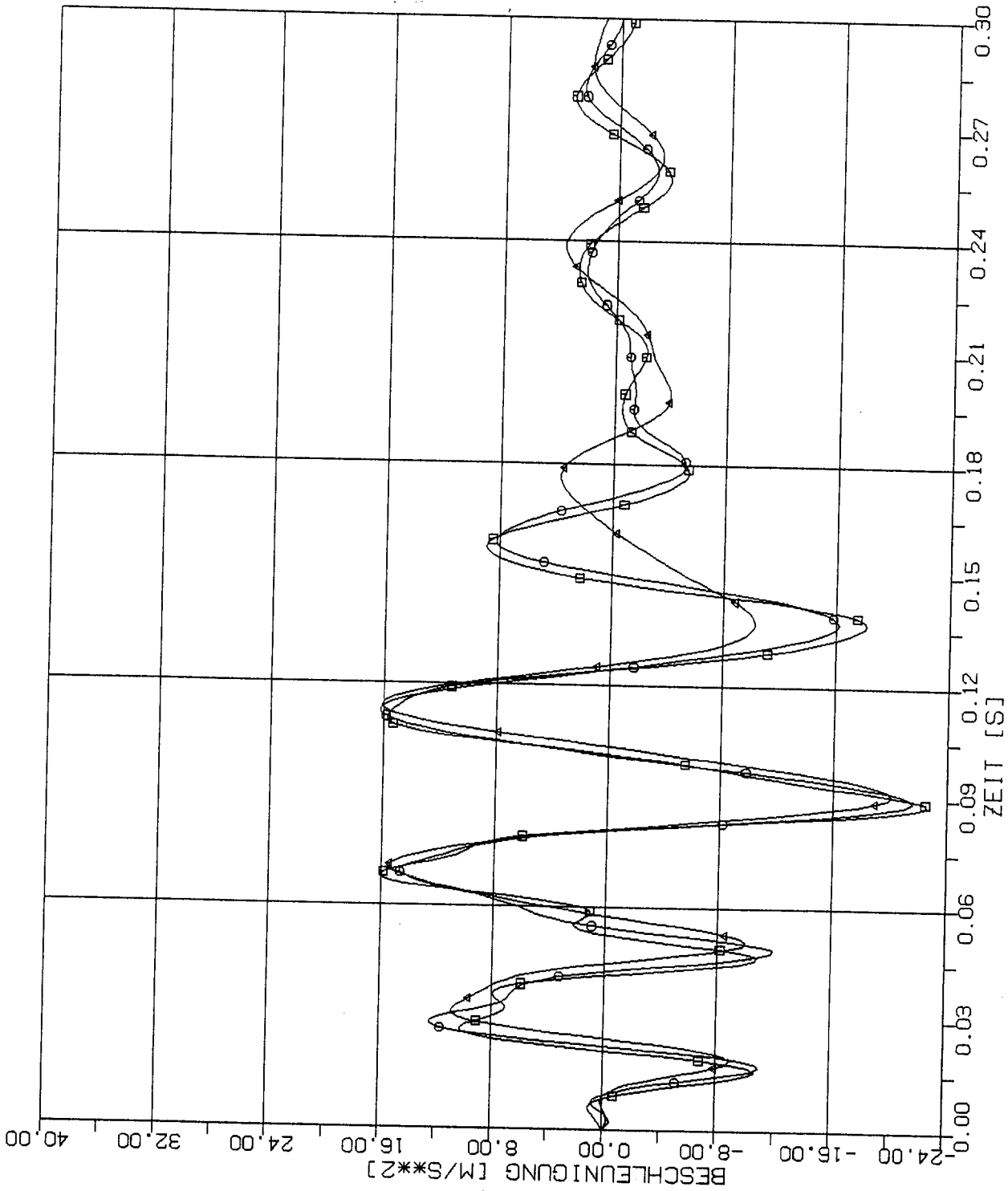
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5P(1161) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



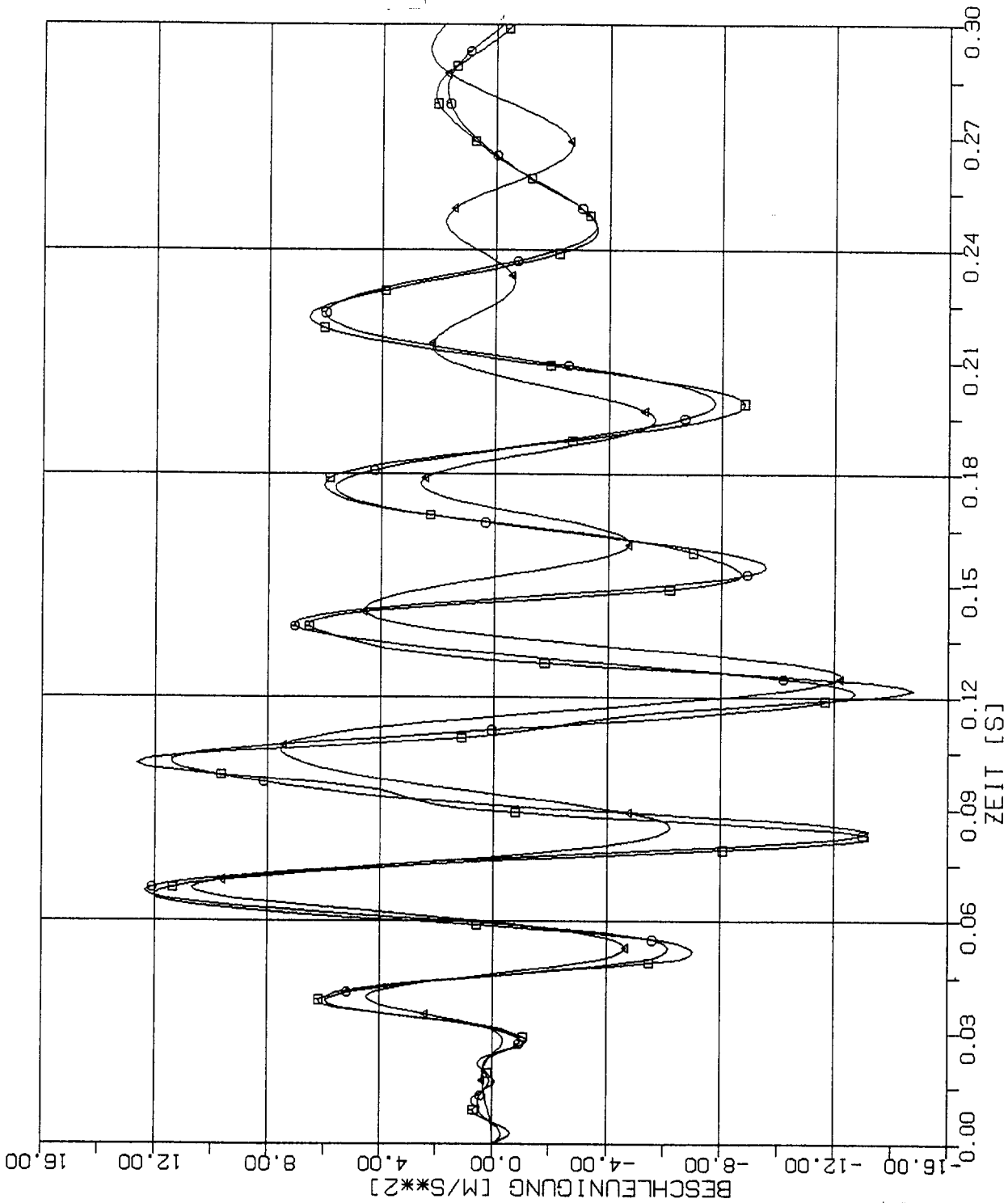
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5S(5437) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

2m x 2m

4m x 4m

8m x 8m



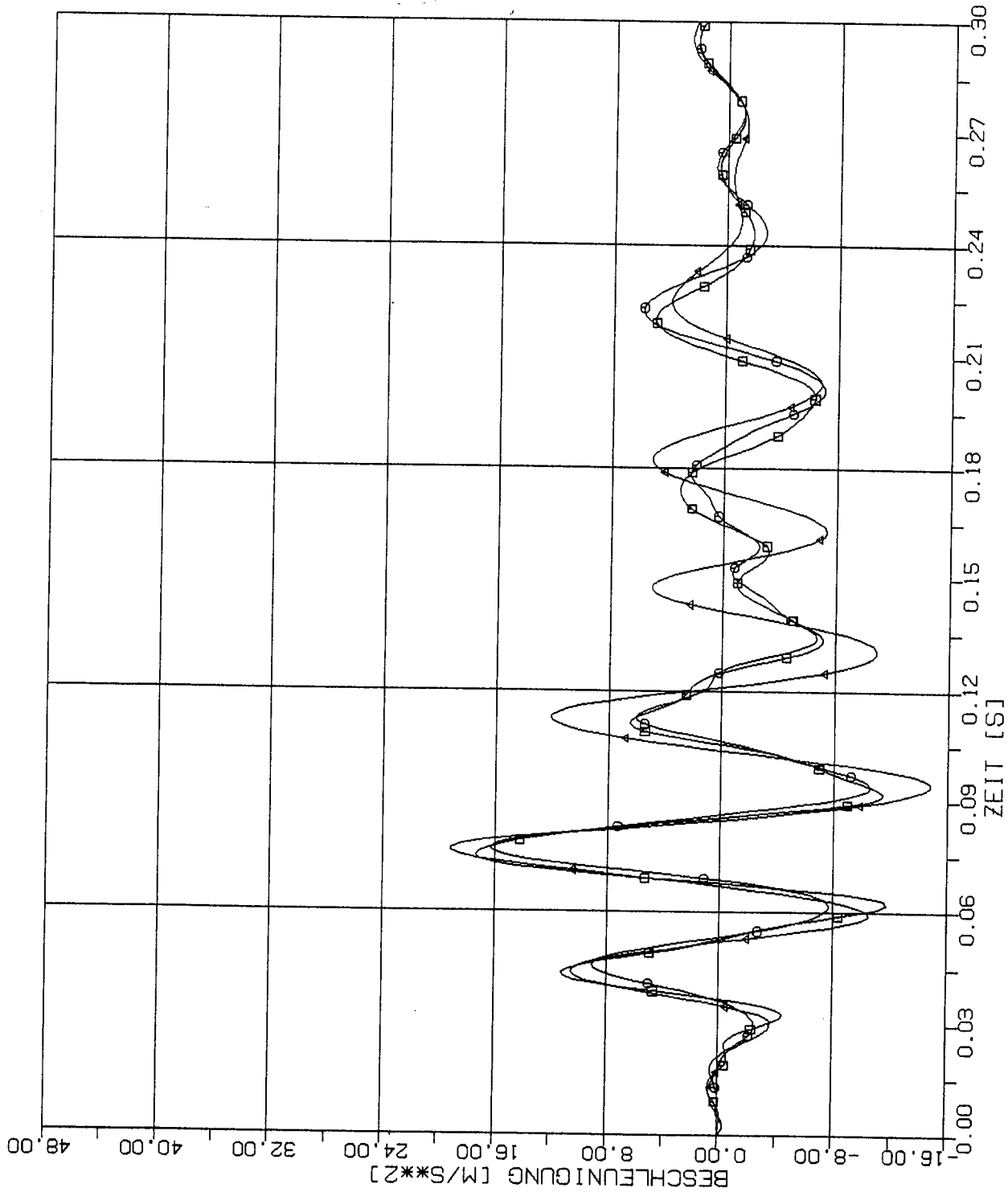
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5S(5401) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

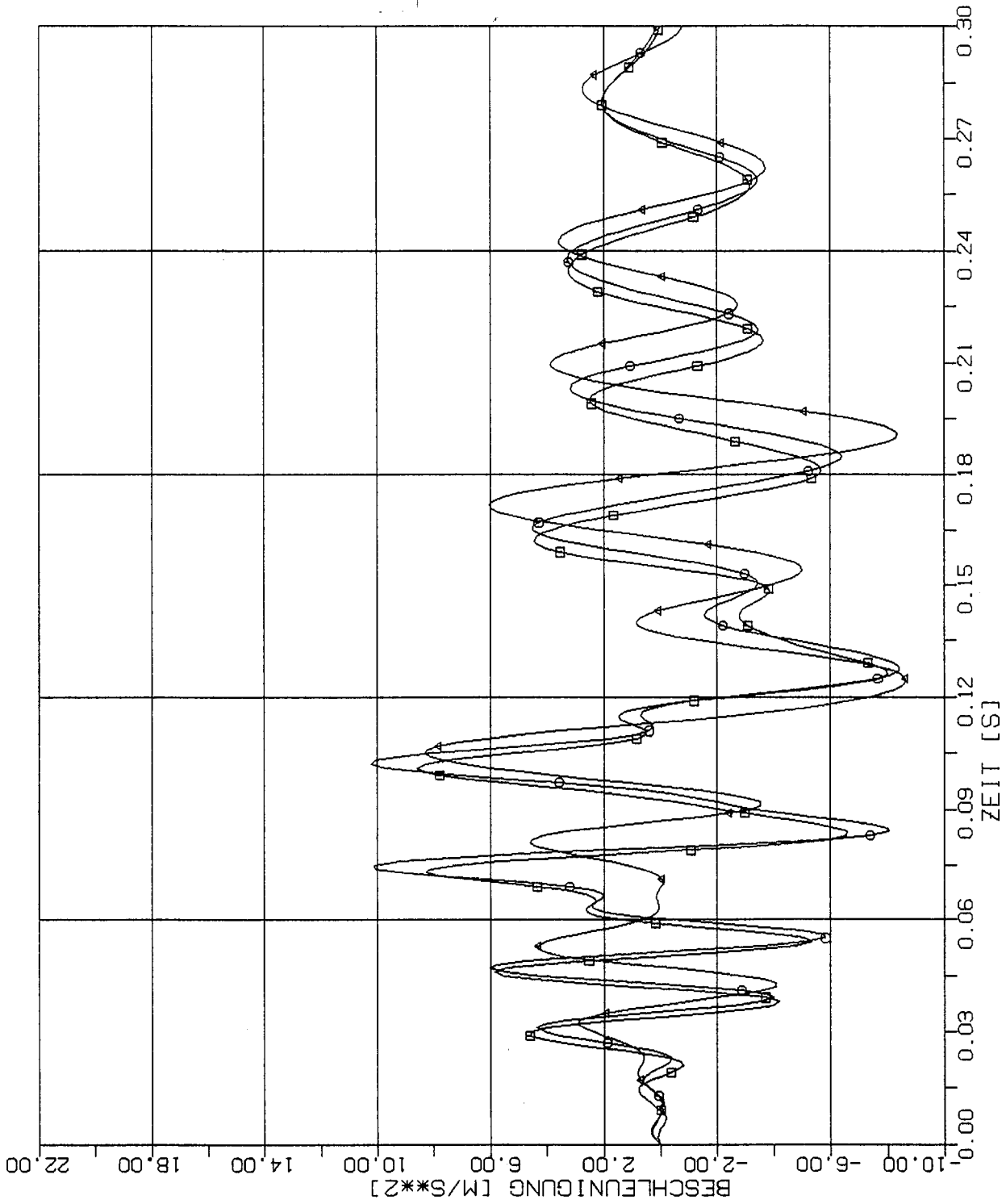
△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 2.5Z(8437) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



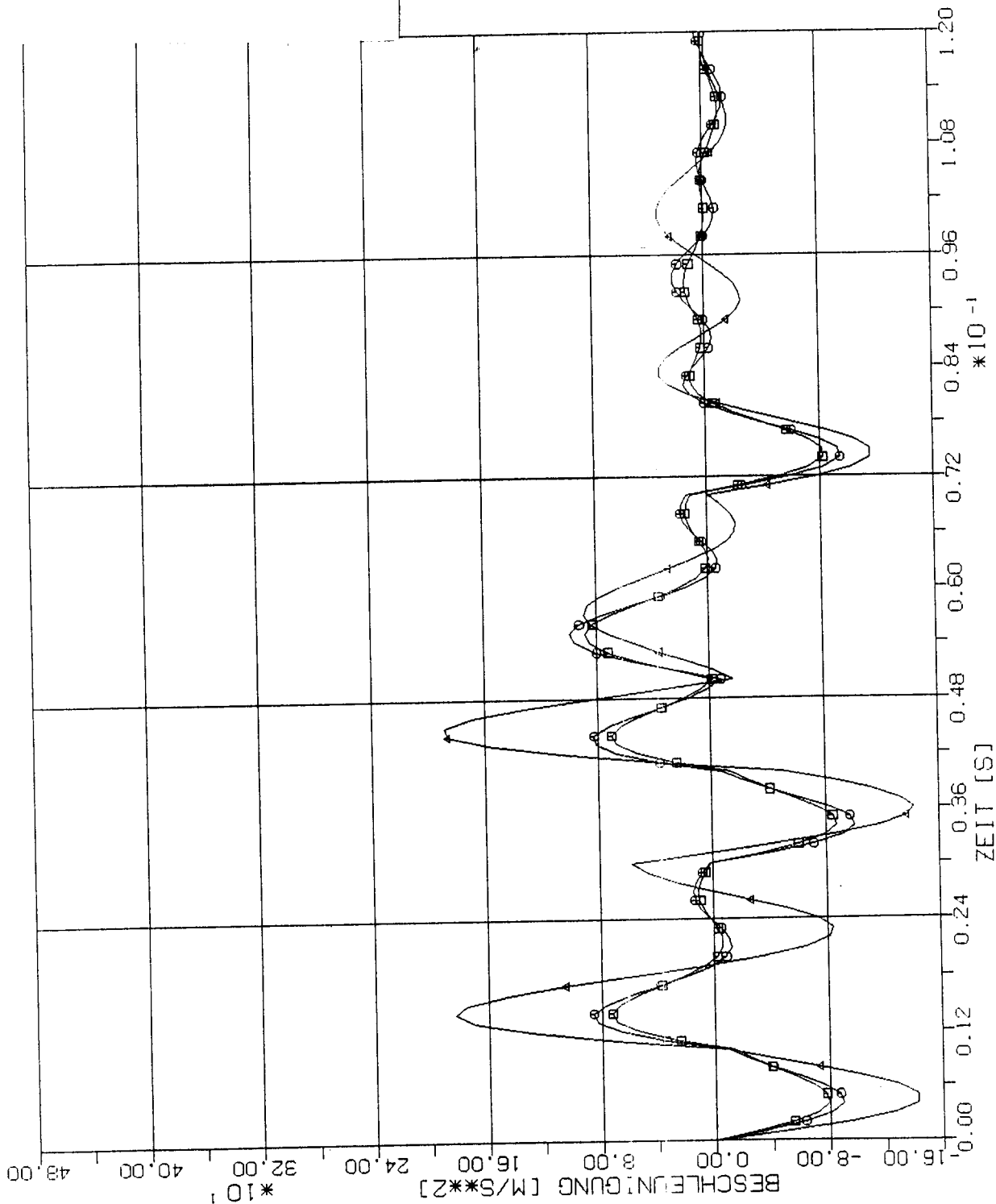
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5Z (8401) RICHTUNG XI
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



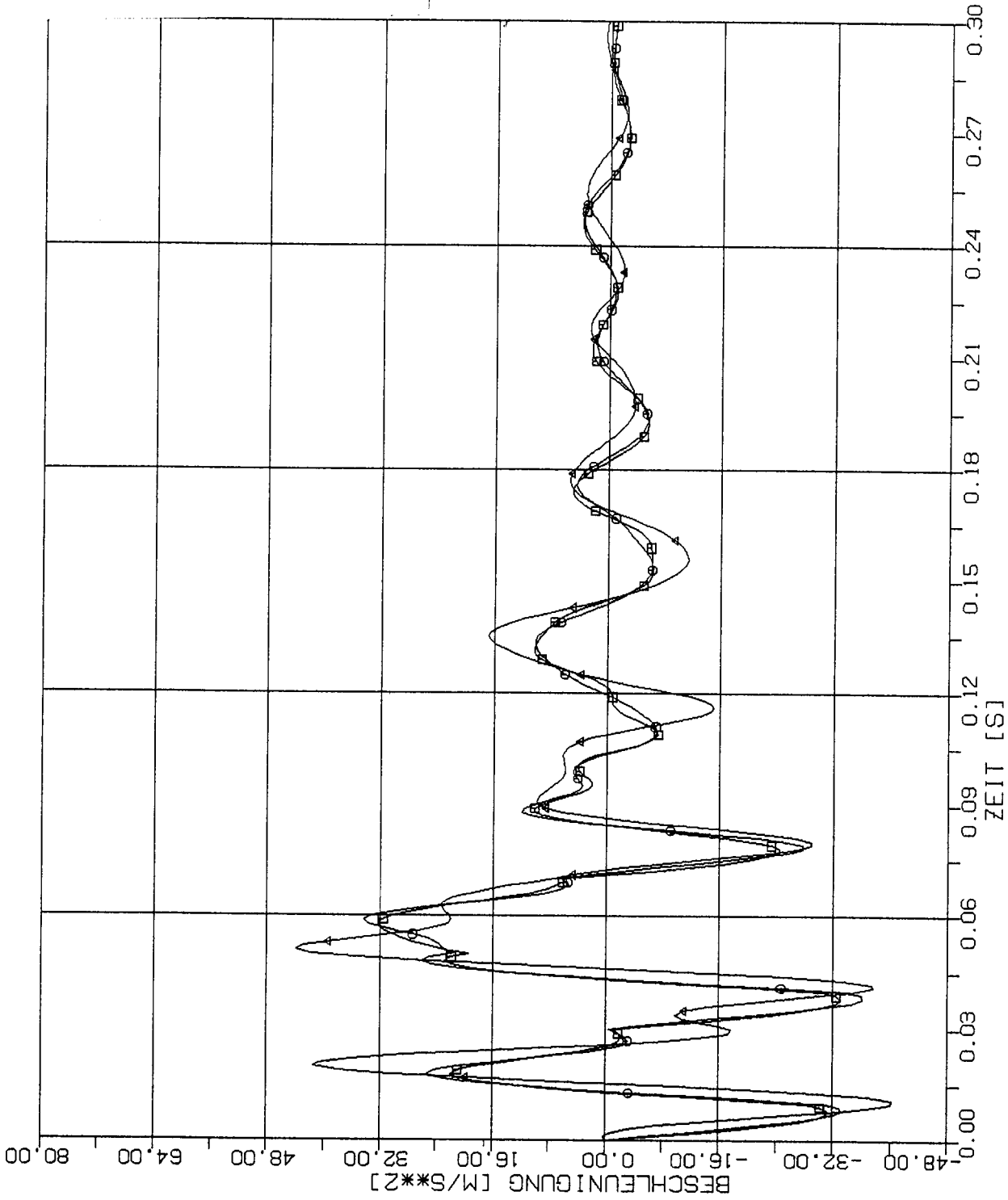
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM LAESEINLEITUNGS B.KNOTEN 3037 RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

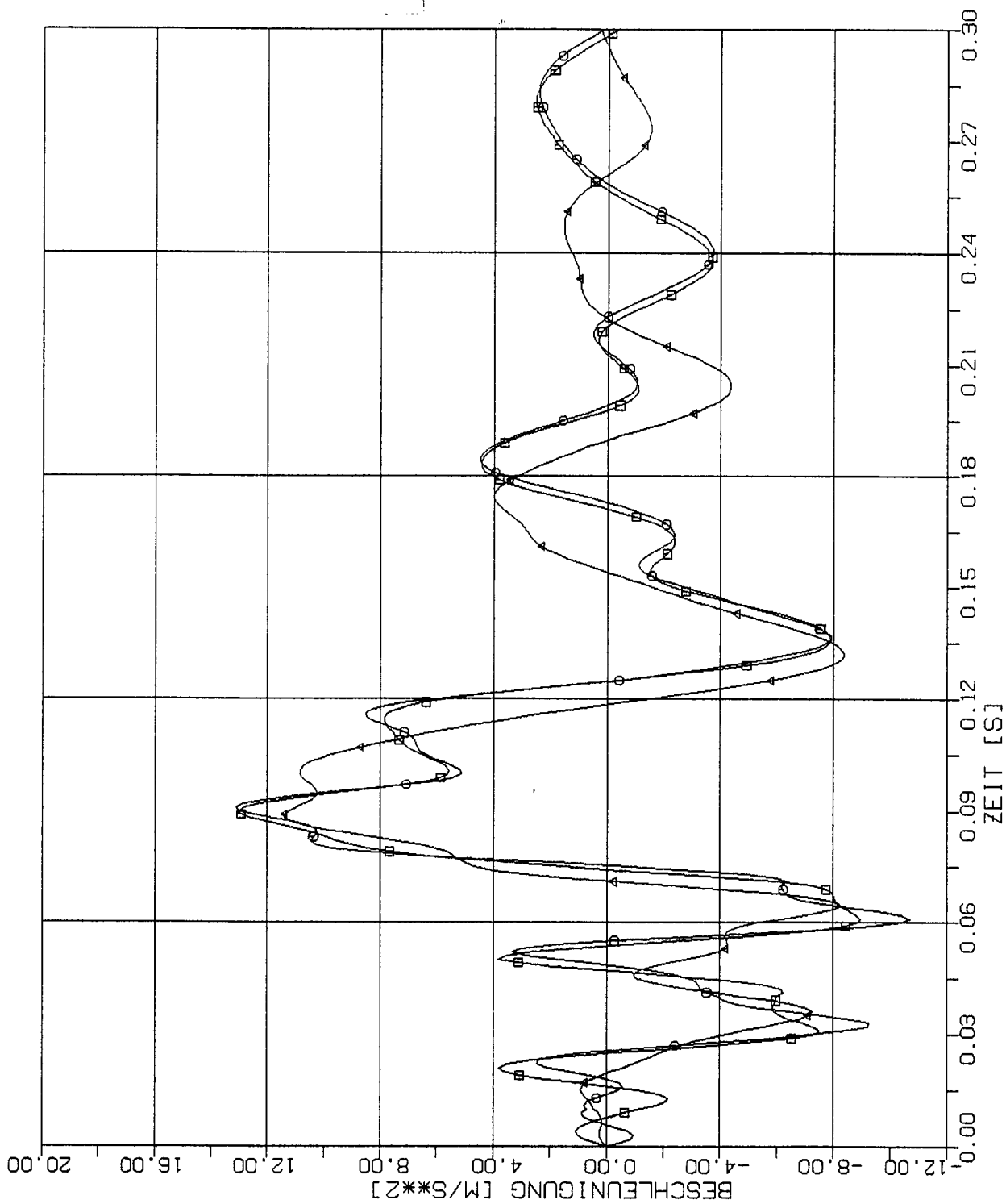
△ 8m x 8m



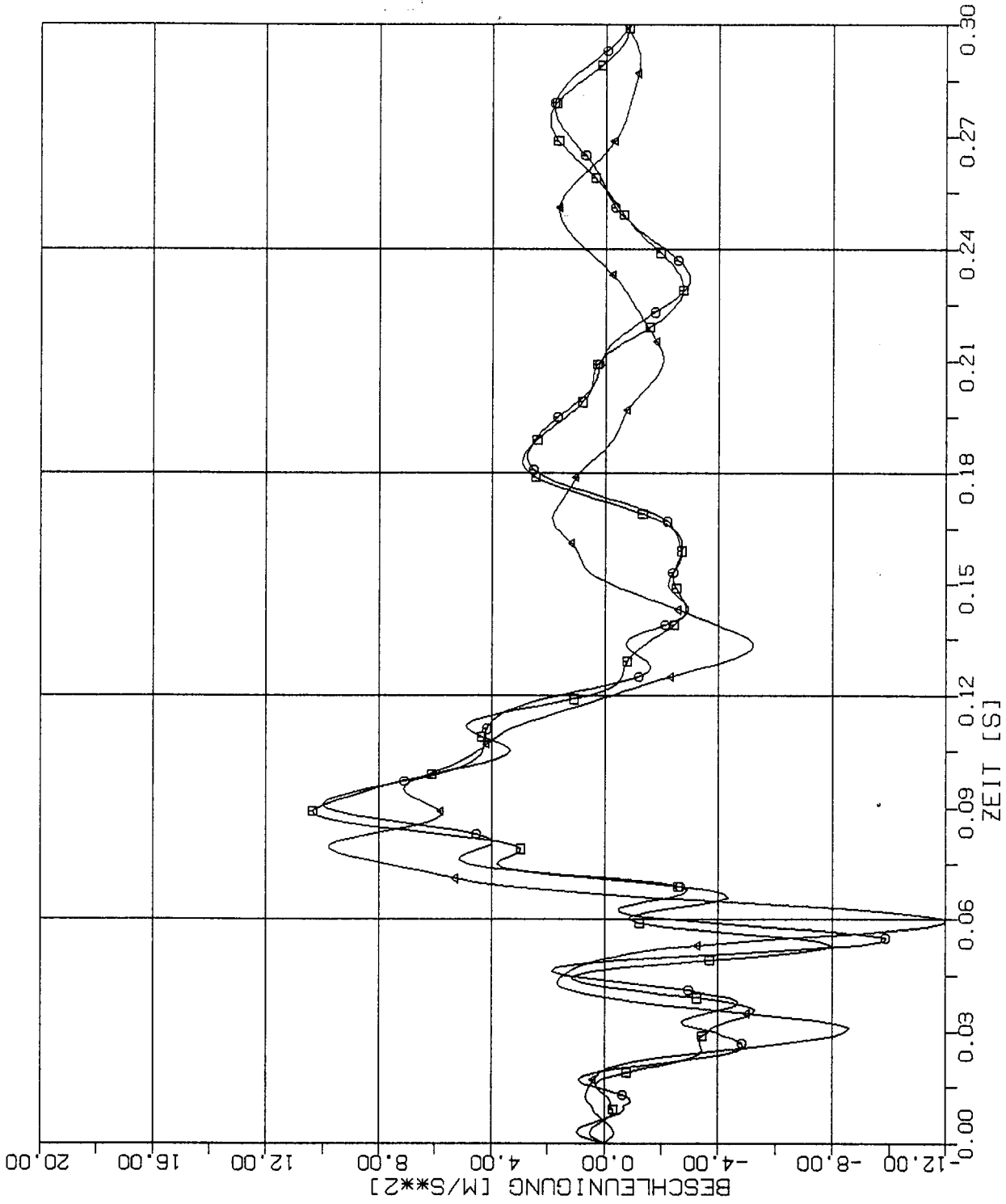
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1L(2037) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2L(2357) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

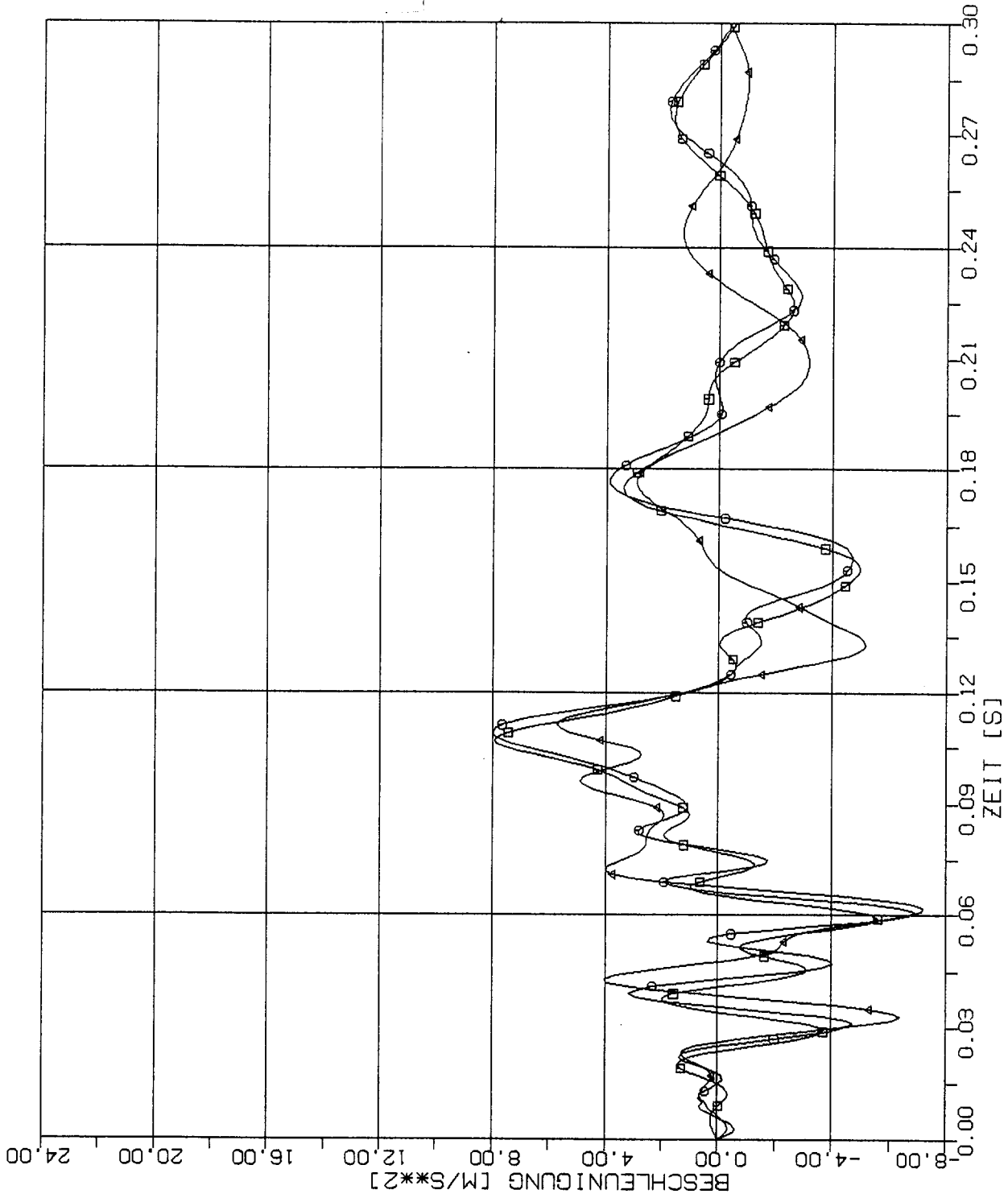
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3L(1357) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



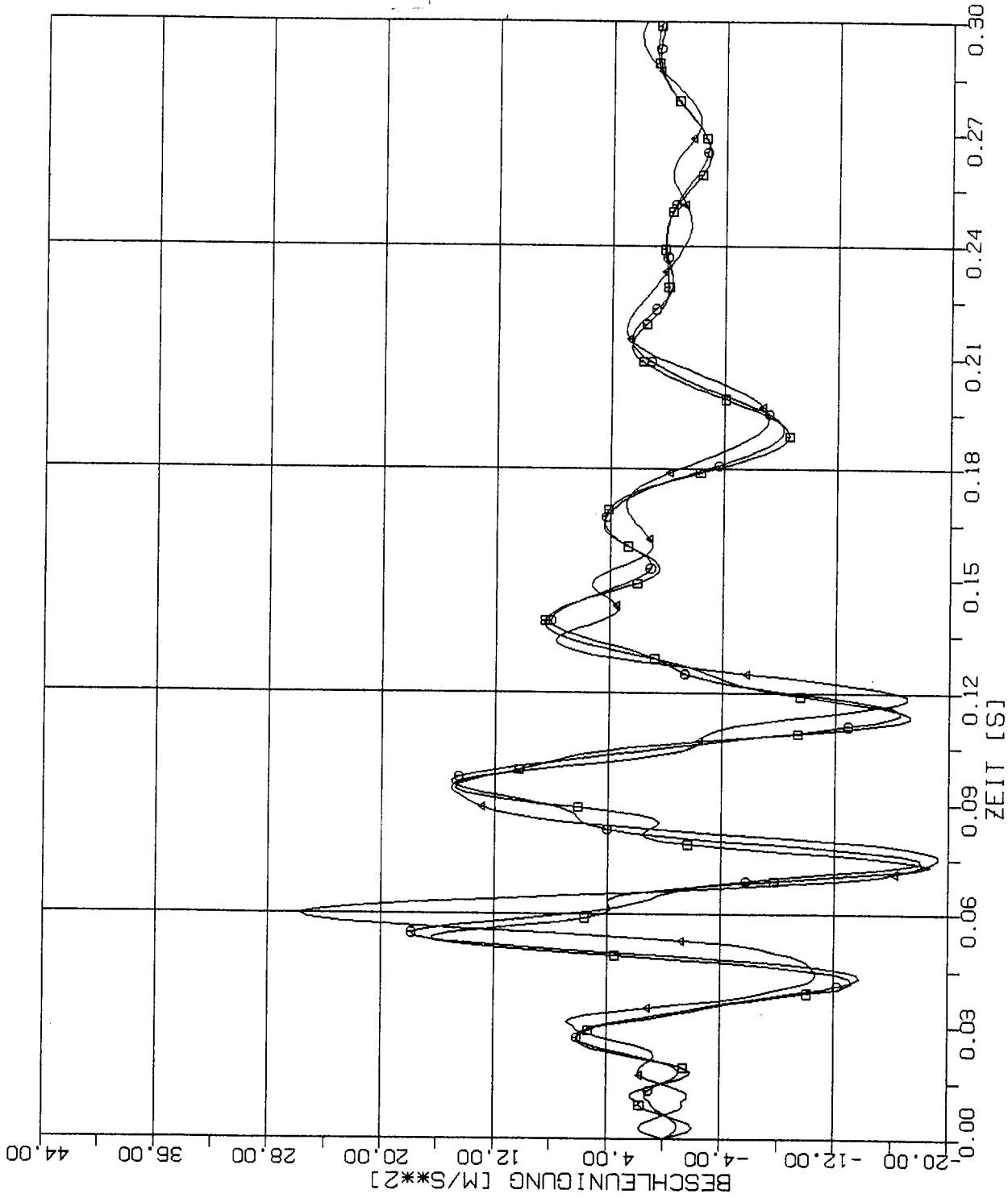
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4L(1321) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



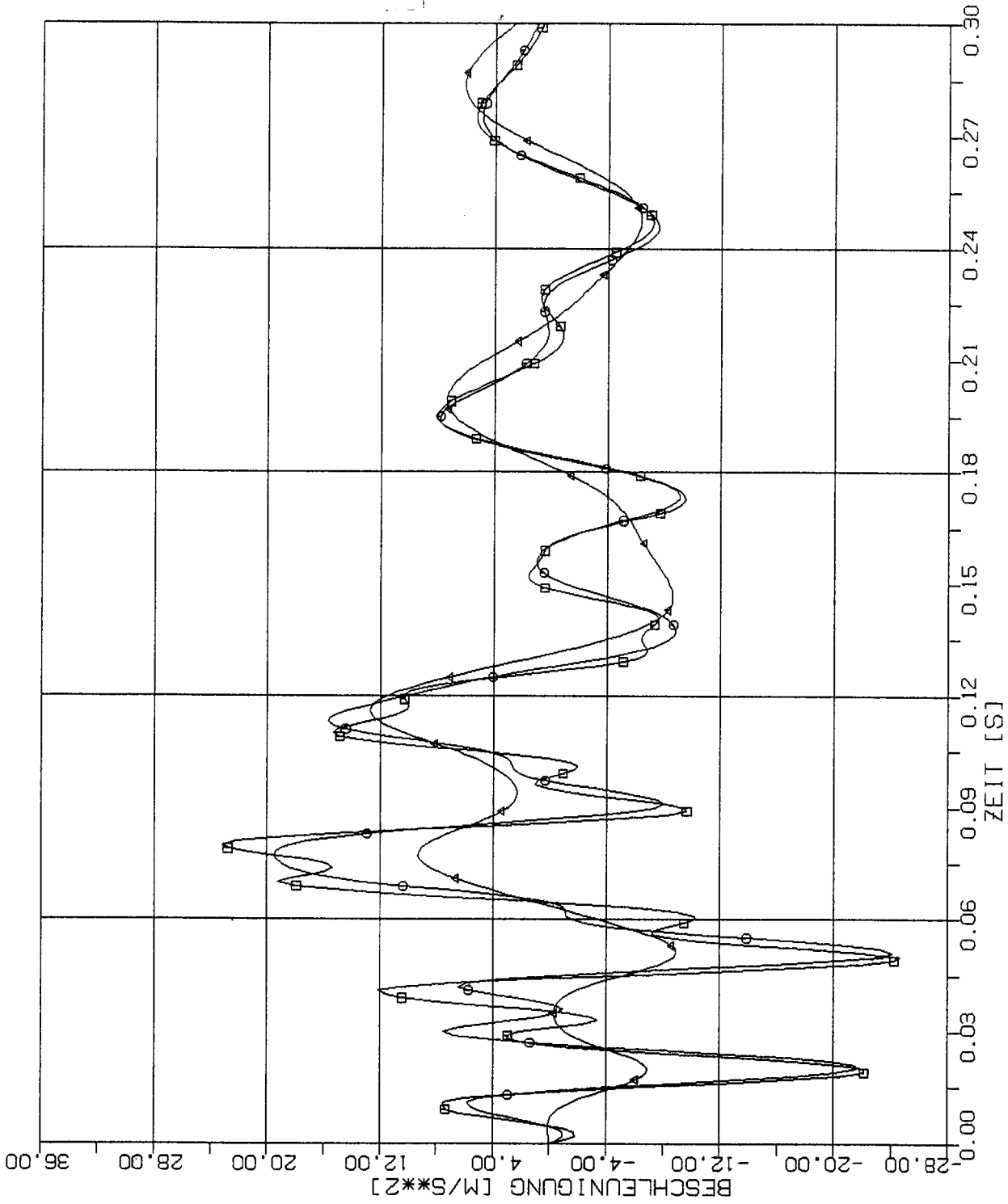
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 5L (2037) RICHTUNG X3
STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG. (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



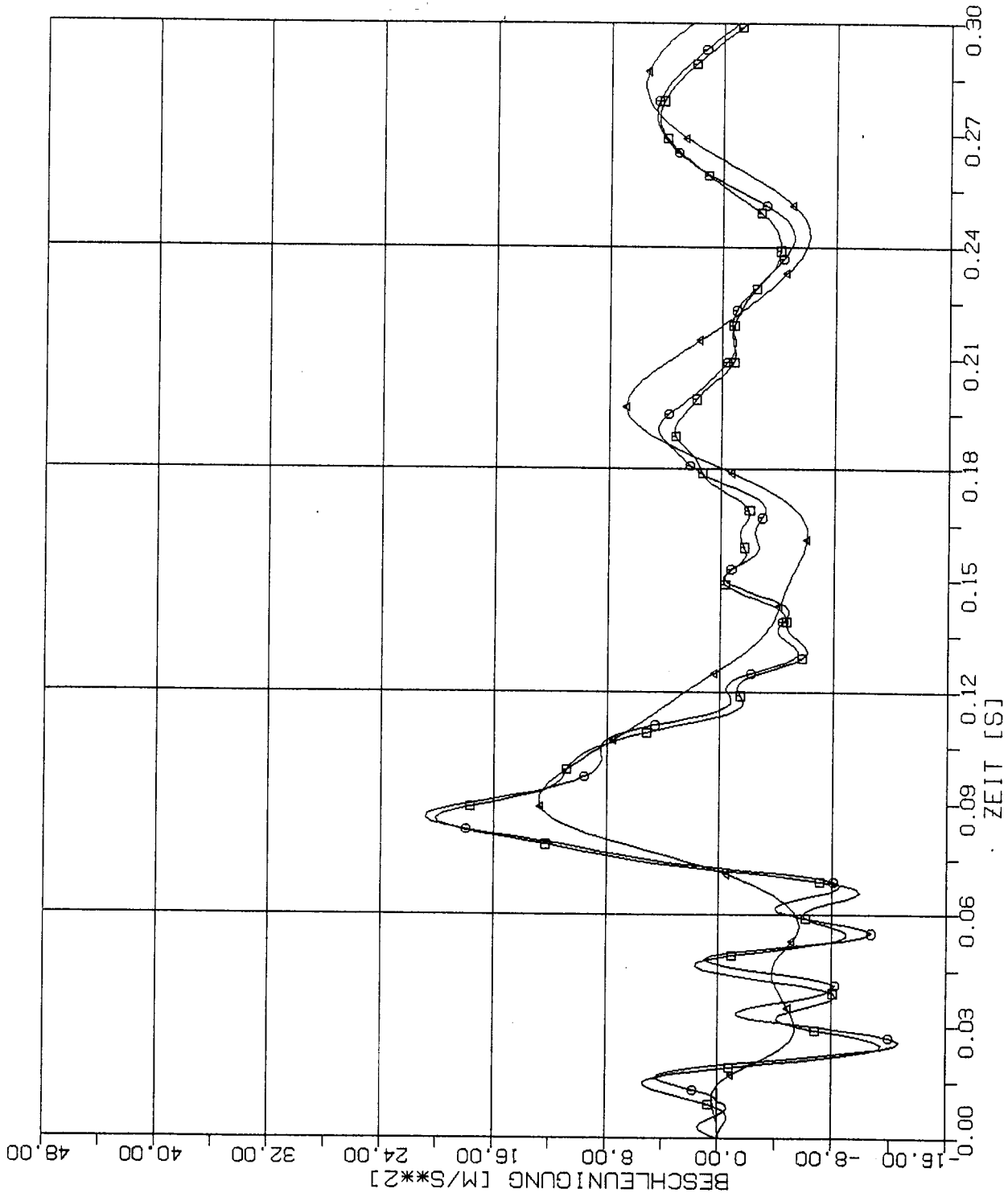
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5P(2197) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

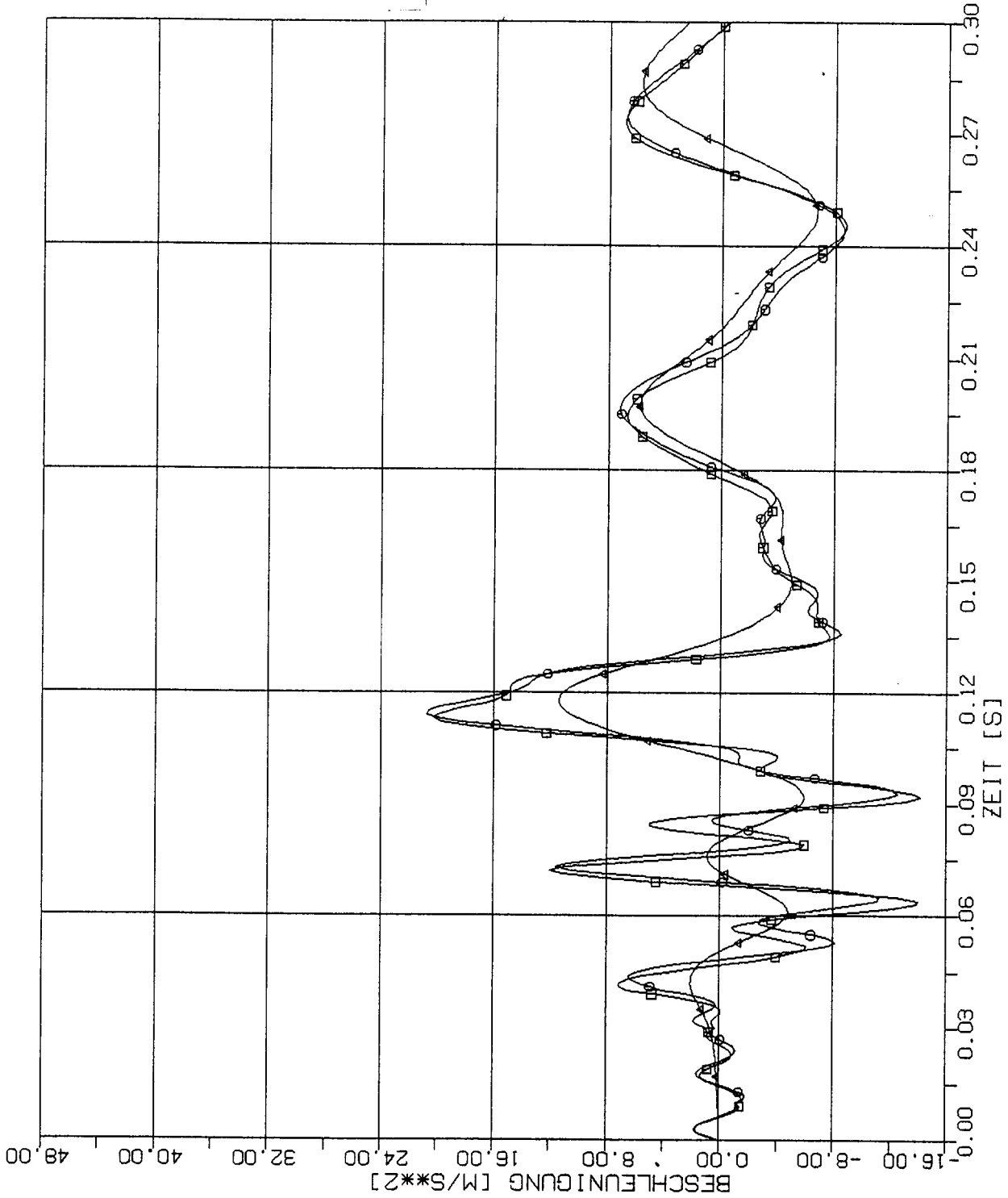
△-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5P(1197) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



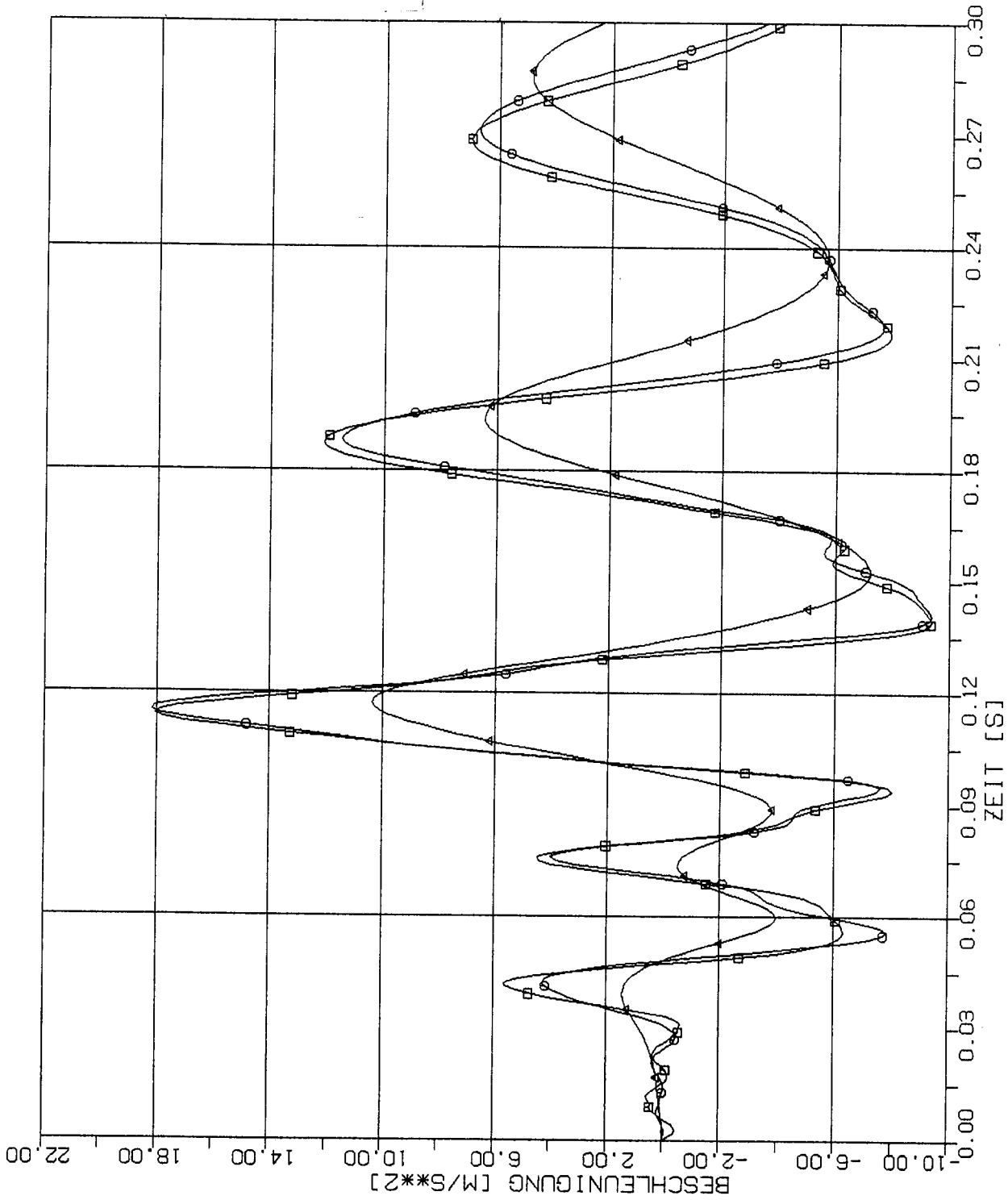
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 3.5P(2161) RICHTUNG X3
STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

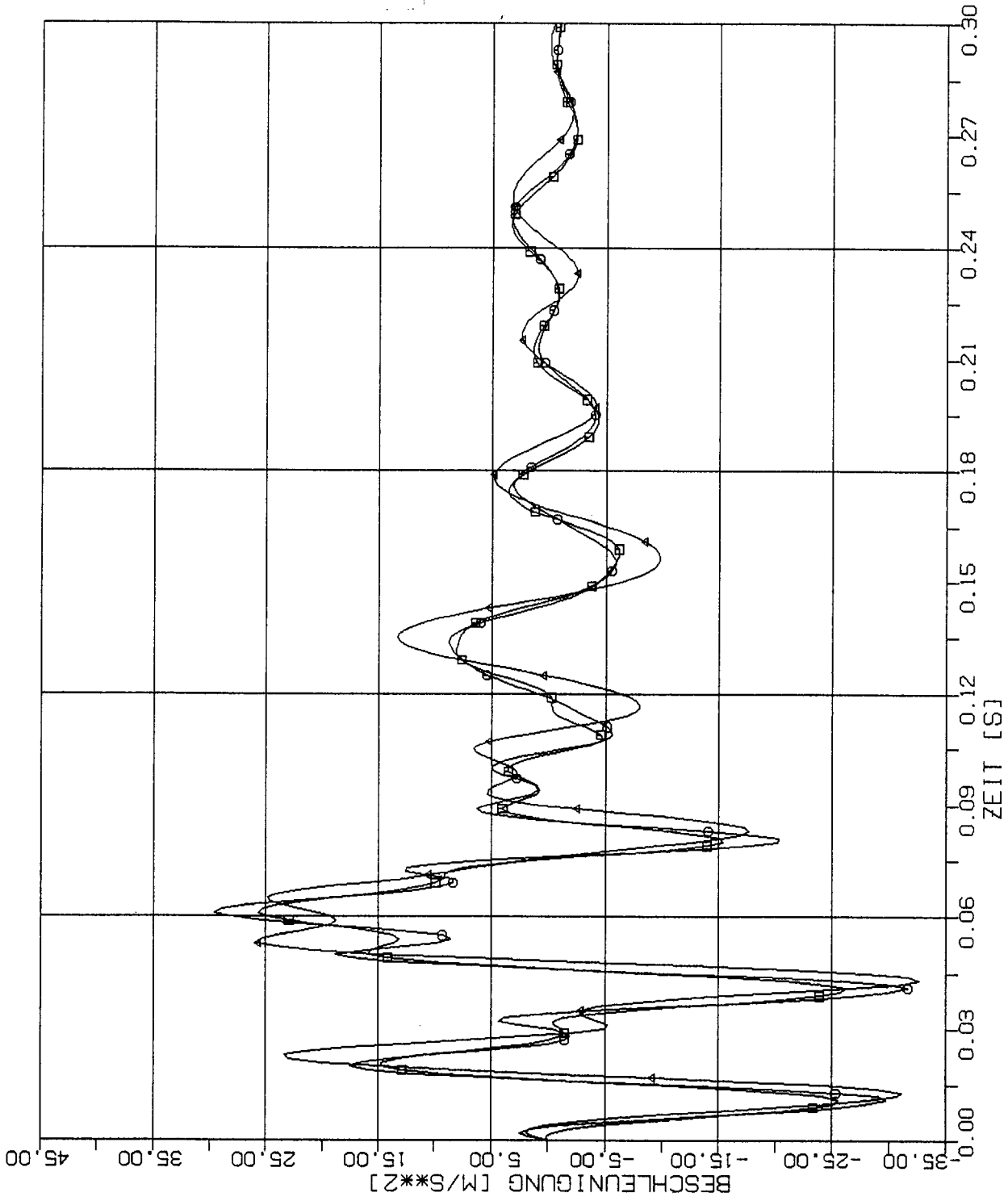
□-□ 2m x 2m

○-○ 4m x 4m

△-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5P(1161) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



Elementgröße:

□ 2m x 2m

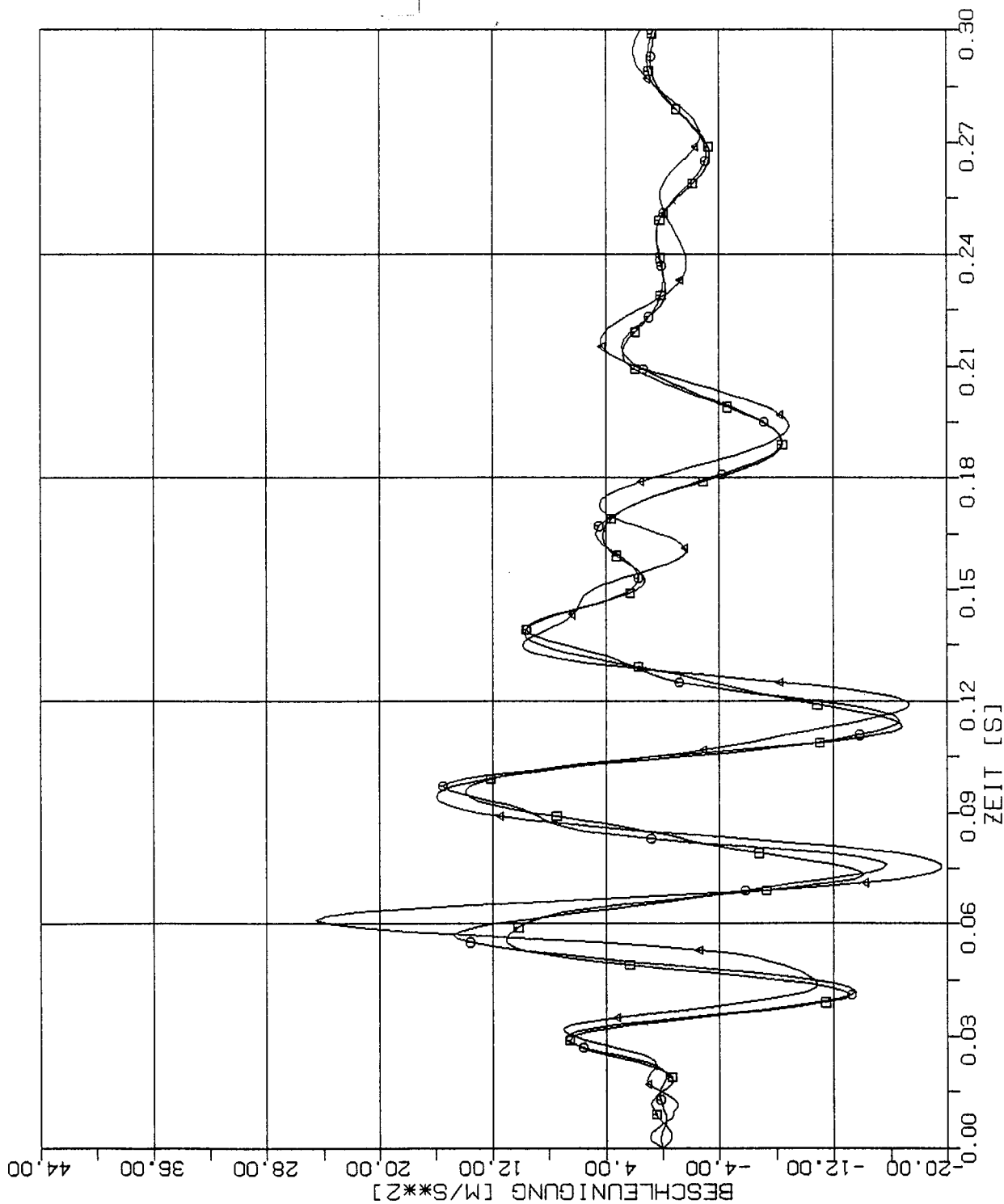
○ 4m x 4m

△ 8m x 8m

STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 1.5S(5437) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



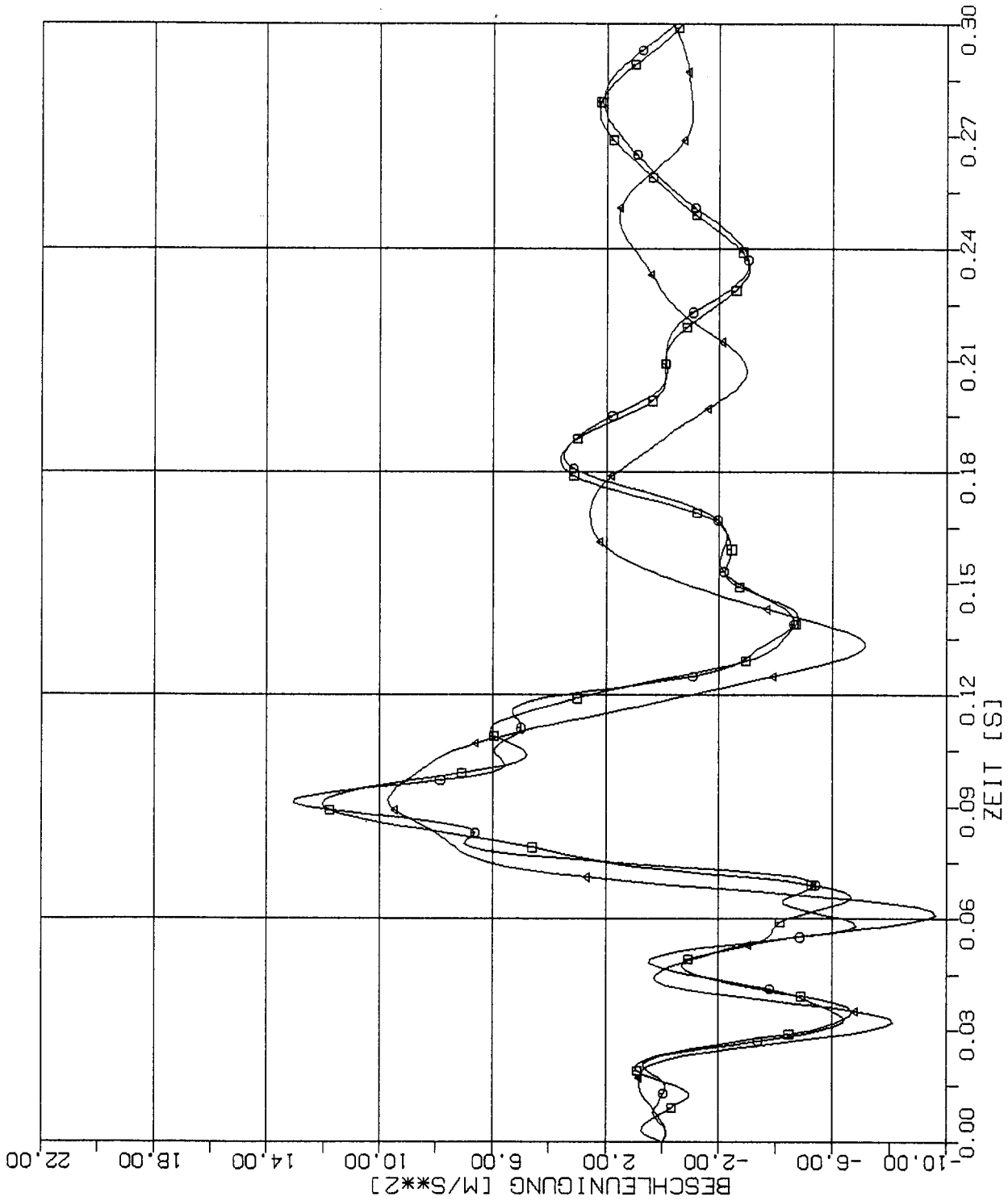
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 4.5S(5401) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



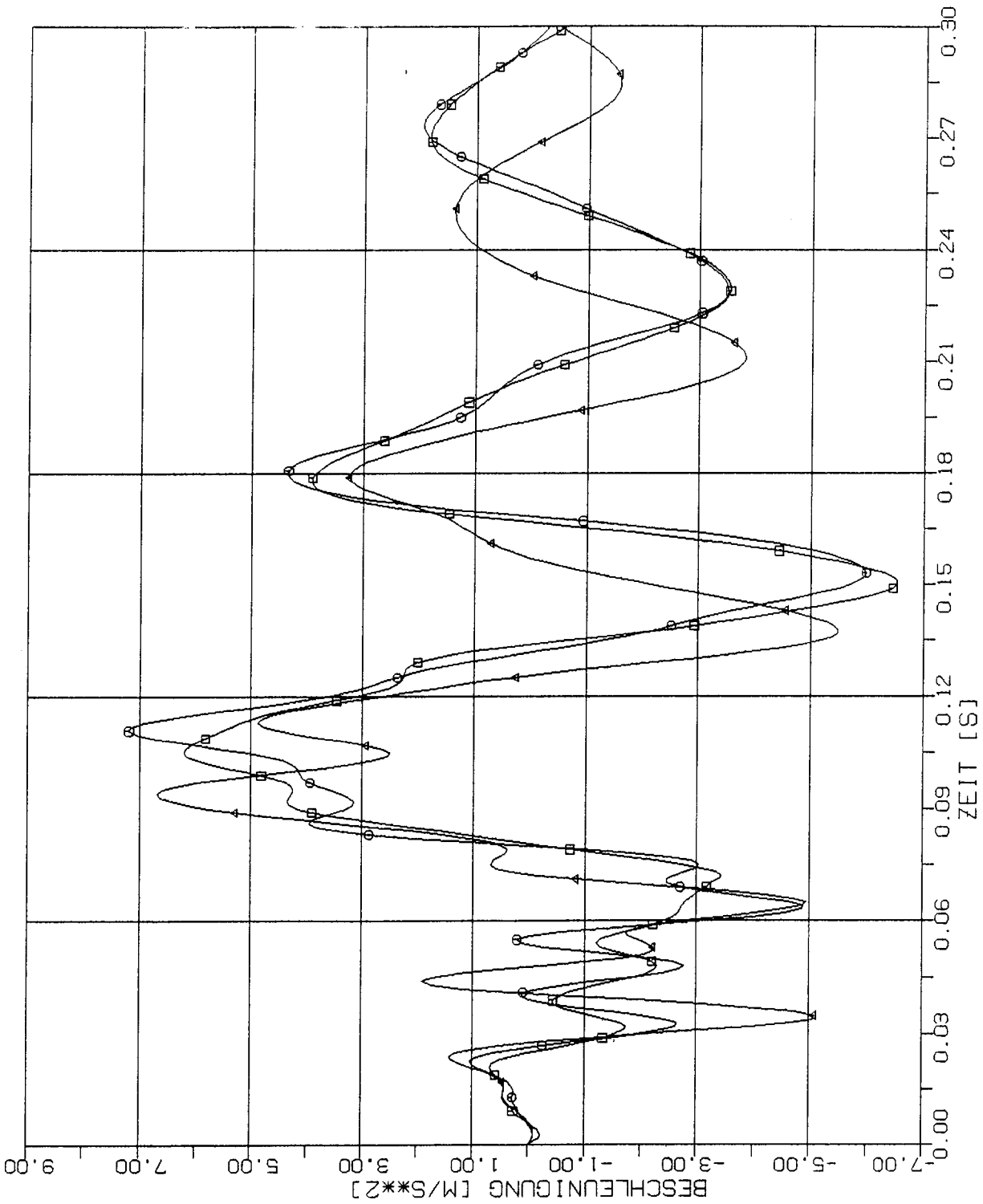
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUFE IM PUNKT 2.5Z(8437) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

△ 8m x 8m



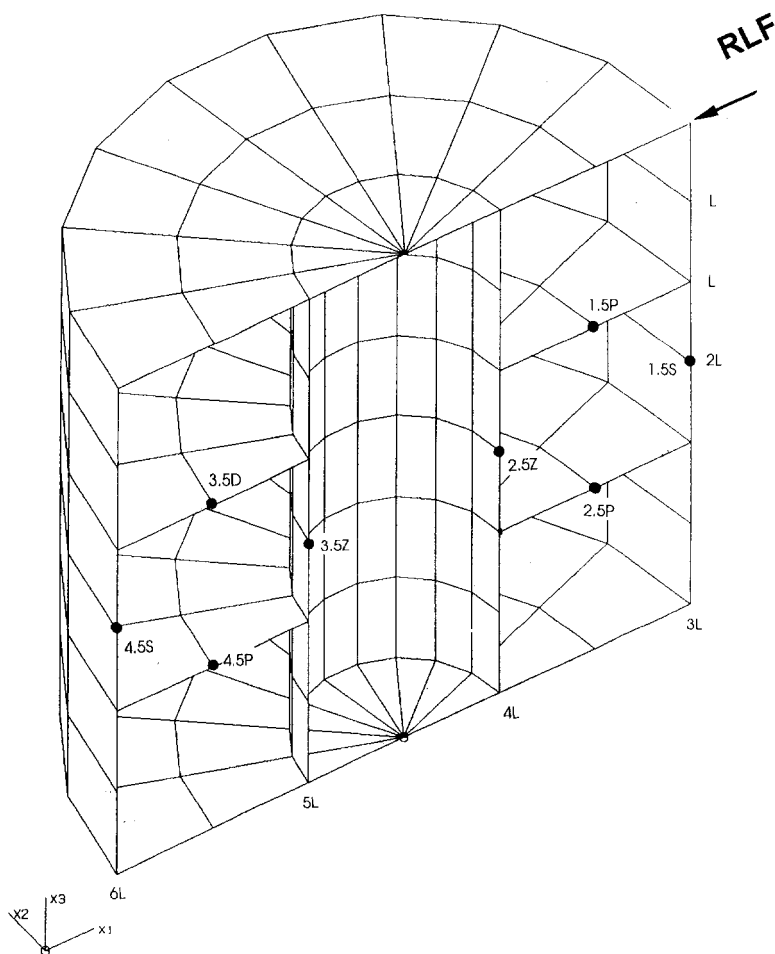
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXISYM. BAUWERKEN
 VERGLEICH DER BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLAUE IM PUNKT 3.5Z(8401) RICHTUNG X3
 STOSSBELASTUNG(RLF) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Zwischenblatt

4

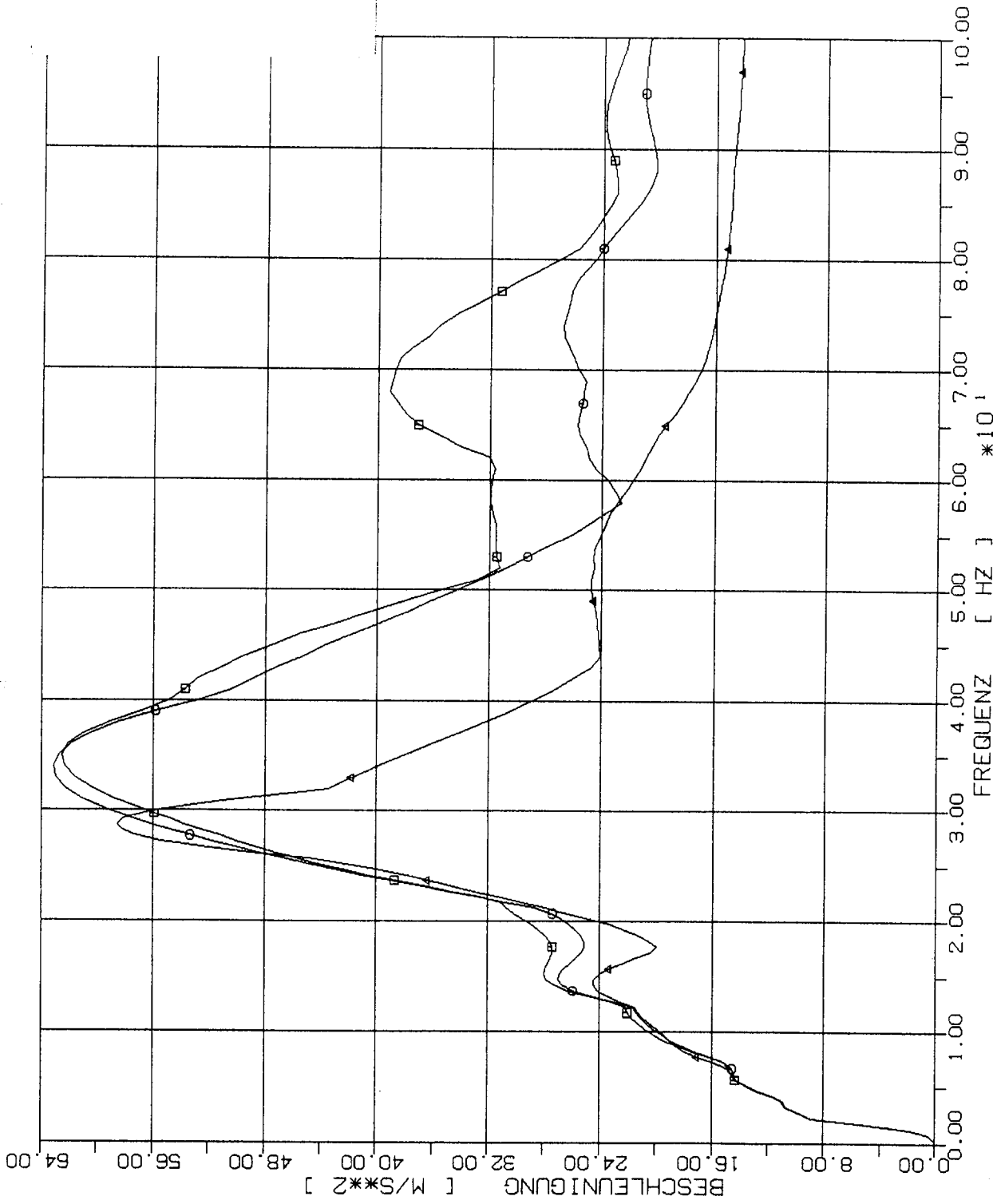
**Vergleich von Beschleunigungsantwortspektren
in den charakteristischen Beobachtungspunkten
des axisymmetrischen Modellbauwerks
bei Anwendung verschiedener Diskretisierungen**

4.1 Stoßbelastung in Horizontalrichtung



Elementgröße:

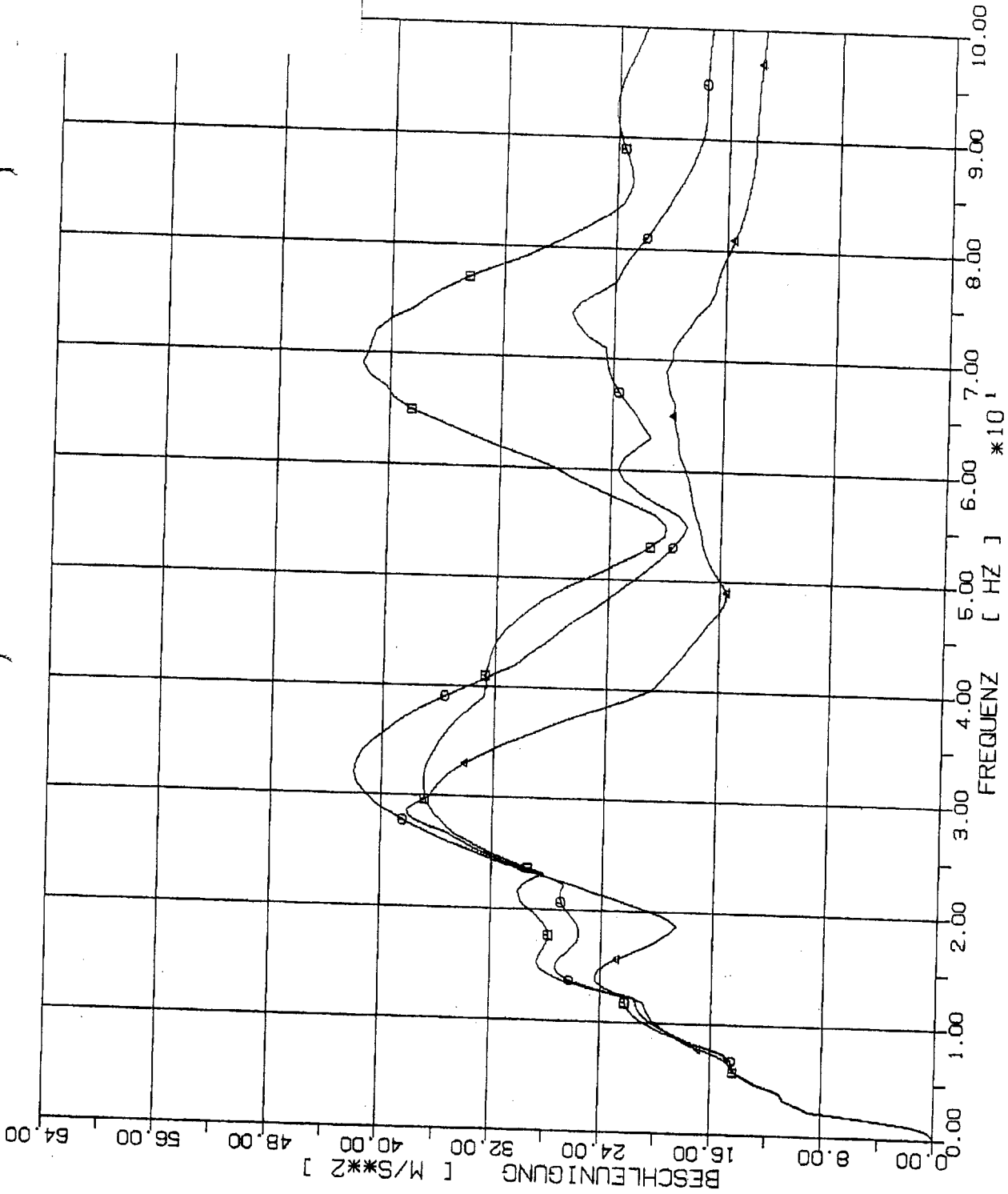
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVergLEICH IM B. PUNKT 1L, 2% DAEMPfung X1 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

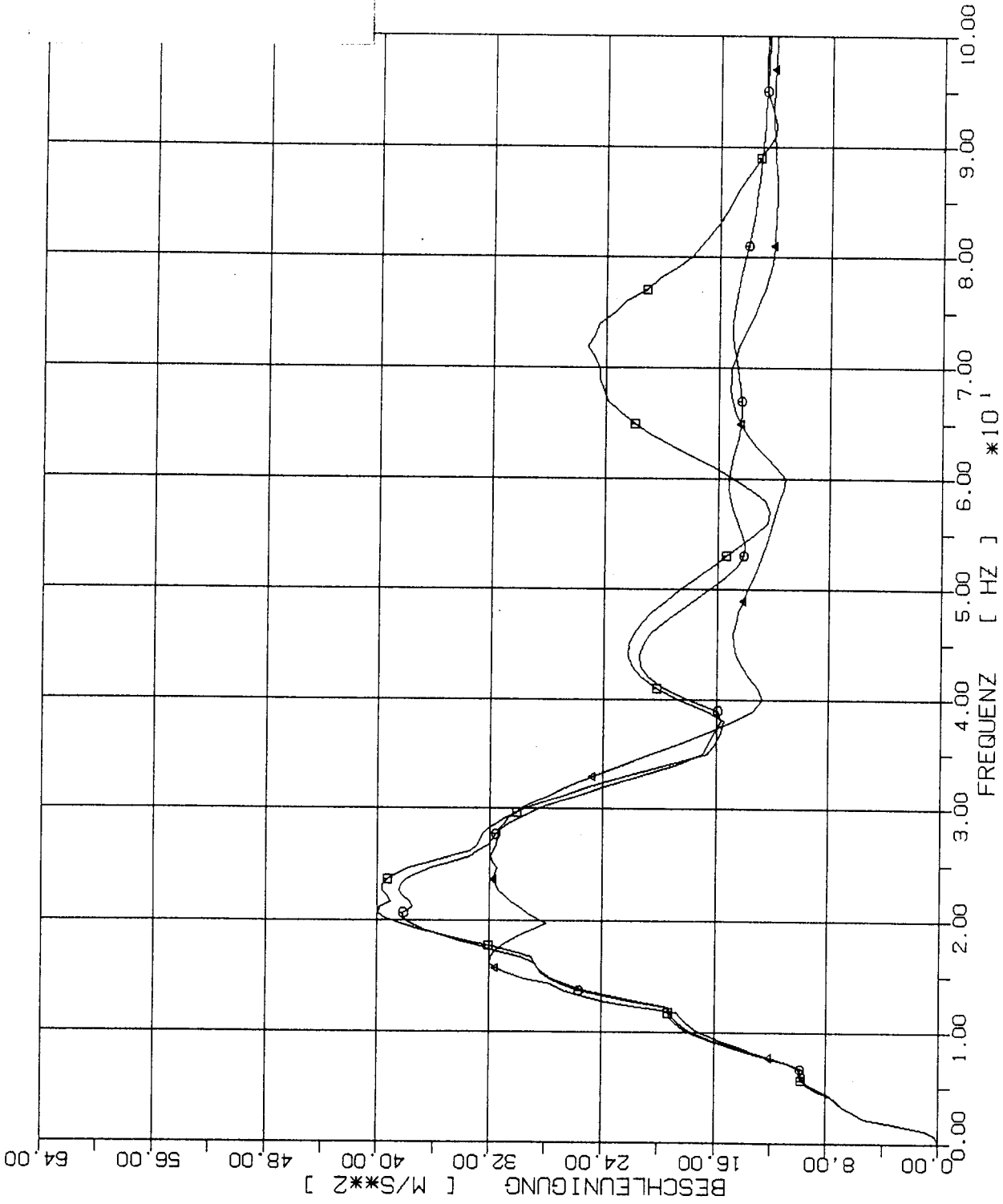
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2L. 2% DAEMPfung X1 RICHT.
STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

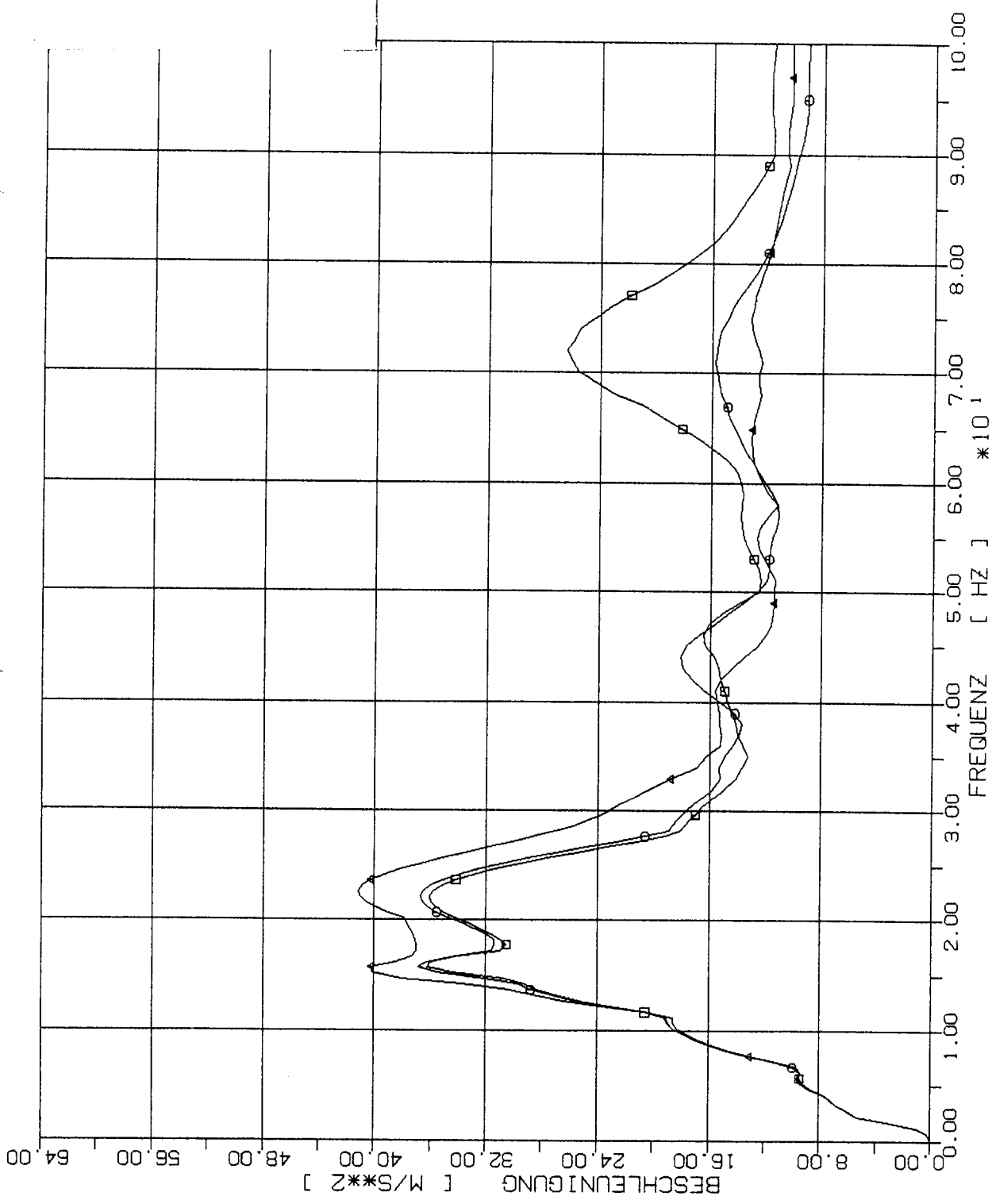
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3L, 2% DAEMPFUNG X1 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



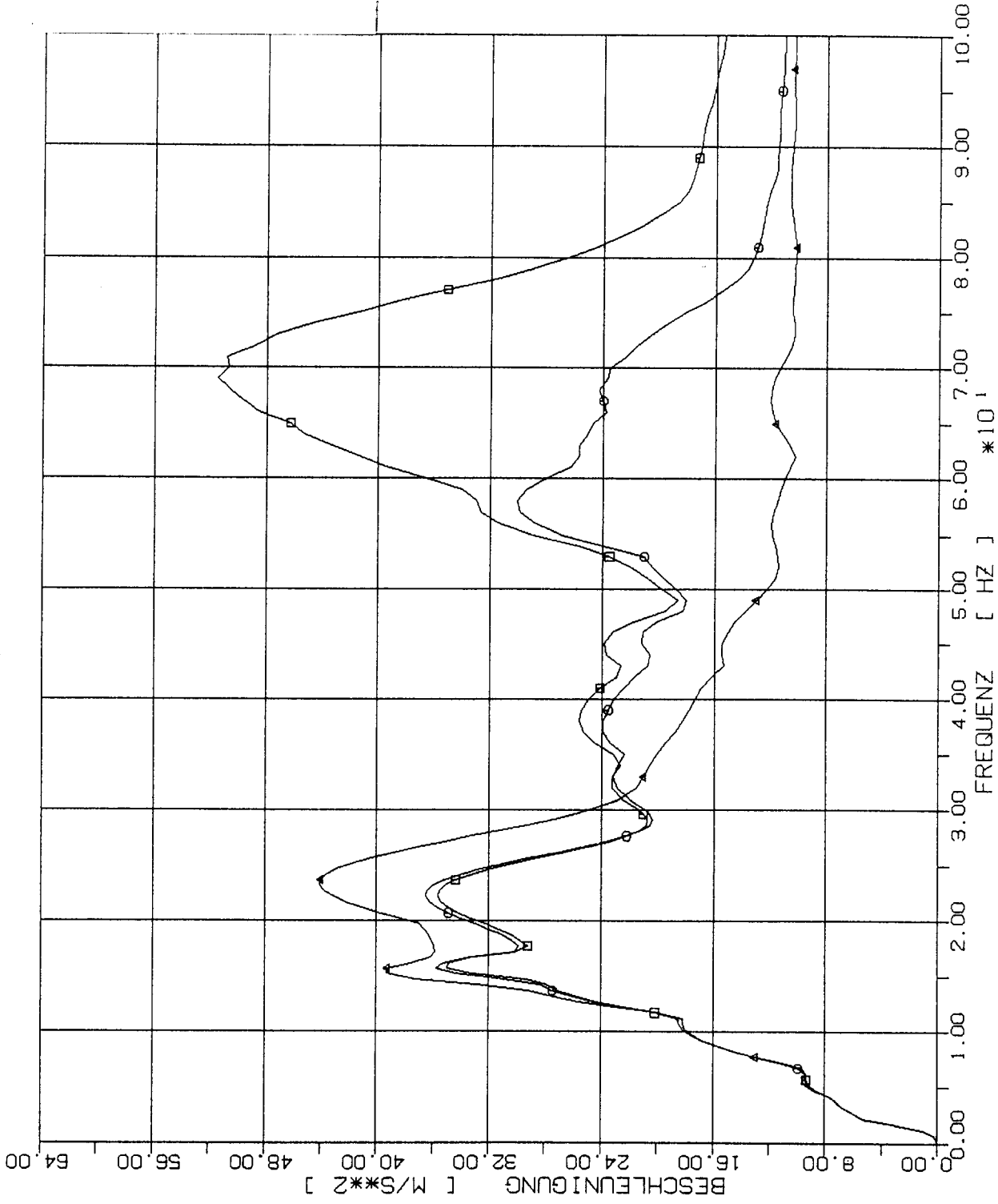
STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4L, 2% DAEMPfung X1 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

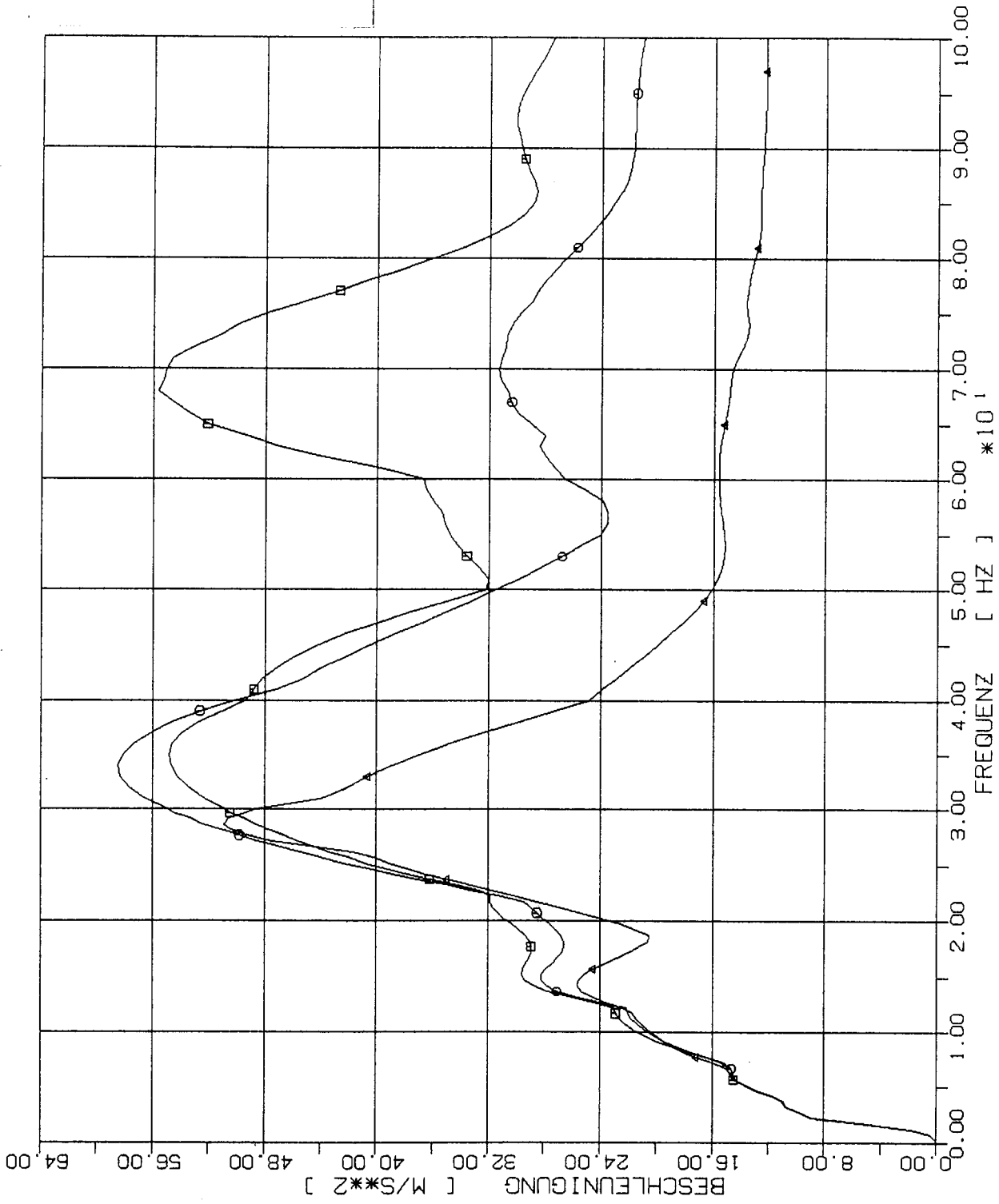
△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 5L, 2% DAEMPfung X1 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

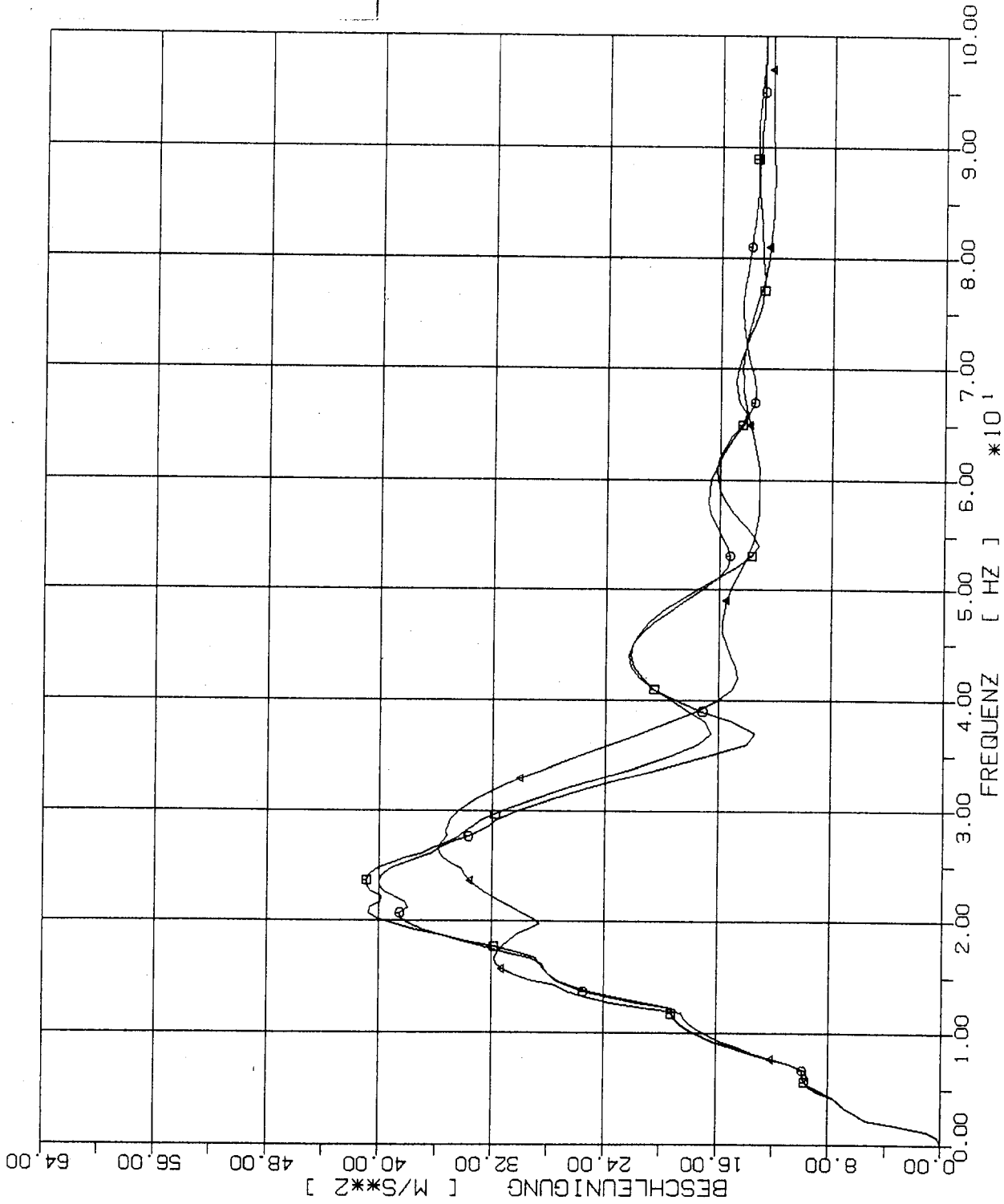
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVergLEICH IM B. PUNKT 1.5P. 2% DAEMPfung , X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

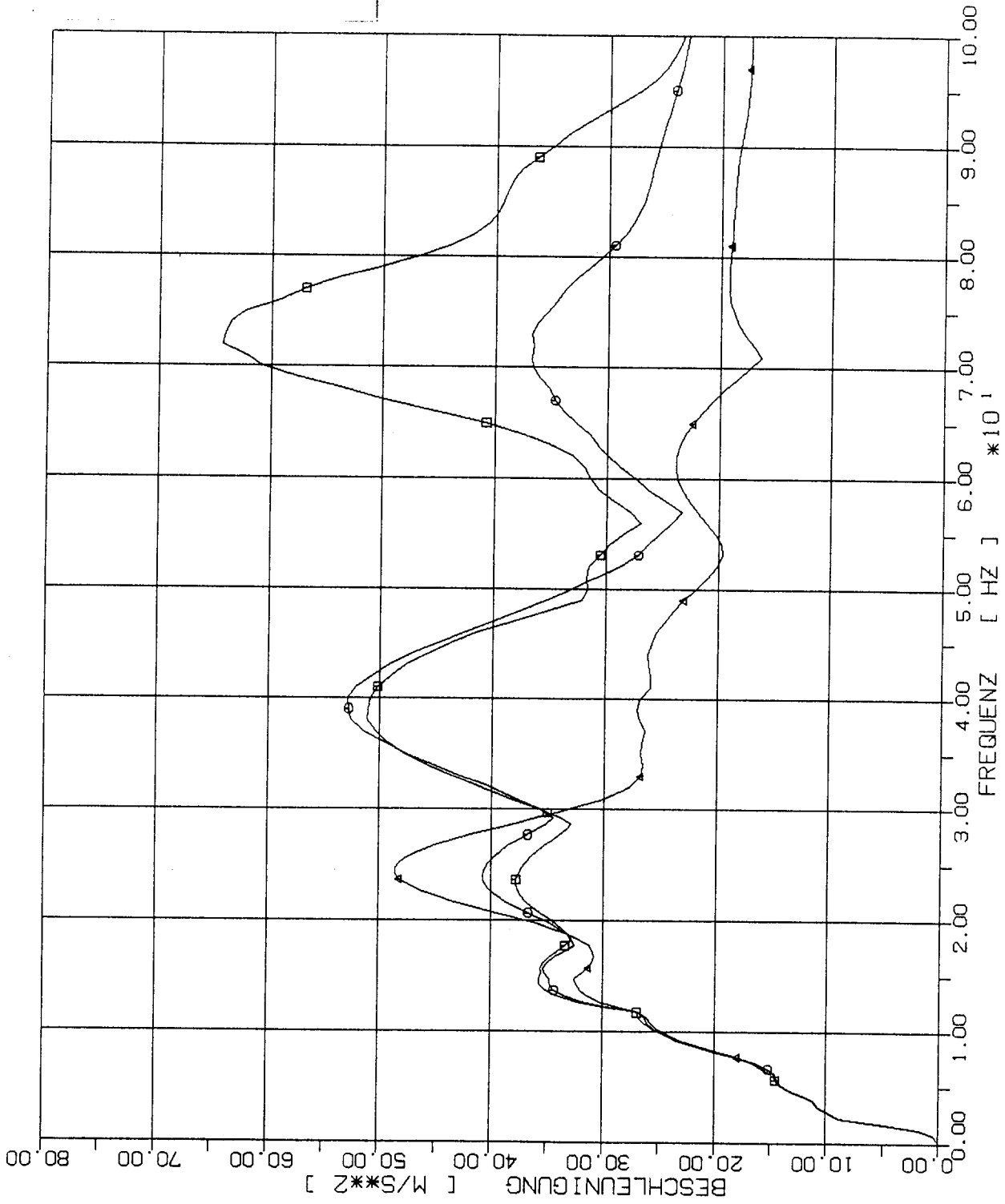
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2.5P, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

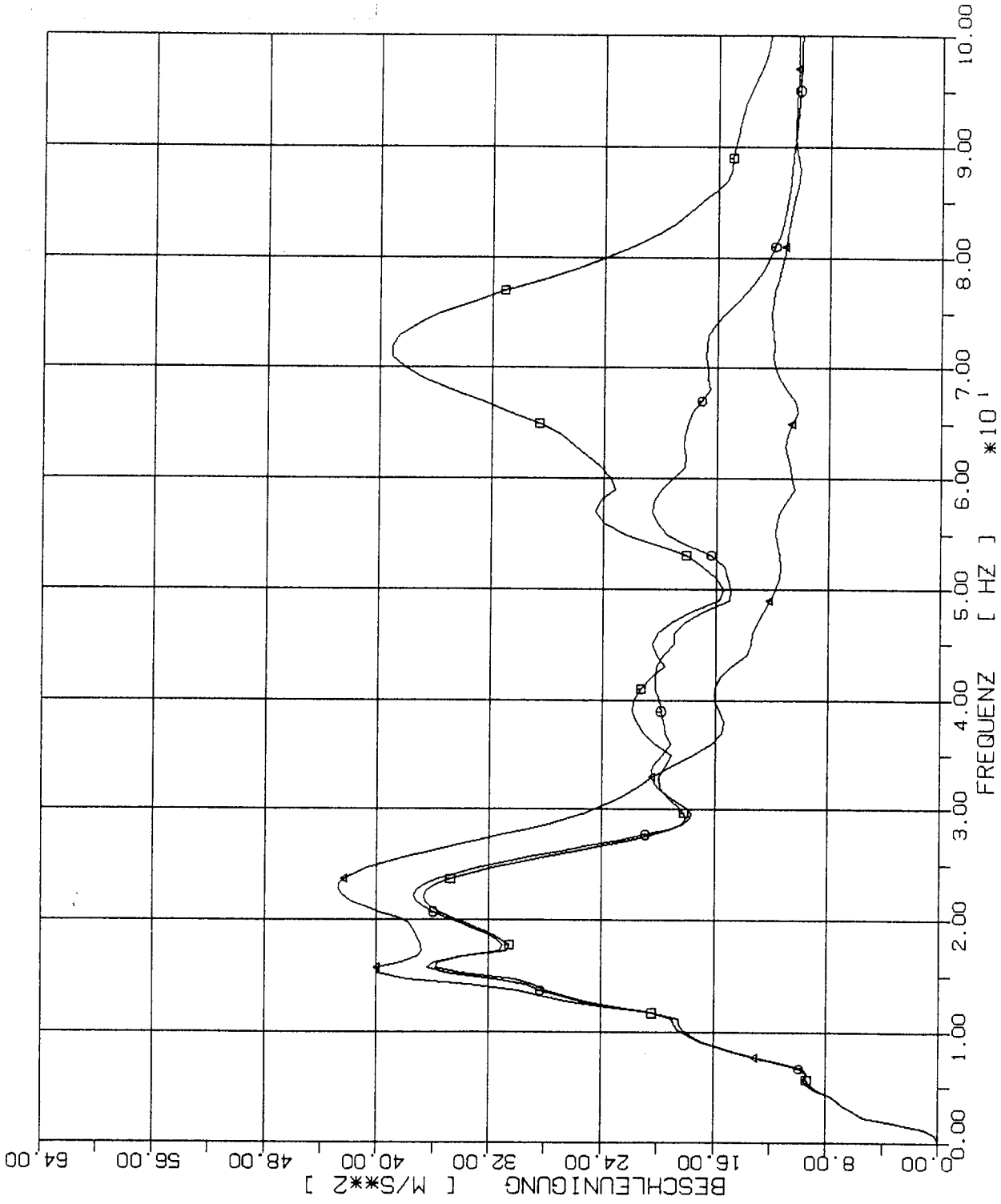
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3.5P, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

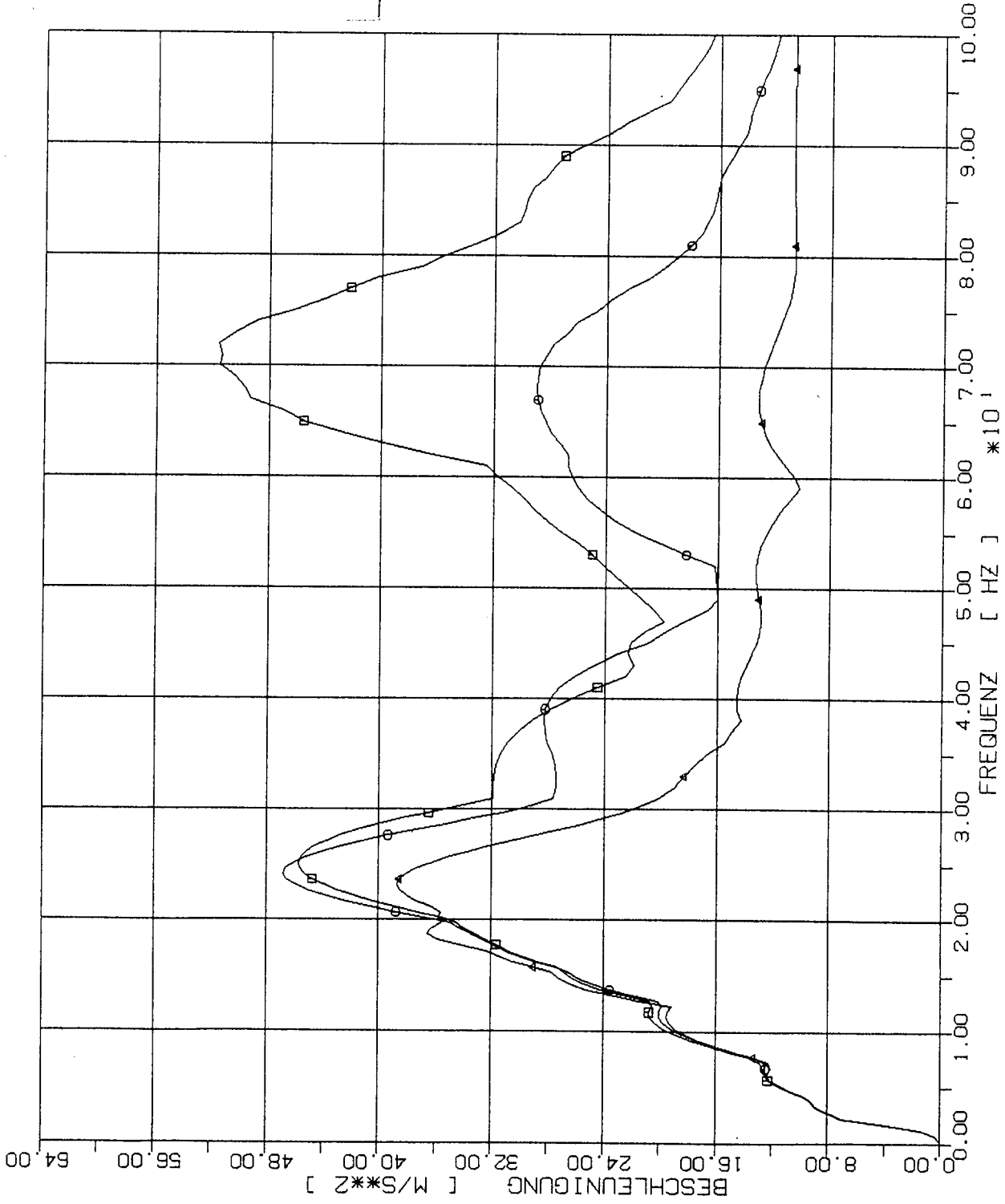
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4.5P, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

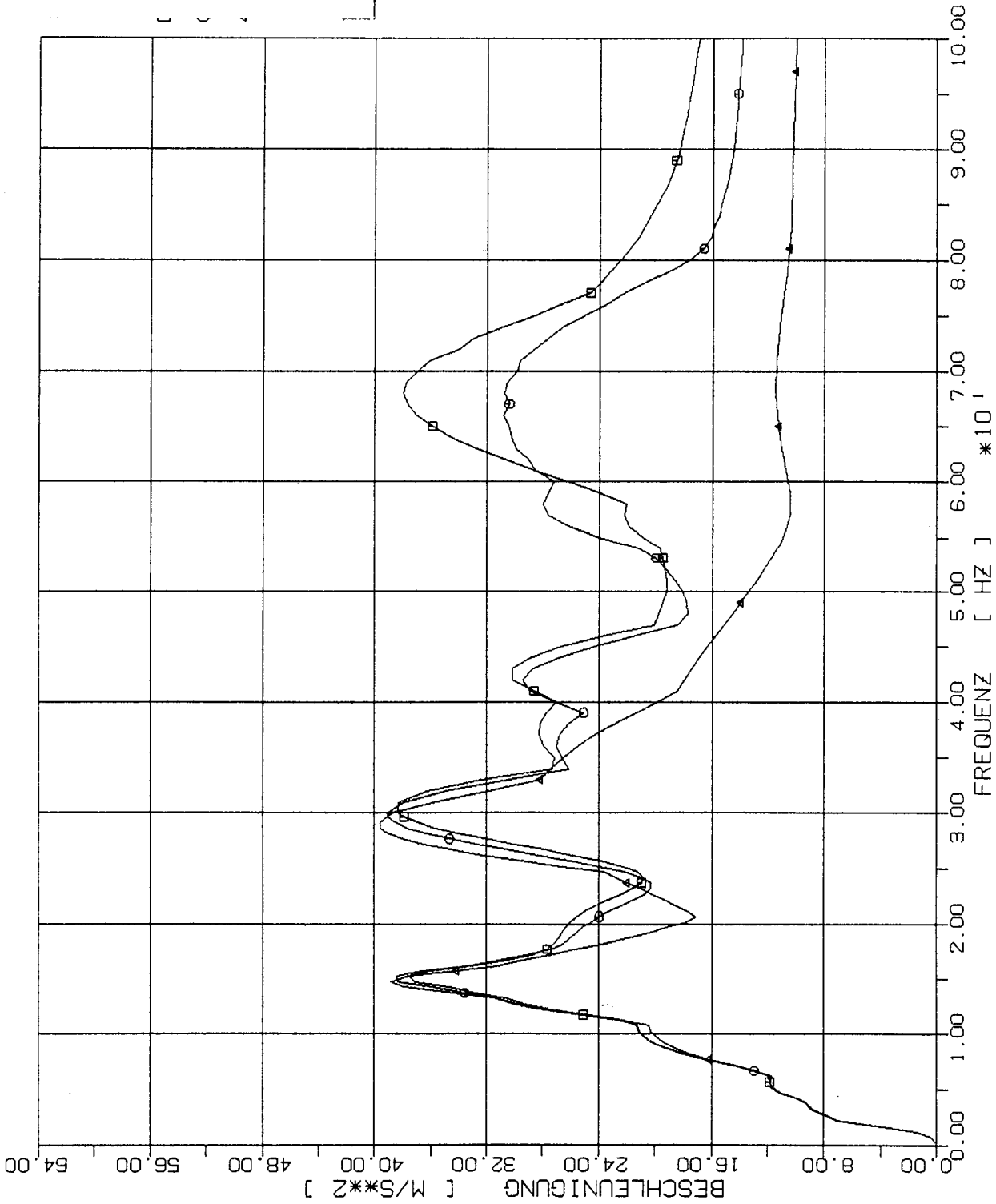
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 1.5S, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

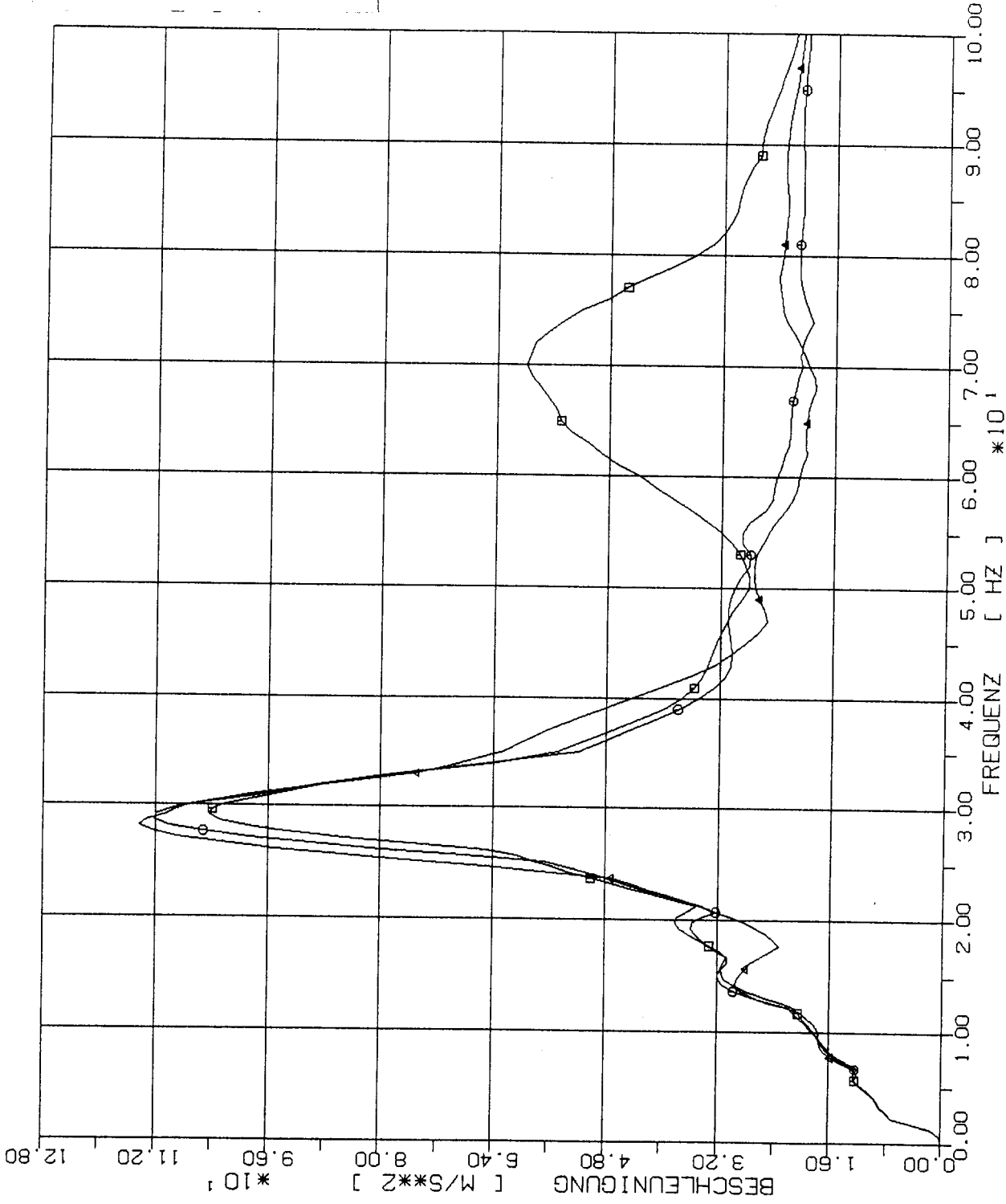
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4.5S, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

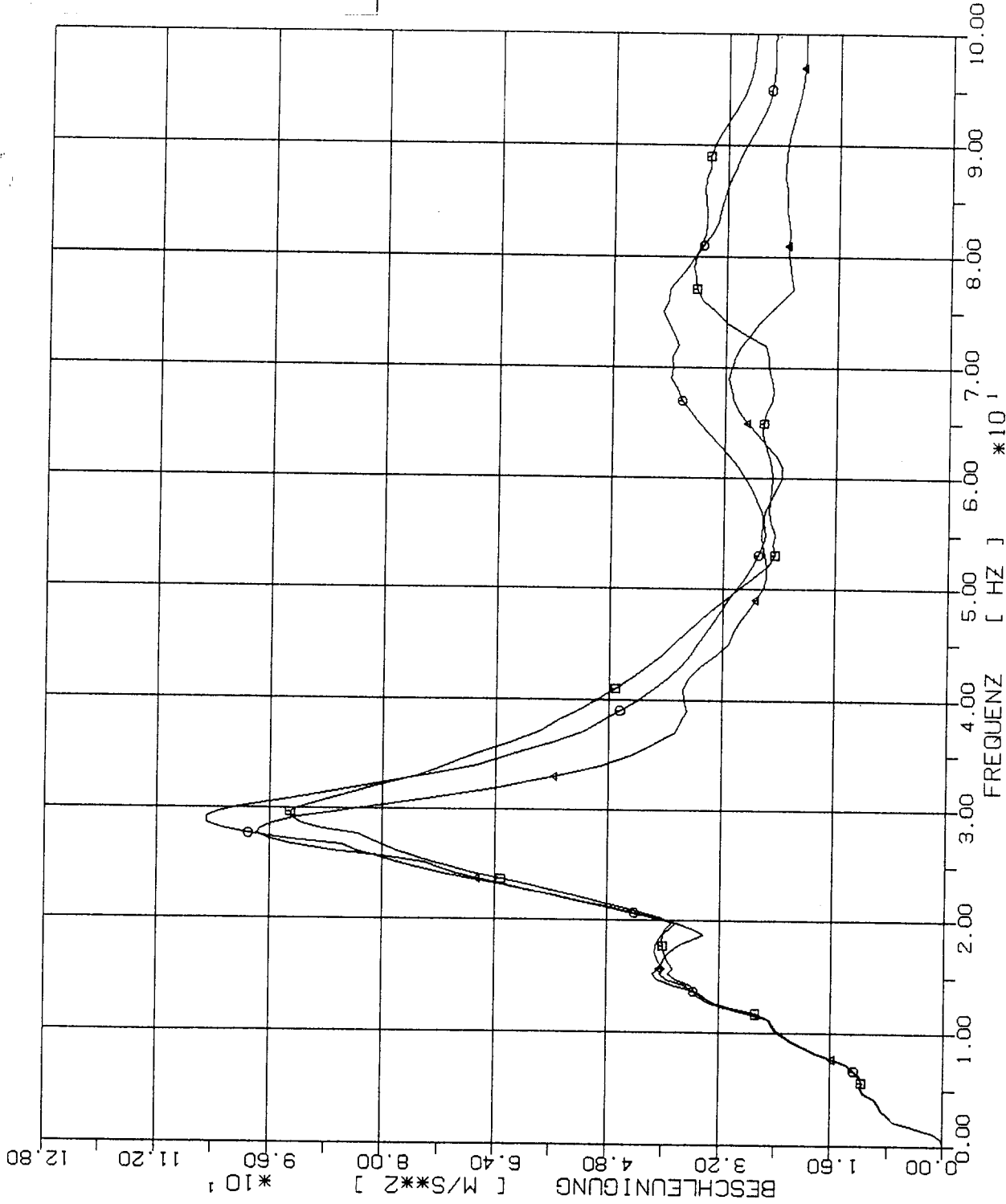
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2.5Z. 2% DAEMPFUNG X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

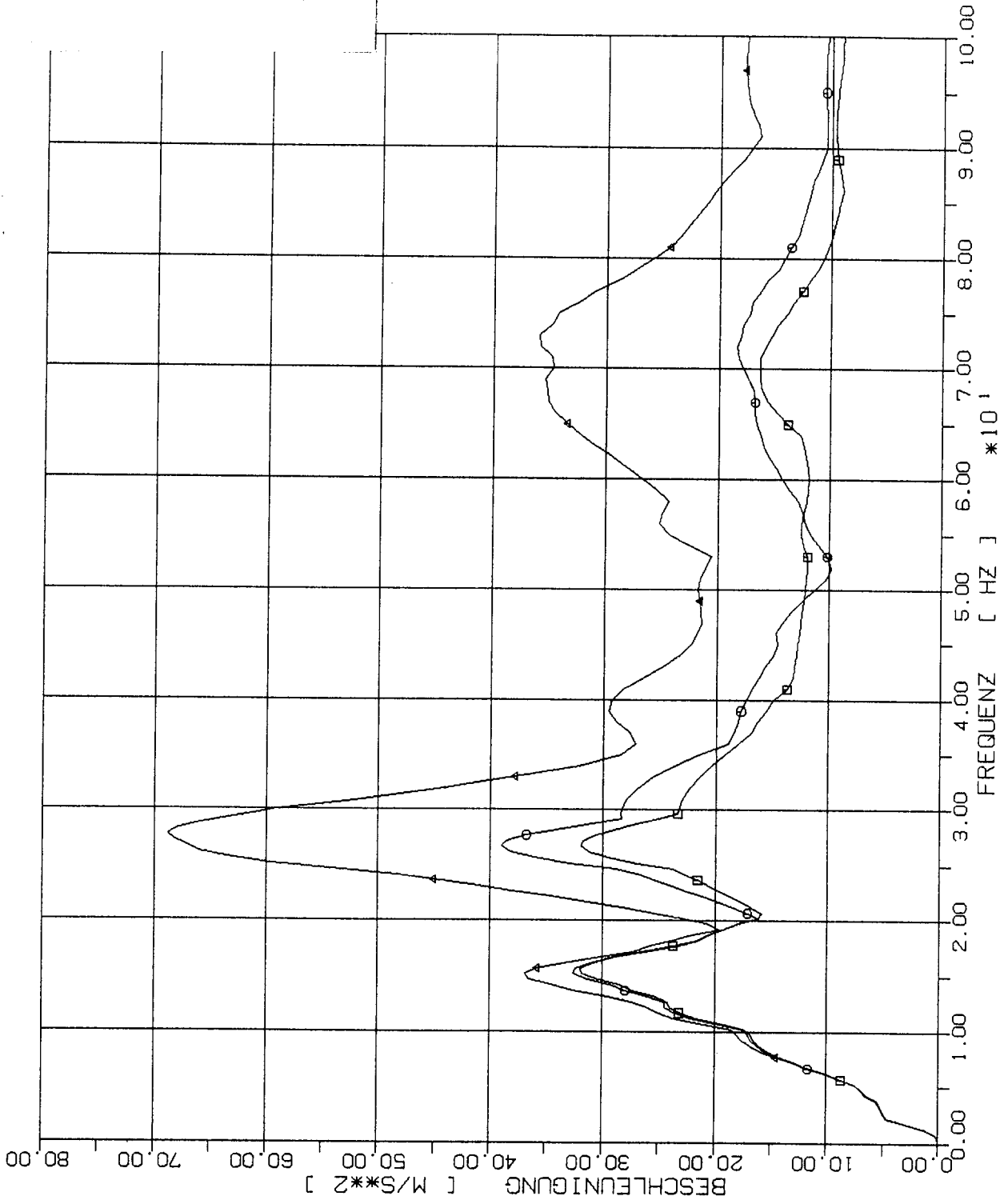
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3.5Z, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

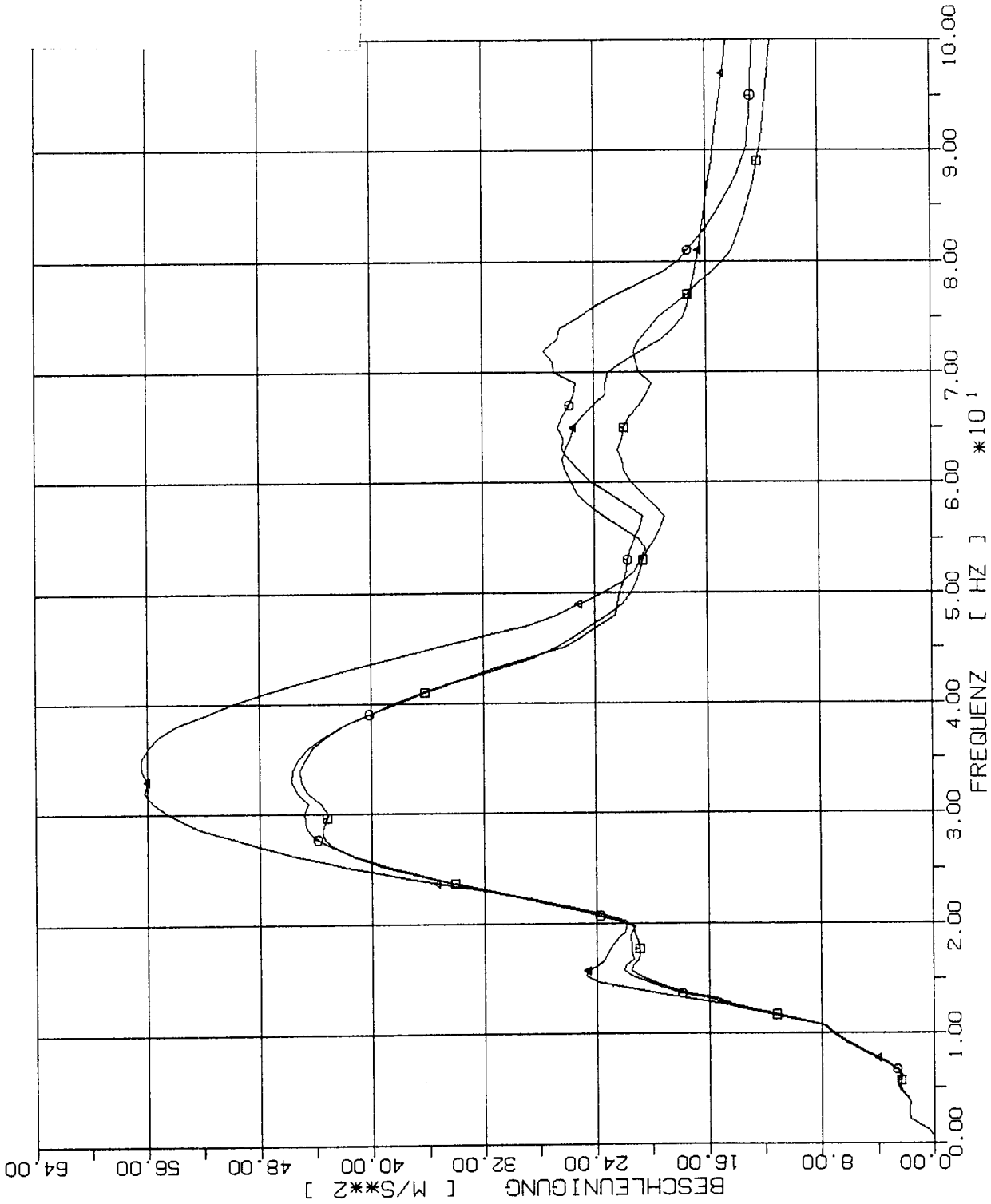
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 1L, 2% DAEMPfung, X3 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

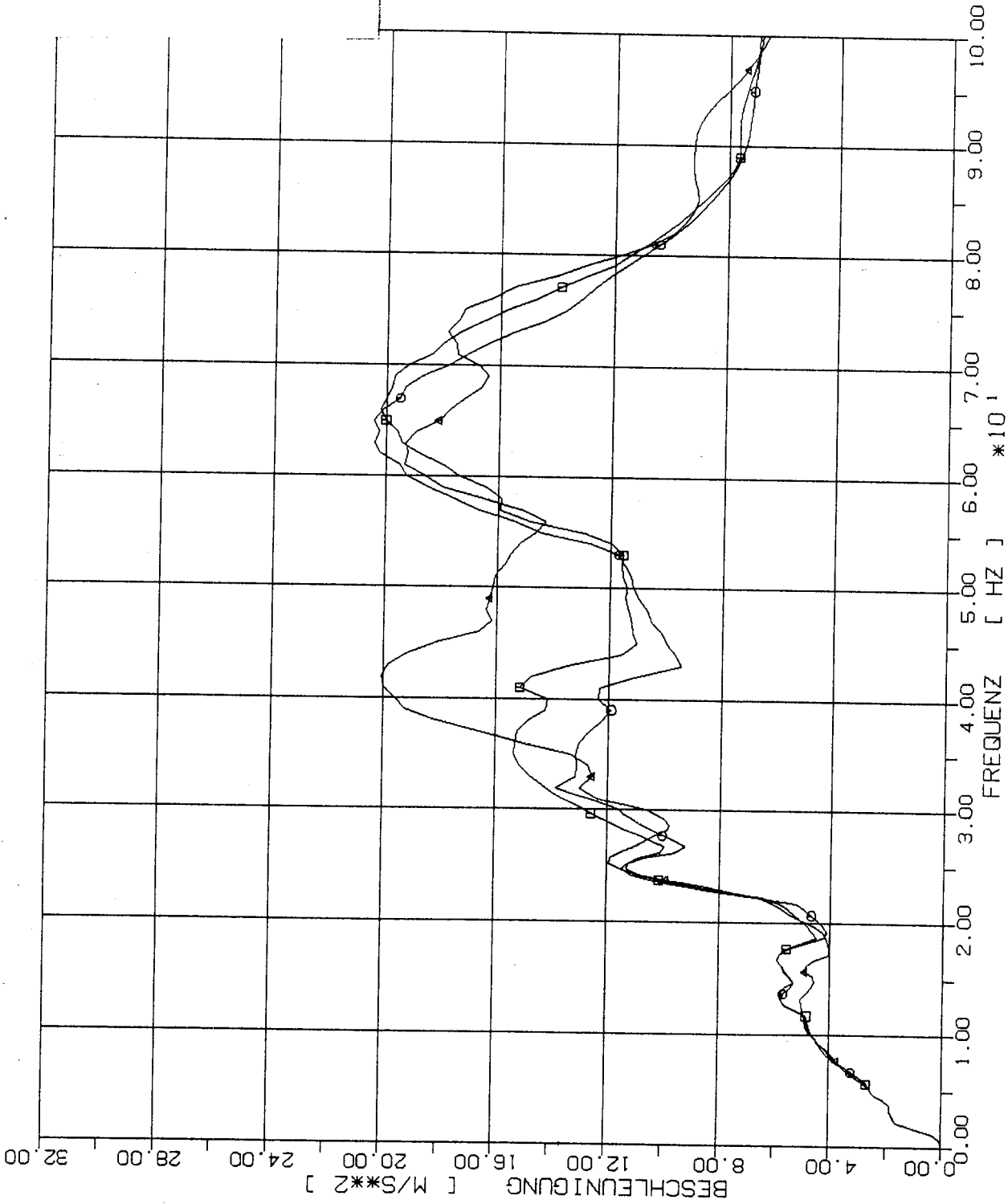
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2L, 2% DAEMPfung, X3 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

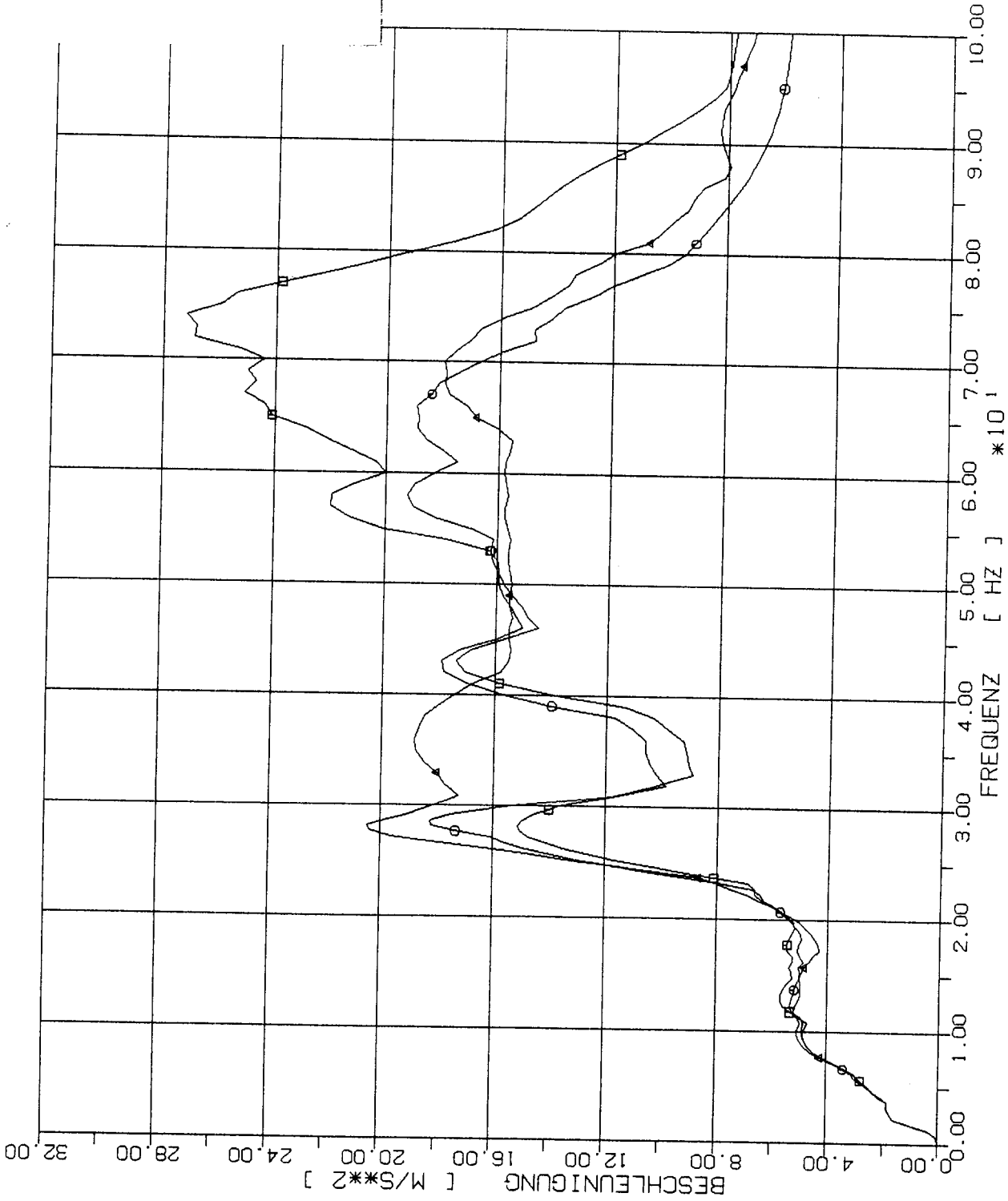
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3L, 2% DAEMPFUNG, X3 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

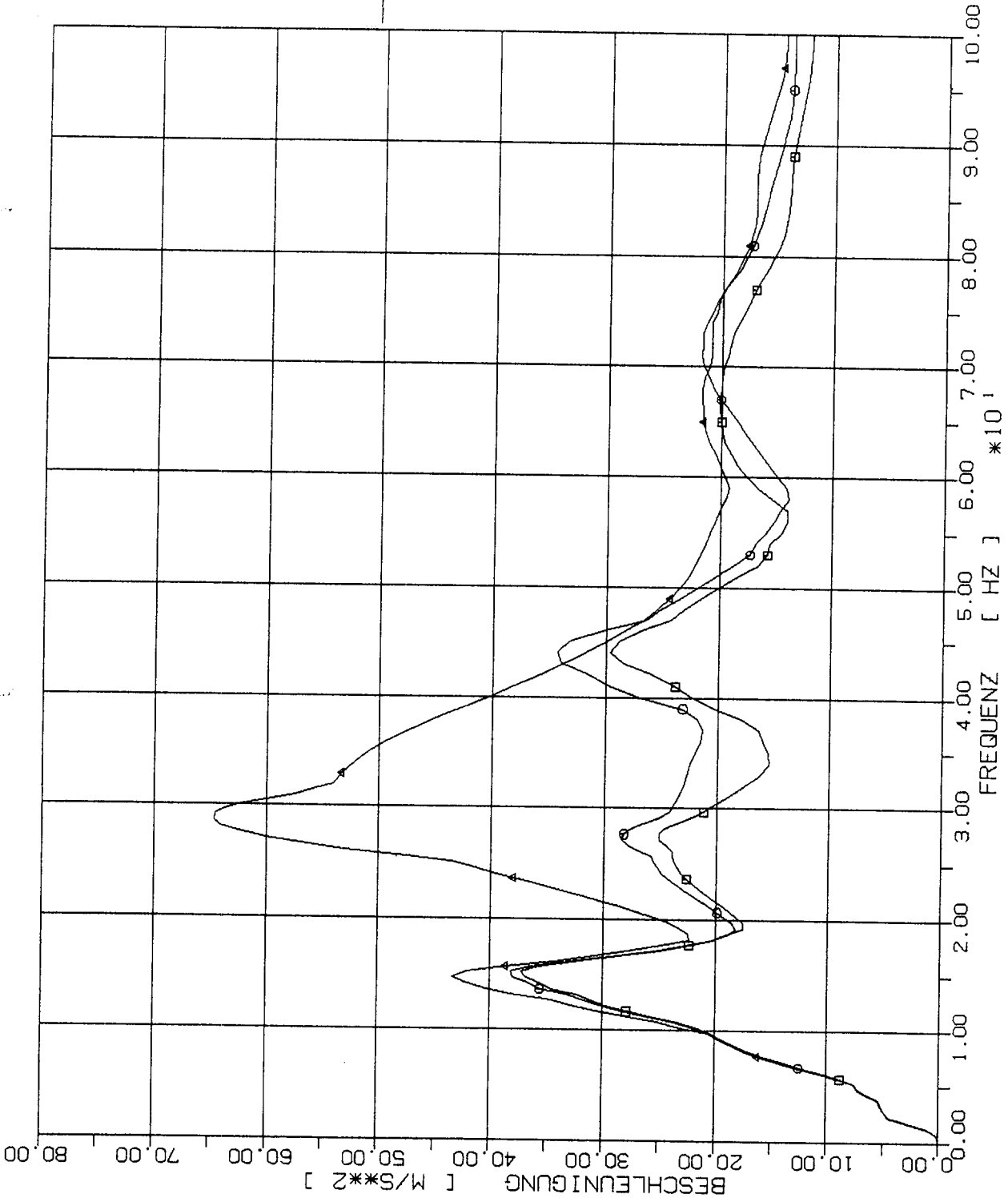
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4L, 2% DAEMPfung, X3 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



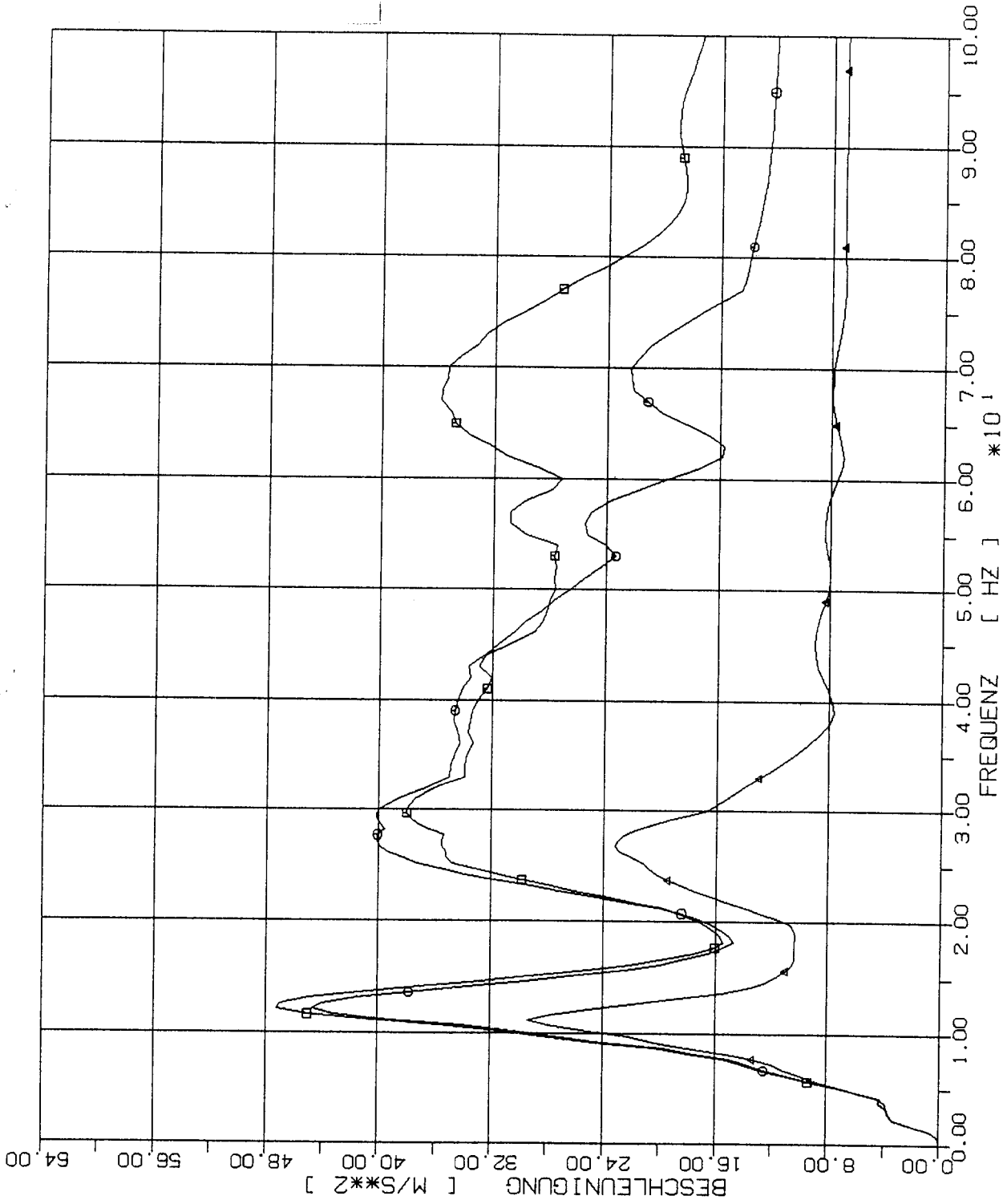
STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 5L, 2% DAEMPfung, X3 RICHT.
STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

□ 2m x 2m

○ 4m x 4m

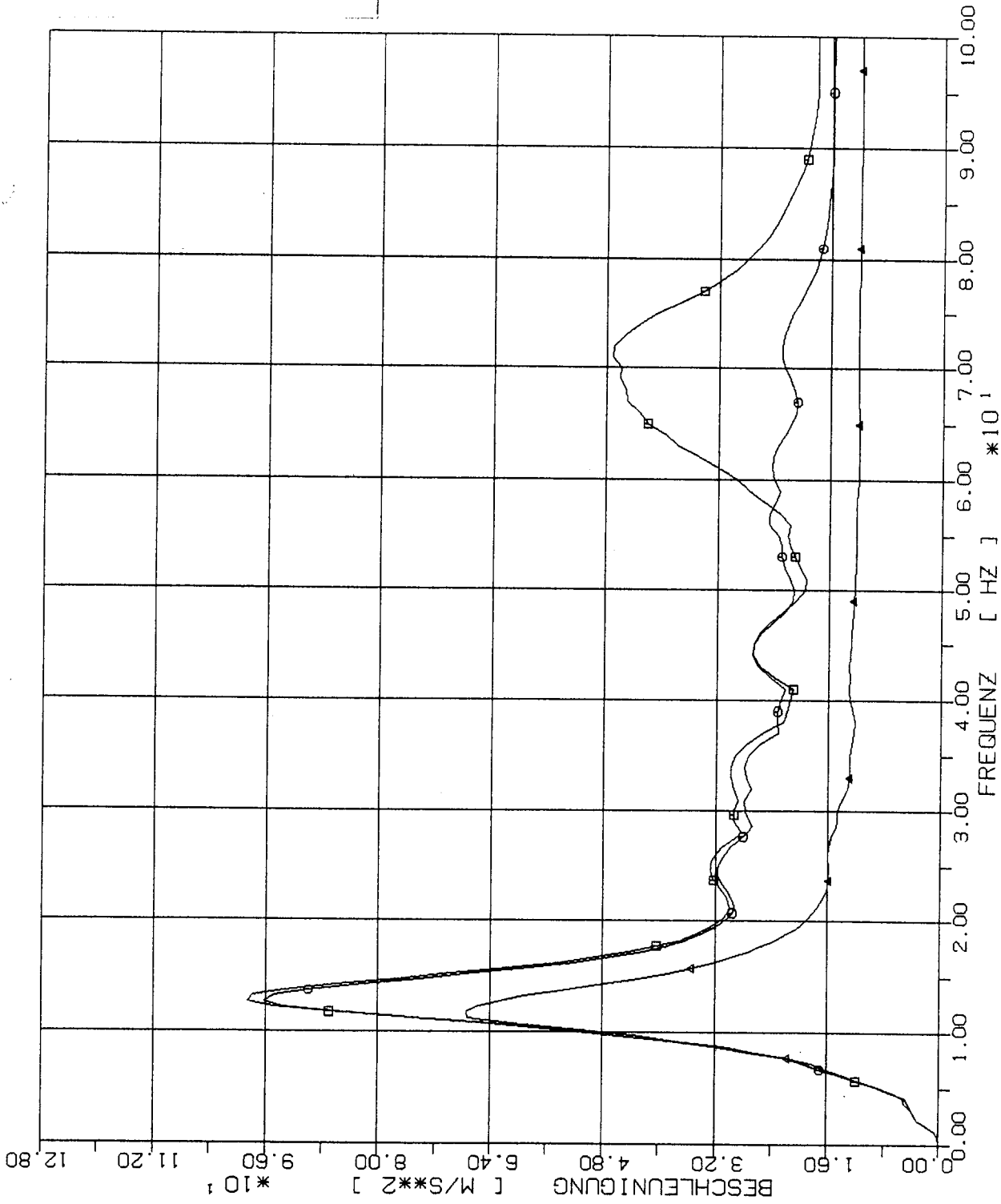
△ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 1.5P, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

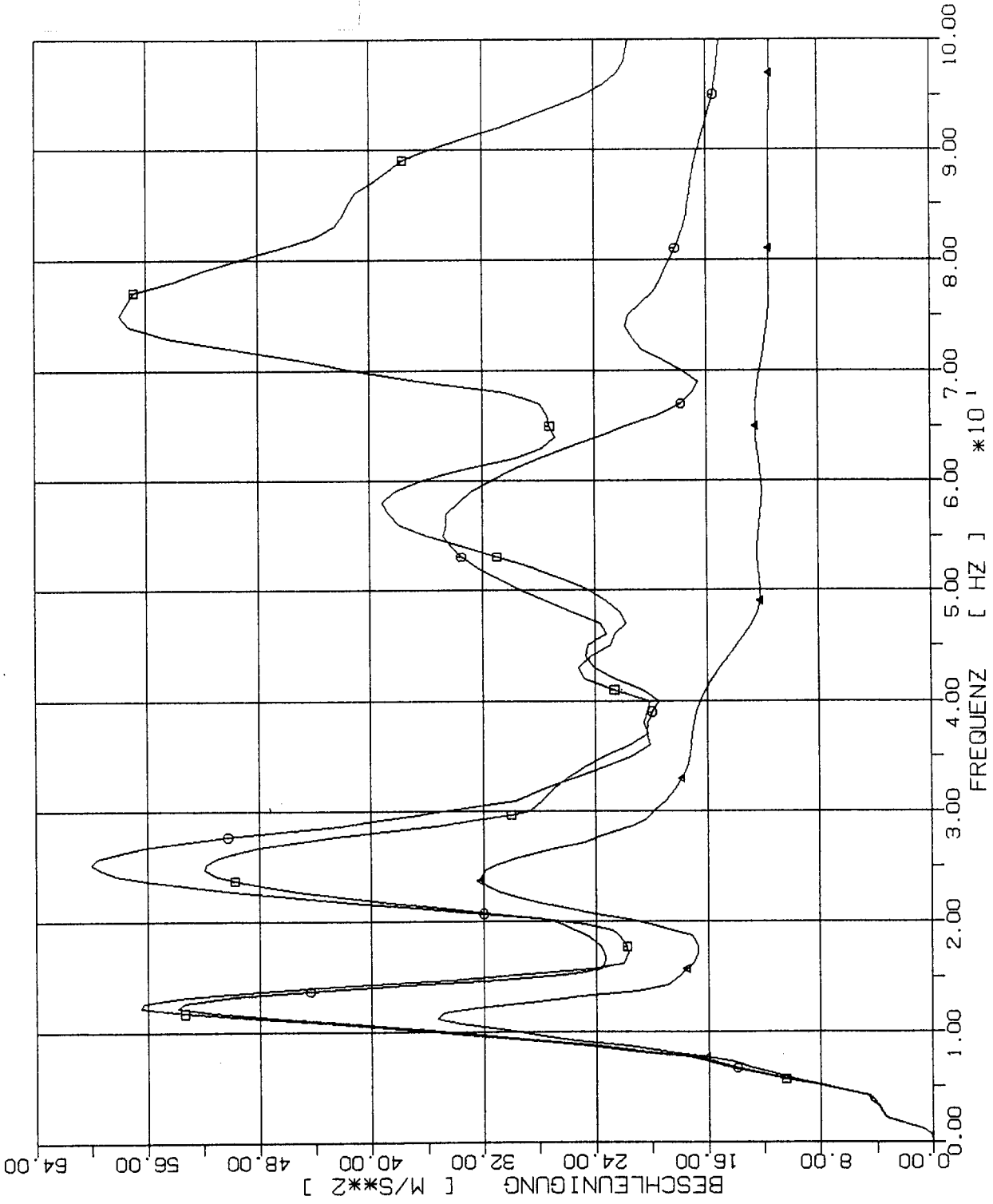
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



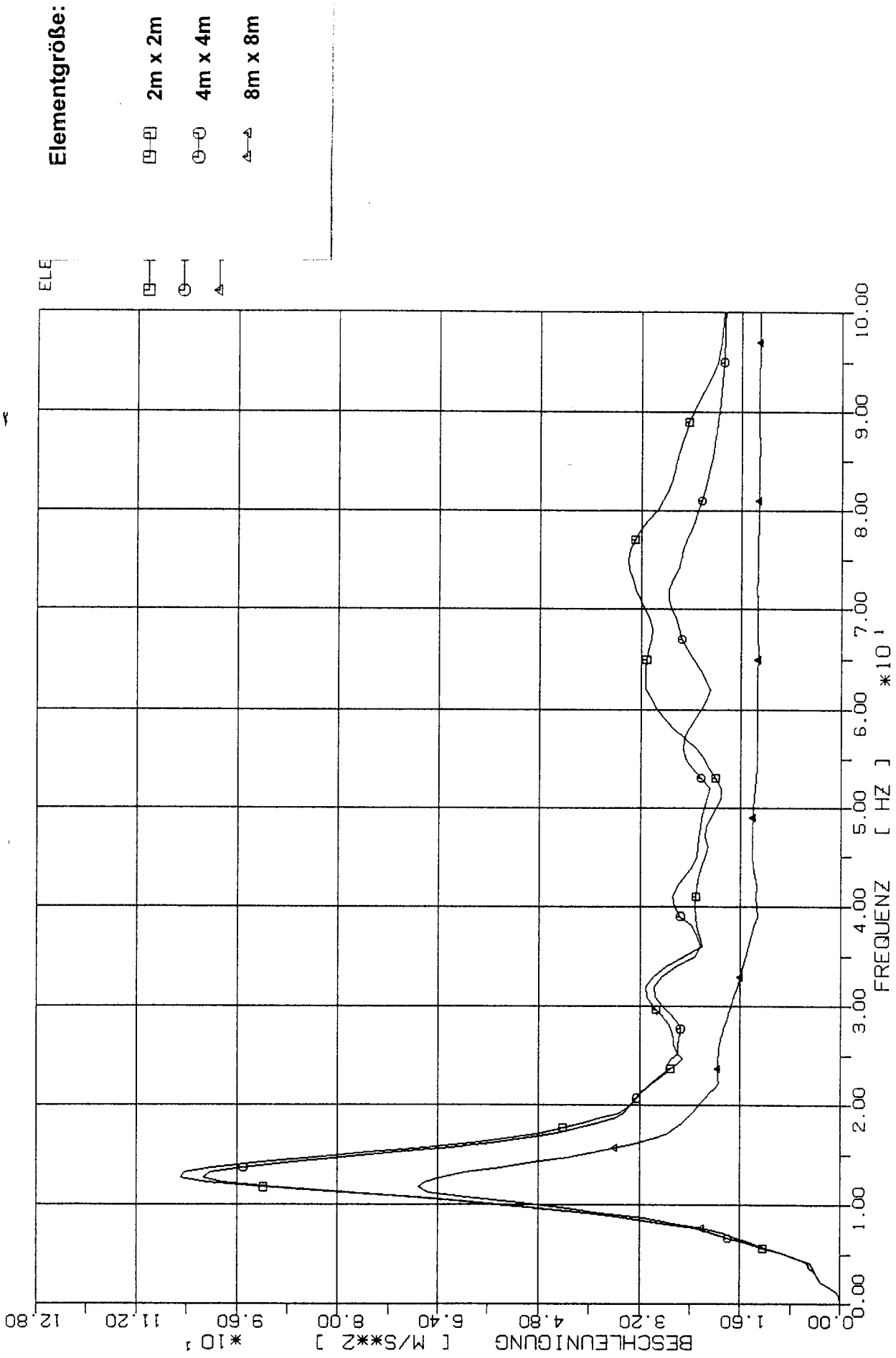
STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2.5P, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



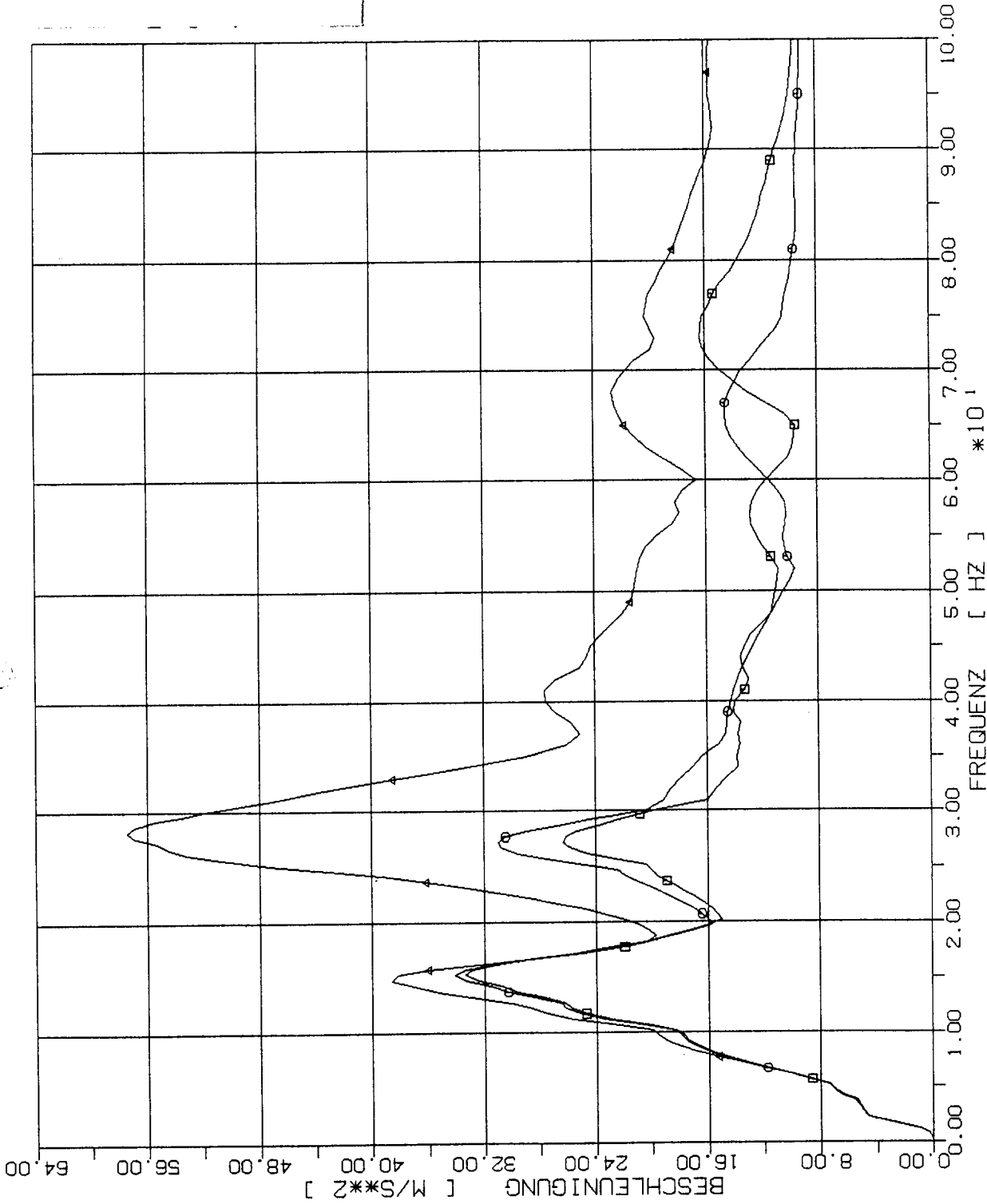
STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVergLEICH IM B. PUNKT 3.5P, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4.5P, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

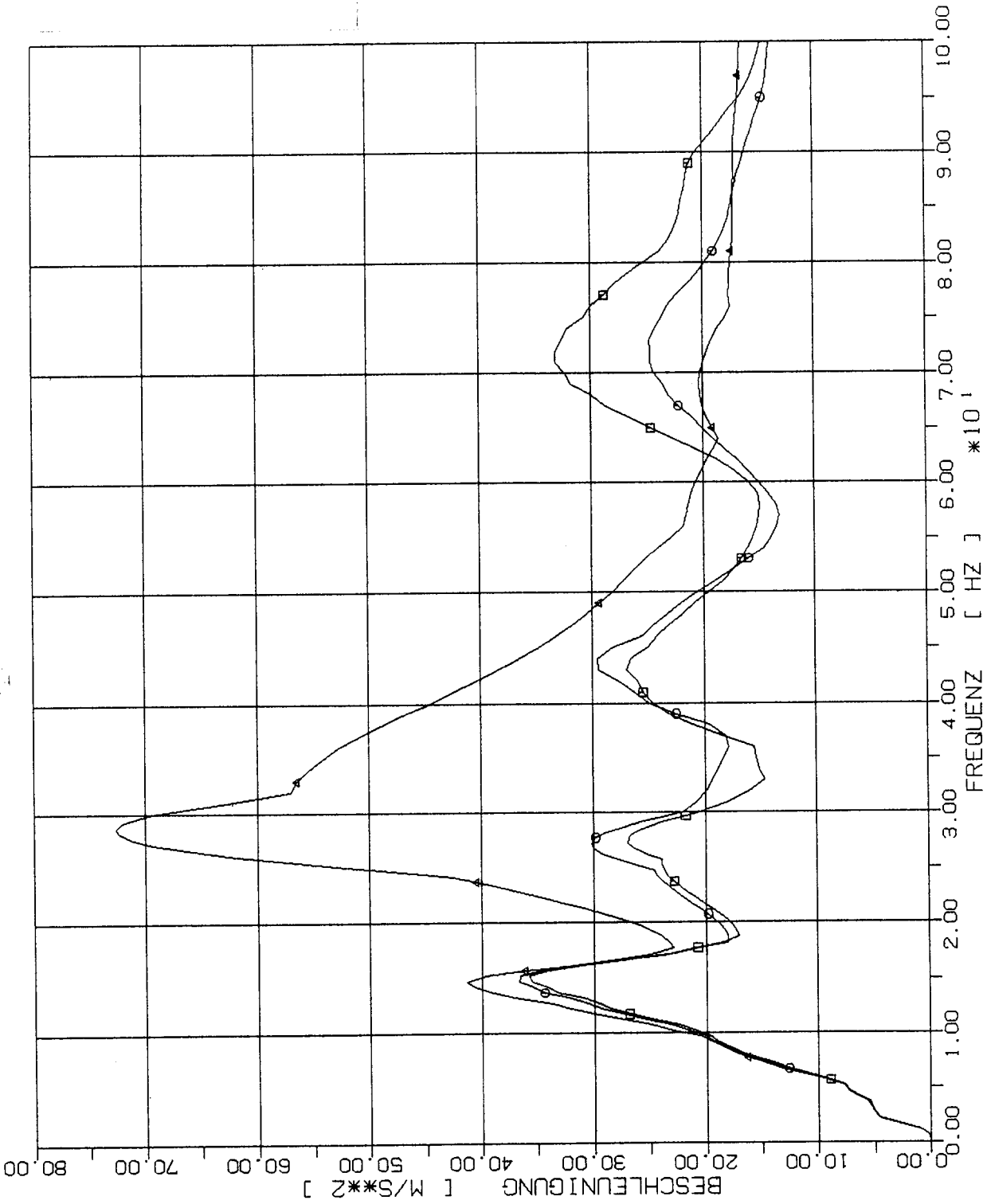
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 1.55, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

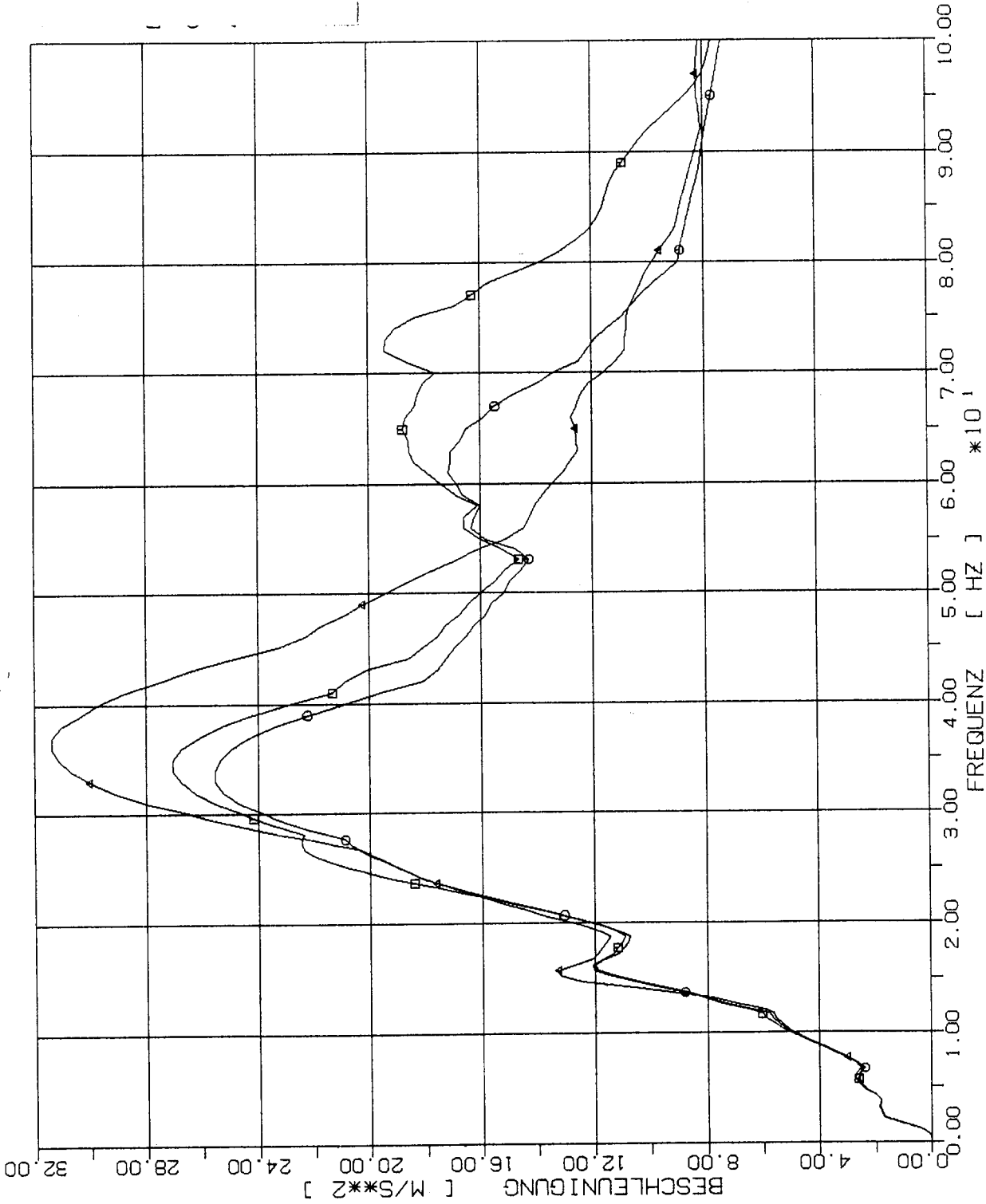
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVergLEICH IM B. PUNKT 4.5S. 2% DAEMPfung. X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

Elementgröße:

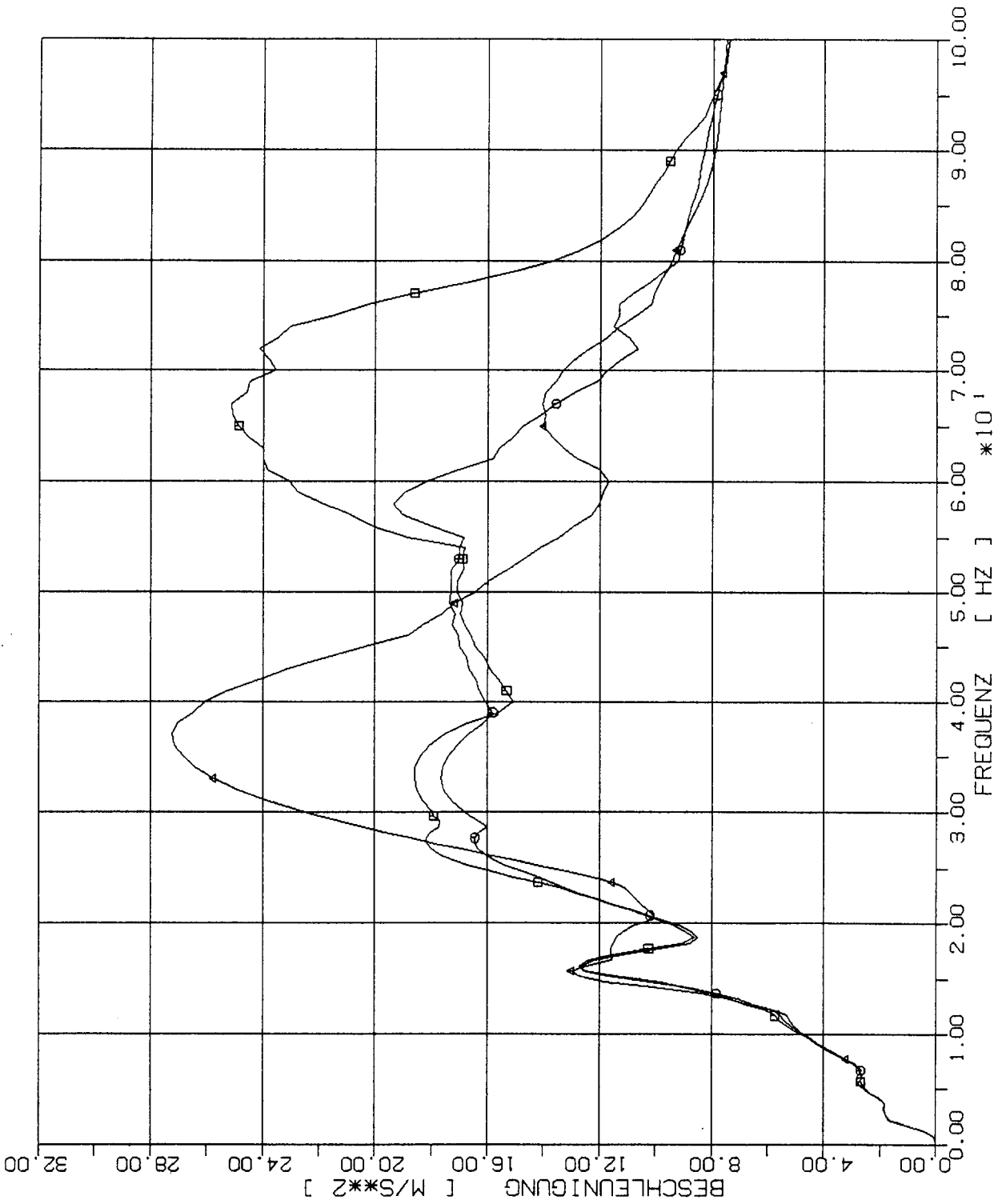
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVergLEICH IM B. PUNKT 2.5Z, 2% DAEMPfung. X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

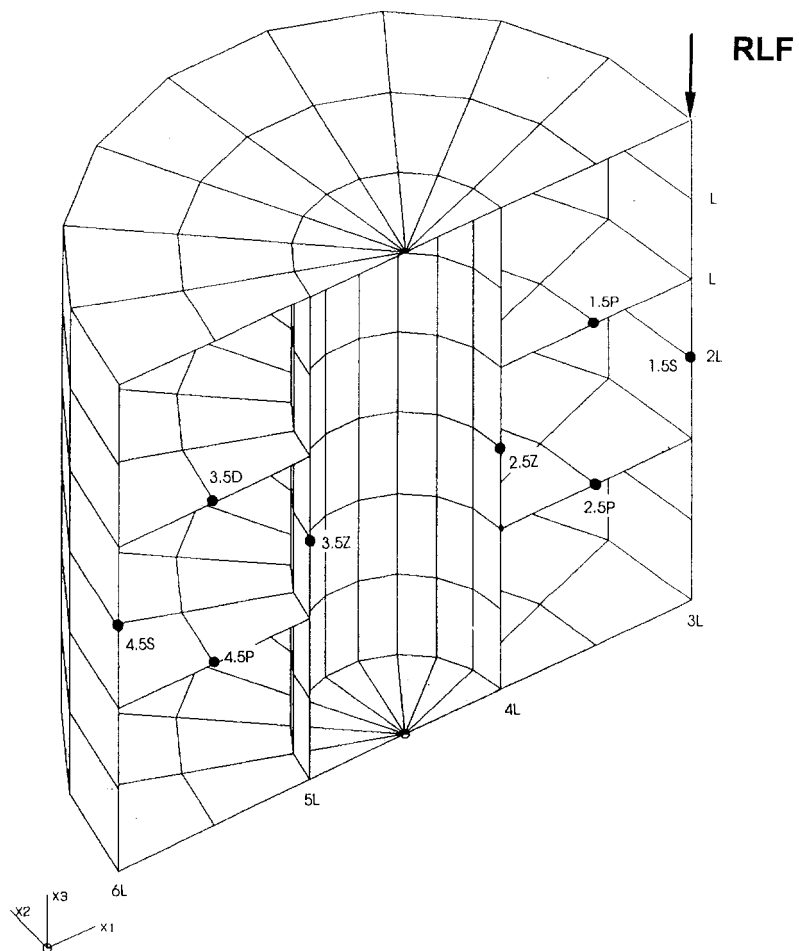
Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



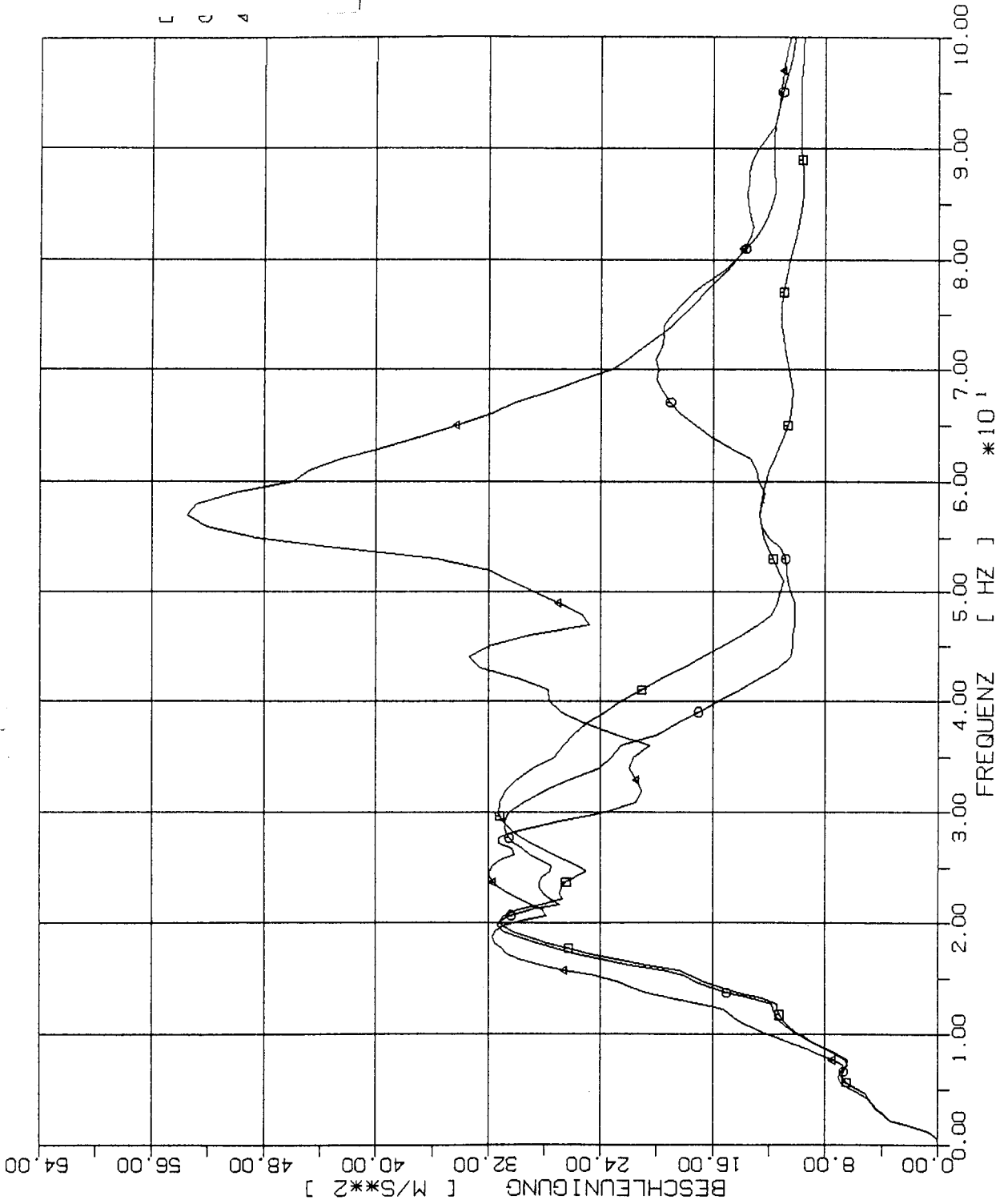
STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3.5Z, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN HORIZONTALRICHTUNG (X1)

4.2 Stoßbelastung in Vertikalrichtung



Elementgröße:

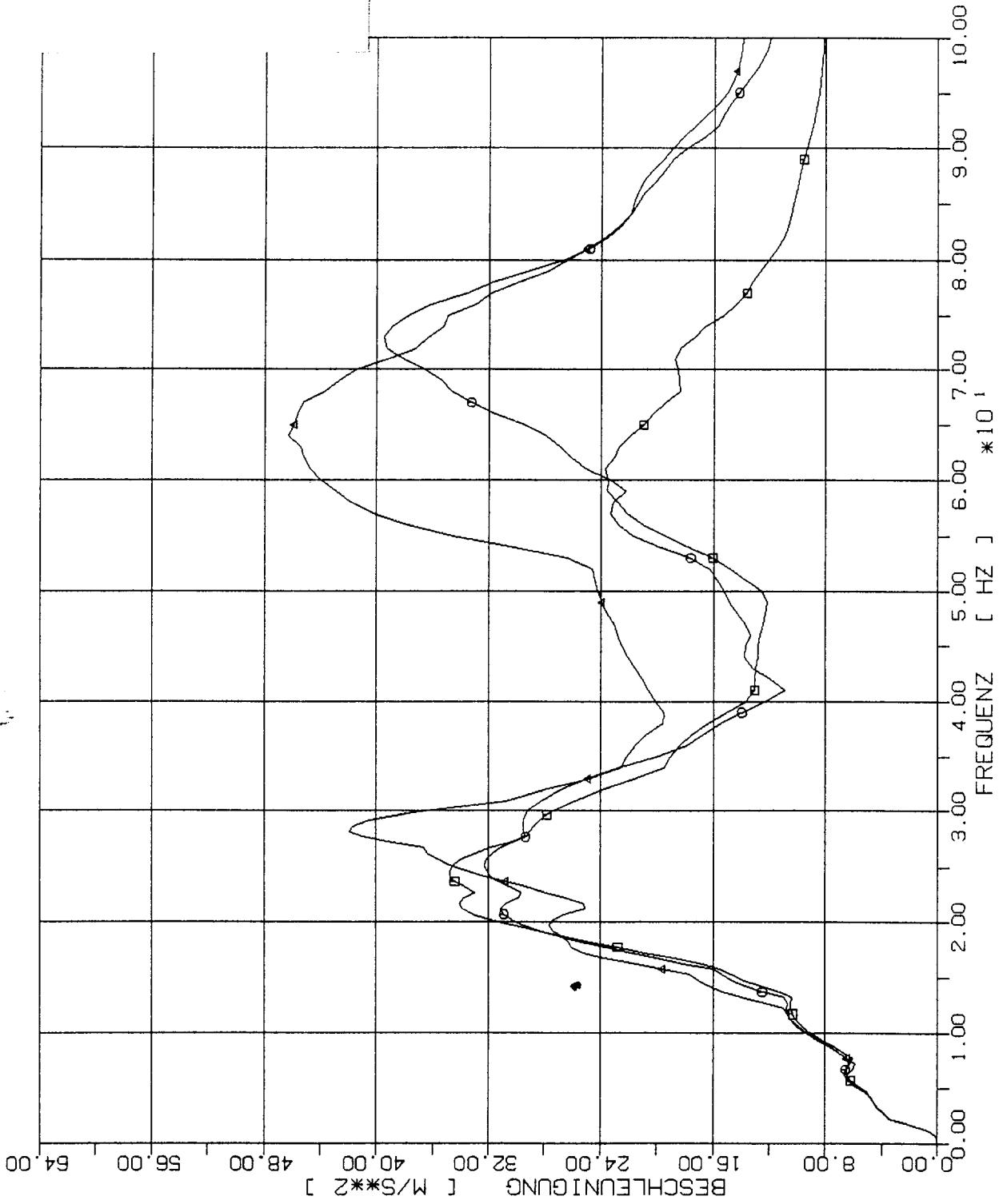
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 1L, 2% DAEMPfung X1 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

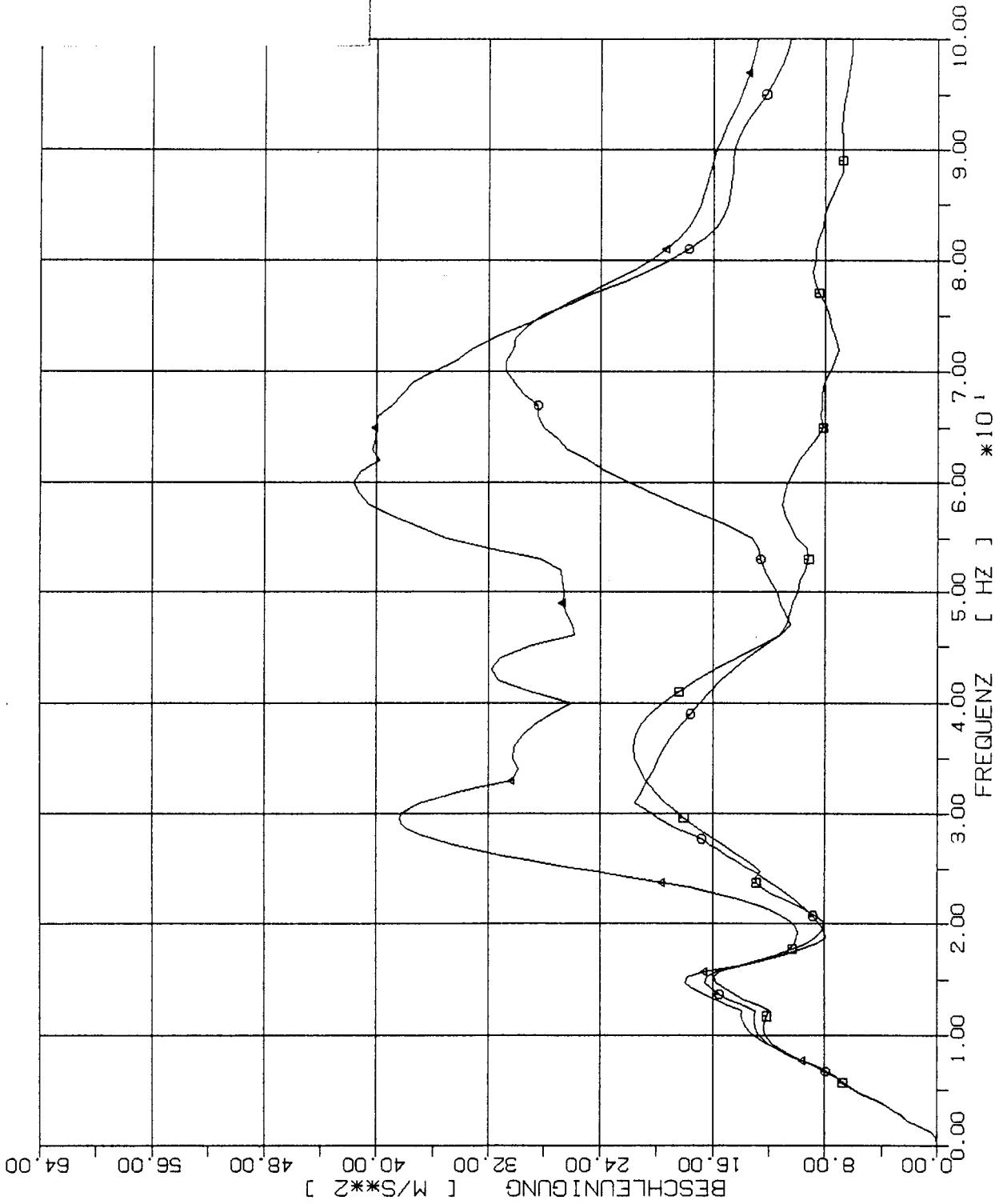
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN ASSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2L, 2% DAEMPfung X1 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

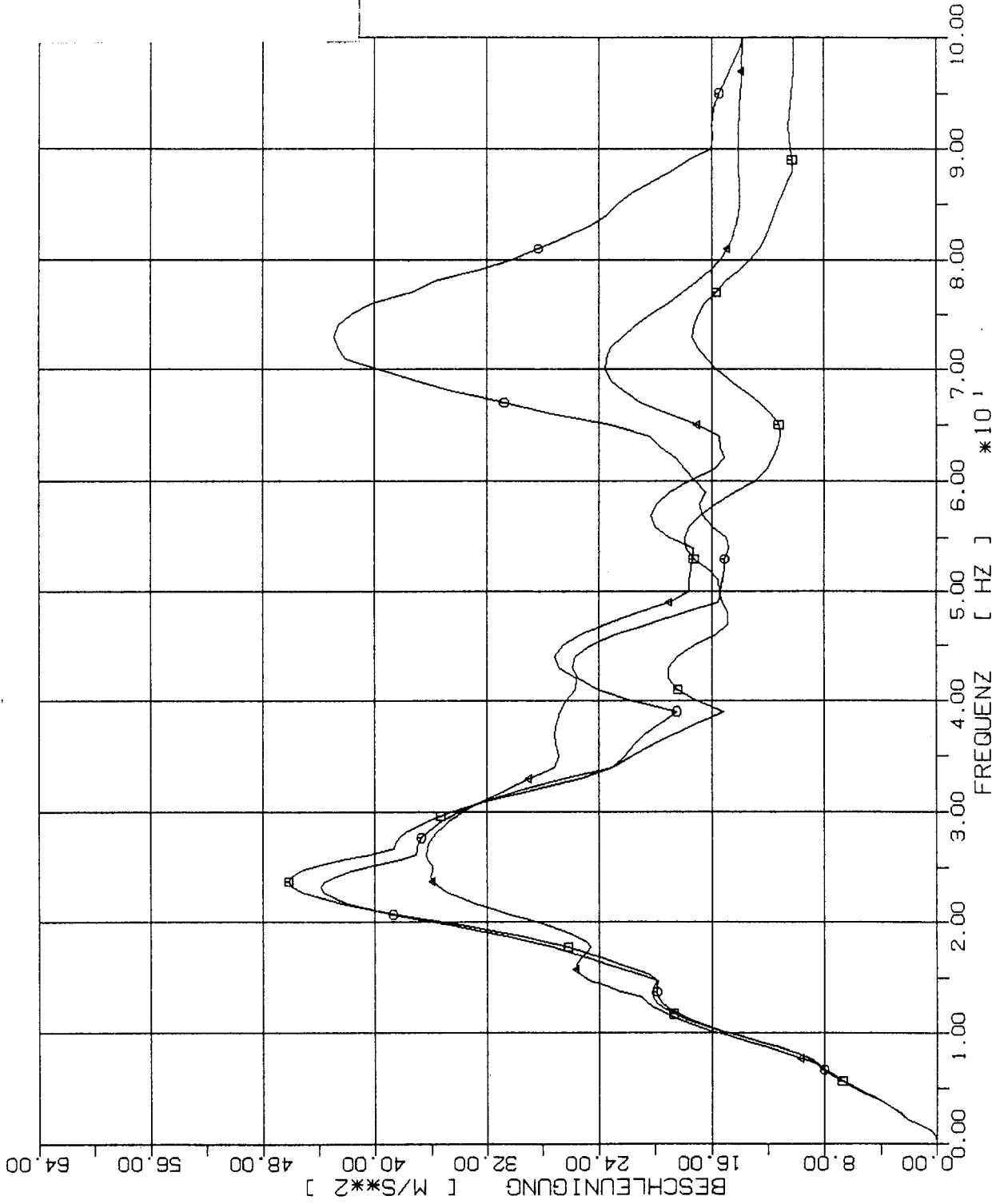
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3L, 2% DAEMPfung X1 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

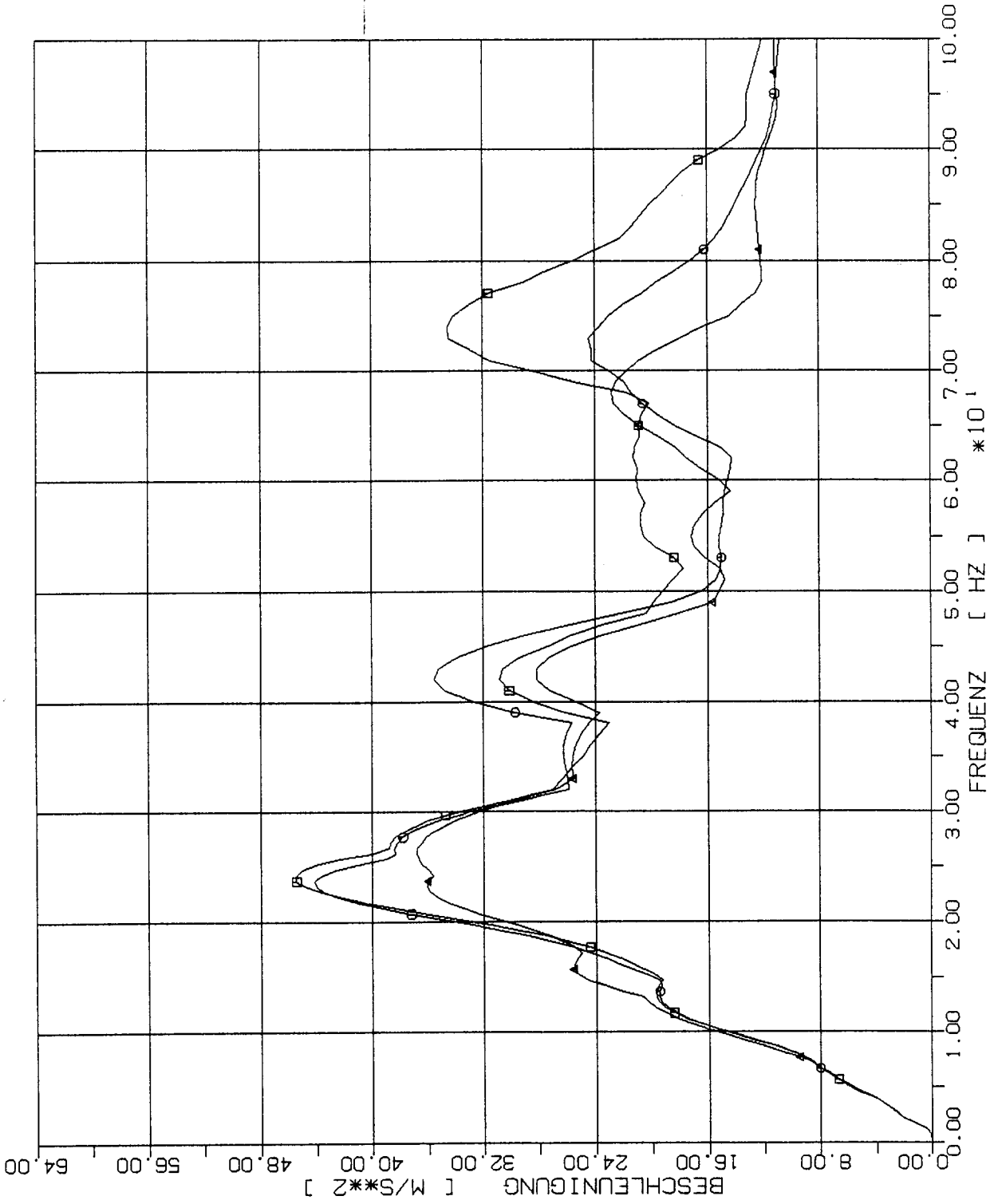
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4L, 2% DAEMPfung X1 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

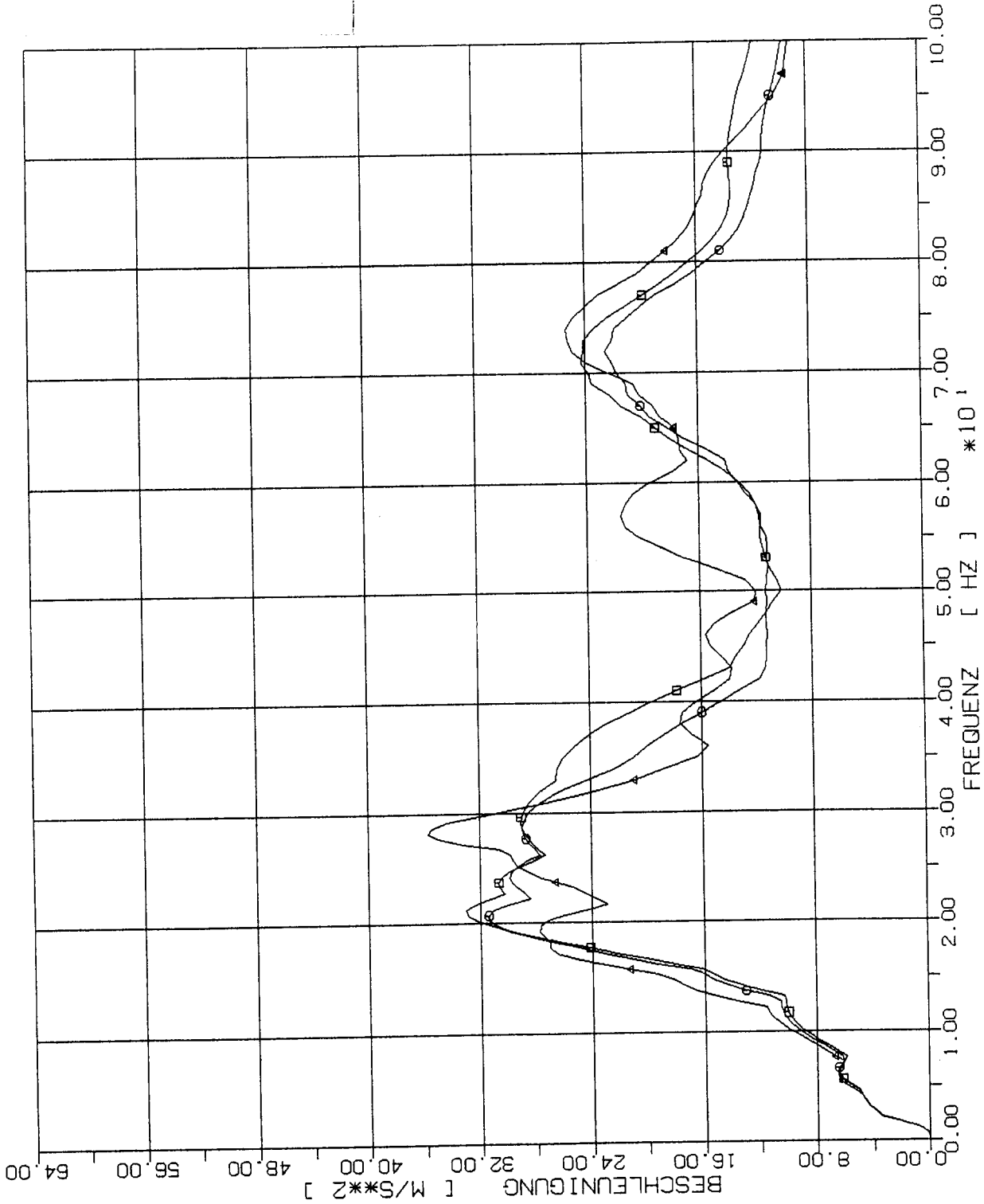
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 5L, 2% DAEMPfung X1 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

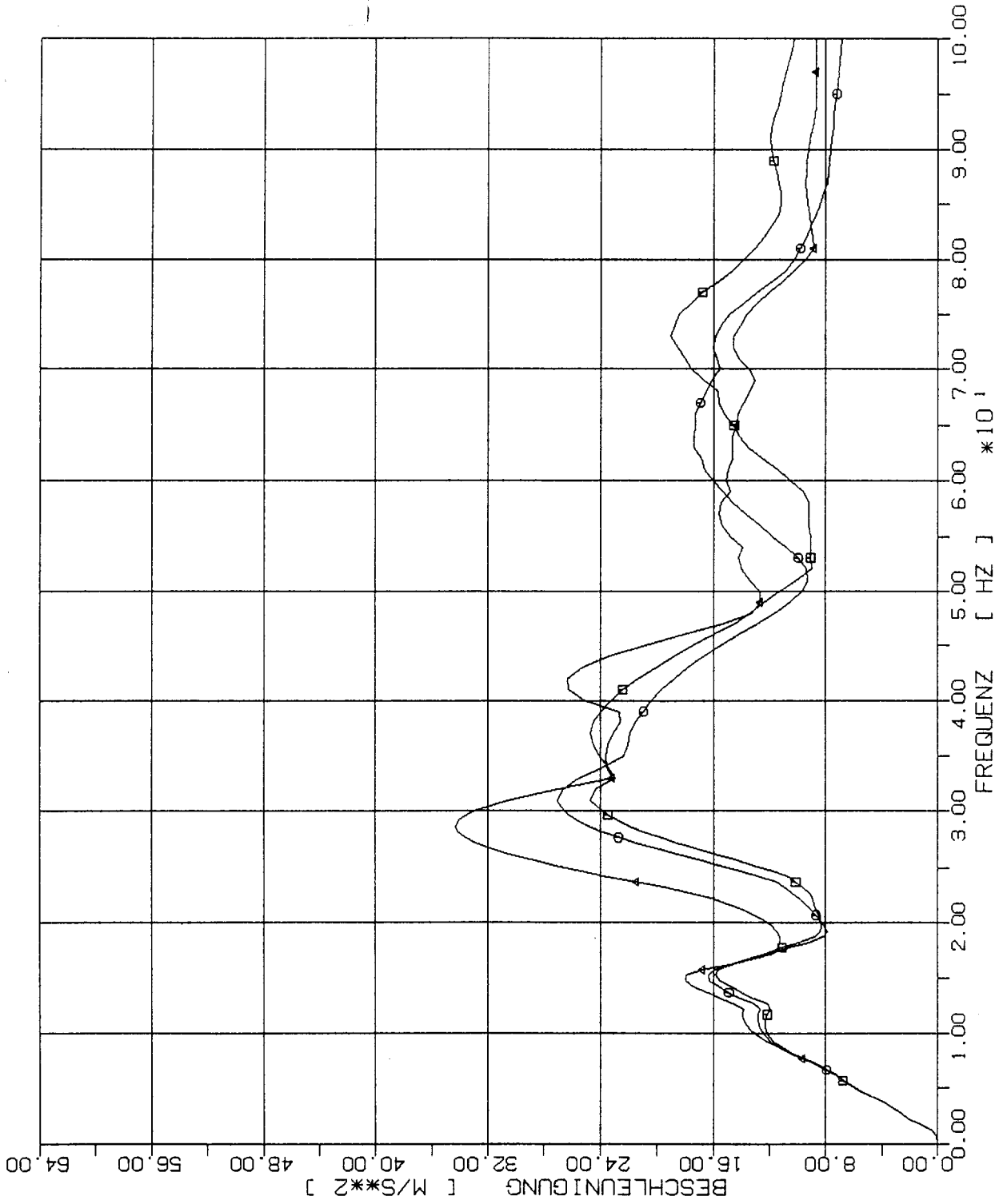
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 1.5P, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

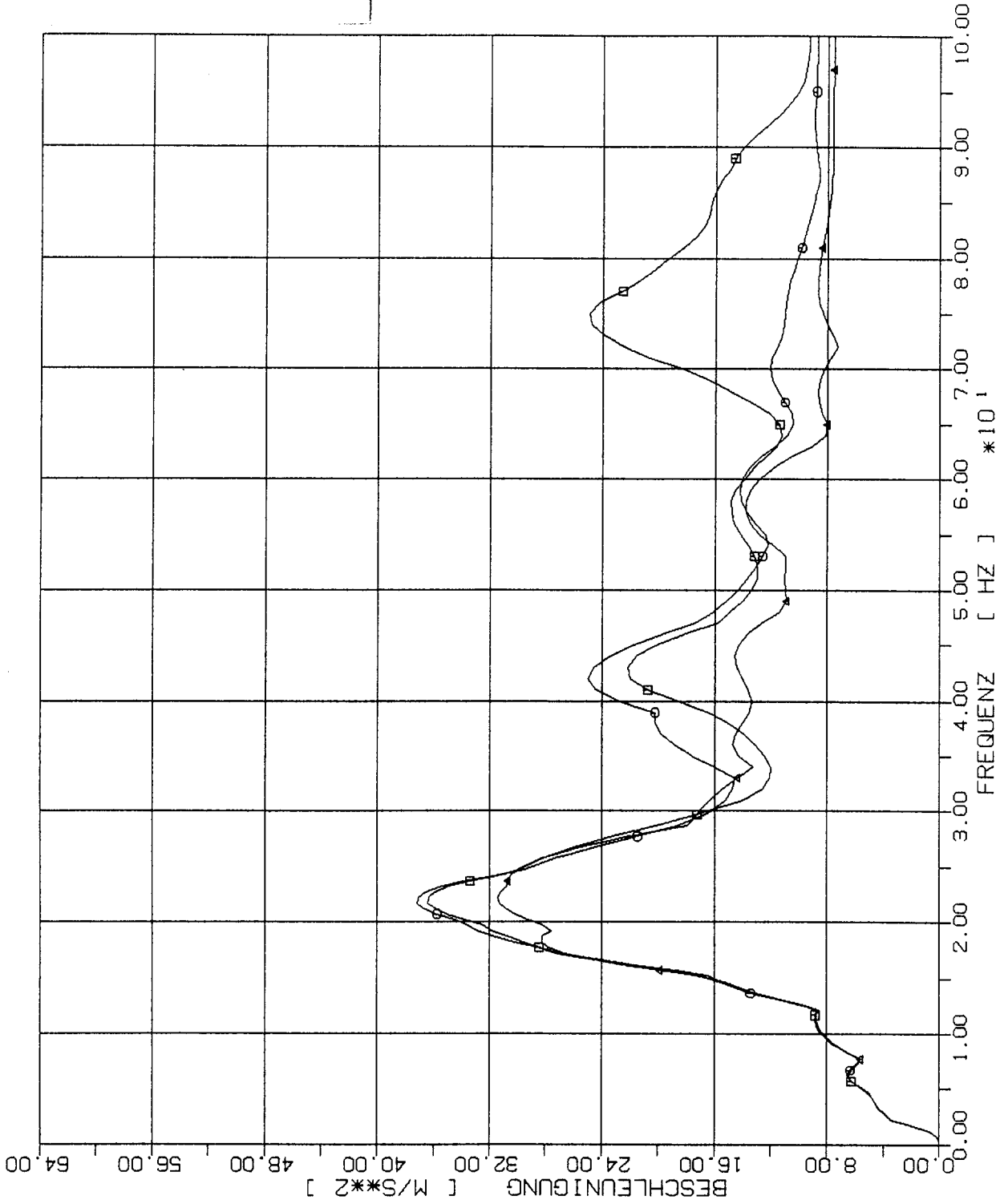
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2.5P, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

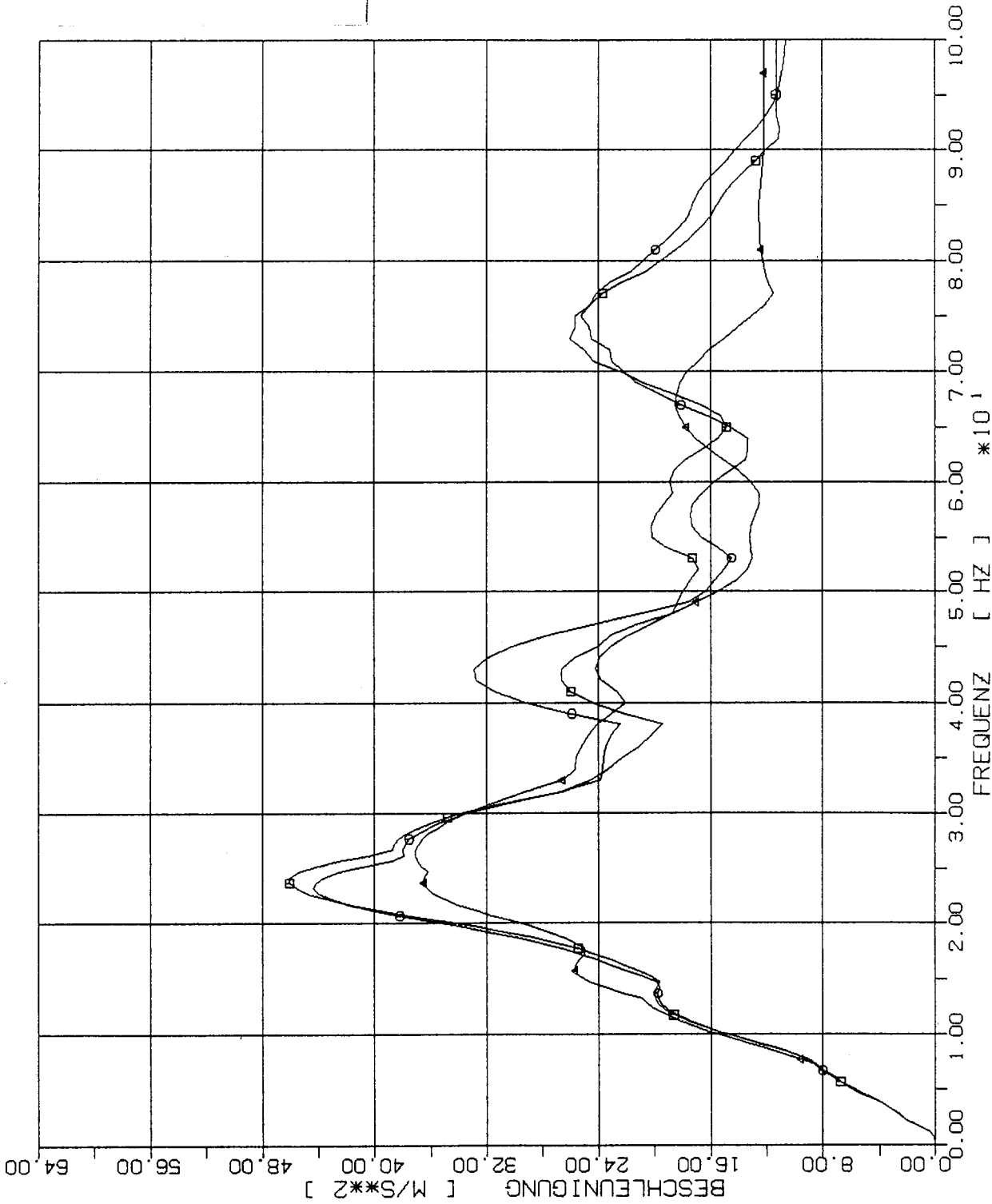
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3.5P, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

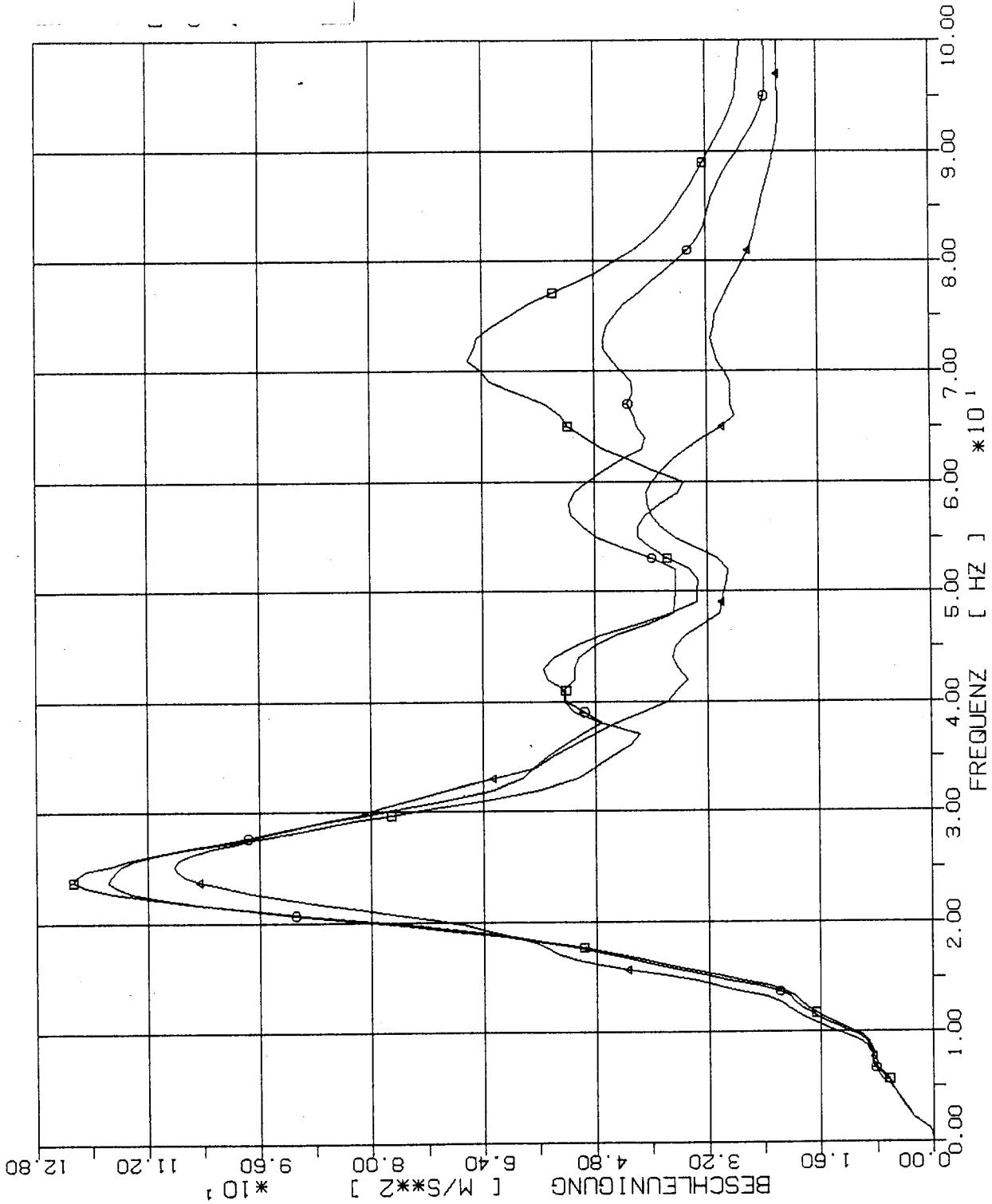
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4.5P, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

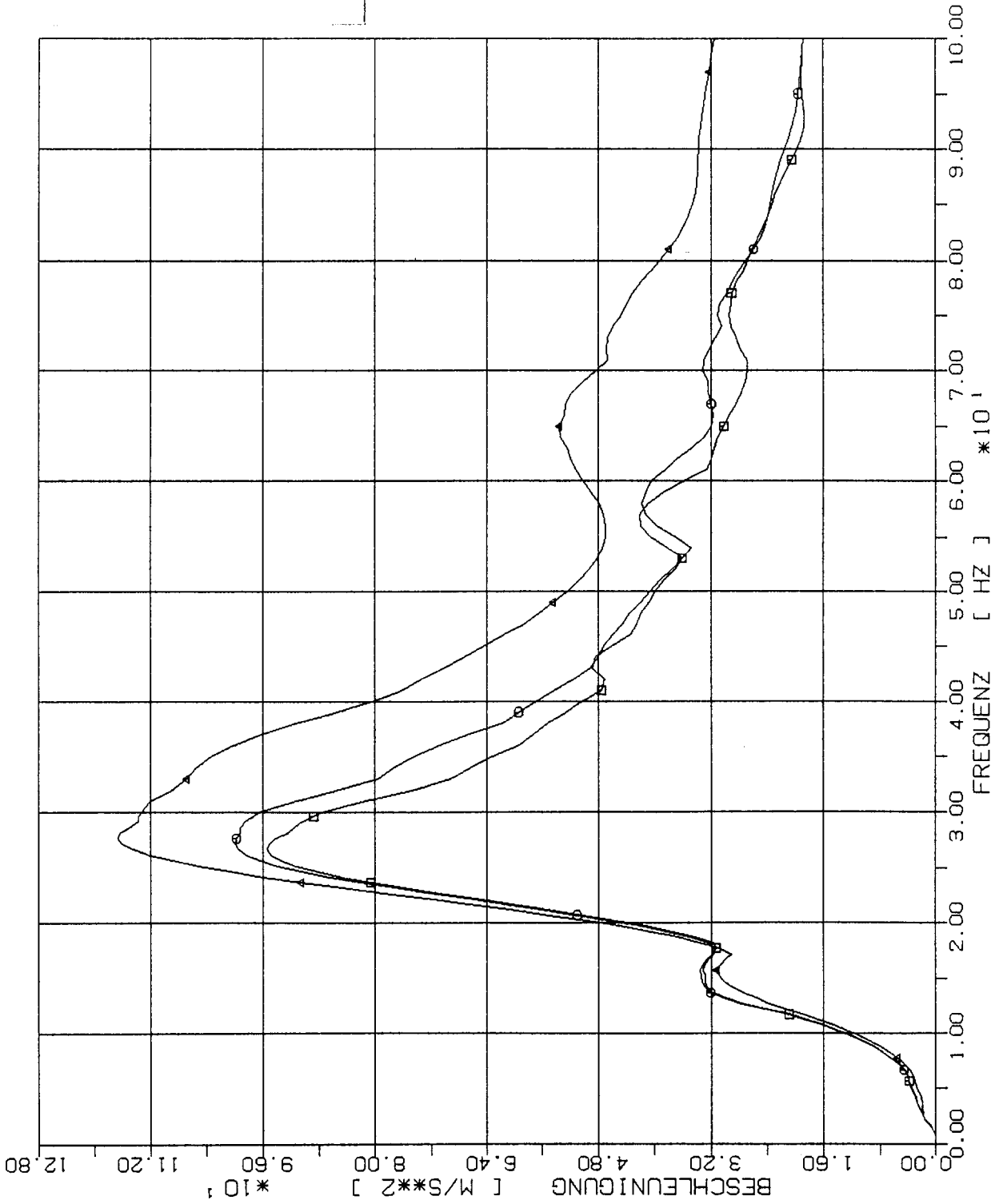
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 1.55, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

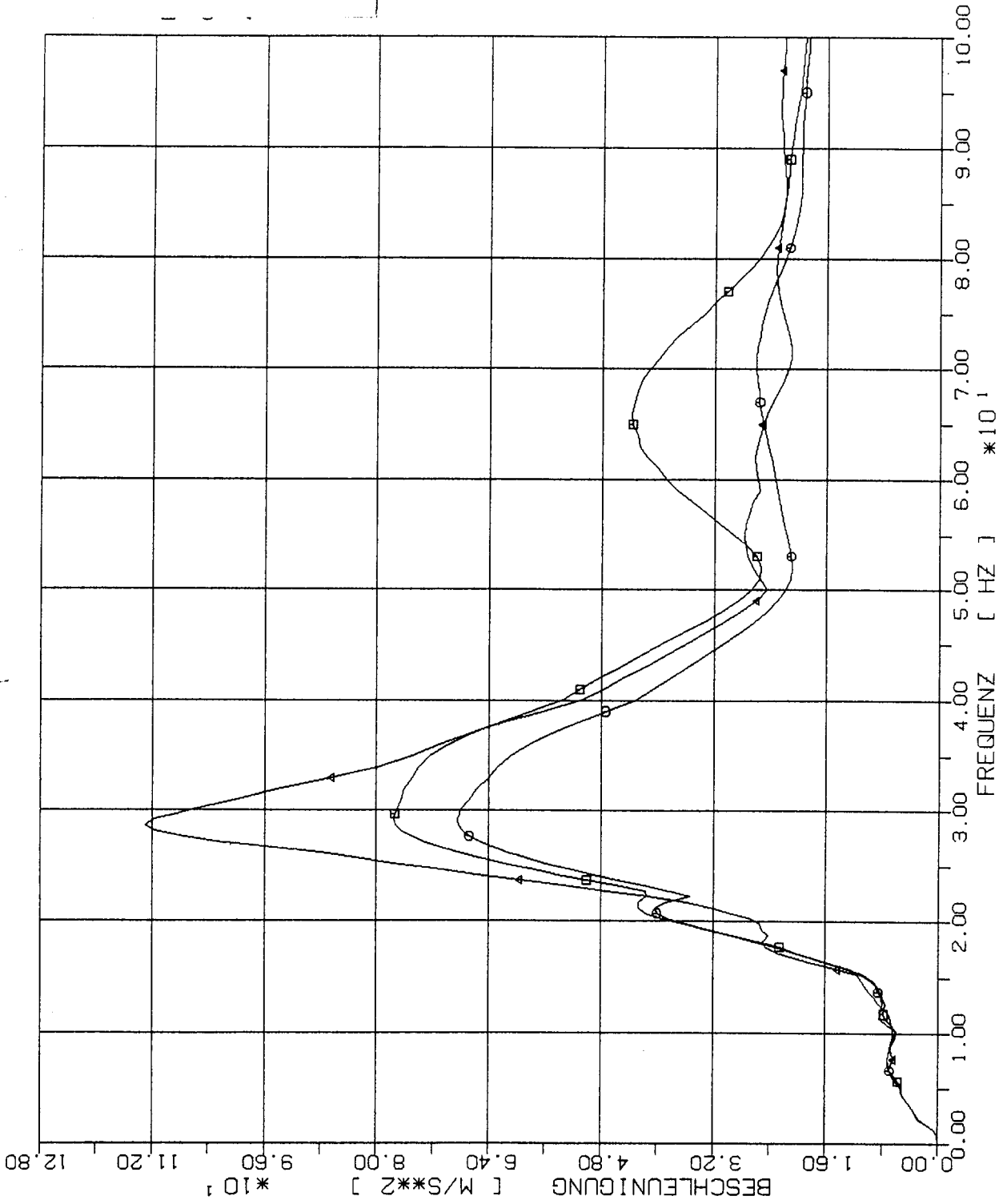
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4.55, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

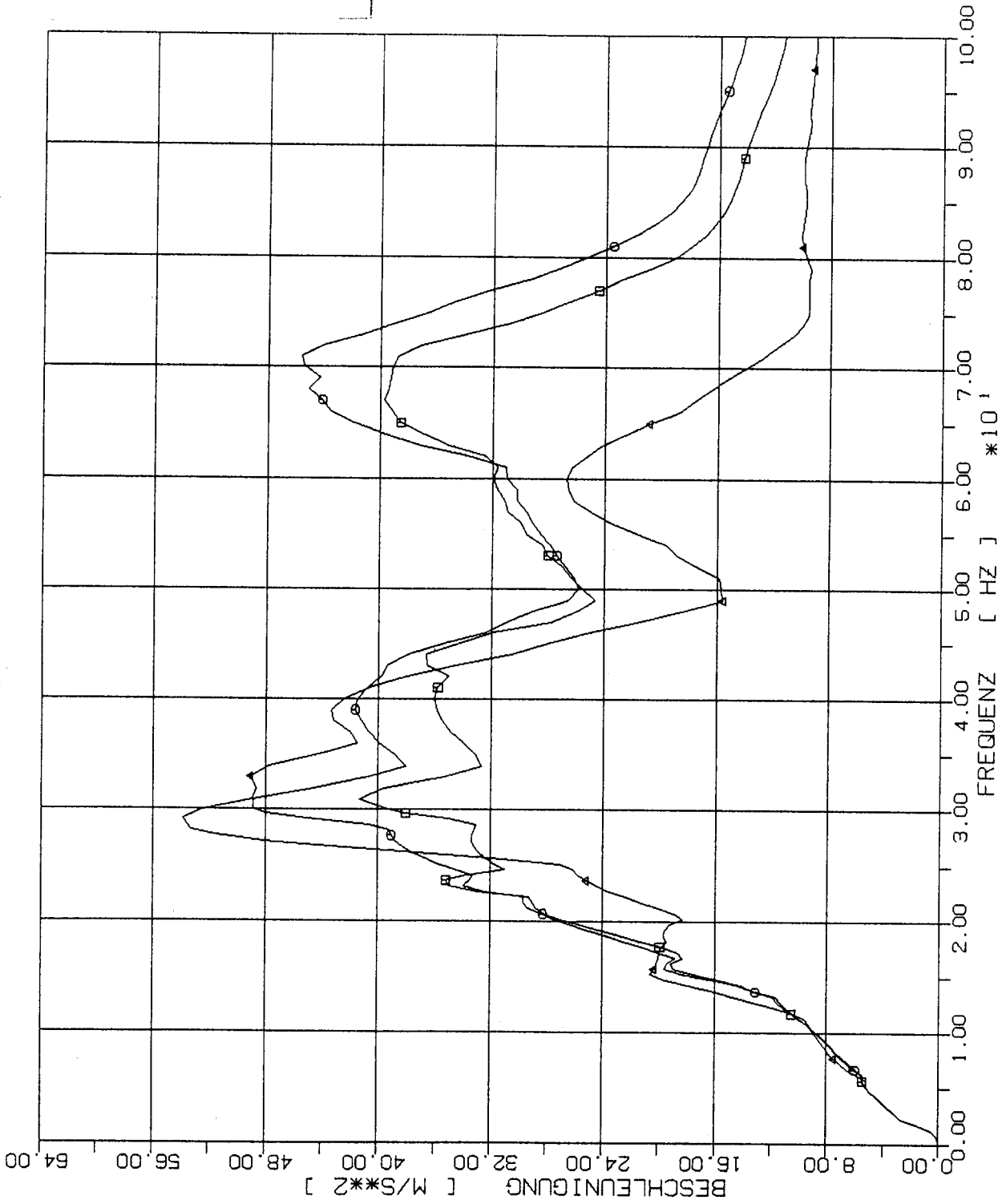
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △-△ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAEENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2.5Z, 2% DAEMPFFUNG X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

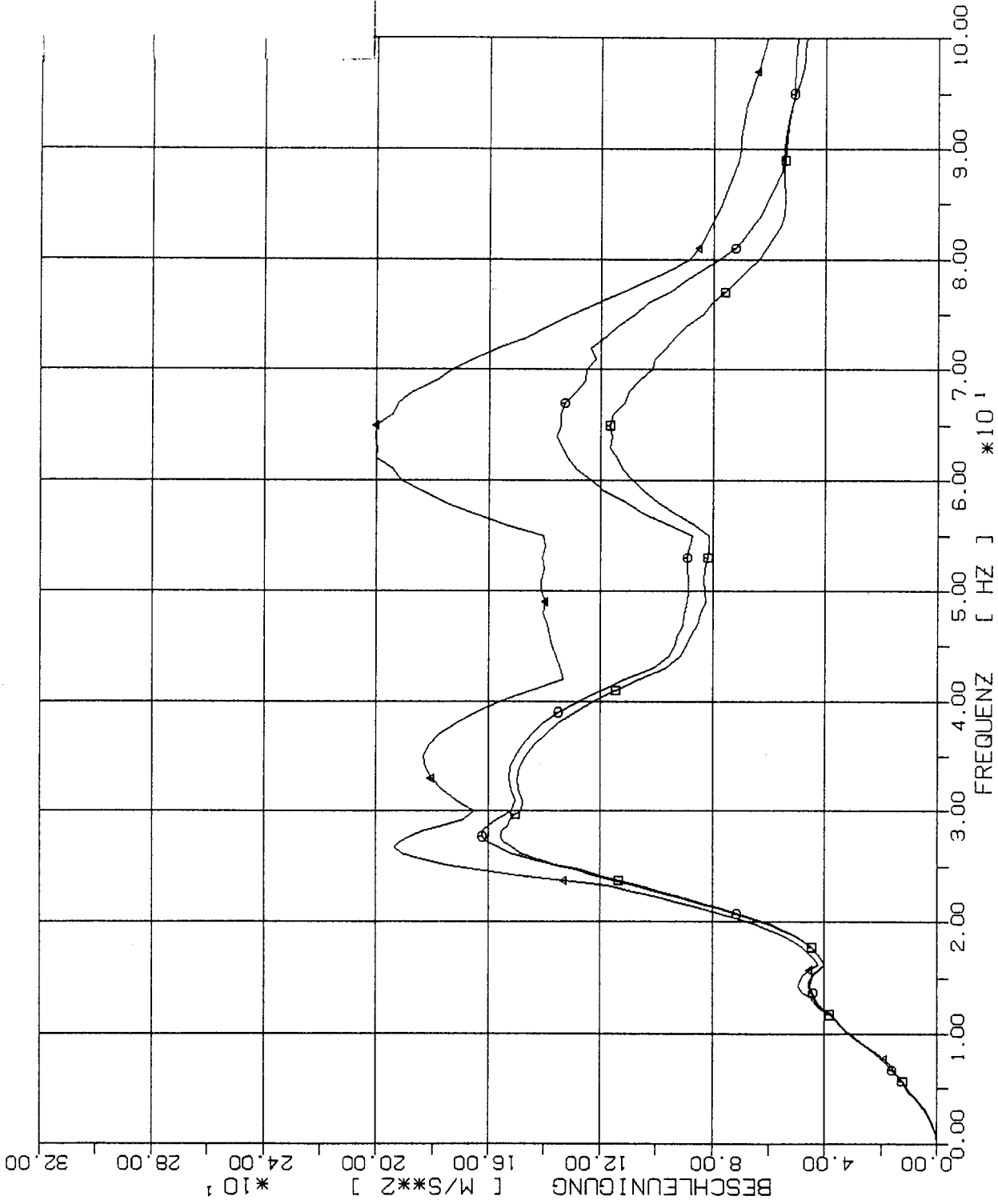
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3.5Z, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

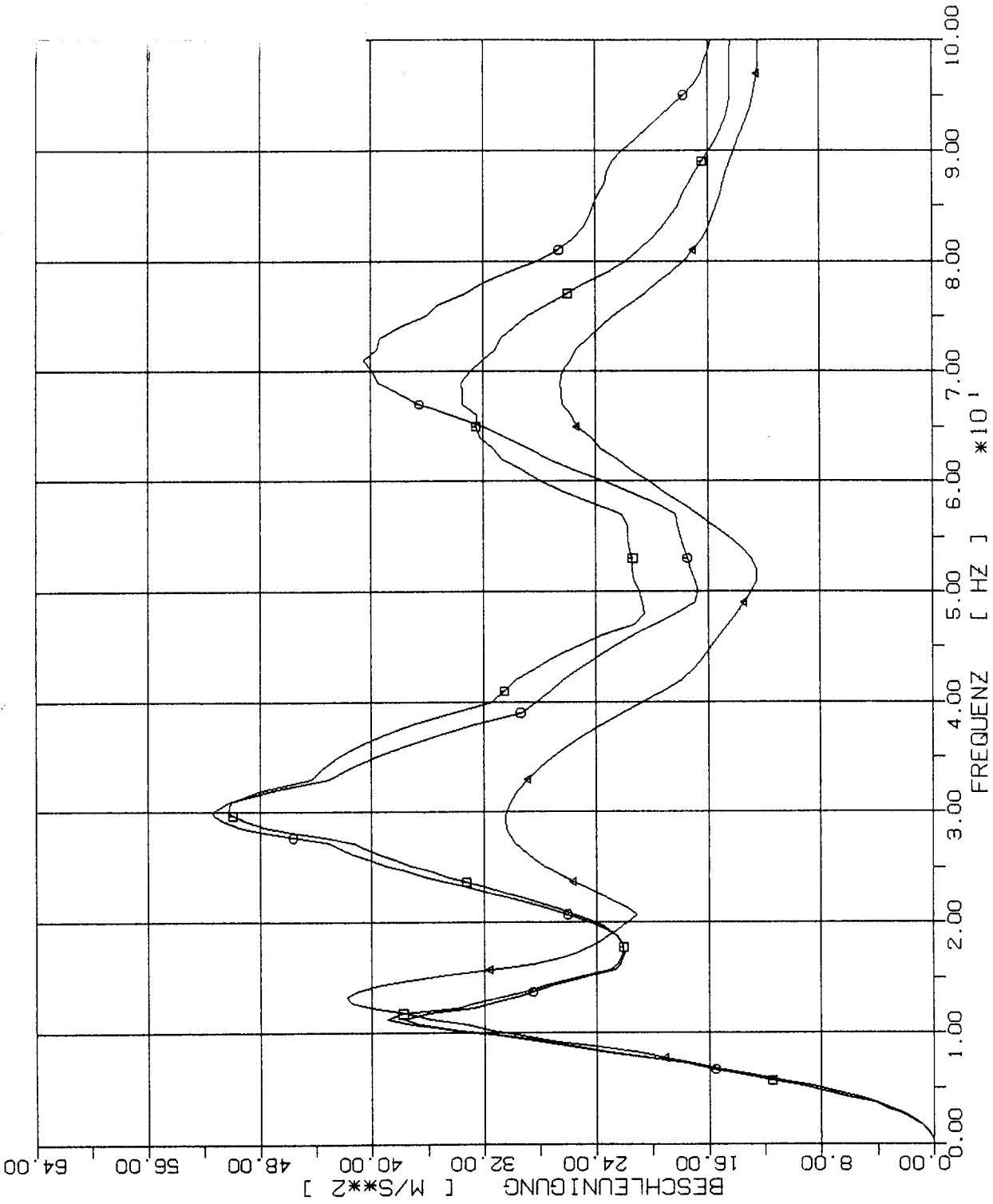
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 1L, 2% DAEMPUNG, X3 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

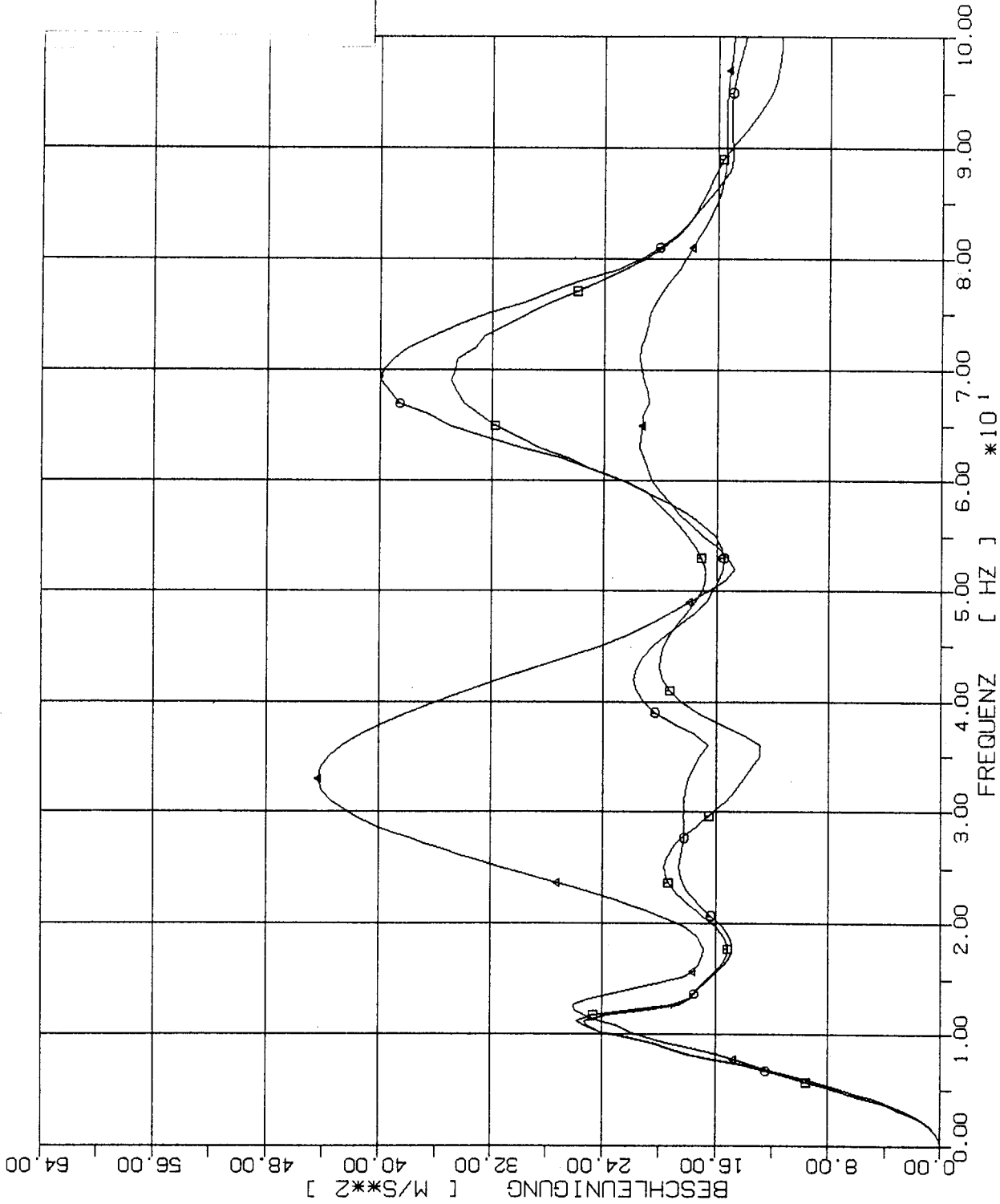
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2L, 2% DAEMPfung. X3 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

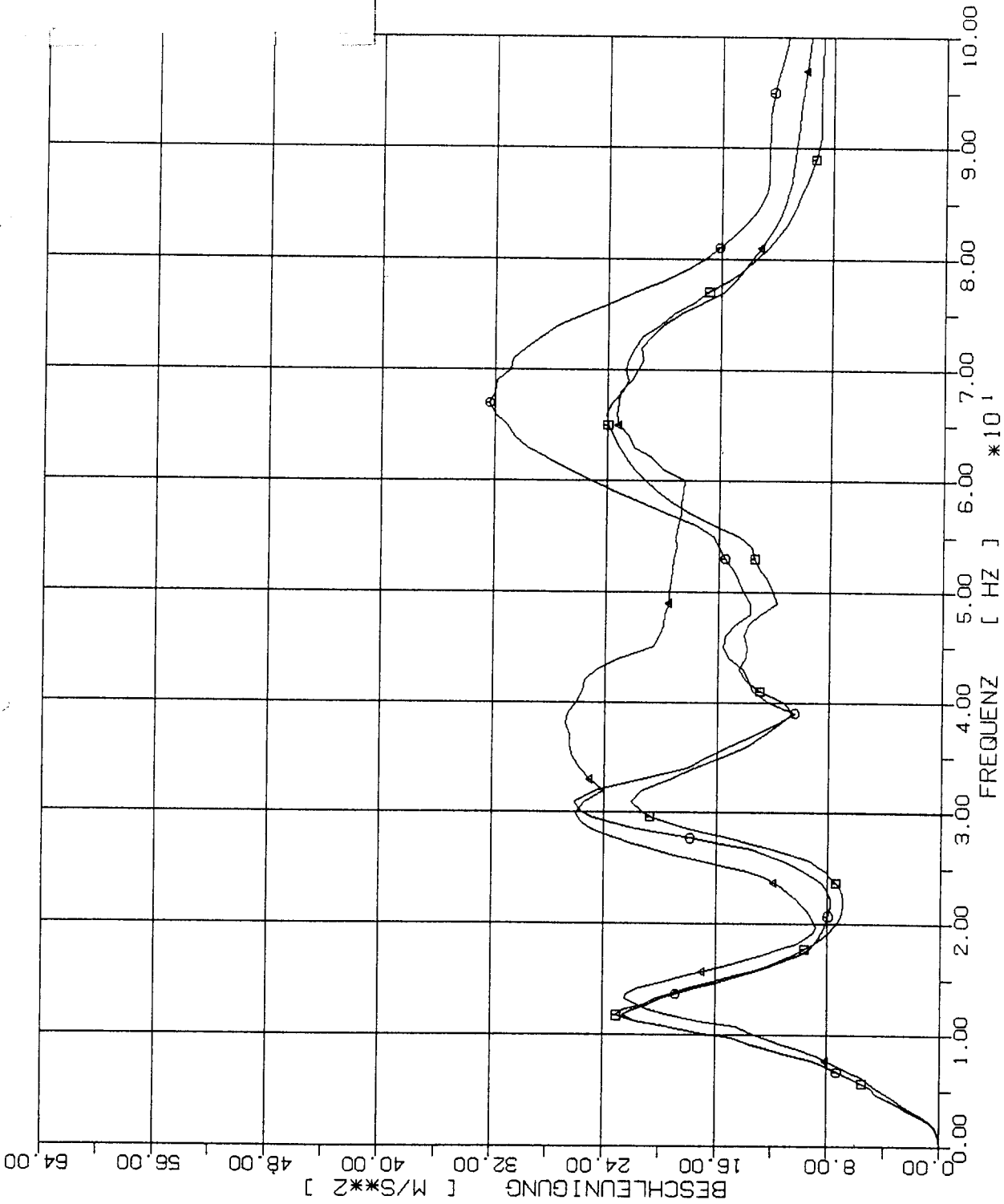
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3L, 2% DAEMPfung, X3 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

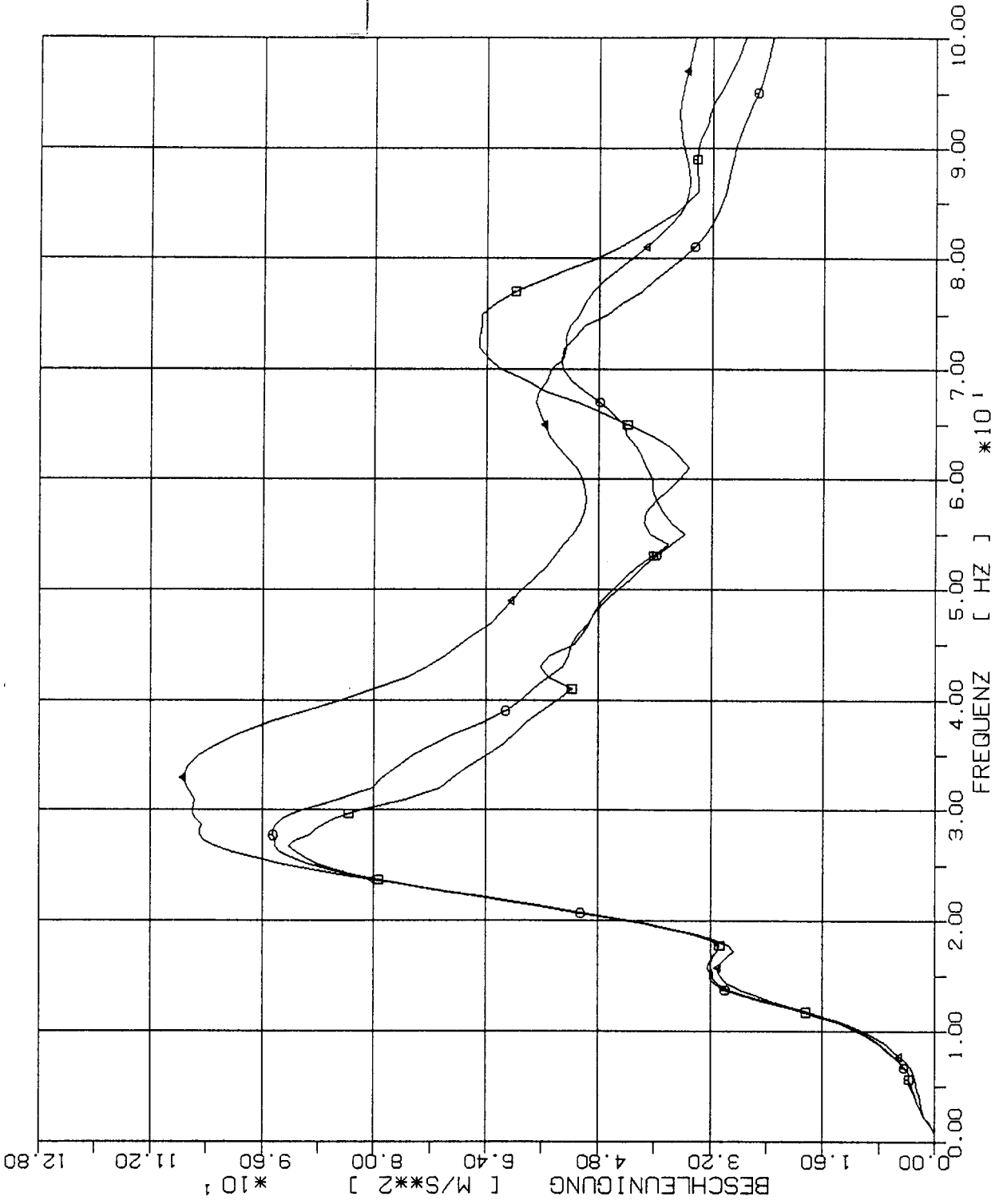
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UEBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4L, 2% DAEMPfung, X3 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

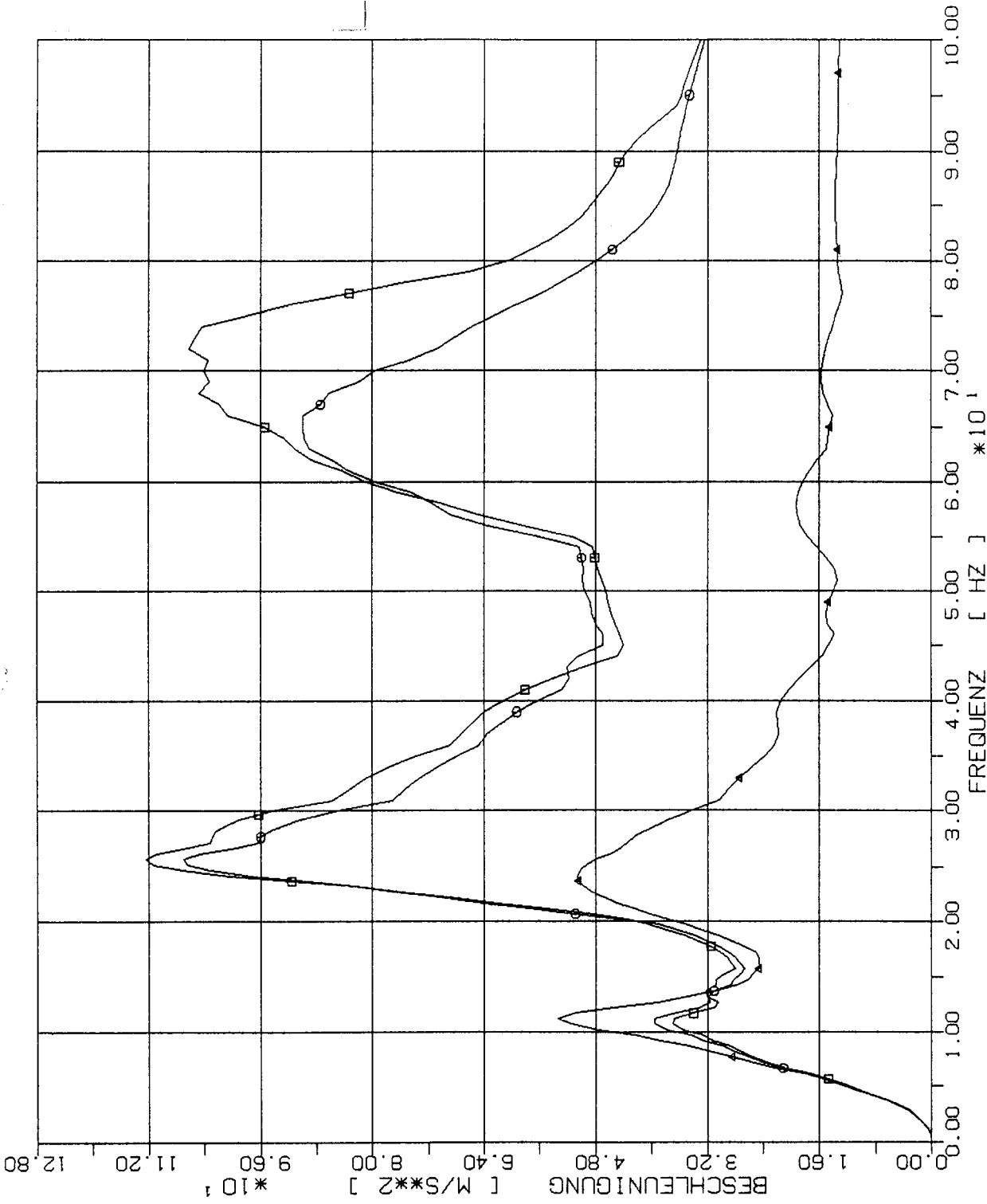
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 5L, 2% DAEMPfung, X3 RICHT.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

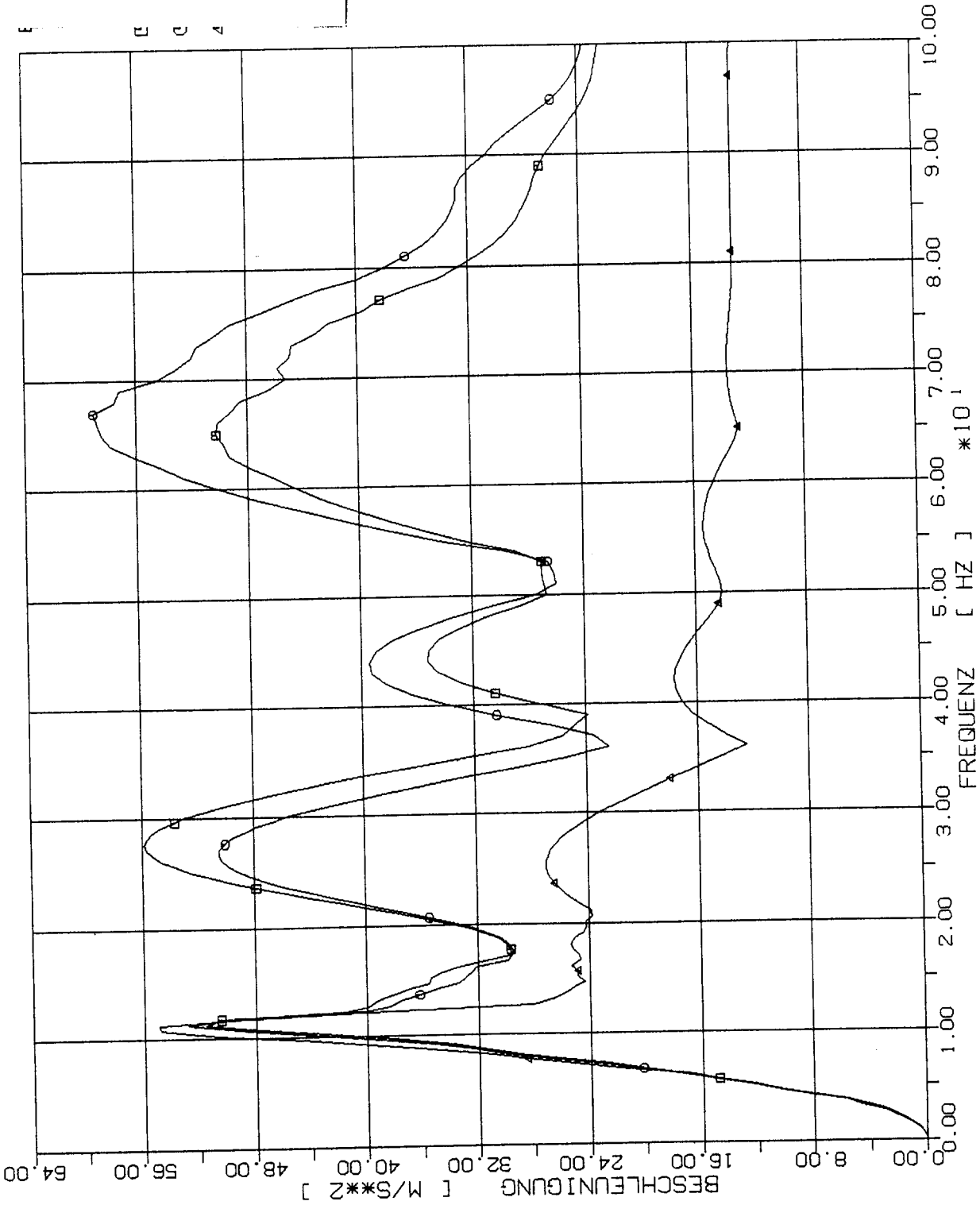
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 1.5P. 2% DAEMPfung. X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

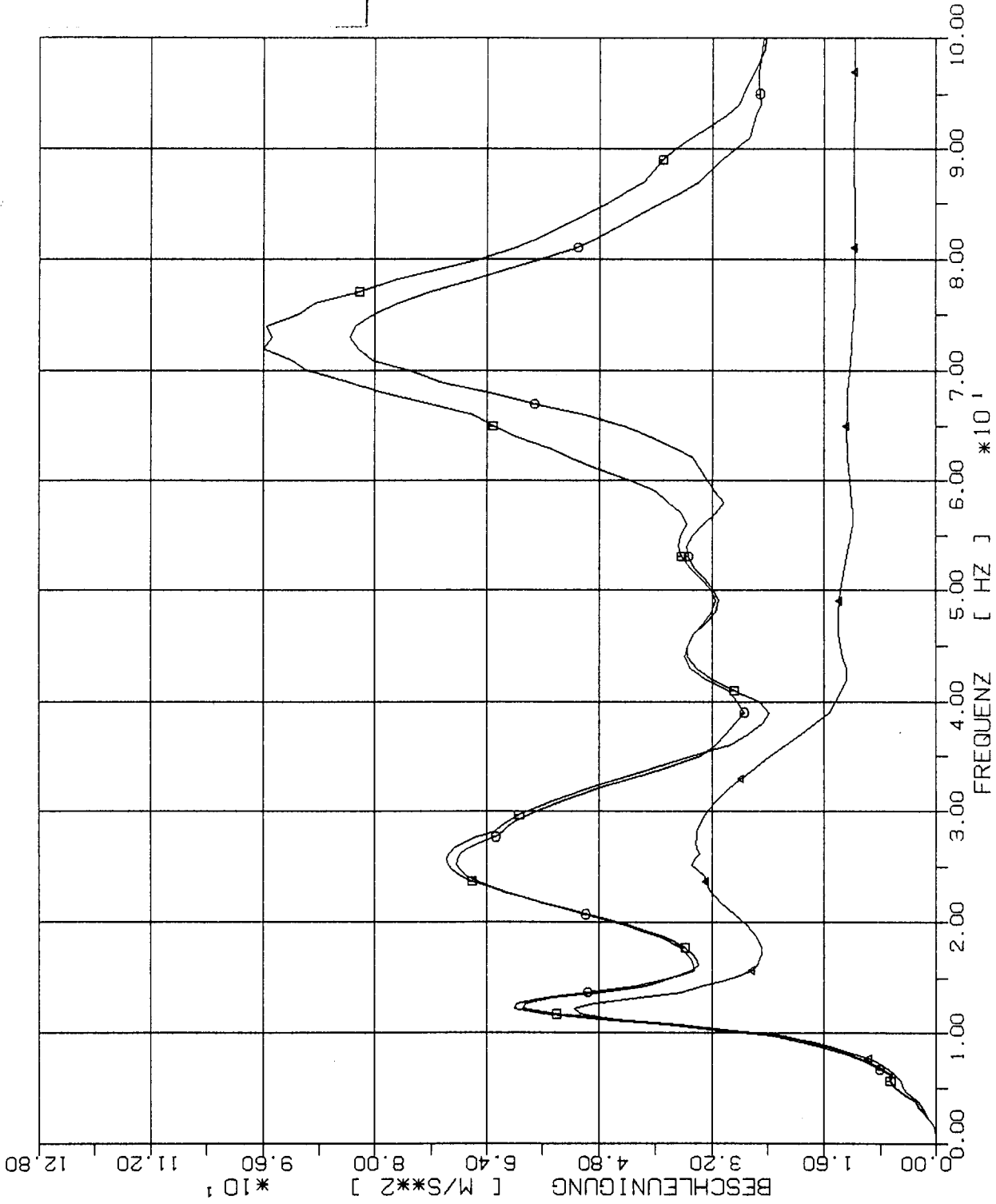
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN X3 RICHT
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2.SP., 2% DAEMPfung.
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

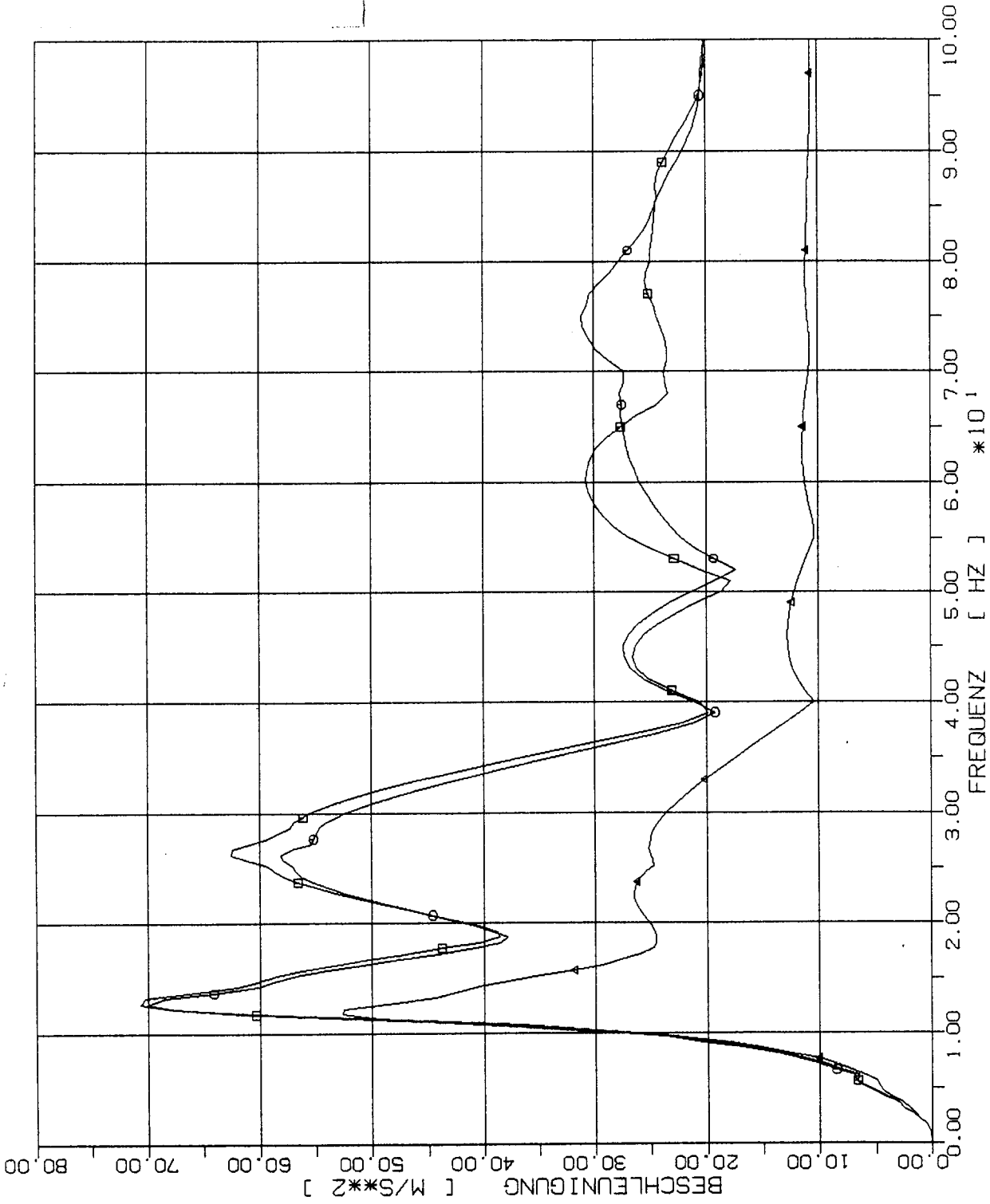
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



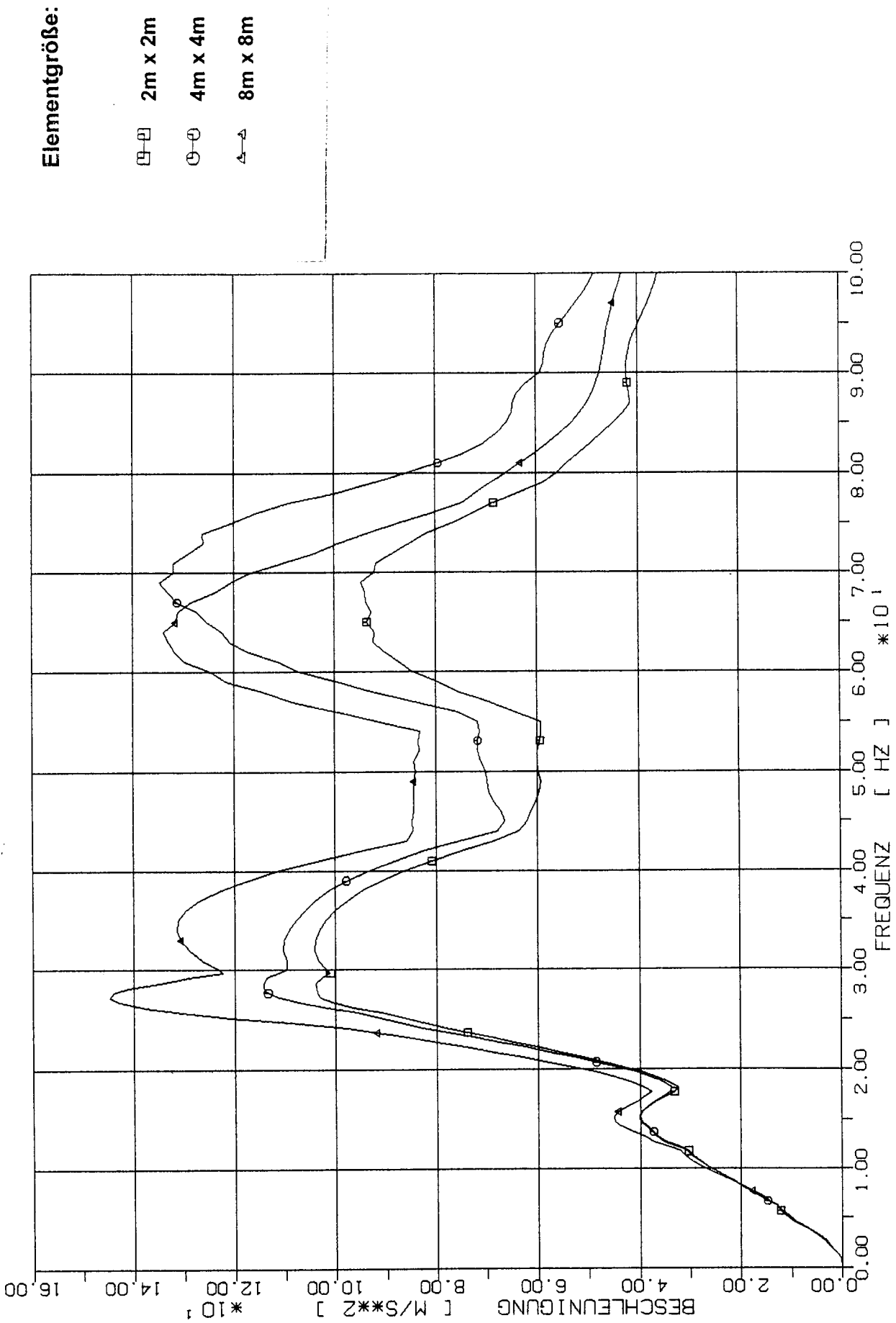
STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3.5P, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



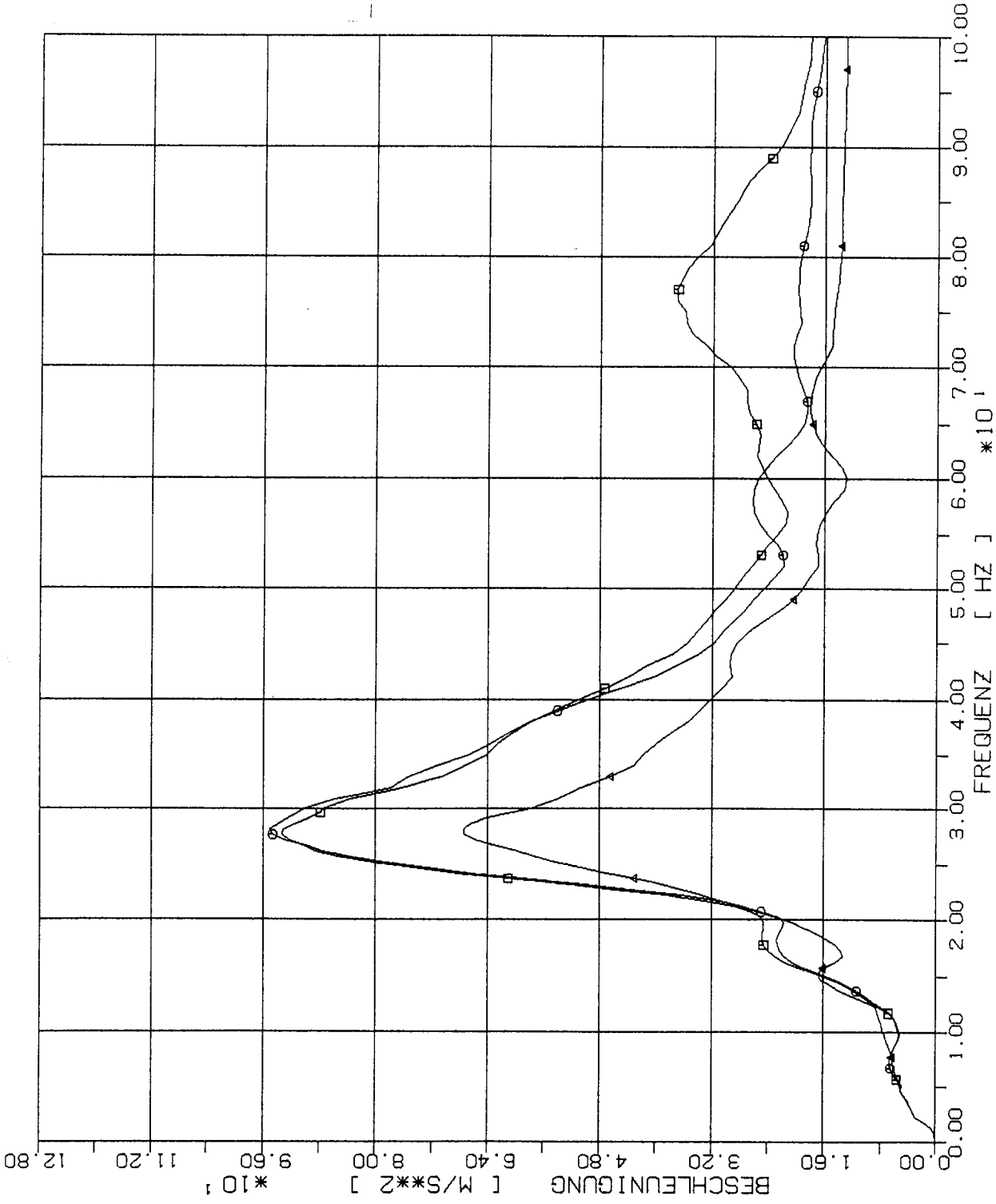
STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4.5P, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGAENGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVergLEICH IM B. PUNKT 1.55, 2% DAEMPfung, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

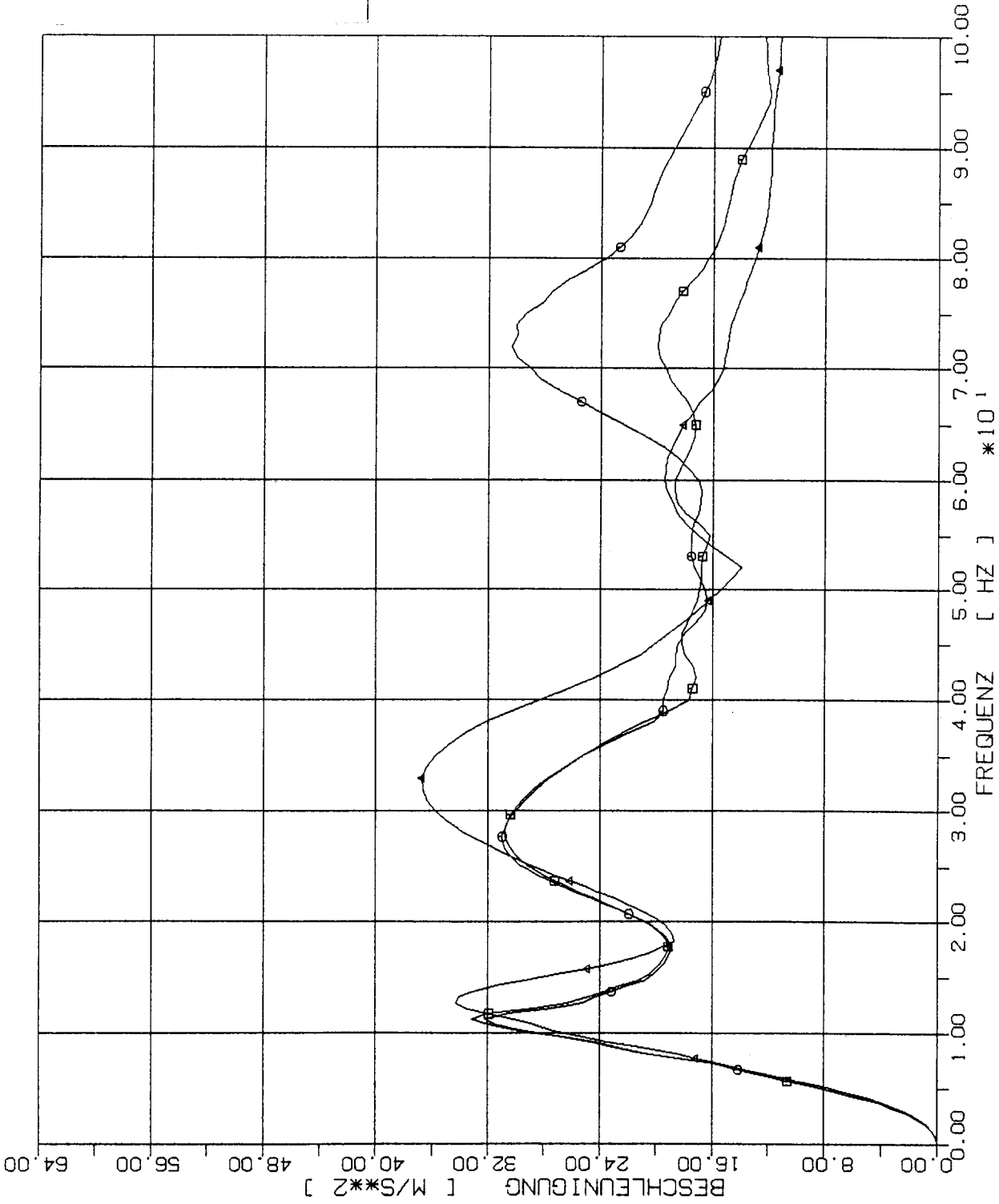
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - UBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 4.55, 2% DAEMPfung X1 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

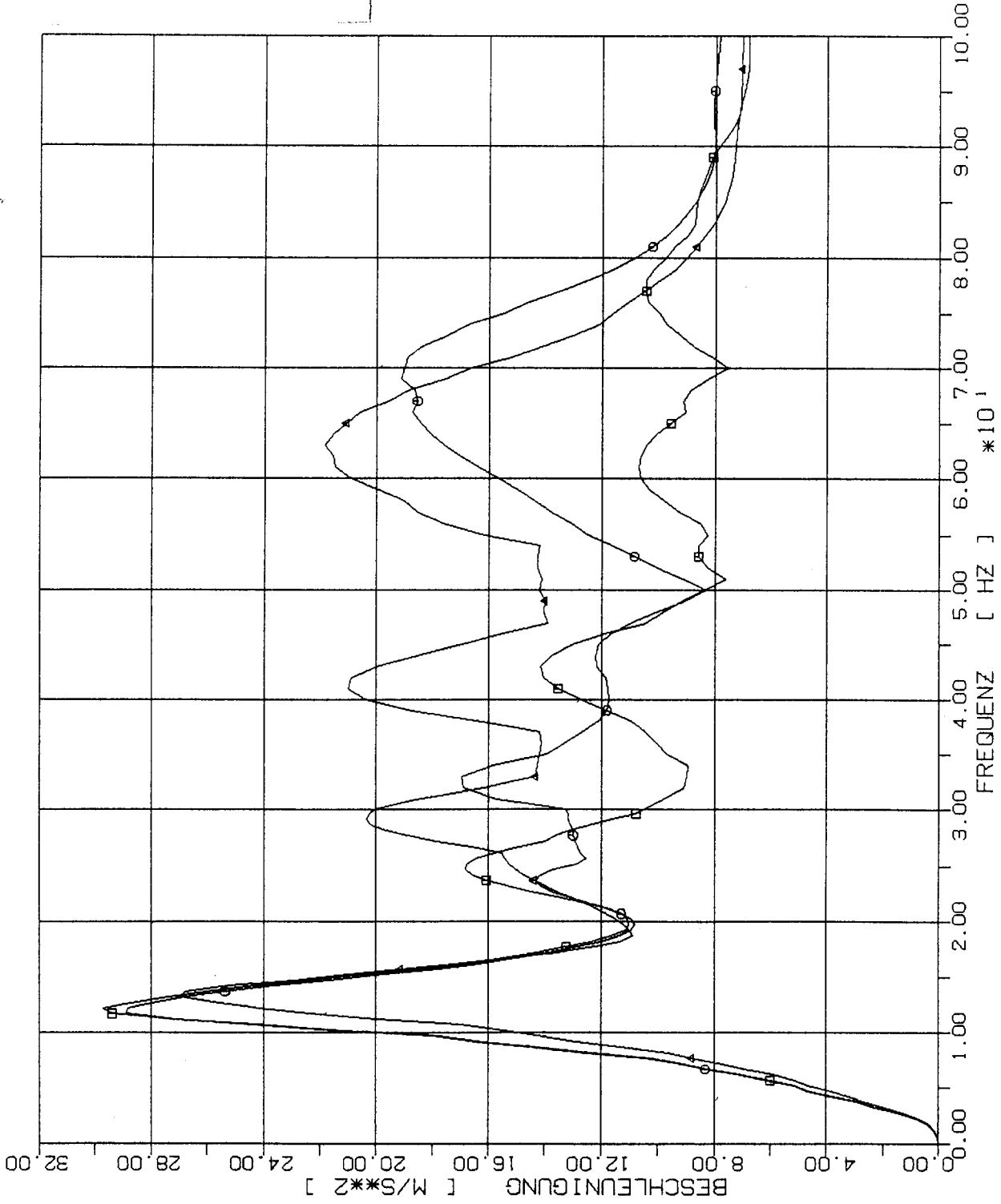
- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 2.5Z, 2% DAEMPfung. X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

Elementgröße:

- 2m x 2m
- 4m x 4m
- △ 8m x 8m



STOSS - ÜBERTRAGUNGSVORGÄNGE IN AXSYM. BAUWERKEN
 SPEKTRENVERGLEICH IM B. PUNKT 3.5Z, 2% DAEMPUNG, X3 RICHT
 STOSSBELASTUNG (RFL) IN VERTIKALRICHTUNG (X3)

**Zur Anwendung von FE-Modellen bei der Simulation
von Erschütterungen in Kernkraftbauwerken
bei Stoßbelastungen**

Anhang 3

Dipl.-Ing. Norbert J. Krutzik

Frankfurt am Main, September 1998

Zur Anwendung von FE Modellen bei der Simulation von Erschütterungen in Kernkraftbauwerken bei Stoßbelastungen

Anhang 3

Teil 1

**Numerische FE-Simulation von Erschütterungsübertragungs-
Vorgängen im Reaktorgebäude der Heißdampfreaktors
(HDR) Kahl bei Stoßbelastungen**

Teil 2

**Eignungsnachweis von FE-Verfahren zur Simulation von Erschütterungen
in Bauwerken bei Stoßbelastungen anhand von Messungen im
Reaktorgebäude des Heißdampfreaktors (HDR) Kahl**

Inhalt

Teil 1

Numerische Simulation von Erschütterungsübertragungsvorgängen im Reaktorgebäude des Heißdampfreaktors (HDR) Kahl bei Stoßbelastungen

Teil 2

Eignungsnachweis von FE-Verfahren zu Simulation von Erschütterungen in Bauwerken bei Stoßbelastungen anhand von Messungen am Heißdampfreaktor (HDR) Kahl.

Teil 1

**Numerische Simulation von Erschütterungs-
Übertragungsvorgängen im Reaktorgebäude
des Heißdampfreaktors (HDR) Kahl bei
Stoßbelastungen**

Inhaltsverzeichnis

1	Modellabbildungen und dynamische Charakteristiken	A3-006
2	Belastungsfunktionen und Beobachtungspunkte	A3-019
3	Charakteristische Ergebnisse, Verschiebungszeitverläufe	A3-024
3.1	Beschleunigungszeitverläufe	A3-031
3.3	Beschleunigungsspektren	A3-037
3.4	Maximalwerte der Beschleunigungen	A3-043

1

Modellabbildung und dynamische Charakteristiken

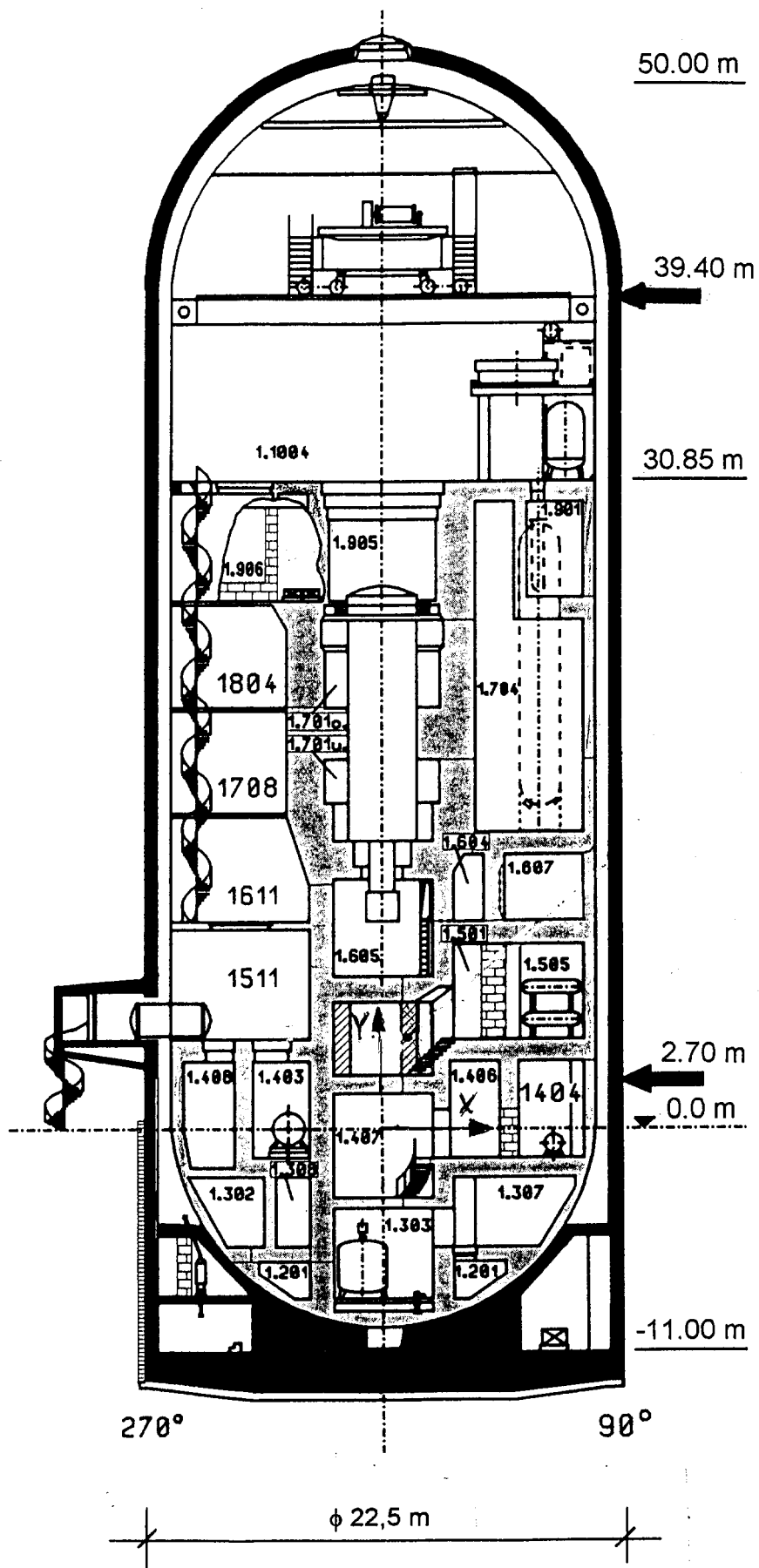


Fig. 1-1 Kreisförmiges Gebäude des Heißdampfreaktors (HDR) Kahl

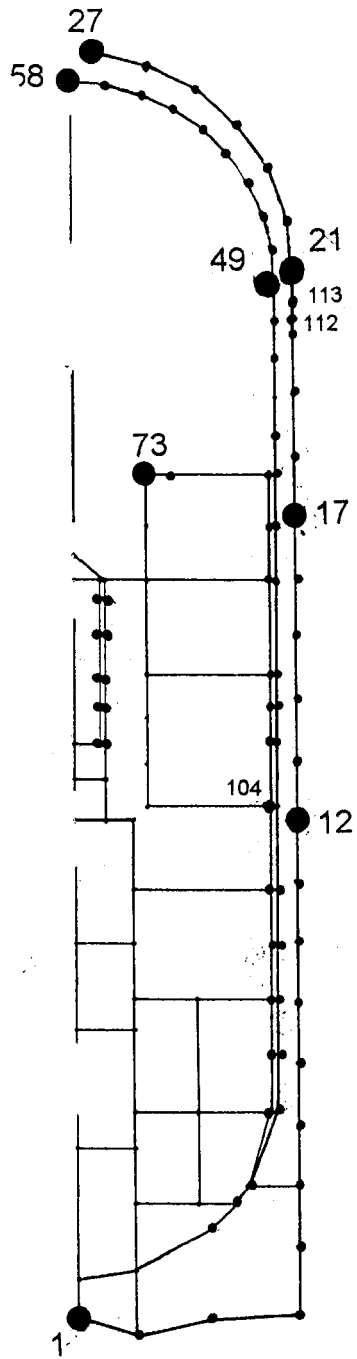


Fig. 1-2 Rechenmodell des HDR, Ausgabebereiche
Diskretisierung 5w

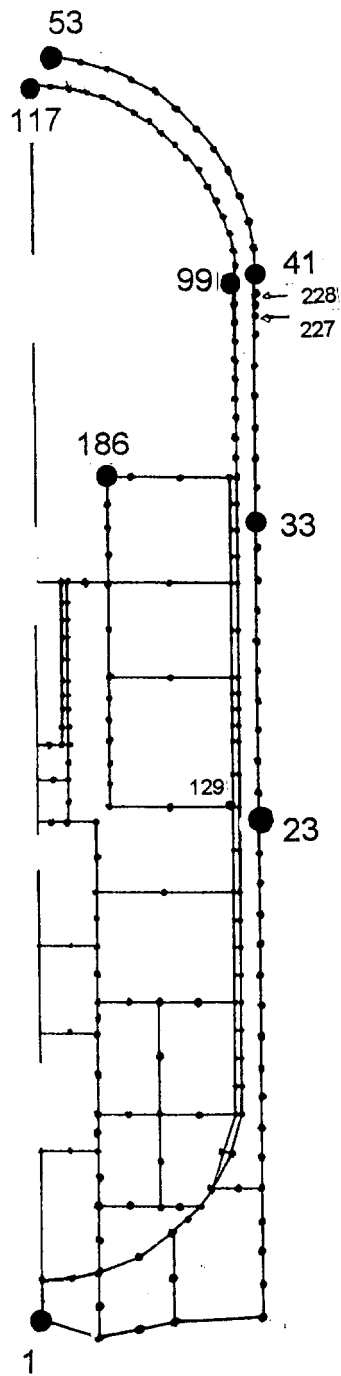


Fig. 1-3 Rechenmodell des HDR, Ausgabebereiche
Diskretisierung 2,5w

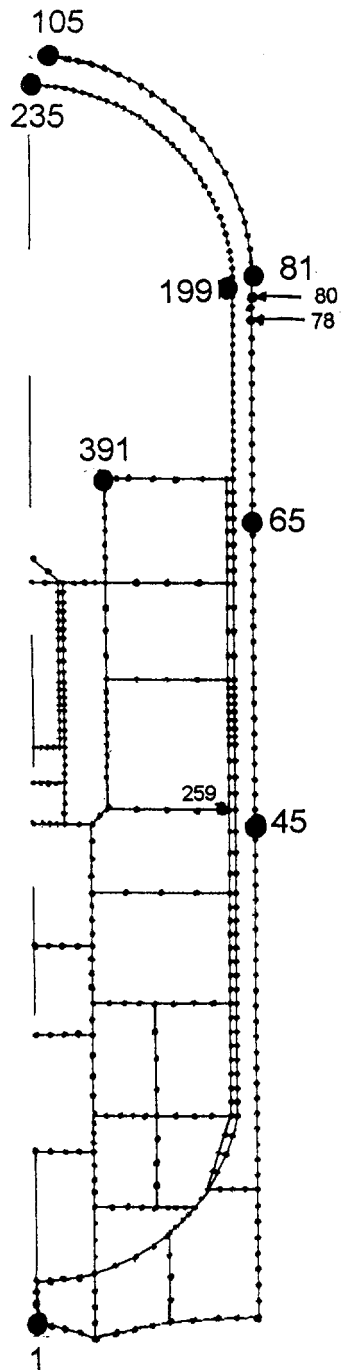
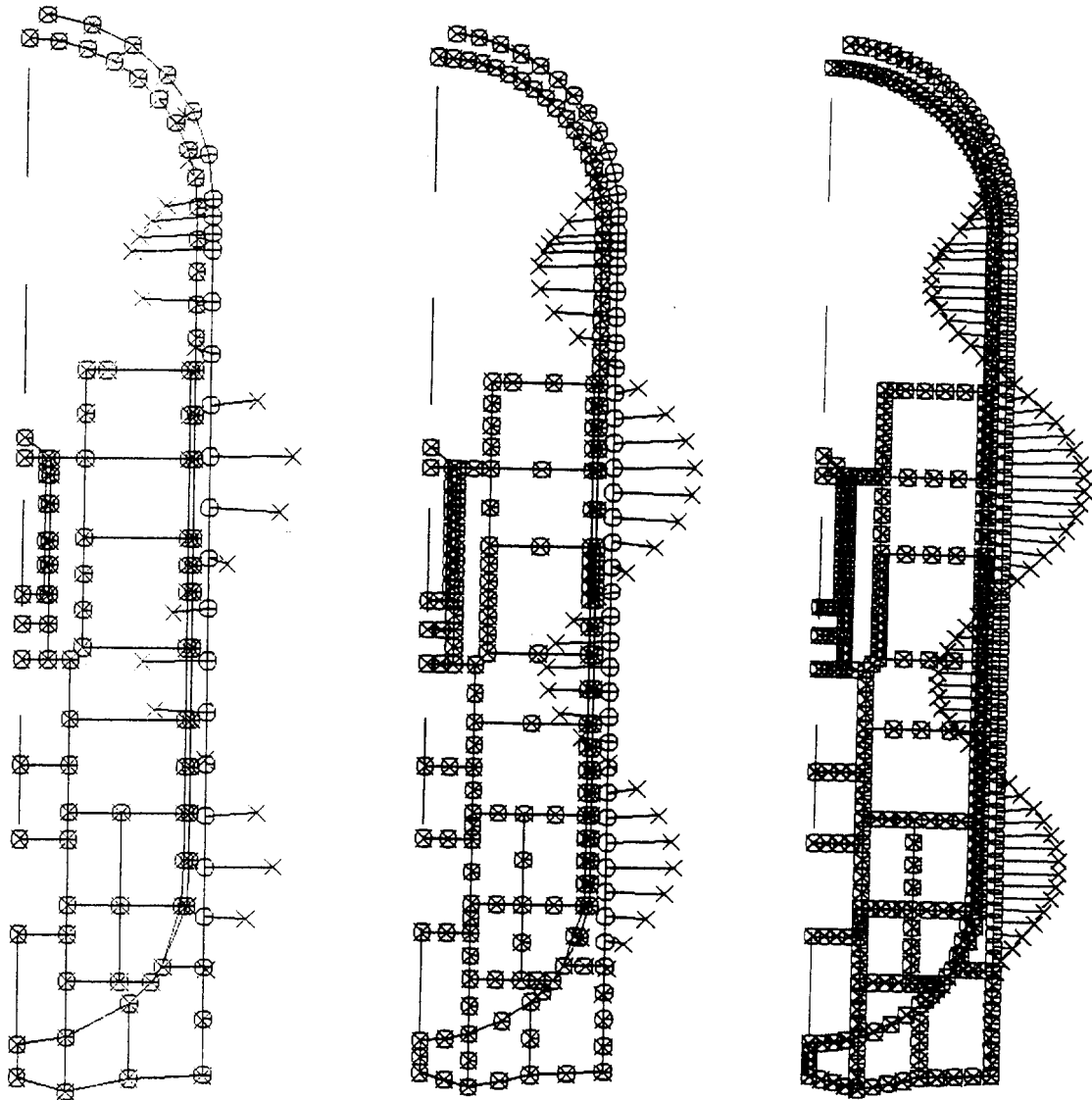


Fig. 1-4 Rechenmodell des HDR, Ausgabebereiche
Diskretisierung 1,2w



24,33 Hz
(5w)

23,64 Hz
(2,w)

23,35 Hz
(1,2w)

Fig. 1-5 Typische Eigenformen (4. Harmonische, 5. Eigenfrequenz)

NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ
1	3.858	1	3.767	1	3.542
2	4.732	2	4.720	2	3.762
3	10.065	3	10.061	3	10.084
4	10.661	4	10.525	4	10.500
5	18.436	5	18.389	5	17.639
6	20.485	6	20.363	6	20.311
7	24.902	7	24.678	7	24.560
8	28.889	8	26.817	8	24.986
9	30.207	9	28.749	9	28.764
10	32.691	10	29.783	10	29.583
11	33.618	11	33.346	11	32.991
12	38.680	12	37.958	12	37.471
13	40.094	13	39.053	13	38.876
14	40.157	14	39.692	14	39.464
15	42.425	15	40.277	15	43.419
16	45.071	16	43.855	16	43.907
17	45.582	17	44.523	17	44.643
18	46.511	18	45.288	18	44.954
19	47.625	19	46.380	19	46.168
20	47.986	20	47.368	20	46.240
21	48.485	21	47.750	21	47.234
22	49.274	22	48.193	22	47.551
23	49.950	23	48.770	23	48.281
24	50.041	24	49.402	24	49.063
25	50.700	25	49.534	25	49.238

5w

2,5w

1,2w

Tab. 1-1 Vergleich der Eigenfrequenzen (0.H.)
für verschiedene Diskretisierungen

NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ
1	1.543	1	1.532	1	1.513
2	2.911	2	2.860	2	2.843
3	6.117	3	6.050	3	5.942
4	12.715	4	12.605	4	12.583
5	14.979	5	14.813	5	14.700
6	15.971	6	15.924	6	16.709
7	20.430	7	19.929	7	19.429
8	25.445	8	25.136	8	24.923
9	27.765	9	26.839	9	26.285
10	32.430	10	30.819	10	29.535
11	34.010	11	32.467	11	32.306
12	35.039	12	33.783	12	33.354
13	37.961	13	35.435	13	34.840
14	39.241	14	38.459	14	38.257
15	41.050	15	39.911	15	39.681
16	42.101	16	40.626	16	40.382
17	44.412	17	43.052	17	40.734
18	45.292	18	43.987	18	42.545
19	46.763	19	45.529	19	43.737
20	47.122	20	46.104	20	45.192
21	48.366	21	46.651	21	45.998
22	48.566	22	47.363	22	46.977
23	50.787	23	48.096	23	47.667
24	50.904	24	49.428	24	48.898
25	51.341	25	49.934	25	49.497

5w

2,5w

1,2w

Tab. 1-2 Vergleich der Eigenfrequenzen (1.H.)
für verschiedene Diskretisierungen

NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ
1	5.834	1	5.722	1	5.699
2	14.087	2	13.800	2	13.715
3	22.589	3	22.179	3	21.719
4	25.519	4	22.750	4	21.925
5	29.891	5	29.339	5	28.432
6	36.364	6	35.764	6	29.062
7	39.128	7	36.364	7	35.447
8	41.060	8	40.346	8	35.483
9	44.426	9	41.300	9	40.006
10	44.516	10	43.024	10	40.738
11	45.060	11	43.354	11	42.754
12	46.999	12	45.569	12	43.905
13	49.693	13	47.120	13	45.078
14	50.928	14	47.535	14	46.656
15	51.199	15	48.461	15	47.973
16	53.562	16	49.628	16	48.984
17	53.622	17	49.829	17	49.183
18	54.725	18	51.125	18	49.315
19	56.017	19	51.589	19	51.393
20	56.798	20	52.022	20	51.447
21	57.318	21	53.971	21	53.372
22	60.209	22	54.823	22	54.307
23	60.784	23	55.737	23	55.181
24	63.389	24	59.044	24	56.064
25	64.208	25	59.369	25	58.496

5w

2,5w

1,2w

Tab. 1-3 Vergleich der Eigenfrequenzen (2.H.)
für verschiedene Diskretisierungen

NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ
1	7.516	1	7.458	1	7.446
2	11.906	2	11.646	2	11.574
3	18.267	3	17.804	3	17.607
4	23.304	4	20.778	4	19.872
5	25.036	5	24.300	5	23.980
6	31.993	6	31.079	6	26.443
7	37.636	7	33.805	7	30.676
8	38.391	8	37.366	8	32.515
9	43.485	9	41.176	9	36.915
10	45.223	10	42.455	10	38.922
11	46.466	11	43.729	11	41.948
12	47.466	12	44.565	12	43.710
13	48.136	13	46.855	13	44.372
14	52.258	14	47.464	14	46.357
15	52.739	15	49.905	15	49.110
16	53.240	16	51.418	16	51.093
17	55.908	17	52.406	17	52.303
18	58.460	18	53.192	18	52.737
19	60.120	19	53.559	19	52.915
20	61.884	20	57.124	20	55.004
21	65.007	21	57.635	21	56.296
22	66.170	22	59.760	22	56.869
23	70.098	23	62.133	23	58.945
24	70.614	24	63.436	24	61.358
25	73.050	25	65.132	25	62.595

5w

2,5w

1,2w

Tab. 1-4 Vergleich der Eigenfrequenzen (3.H.)
für verschiedene Diskretisierungen

NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ
1	12.361	1	12.337	1	12.331
2	14.740	2	14.574	2	14.523
3	18.867	3	18.477	3	17.643
4	20.783	4	18.497	4	18.340
5	24.333	5	23.639	5	23.355
6	30.808	6	29.828	6	28.733
7	33.889	7	29.976	7	29.426
8	37.623	8	36.387	8	31.466
9	43.434	9	42.138	9	35.883
10	44.996	10	43.345	10	41.547
11	49.216	11	47.775	11	43.159
12	51.032	12	49.343	12	47.250
13	54.500	13	50.792	13	48.750
14	54.681	14	52.220	14	50.739
15	54.863	15	52.531	15	51.695
16	55.210	16	52.598	16	51.766
17	57.037	17	53.500	17	53.215
18	59.374	18	53.694	18	53.541
19	64.170	19	56.080	19	55.178
20	66.598	20	61.007	20	58.699
21	67.720	21	61.508	21	60.196
22	68.402	22	64.725	22	61.128
23	69.510	23	66.218	23	64.229
24	70.751	24	66.303	24	65.360
25	72.101	25	67.385	25	65.524

5w

2,5w

1,2w

Tab. 1-5 Vergleich der Eigenfrequenzen (4.H.)
für verschiedene Diskretisierungen

NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ	NR.	FREQUENZ
1	18.371	1	16.218	1	15.417
2	19.078	2	19.065	2	19.060
3	20.846	3	20.740	3	20.697
4	23.605	4	23.356	4	23.217
5	27.887	5	27.081	5	25.855
6	31.198	6	27.340	6	27.099
7	33.521	7	32.661	7	32.299
8	40.083	8	38.871	8	38.376
9	45.778	9	43.986	9	41.592
10	46.037	10	44.674	10	43.724
11	49.103	11	45.928	11	44.060
12	52.307	12	50.688	12	44.696
13	57.252	13	56.086	13	50.115
14	57.762	14	56.249	14	55.515
15	58.203	15	56.987	15	55.771
16	58.883	16	57.308	16	56.789
17	64.083	17	58.203	17	56.973
18	64.871	18	60.654	18	59.592
19	66.346	19	62.553	19	61.286
20	69.804	20	65.931	20	65.024
21	69.843	21	67.406	21	66.989
22	71.139	22	69.056	22	68.059
23	73.926	23	71.916	23	68.429
24	74.524	24	72.316	24	70.979
25	75.476	25	73.288	25	70.991

5w

2,5w

1,2w

Tab. 1-6 Vergleich der Eigenfrequenzen (5.H.)
für verschiedene Diskretisierungen

Zwischenblatt

2

Belastungsfunktionen und Beobachtungspunkte

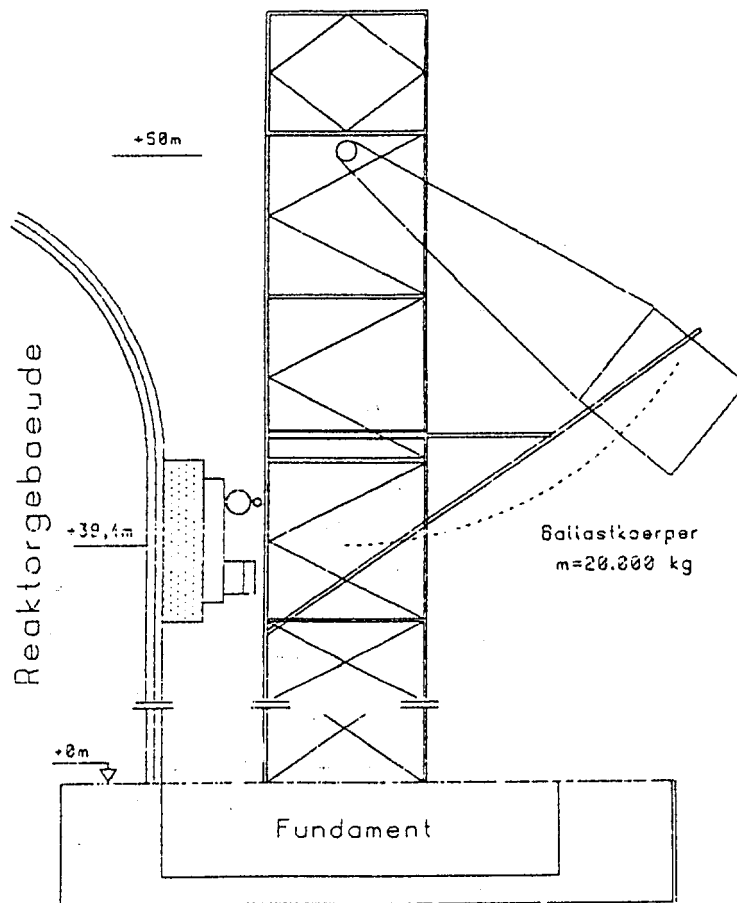


Fig. 2-1 Versuchsaufbau, Prinzipskizze

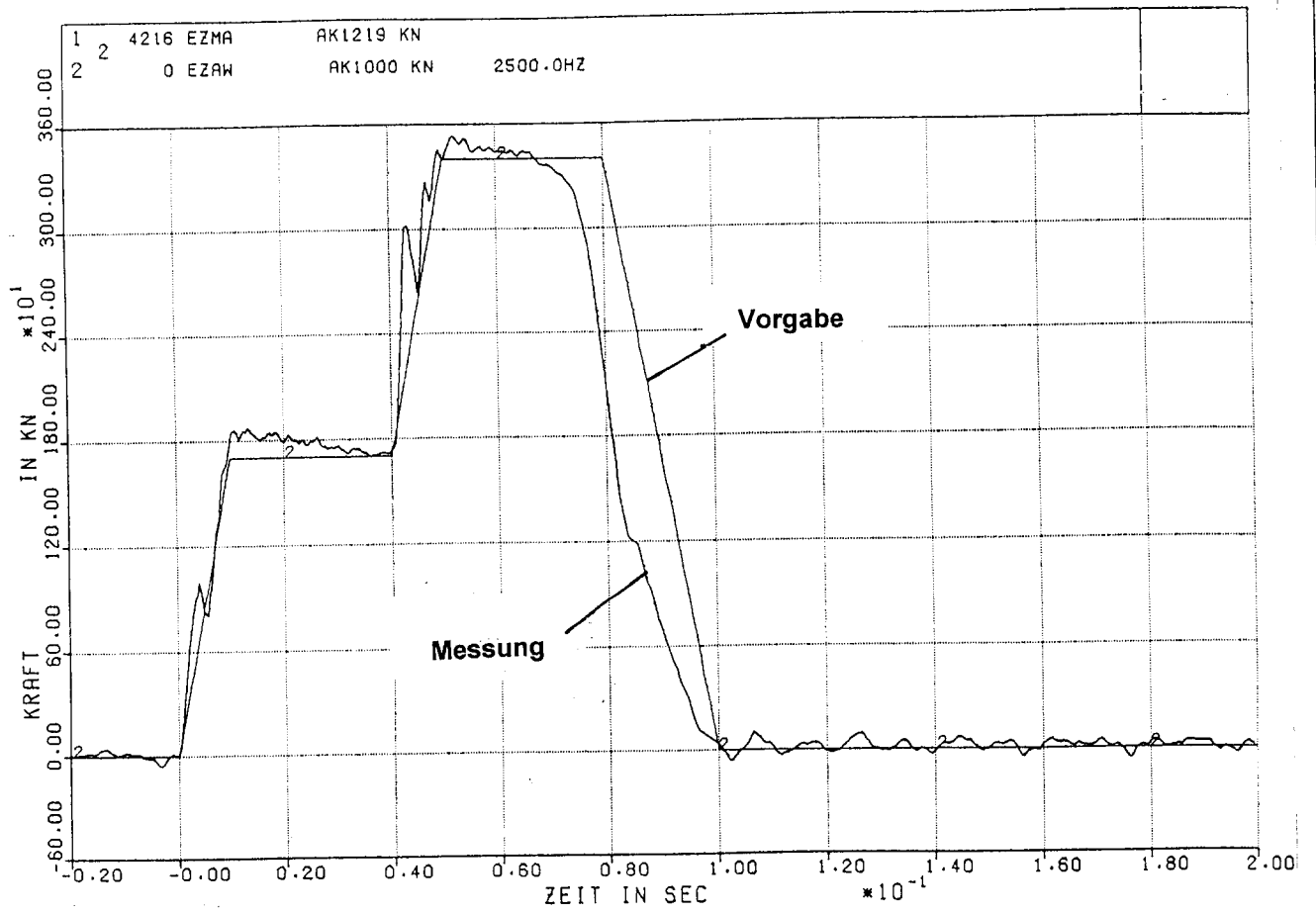


Fig. 2-2 Pendelstoß-Lastfunktion

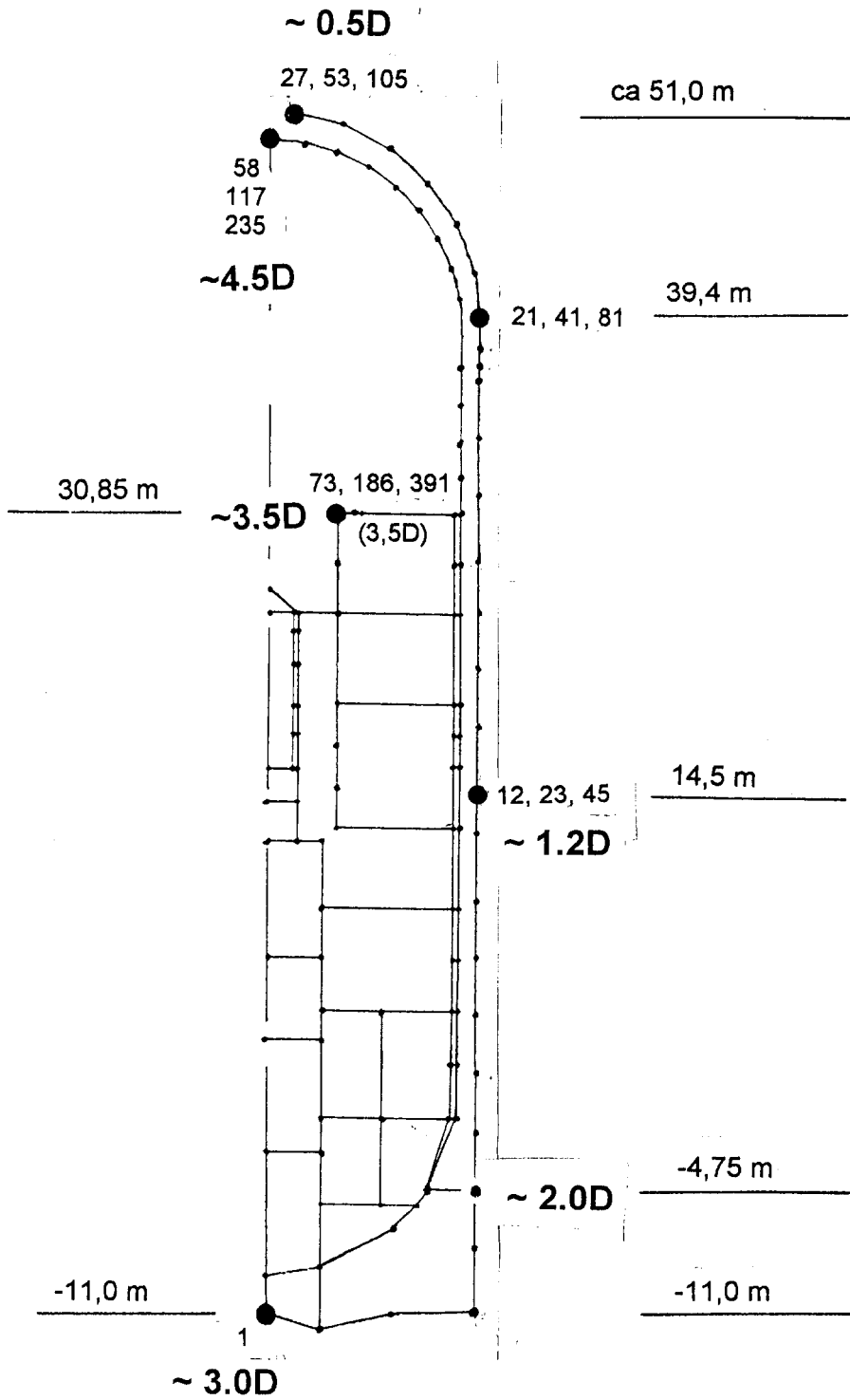


Fig. 2-3 Charakteristische Beobachtungspunkte (Ausgabebereiche von Strukturantworten)

Zwischenblatt

3

Charakteristische Ergebnisse

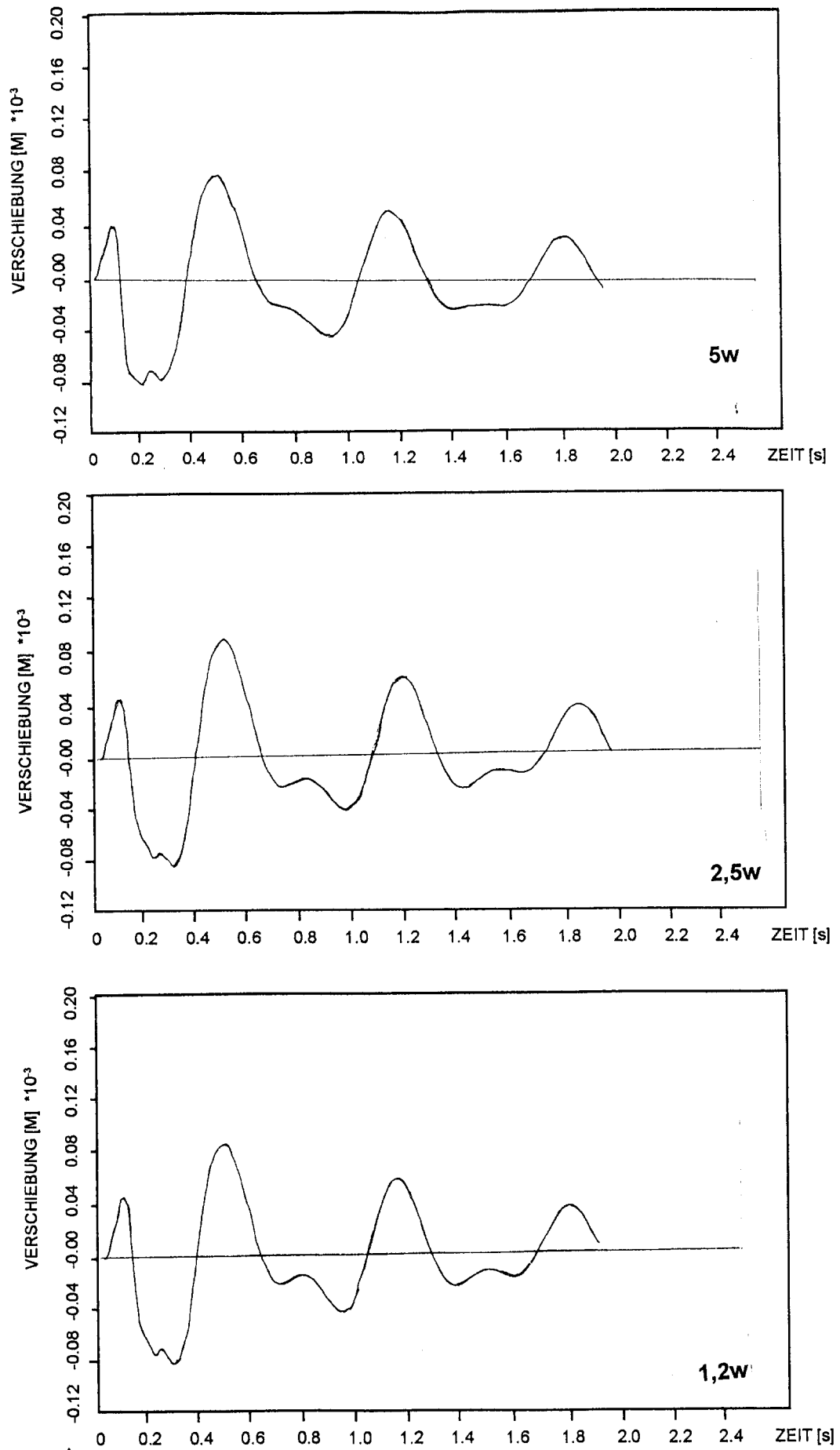


Fig. 3-1 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Verschiebungszeit-
verläufe im charakteristischen Beobachtungspunkt 1

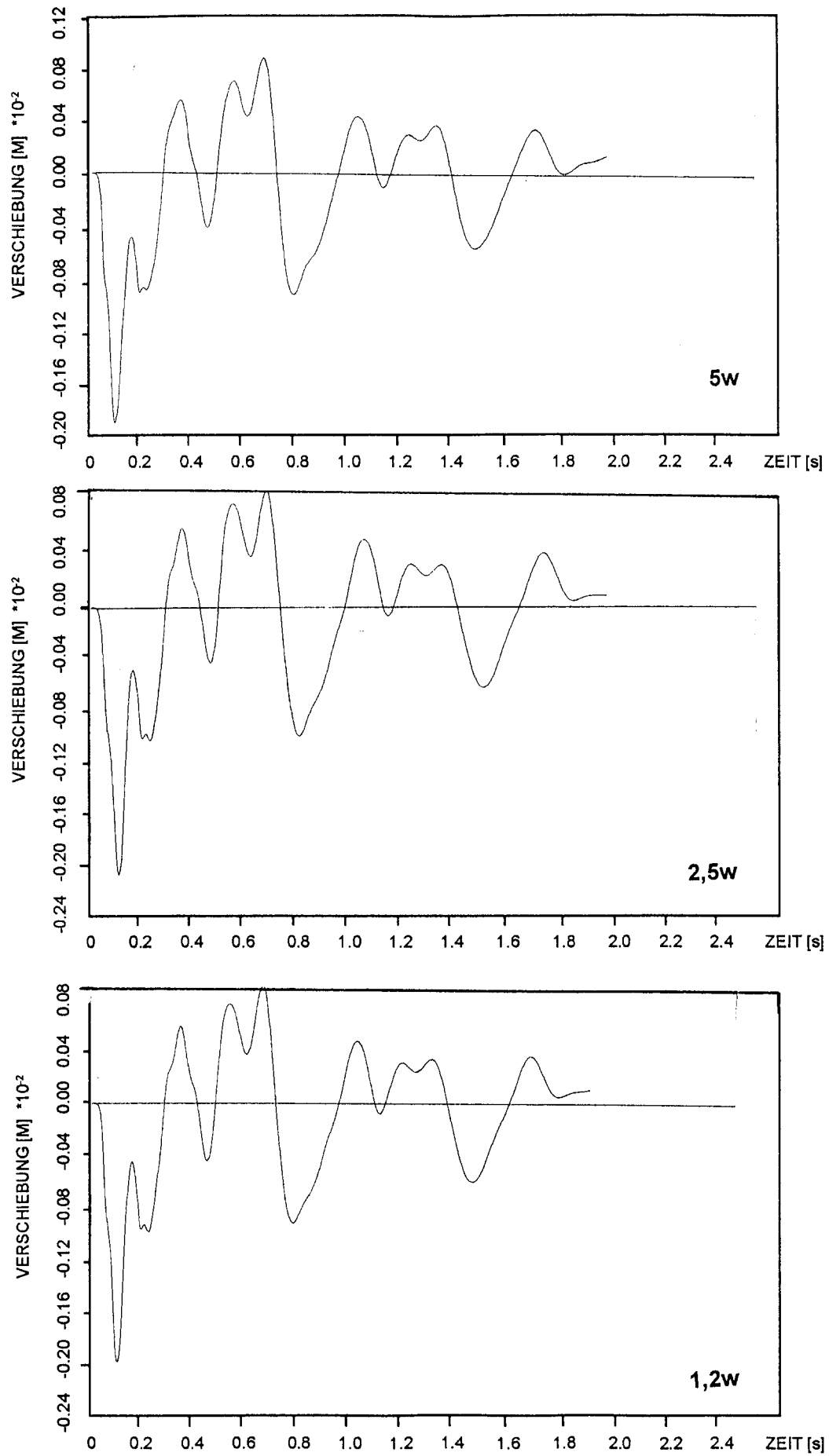


Fig. 3-2 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Verschiebungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 12, 23, 45

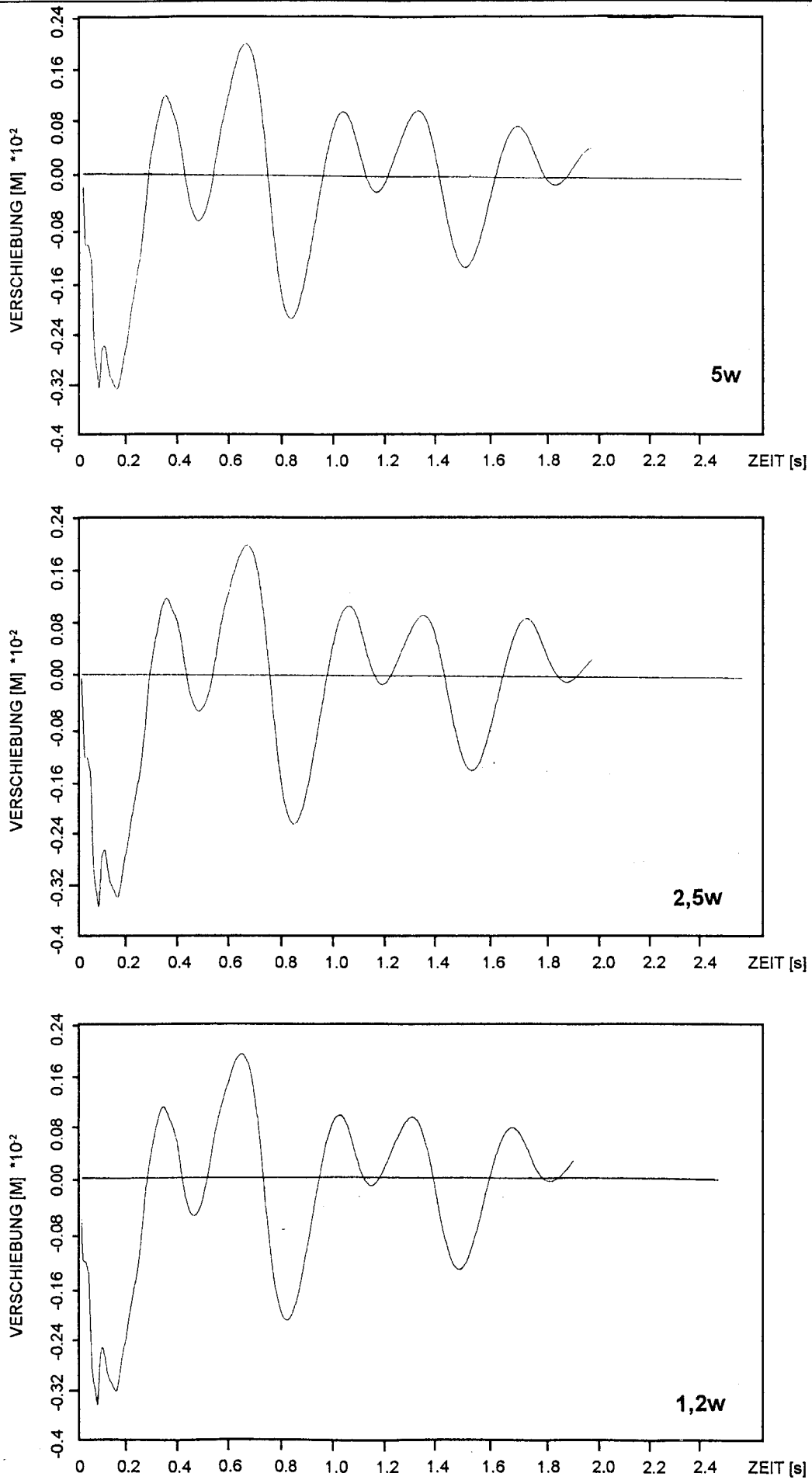


Fig. 3-3 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Verschiebungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 21, 41, 81

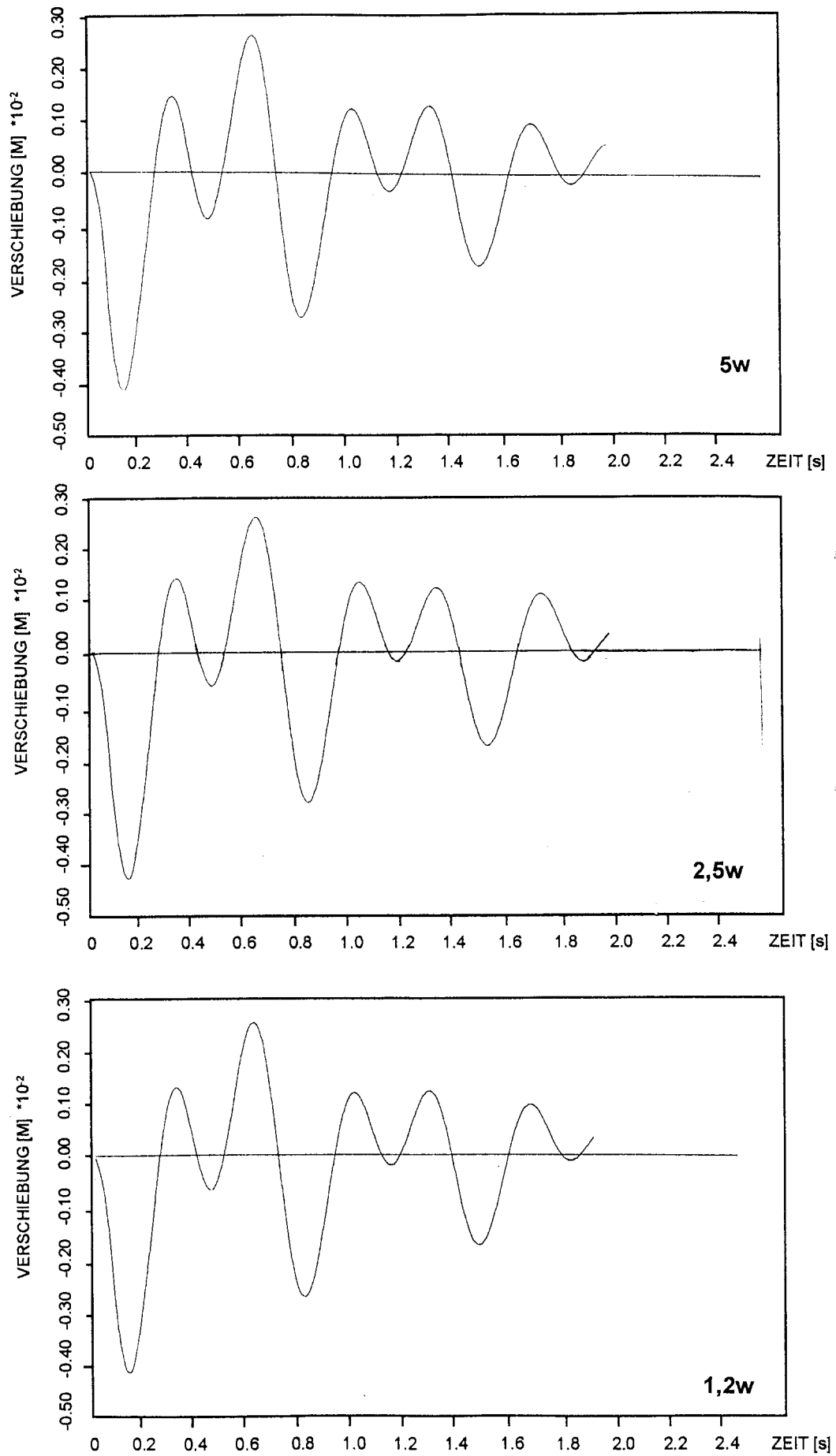


Fig. 3-4 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Verschiebungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 27, 53, 105

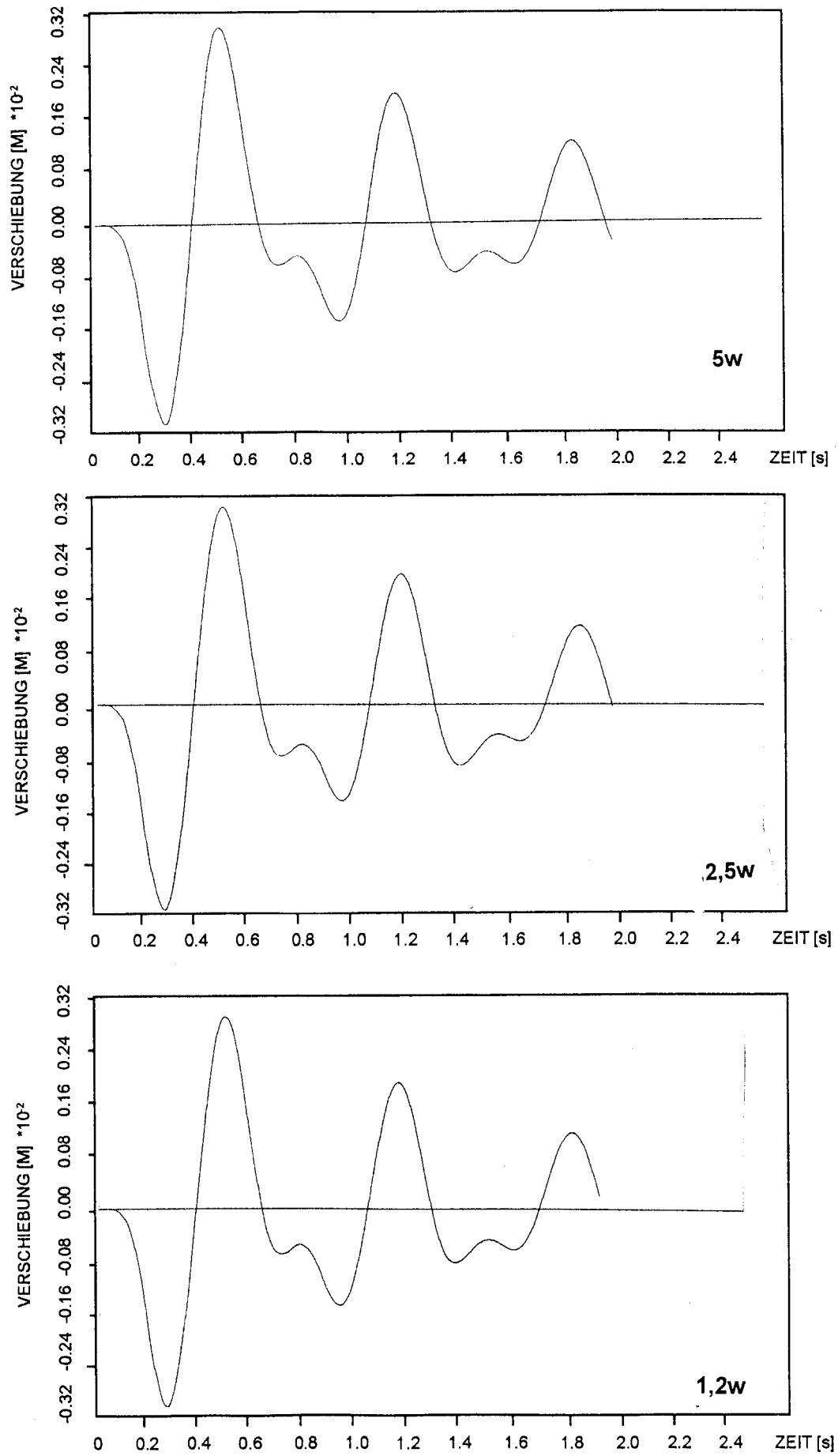


Fig. 3-5 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Verschiebungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 58, 117, 235

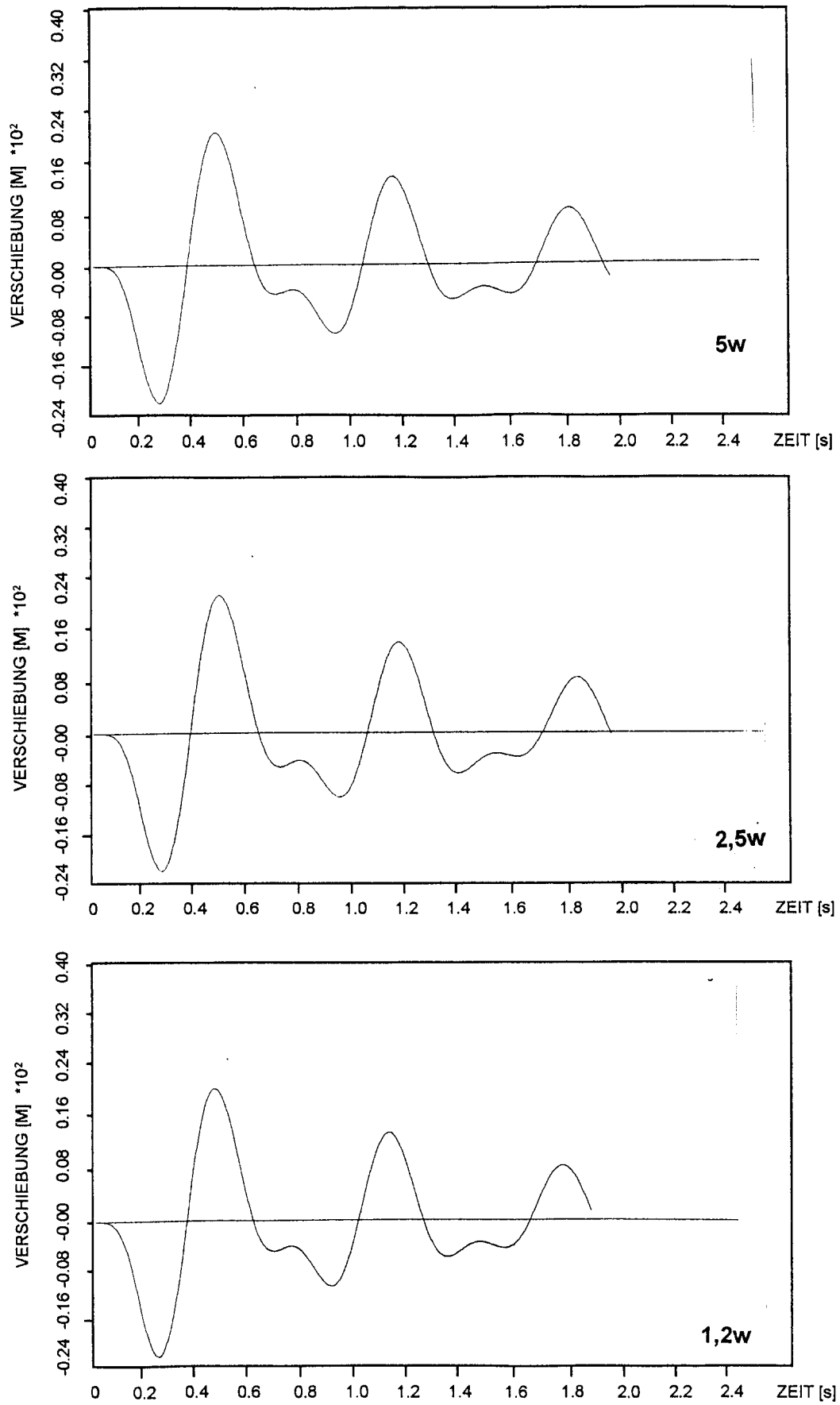


Fig. 3-6 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Verschiebungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 73, 186, 391

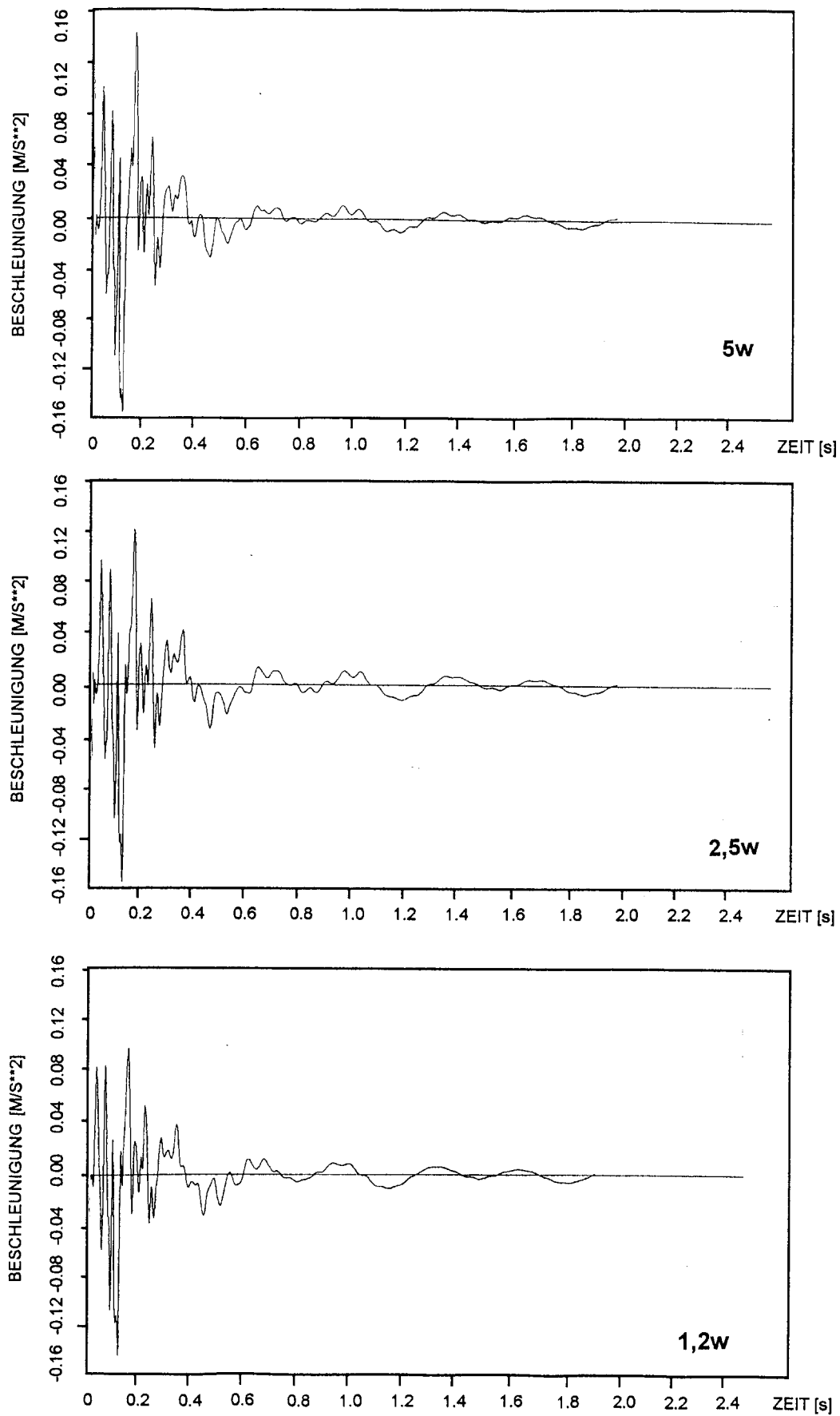


Fig. 3-7 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungszeit-
verläufe im charakteristischen Beobachtungspunkt 1

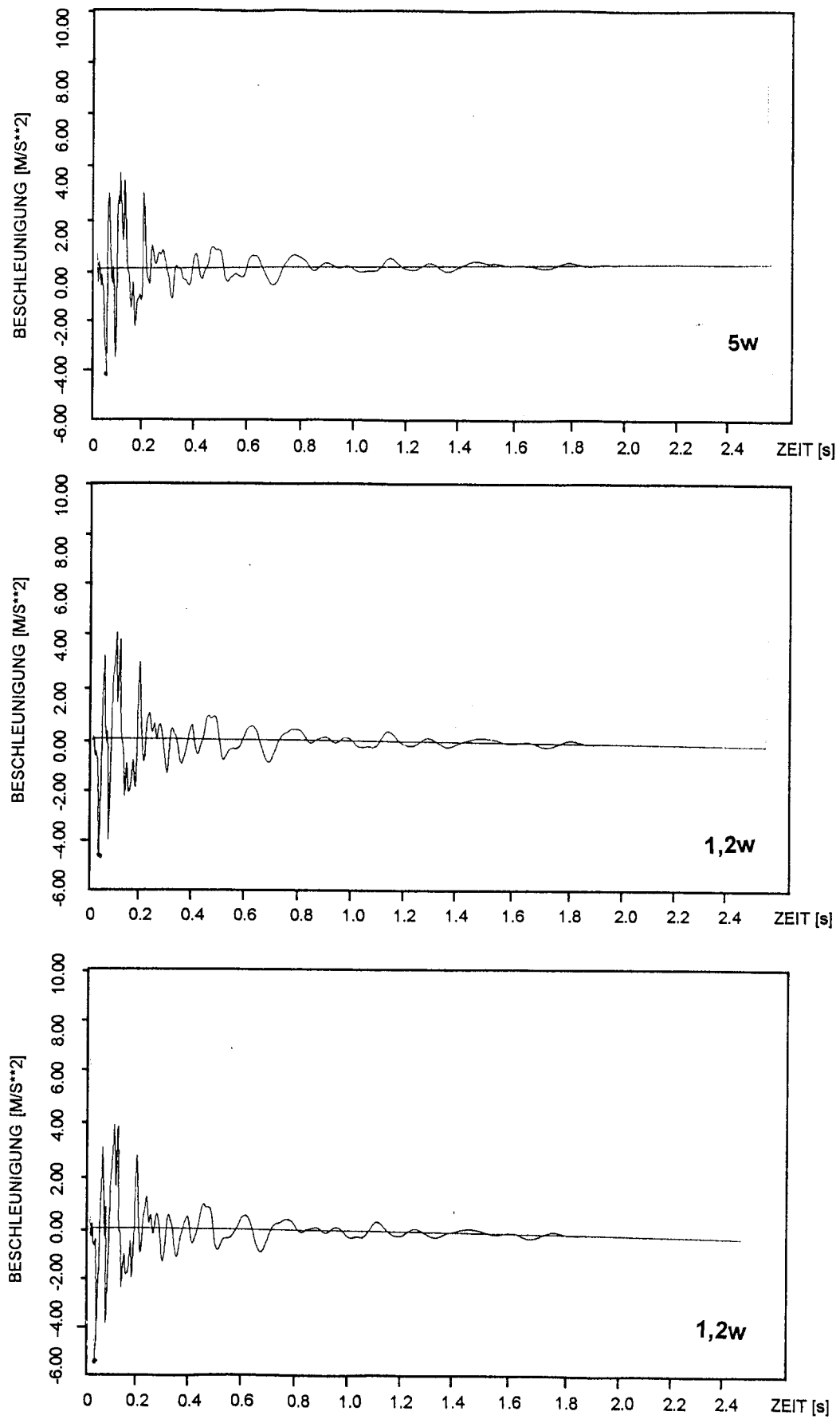


Fig. 3-8 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 12, 23, 45

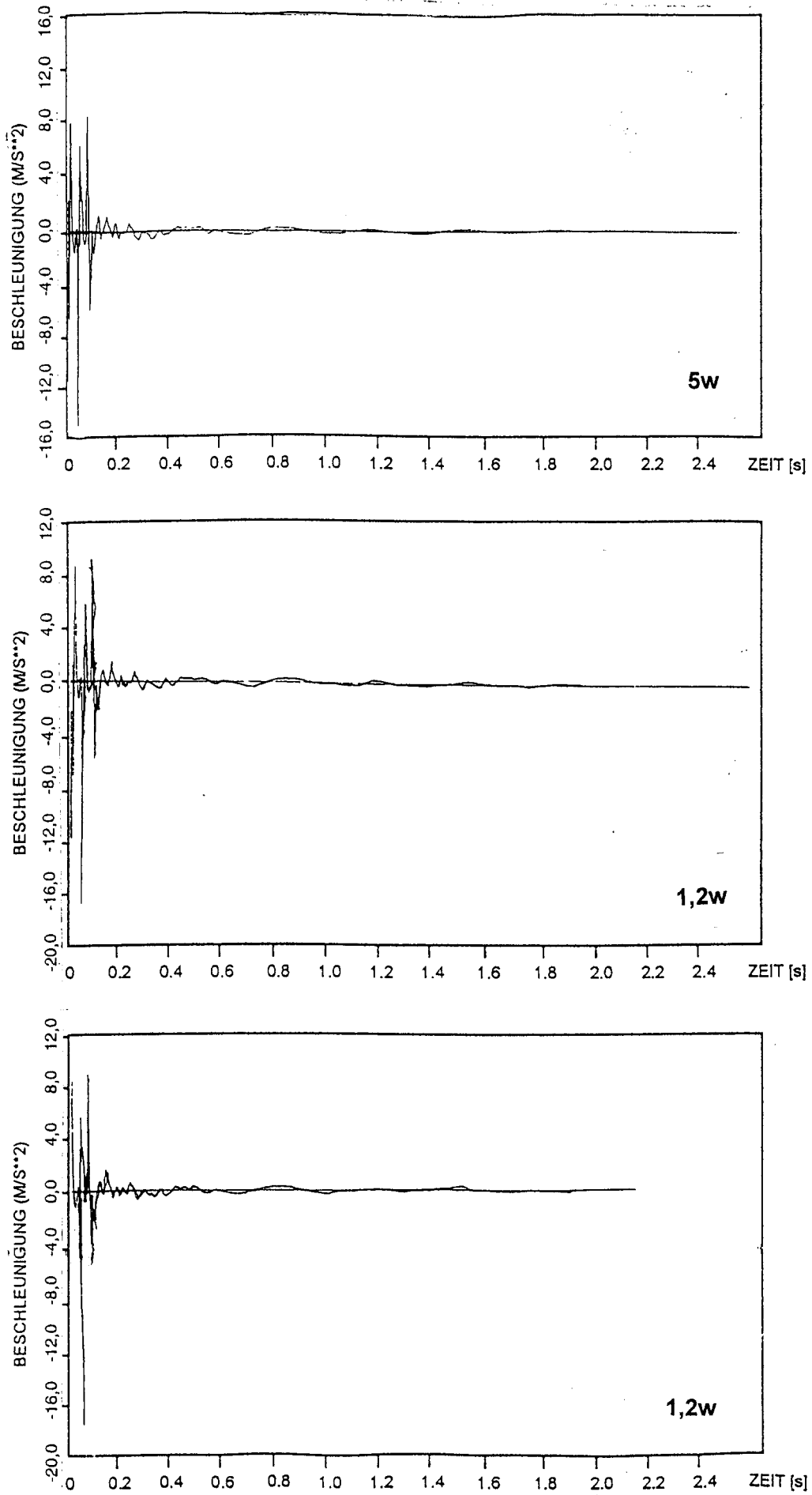


Fig. 3-9 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 21, 41, 81

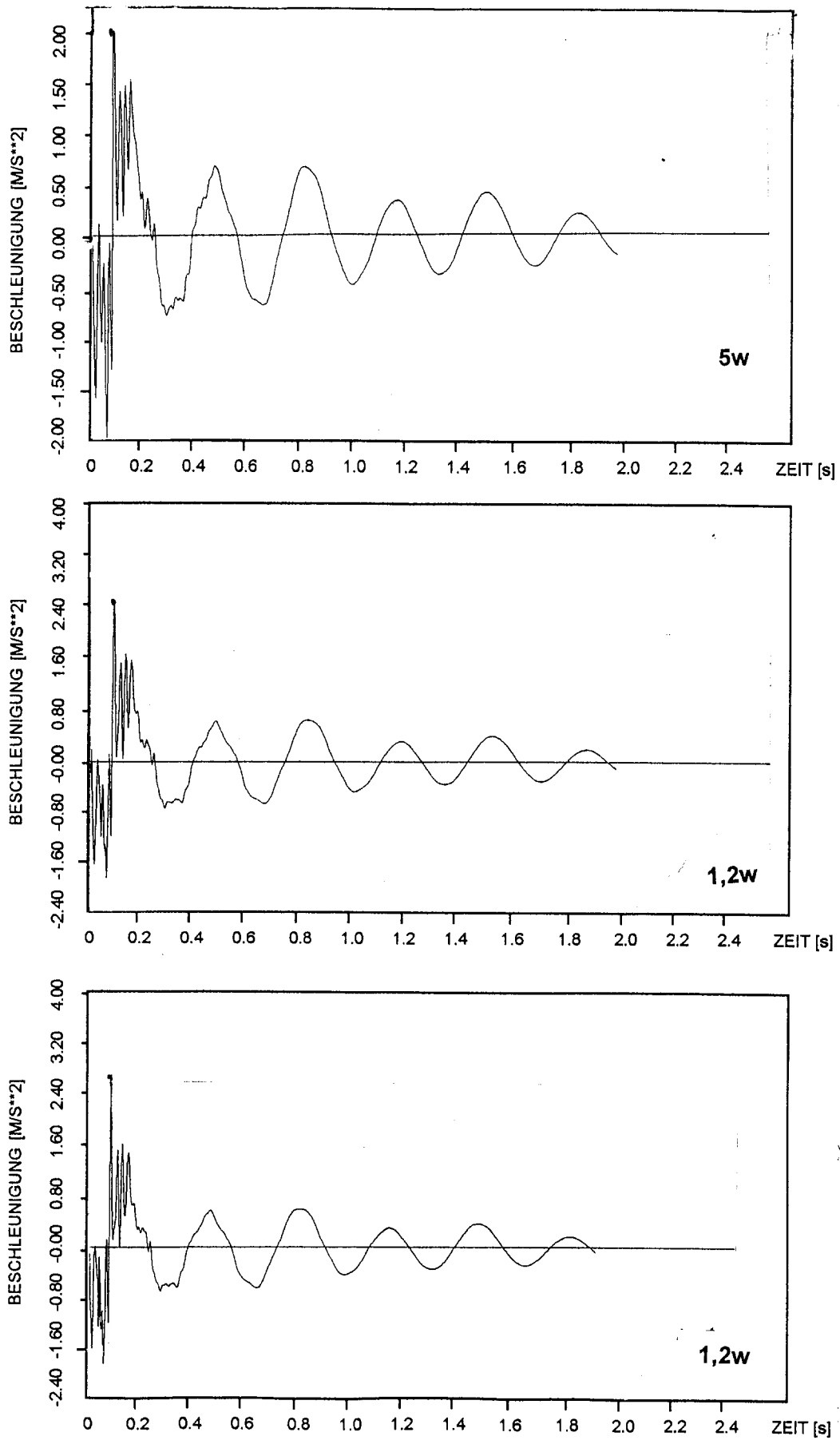


Fig. 3-10 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 27, 53, 105

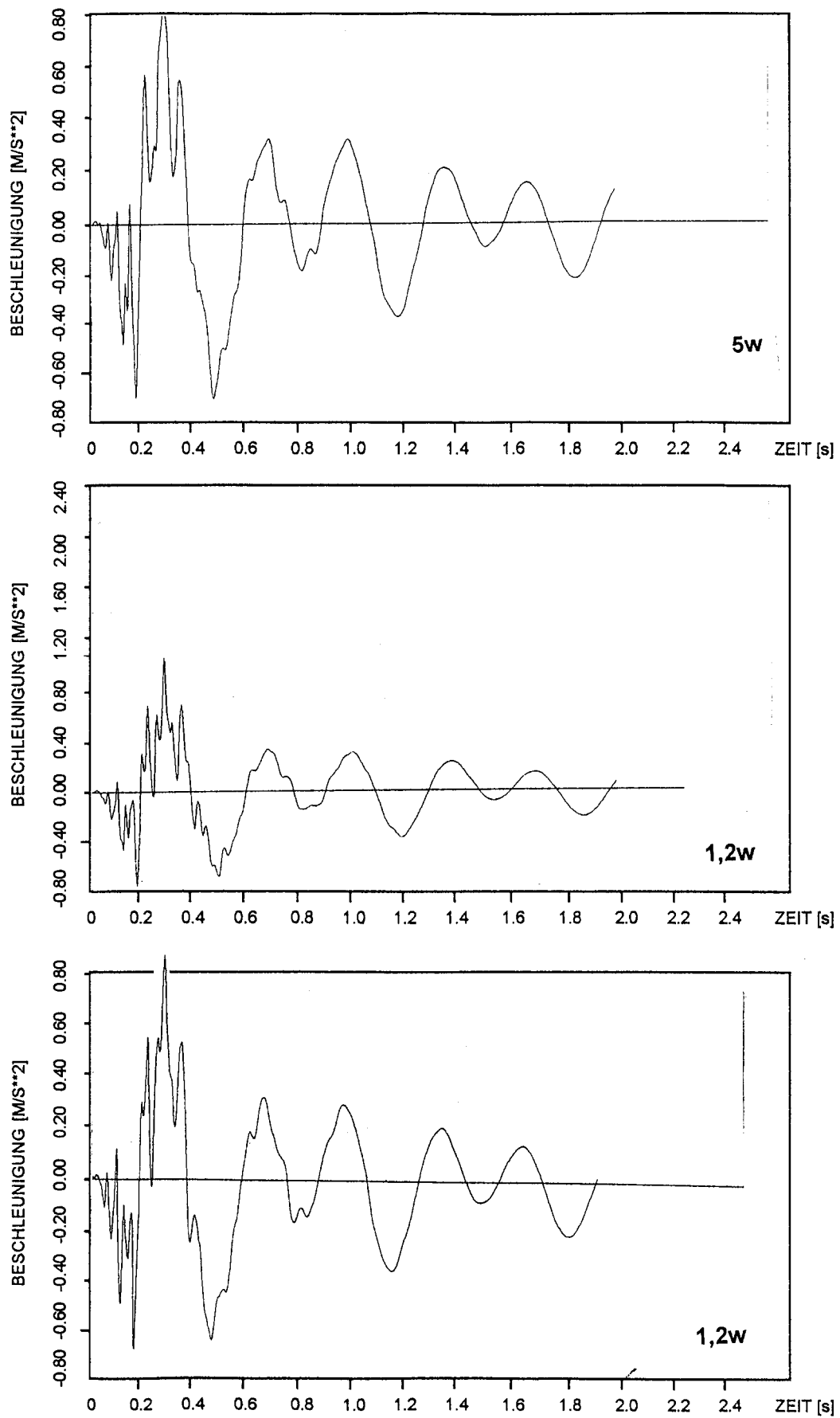


Fig. 3-11 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 58, 117, 235

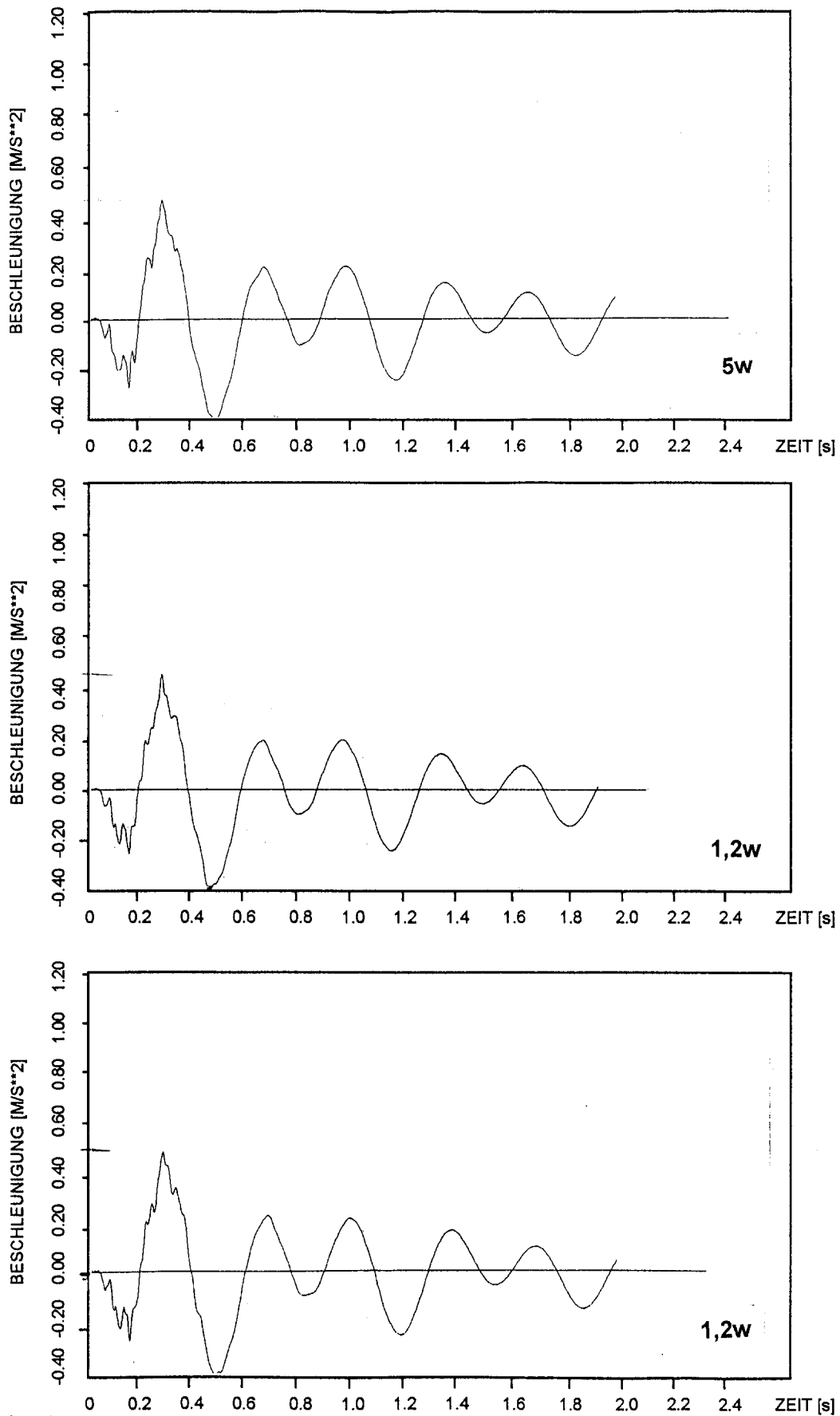


Fig. 3-12 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungszeit-
verläufe in charakteristischen Beobachtungspunkten 73, 186, 391

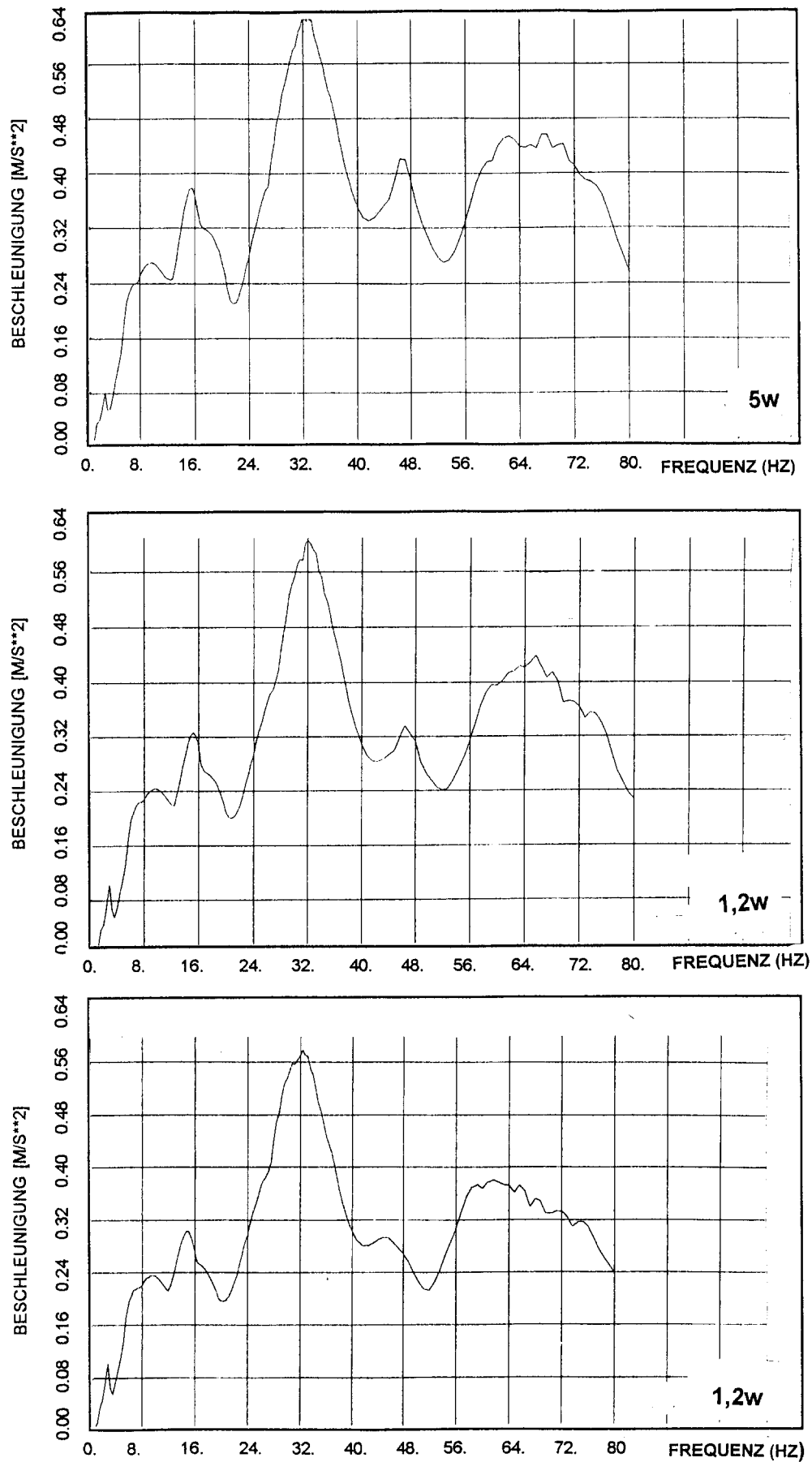


Fig. 3-13 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungs-
antwortspektren im charakteristischen Beobachtungspunkt 1

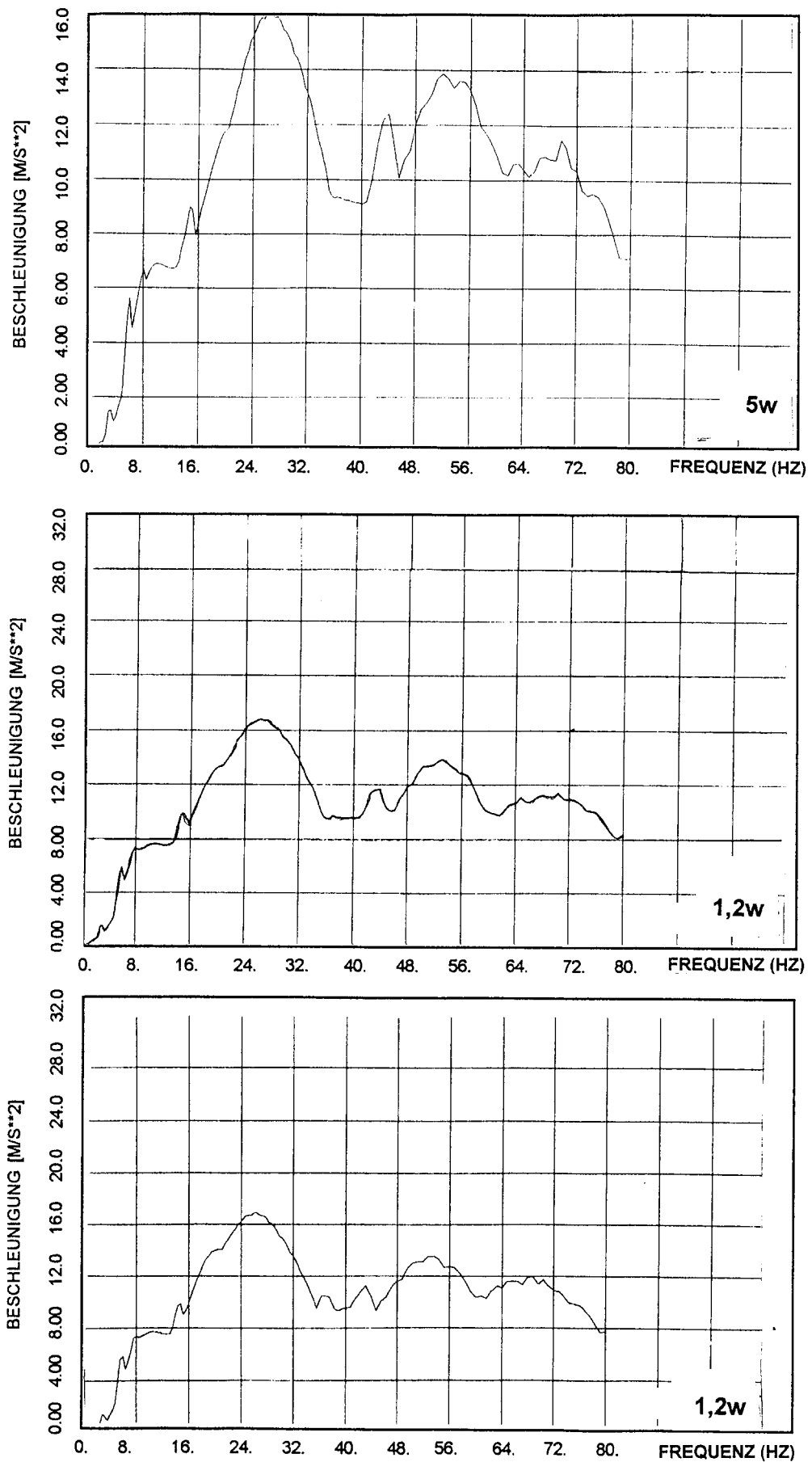


Fig. 3-14 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungs-
antwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten 12, 23, 45

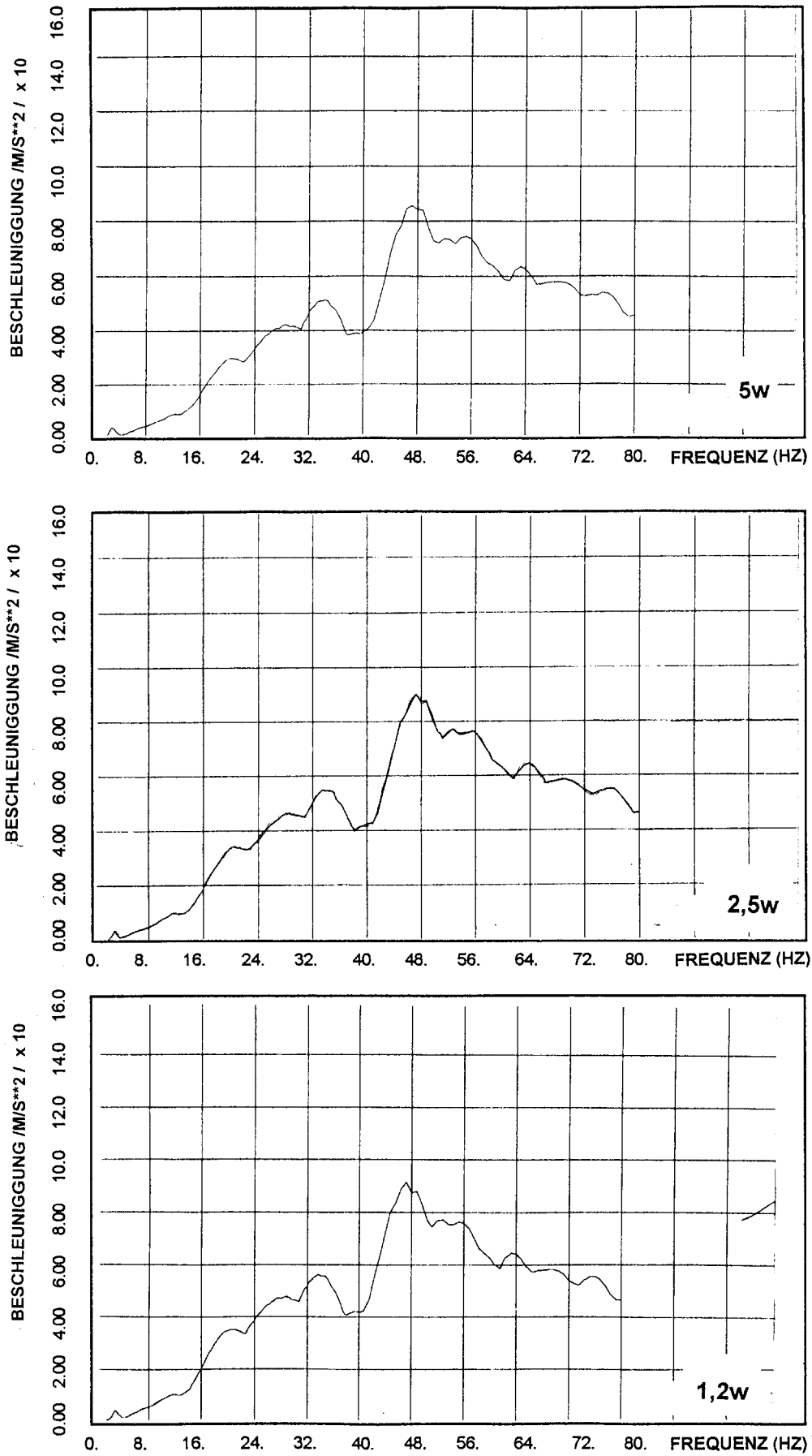


Fig. 3-15 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungs-
antwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten 21, 41, 81

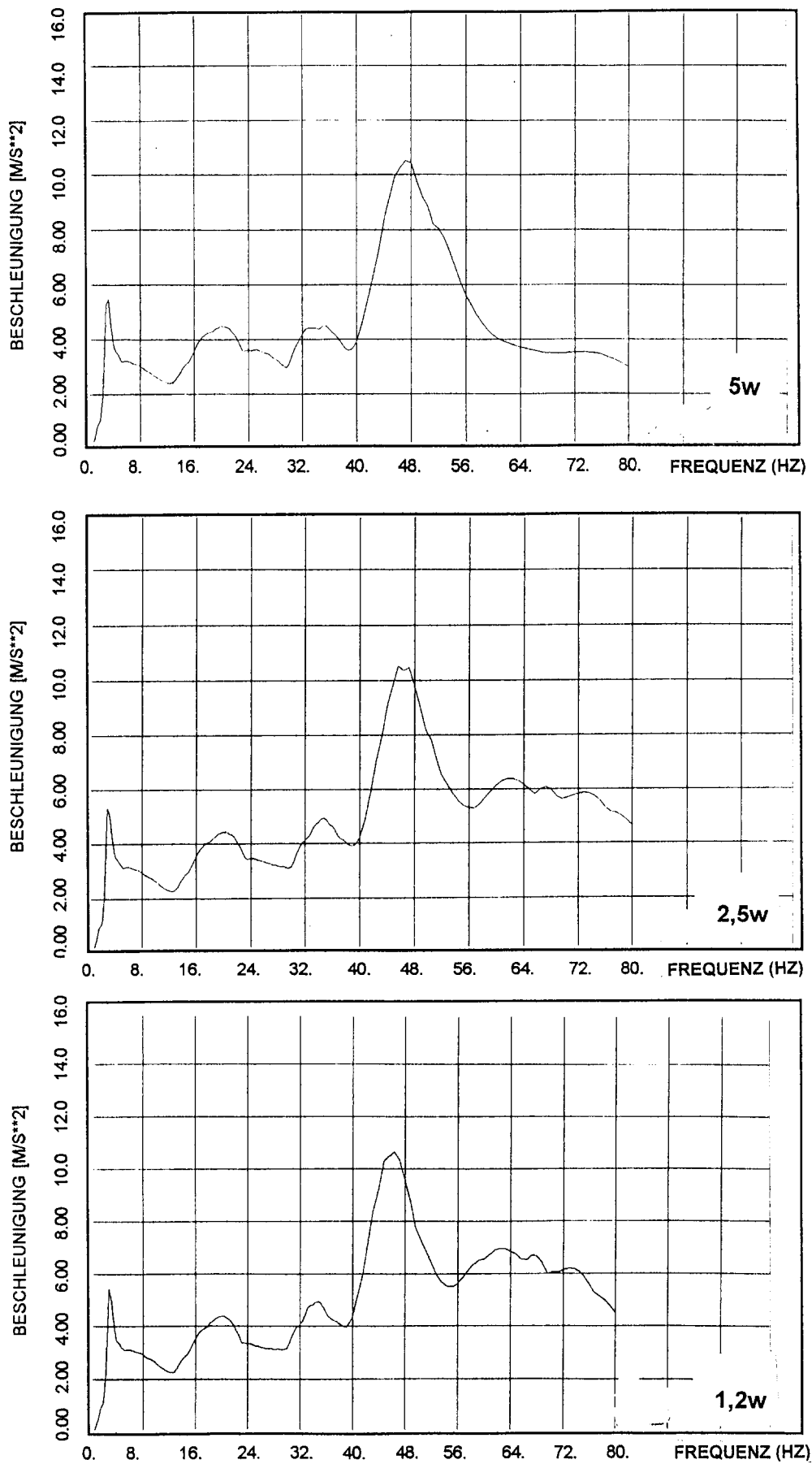


Fig. 3-16 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungs-
antwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten 27, 53, 105

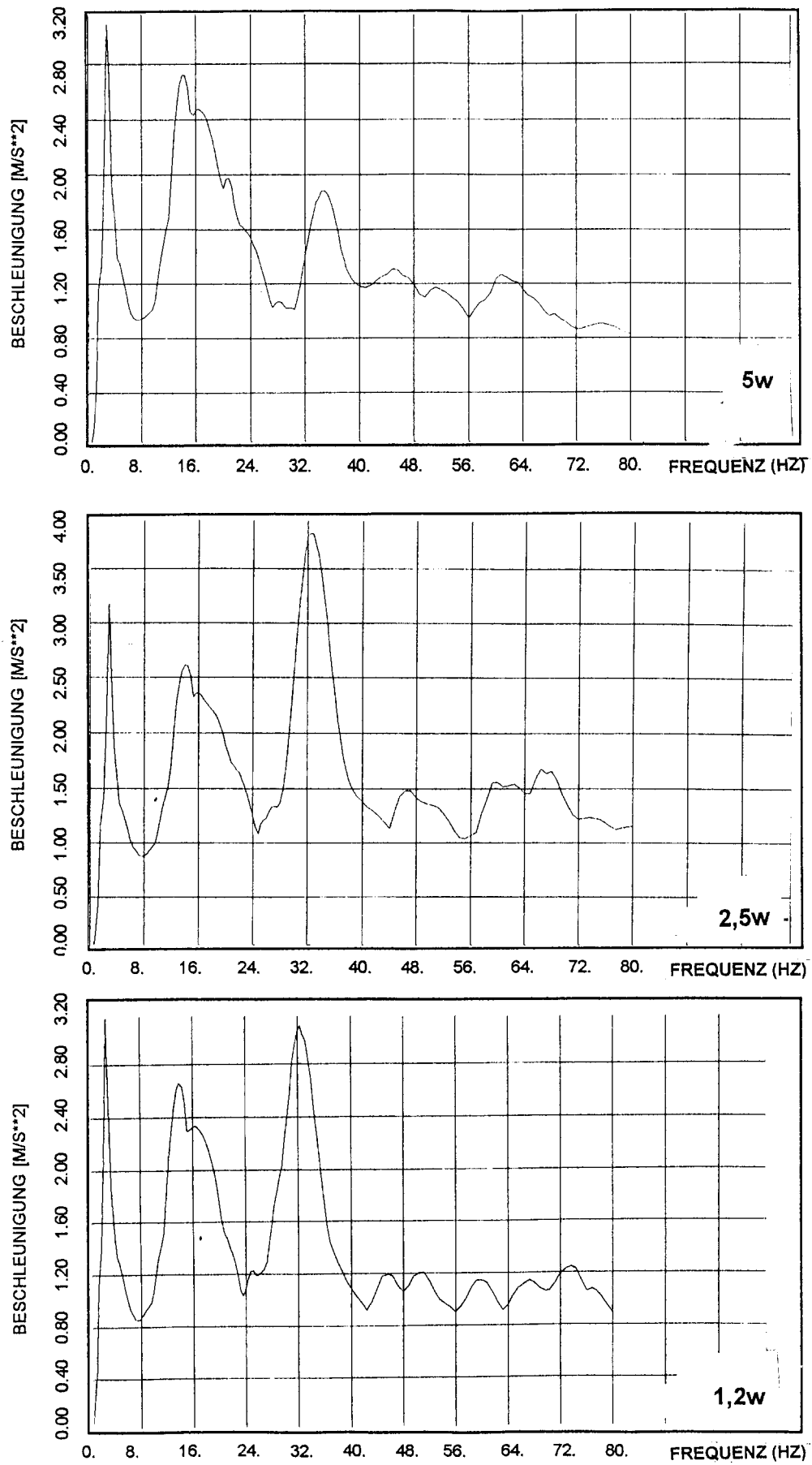


Fig. 3-17 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungs-
antwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten 58, 117, 235

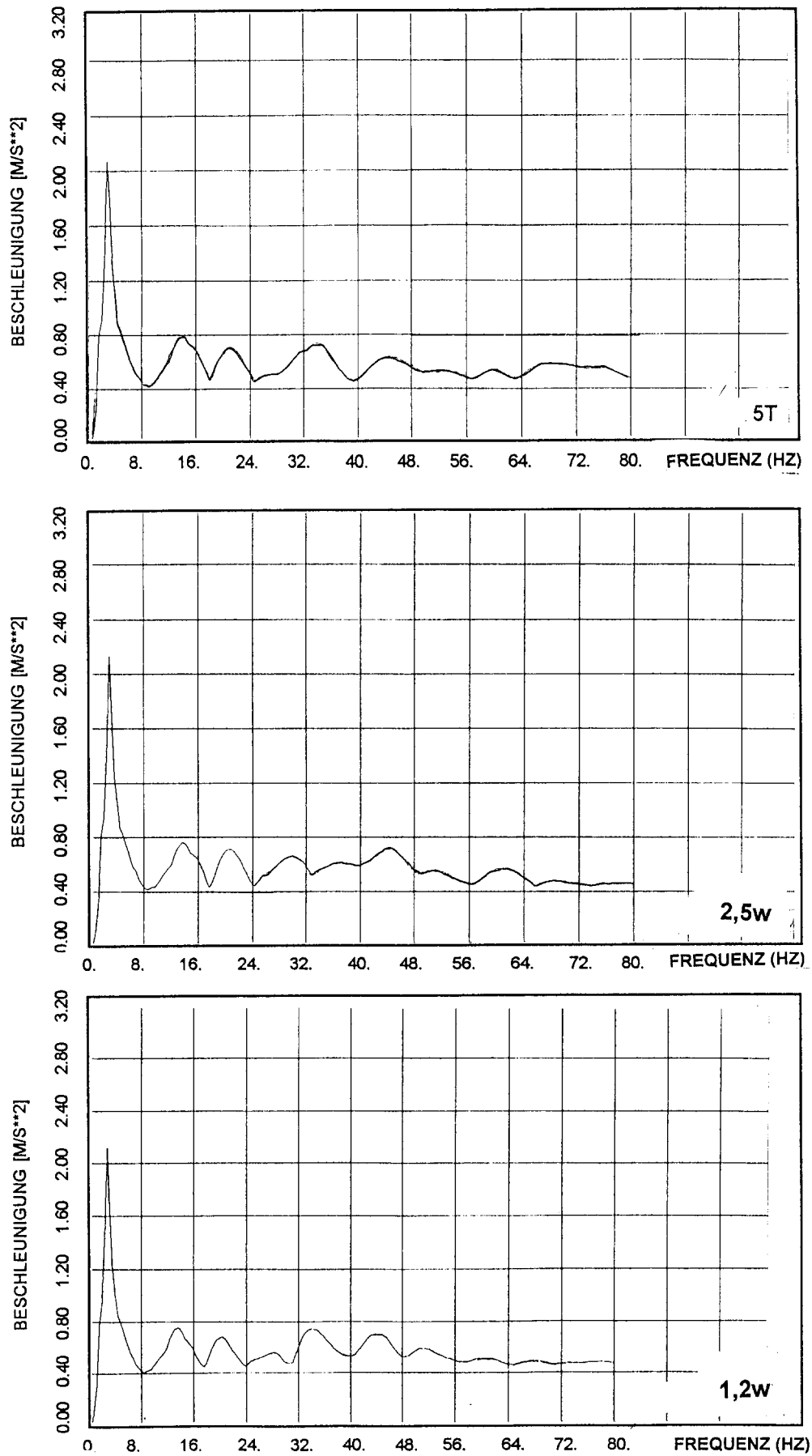


Fig. 3-18 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Beschleunigungs-
antwortspektren in charakteristischen Beobachtungspunkten 73, 186, 391

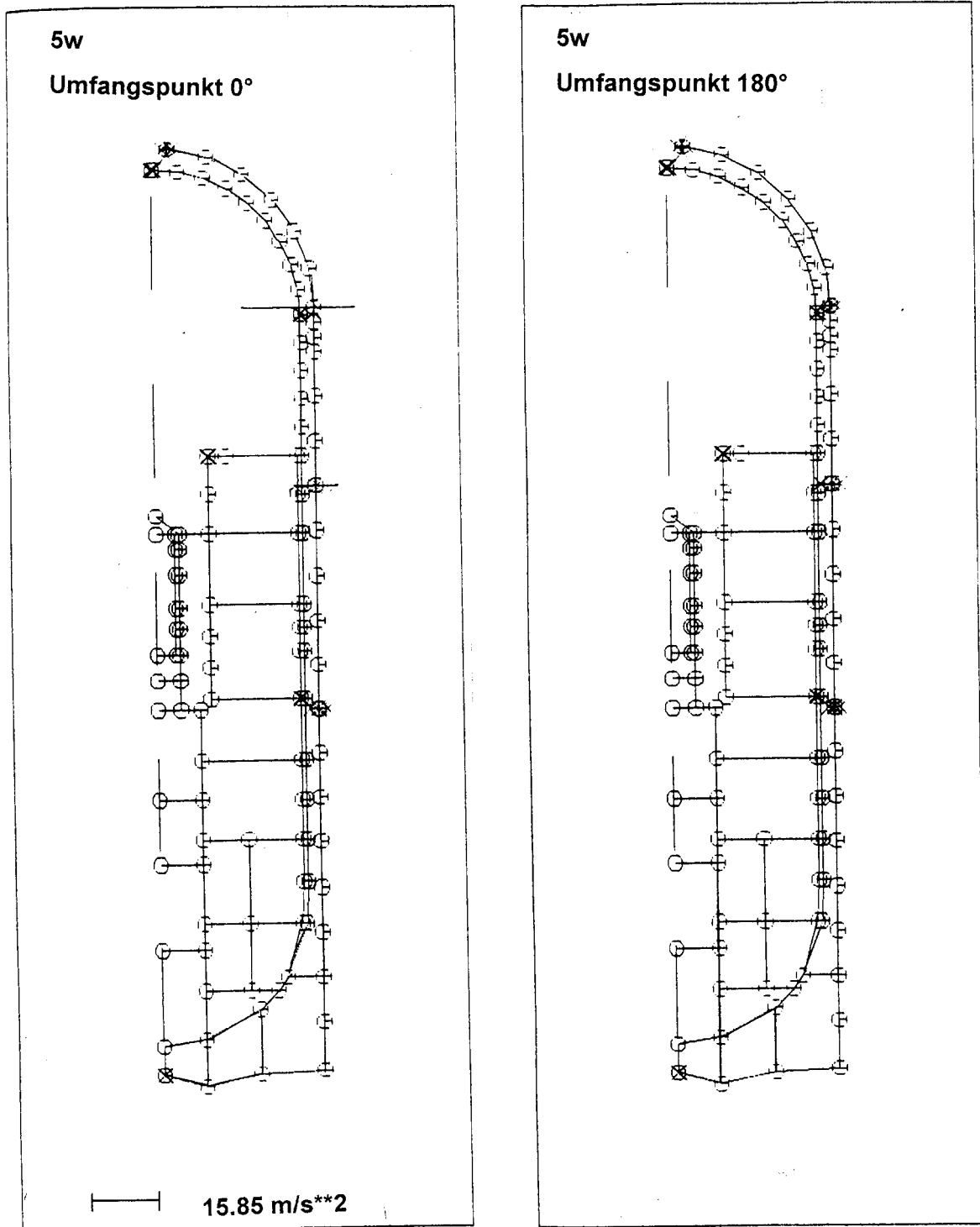


Fig. 3-19 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
 Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Maximalwerte der
 Beschleunigungen in charakteristischen Beobachtungspunkten
 • Grobe Diskretisierung (5w)

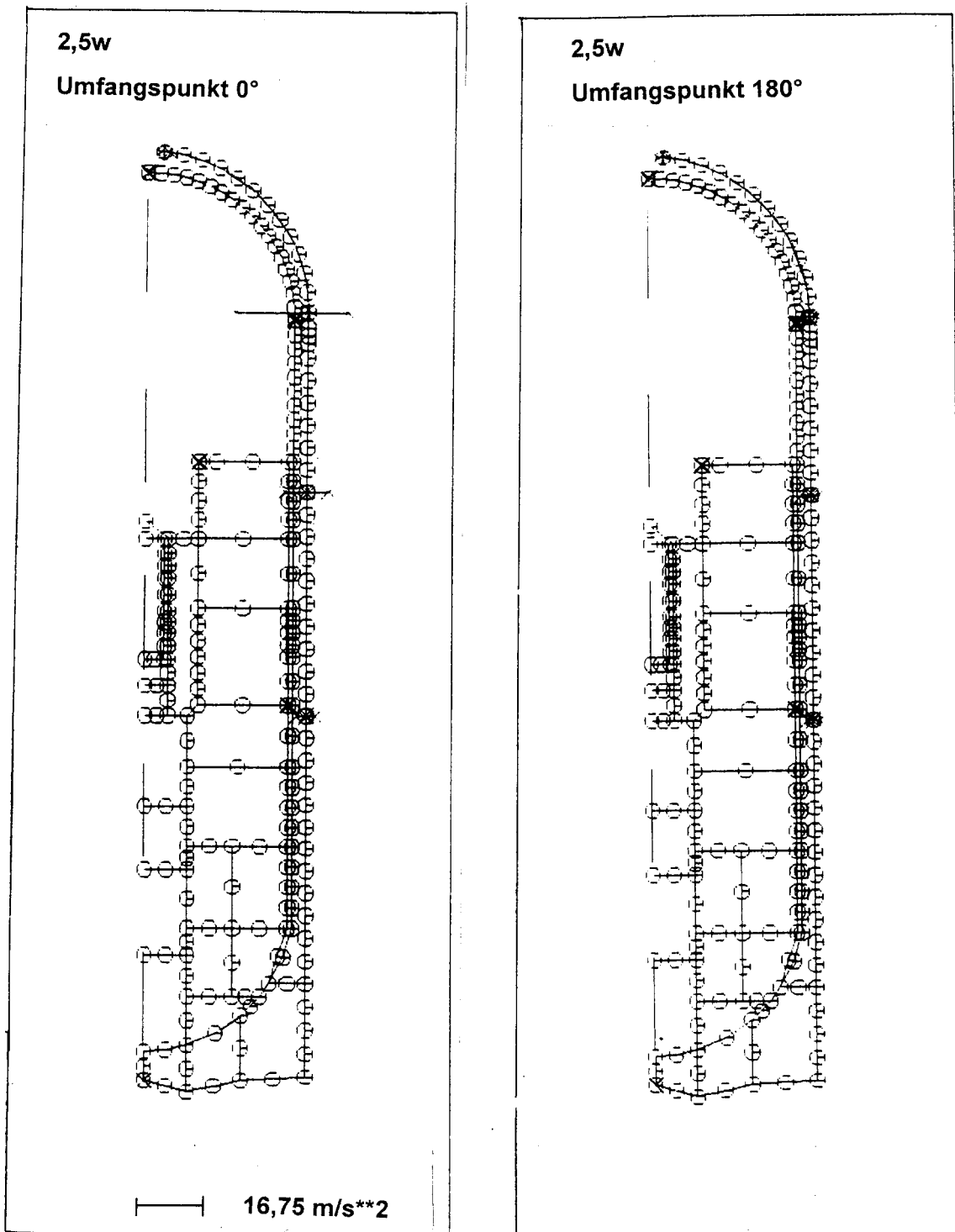


Fig. 3-20 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Maximalwerte der
Beschleunigungen in charakteristischen Beobachtungspunkten

- Mittelgrobe Diskretisierung (2,5w)

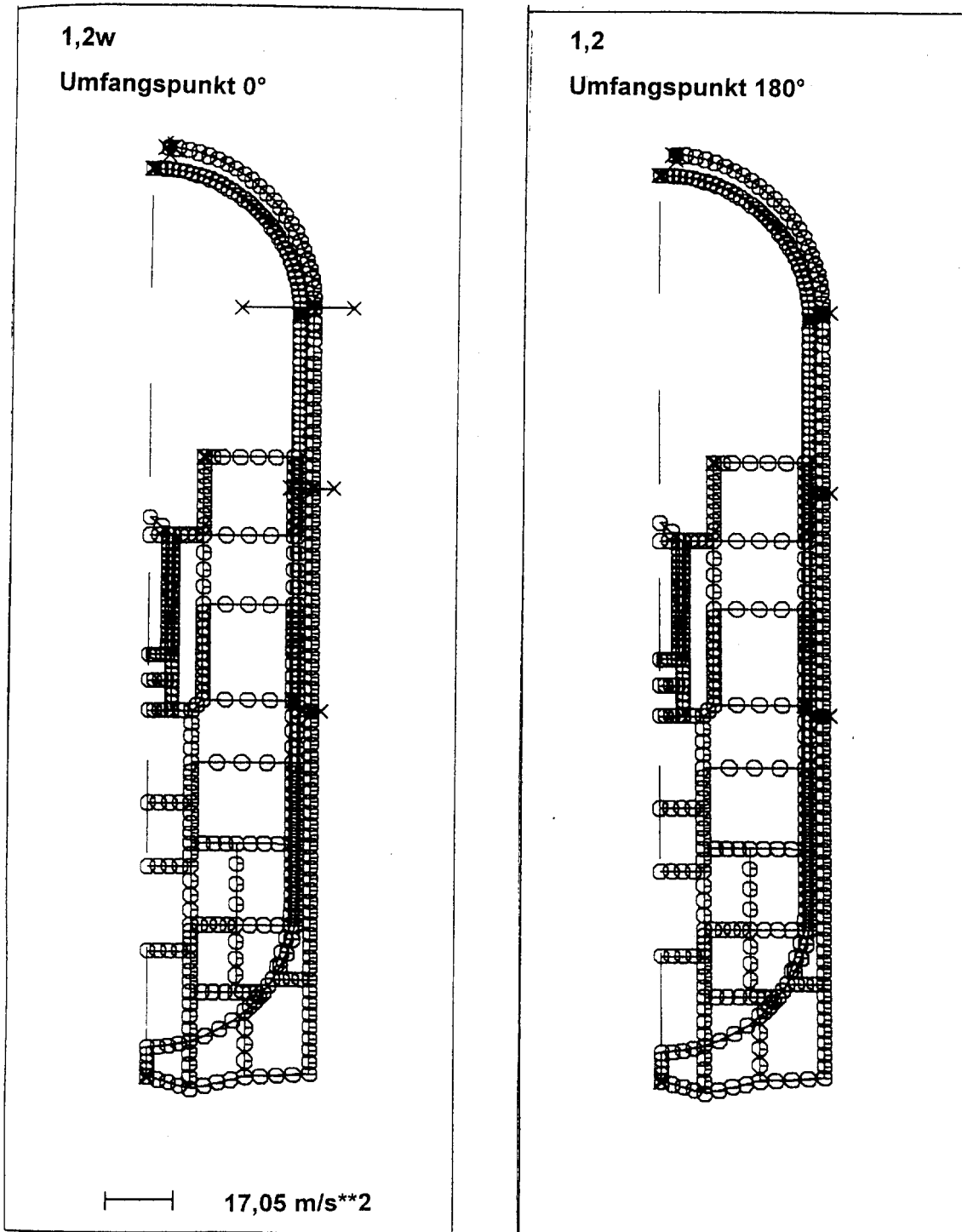


Fig. 3-20 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Einfluß des Diskretisierungsgrades auf die Maximalwerte der
Beschleunigungen in charakteristischen Beobachtungspunkten

- **Mittelgrobe Diskretisierung (1,2w)**

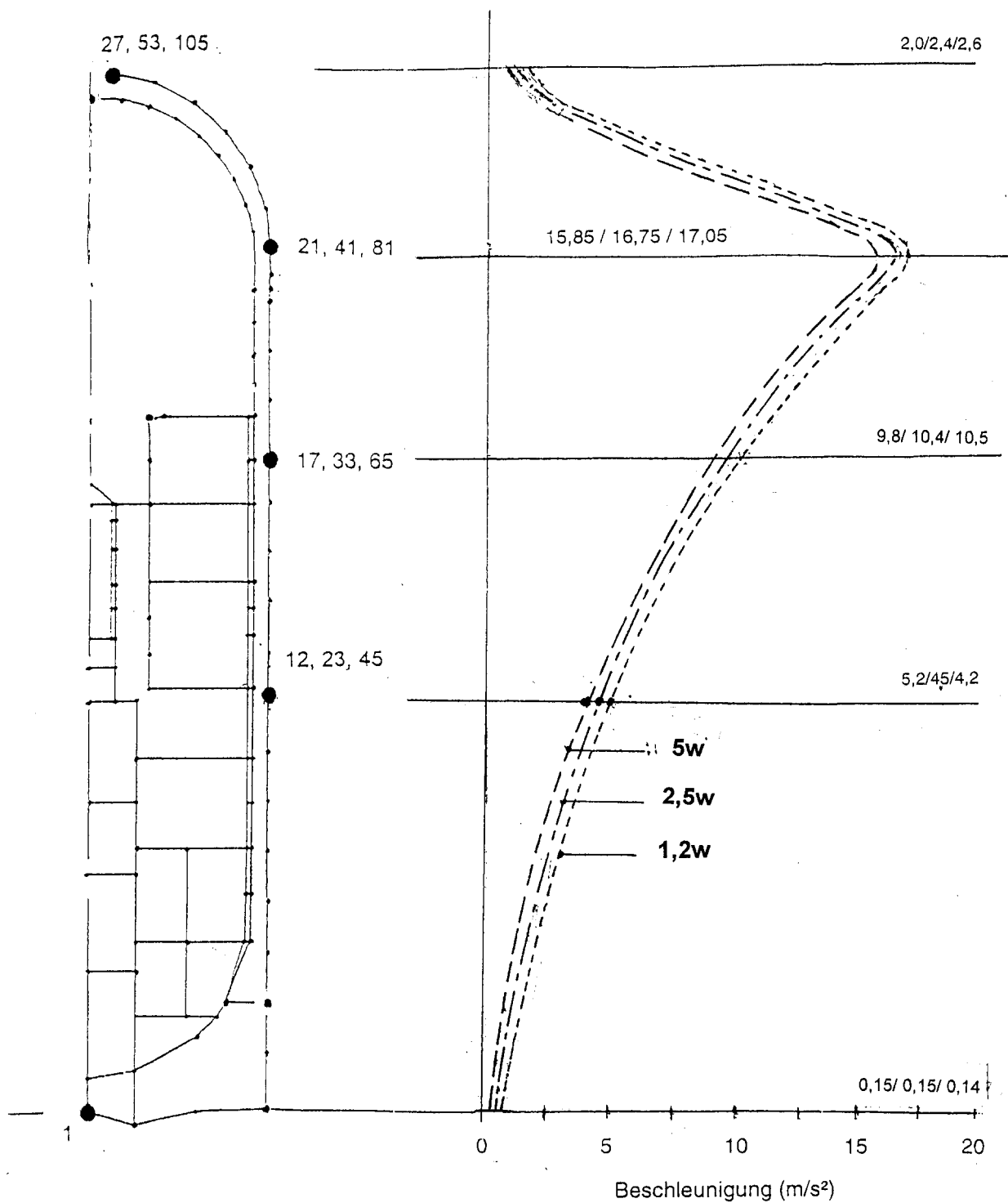


Fig. 3-22 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
 Vergleich berechneter Starrkörperbeschleunigungen an den Außenstrukturen
 bei verschiedenen Diskretisierungen

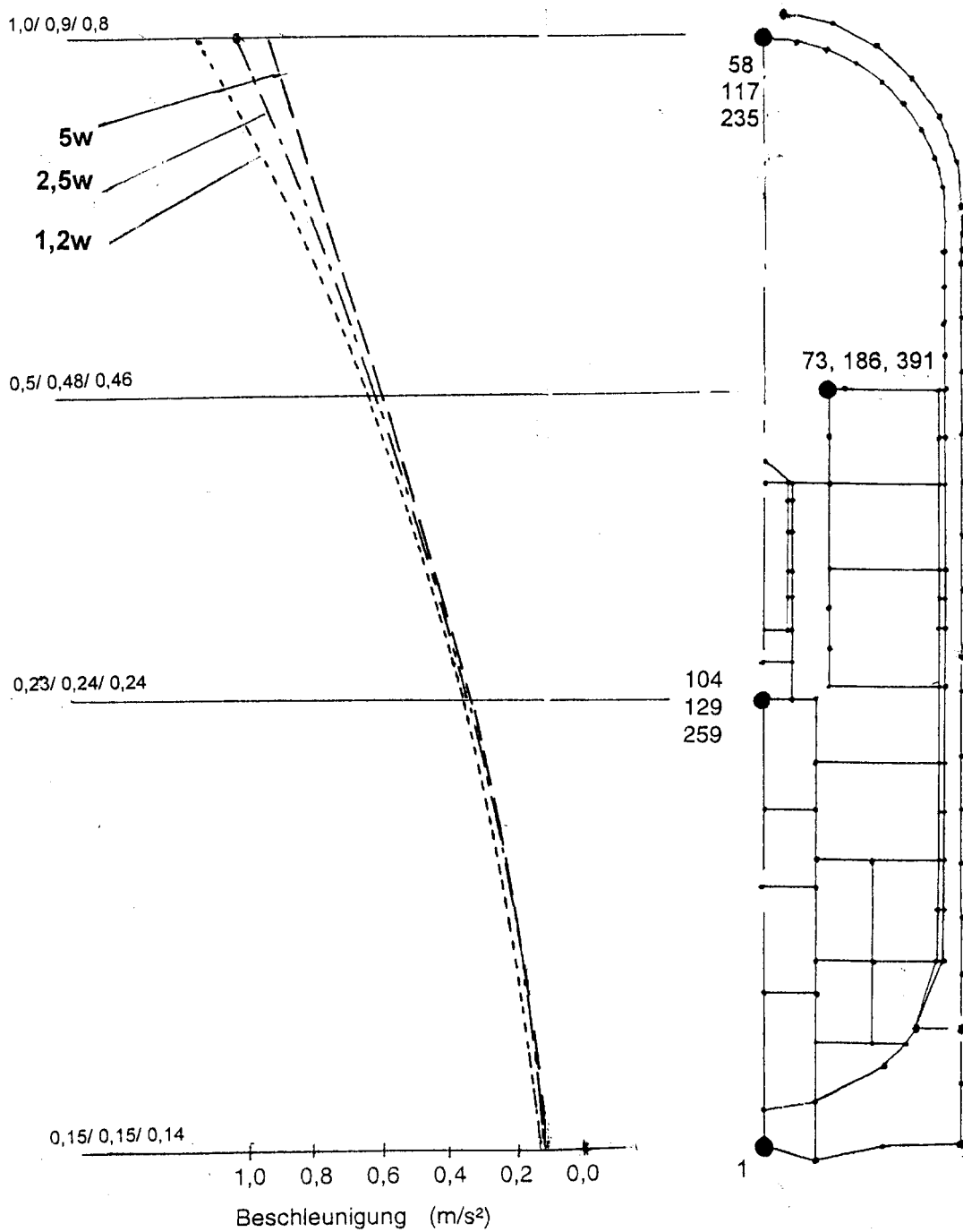


Fig. 3-23 Erschütterungsübertragungsvorgänge im HDR-Bauwerk
Vergleich berechneter Starrkörperbeschleunigungen an den Innenstrukturen
bei verschiedenen Diskretisierungen

Zwischenblatt

Teil 2

**Eignungsnachweis von FE-Verfahren zur Simulation von
Erschütterungen in Bauwerken bei Stoßbelastungen anhand von
Messungen am Reaktorgebäude des Heißdampfreaktors (HDR) Kahl**

Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsaufbau und -Parameter	A3-051
1.1	Versuchseinrichtung, Versuchsparameter, Messstellen	A3-052
2	Charakteristische Ergebnisse	A3-061
2.1	Kraft-Zeitverläufe	
2.2	Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe	A3-062
2.3	Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungsspektren	A3-099
2.4	Vergleich der Starrkörperbeschleunigungen im Meridianschnitt für die Außen- und Innenstrukturen	A3-102

1

Versuchsaufbau-und Parameter

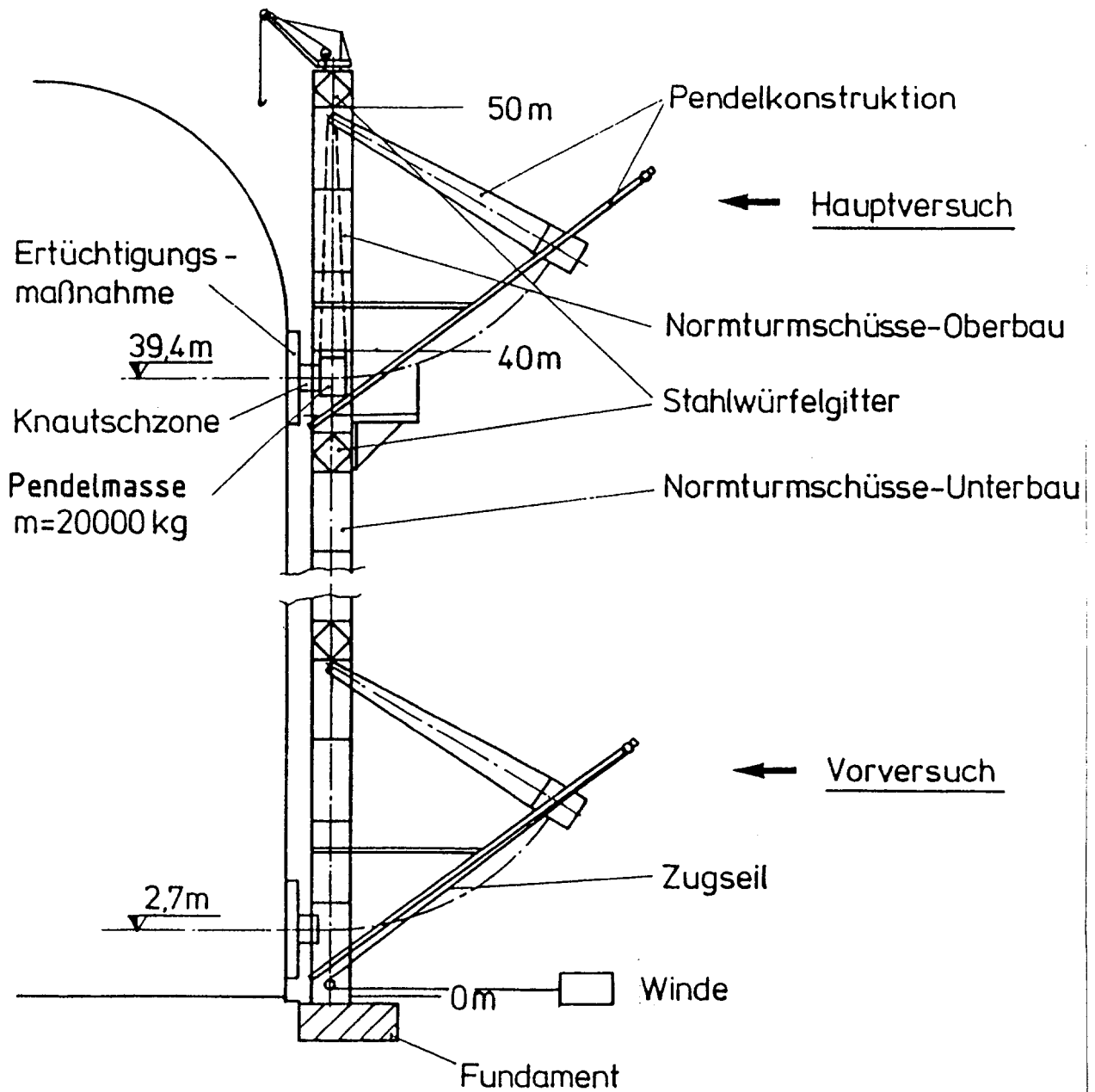


Fig. 1.1 Stoßversuchseinrichtungen am HDR (Prinzipiskizze)

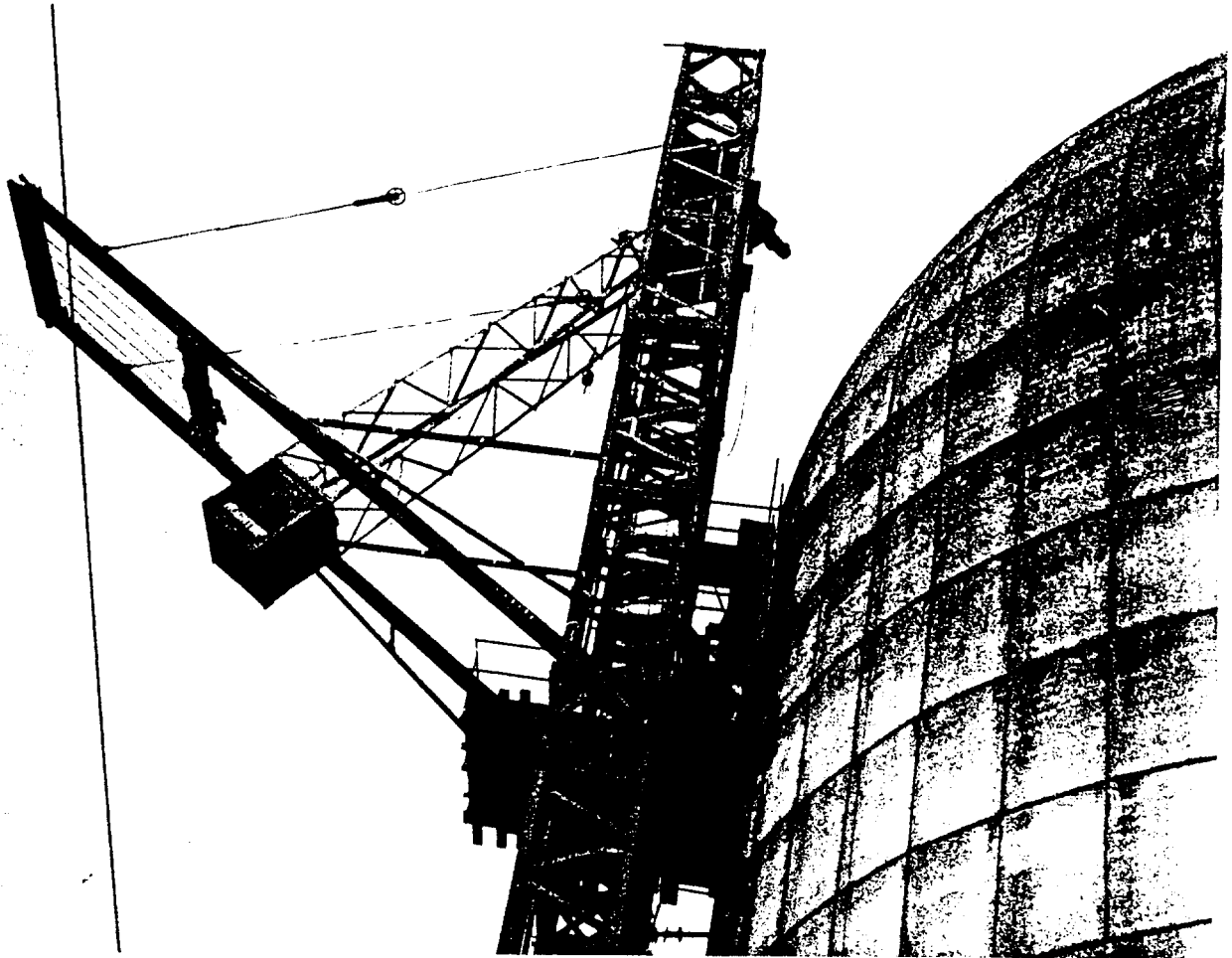
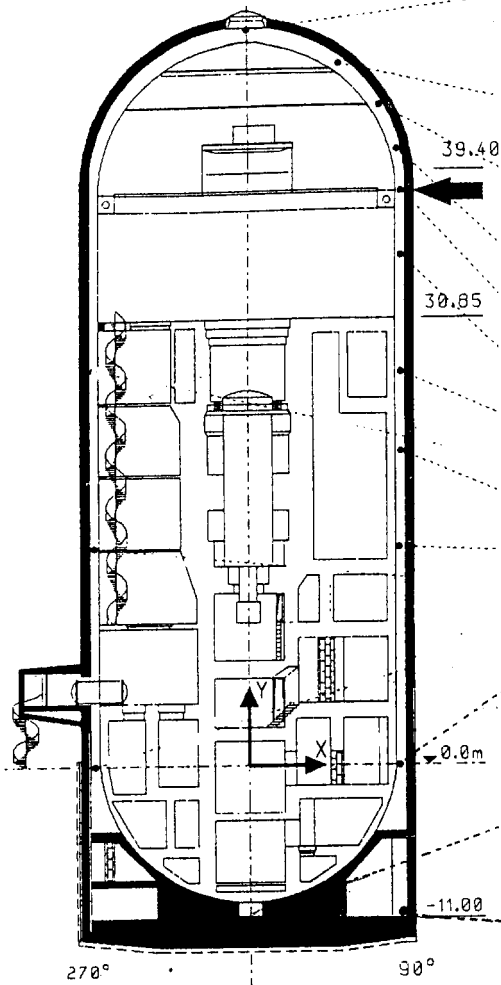
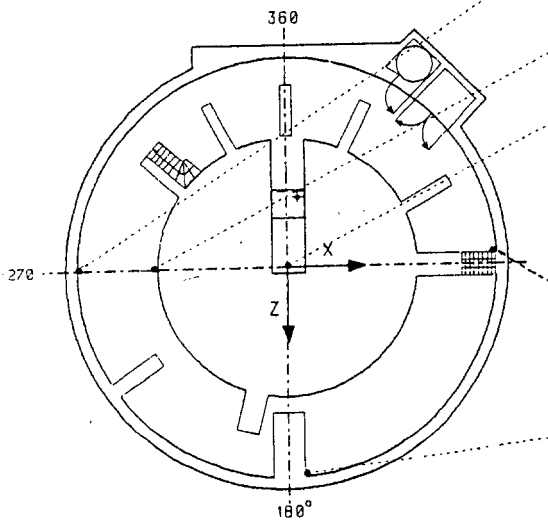


Fig. 1.2 Versuchsaufbau (Hauptversuch)

Reaktorgebäude (RGE) HDR



-11,00 m



Ref.- pkt. RGE	Meßstellenbe- zeichnung	Geber- art	Koordinaten [mm]			Knoten im Model		
			x	y	z <i>cm</i>	5T	2,5T	1,2T
187X Y Z	AS 3910 AS 3912 AS 3911	BA BA BA	0	5100	0	27	53	105
182X Y	AS 3913 AS 3914	BA BA	750	4800	0	25		
180X Y	AS 3915 AS 3916	BA BA	900	4560	0	23		
178X	AS 3917	BA	1040	4300	0	22		
173X	AS 3919	BA	1060	3940	0	21	41	81
170X	AS 3920	BA	1060	3620	0	19		
168 X	AS 3923	BA	1060	2930	0	17		
153X	AS 3924	BA	1060	2450	0	15		
147X	AS 3925	BA	1060	1450	0	12	23	45
129X	AS 3927	BA	1060	0	0	8		
201 X Y Z	AS 0901 AS 0902 AS 0903	BA BA BA	0	-1100	0	1	1	1
199 X Y	AS 0102 AS 0101	BA						
197X Y	AS 0600 AS 0601	BA BA	-1060	-1100	0			
196Y	AS 0603	BA	-650	-1100	0			
201X Y Z	AS 0901 AS 0902 AS 0903	BA BA BA	0	-1100	0	1	1	1
201A B C	AS 0911 AS 0912 AS 0913	VA VA VA						
199X Y	AS 0102 AS 0101	BA BA	1060	-1100	-50			
203Y	AS 0802	BA	0	-1100	1060			

Fig. 1.3 Anordnung der Meßstellen (T42-16)
Außenstrukturen

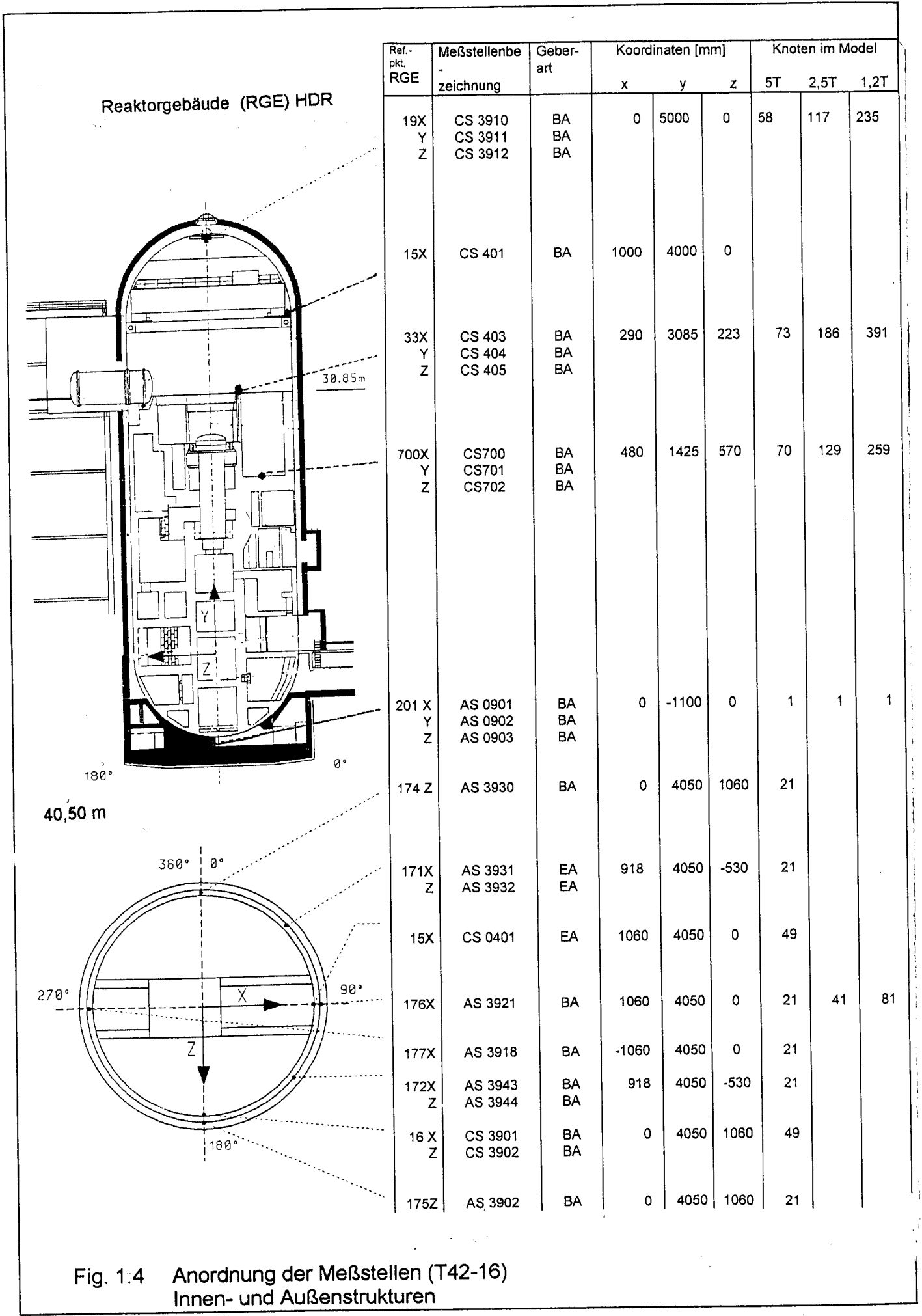


Fig. 1:4 Anordnung der Meßstellen (T42-16) Innen- und Außenstrukturen

Versuchs-Nr.	Impuls [kN sec]	Kraftstoß [kN sec]	Stoßzahl	Fallhöhe [m]	Auftreffgeschwindigkeit [m/sec]	Max. Kraft [kN]	Knaucholementtyp	Sicherheitsfaktor $\frac{\text{Fallhöhe Block}}{\text{Fallhöhe}}$	Bemerkung
T 42.11	siehe T 42.01						T 1	-	Vorversuche
T 42.12	95	110	0,86	1,15	4,75	1680	T 4	Versuch mit 1/4 Last	
T 42.13	138	160	0,86	2,43	6,9	2450	T 3	Versuch mit 1/4 Last Form der Kraft-Zeitverläufe	
T 42.14	138	160	0,86	2,43	6,9	2450	T 3	Versuch mit 1/4 Last Reproducierbarkeit von T42.12	
T 42.15	138	160	0,86	2,43	6,9	1700	T 5	Versuch mit 1/4 Last Form des Zeitverl.	
T 42.16	190	220	0,86	4,6	9,5	3400	T 2	Hauptversuch Erfassung der Lastverteilung	
T 42.17	190	220	0,86	4,6	9,5	4000	T 2 V	Versuch mit max. Last und kurzer Stoßzeit	
T 42.12	97	108	0,9	1,20	4,85	1700	T 4	1,17	
T 42.13	139	158	0,87	2,40	6,9	2800	T 3	1,19	
T 42.14	138	160,5	0,86	2,40	6,9	2800	T 3	1,19	
T 42.15	138	157	0,88	2,40	6,9	1750	T 5	1,25	
T 42.16	178	204	0,87	4,05	8,9	3400	T 2	1,11	
T 42.17	190	214	0,89	4,60	9,5	4100	T 2 V	1,05	

Tab. 1-1 Versuchsparemeter (Hauptversuche)

1	11	17	13	19	7	8	9	10	87	92	88	89
MESS STELLE	ZUS. KENNZEICHNUNG	MESS REICH VOR GABE BIS	PHYS. EIN HEIT	AUF NEHMER PRIN ZIP	KOOR DINAT. SYSTEM	LAGEBEZEICHNUNG RADIUS LAENGE R X	WINKEL LAENGE PHI Y	HOEHE Z Z	FREQUENZ IN (%) MESSWERT MAX. MITT. * => KEINE	UNABHAENIGIGE BEZOGEN AUF VORGABEBEREICH MAX. MITT. FEHLERBERECHNUNG	FEHLER BEZOGEN AUF VORGABEBEREICH MAX. MITT. FEHLERBERECHNUNG	FEHLER BEZOGEN AUF VORGABEBEREICH MAX. MITT. FEHLERBERECHNUNG
A13940	2		%	DMSH	RGE	1060	4130	0	5.4	3.5	5.5	5.0
A13941	3		%	DMSH	RGE	1060	3960	190	5.4	3.5	5.5	5.0
A13942	2		%	DMSH	RGE	1060	3750	0	5.4	3.5	5.5	5.0
A13943	3		%	DMSH	RGE	1060	3960	-190	5.4	3.5	5.5	5.0
A13944	2		%	DMSH	RGE	1060	4035	0	5.4	3.5	5.5	5.0
A13945	3		%	DMSH	RGE	1060	3960	95	5.4	3.5	5.5	5.0
A13946	2		%	DMSH	RGE	1060	3845	0	5.4	3.5	5.5	5.0
A13947	3		%	DMSH	RGE	1060	3960	-95	5.4	3.5	5.5	5.0
A13948	2		%	DMSH	RGE	1060	4225	0	5.4	3.5	5.5	5.0
A13949	3		%	DMSH	RGE	1060	3960	285	5.4	3.5	5.5	5.0
A13950	2		%	DMSH	RGE	1060	3655	0	5.4	3.5	5.5	5.0
A13951	3		%	DMSH	RGE	1060	3960	-285	5.4	3.5	5.5	5.0
A13952	2		%	DMSH	RGE	1060	3965	0	5.4	3.5	5.5	5.0
A13953	3		%	DMSH	RGE	1060	3960	0	5.4	3.5	5.5	5.0
AK1210	1	300	KNS	RGE	RGE	1170	3940	0	*****	*****	*****	*****
AK1211	1	1000	KN	DMS	RGE	1170	3995	40	*****	*****	*****	*****
AK1212	1	1000	KN	DMS	RGE	1170	3995	-40	*****	*****	*****	*****
AK1213	1	1000	KN	DMS	RGE	1170	3965	40	*****	*****	*****	*****
AK1214	1	1000	KN	DMS	RGE	1170	3965	-40	*****	*****	*****	*****
AK1215	1	1000	KN	DMS	RGE	1170	3900	55	*****	*****	*****	*****
AK1216	1	1000	KN	DMS	RGE	1170	3900	25	*****	*****	*****	*****
AK1217	1	1000	KN	DMS	RGE	1170	3900	-25	*****	*****	*****	*****
AK1218	1	1000	KN	DMS	RGE	1170	3900	-55	*****	*****	*****	*****
AK1219	1	8000	KN	DMS	RGE	1170	3940	0	*****	*****	*****	*****
AS 101	2	2	M/S2	POT	RGE	1060	-1100	-50	*****	*****	*****	*****
AS 102	1	2	M/S2	POT	RGE	1060	-1100	-50	*****	*****	*****	*****
AS 600	1	2	M/S2	POT	RGE	-1060	-1100	0	*****	*****	*****	*****
AS 601	2	2	M/S2	POT	RGE	-1060	-1100	0	*****	*****	*****	*****
AS 603	2	2	M/S2	POT	RGE	-650	-1100	0	*****	*****	*****	*****
AS 602	2	2	M/S2	POT	RGE	40	-1100	1060	*****	*****	*****	*****
AS 901	1	2	M/S2	POT	RGE	0	-1100	0	*****	*****	*****	*****
AS 902	2	2	M/S2	POT	RGE	0	-1100	0	*****	*****	*****	*****
AS 903	3	2	M/S2	POT	RGE	0	-1100	0	*****	*****	*****	*****
AS 911	1	10	MM/S	DMS	RGE	0	-1100	0	*****	*****	*****	*****
AS 912	1	10	MM/S	DMS	RGE	0	-1100	0	*****	*****	*****	*****
AS 913	1	10	MM/S	DMS	RGE	0	-1100	0	*****	*****	*****	*****
AS 914	1	0				0	0	0	*****	*****	*****	*****
AS3902	3	50	M/S2	FREMO	RGE	0	4050	1060	*****	*****	*****	*****
AS3904	3	10	M/S2	POT	RGE	0	2930	1060	*****	*****	*****	*****
AS3906	3	10	M/S2	POT	RGE	0	1450	1060	*****	*****	*****	*****
AS3908	3	5	M/S2	DMS	RGE	0	0	1060	*****	*****	*****	*****
AS3910	1	20	M/S2	FREMO	RGE	0	5100	0	*****	*****	*****	*****
AS3911	3	2	M/S2	DMS	RGE	0	5100	0	*****	*****	*****	*****
AS3912	2	20	M/S2	FREMO	RGE	0	5100	0	*****	*****	*****	*****
AS3913	1	50	M/S2	FREMO	RGE	0	5100	0	*****	*****	*****	*****
AS3914	2	20	M/S2	FREMO	RGE	750	4800	0	*****	*****	*****	*****
AS3915	1	50	M/S2	FREMO	RGE	750	4800	0	*****	*****	*****	*****
AS3916	2	20	M/S2	FREMO	RGE	900	4560	0	*****	*****	*****	*****
AS3917	1	100	M/S2	FREMO	RGE	900	4560	0	*****	*****	*****	*****
AS3918	1	50	M/S2	FREMO	RGE	1040	4300	0	*****	*****	*****	*****
AS3919	1	50	M/S2	FREMO	RGE	-1060	4050	0	*****	*****	*****	*****
AS3920	1	100	M/S2	FREMO	RGE	1060	3940	0	*****	*****	*****	*****
AS3921	1	50	M/S2	FREMO	RGE	1060	3620	0	*****	*****	*****	*****
AS3922	1	100	M/S2	FREMO	RGE	1060	4050	0	*****	*****	*****	*****
AS3923	1	20	M/S2	POT	RGE	-1060	2930	0	*****	*****	*****	*****
AS3924	1	50	M/S2	FREMO	RGE	1060	2930	0	*****	*****	*****	*****
AS3925	1	50	M/S2	FREMO	RGE	1060	2450	0	*****	*****	*****	*****
AS3926	1	50	M/S2	FREMO	RGE	1060	1450	0	*****	*****	*****	*****
AS3927	1	20	M/S2	POT	RGE	-1060	1450	0	*****	*****	*****	*****
AS3928	1	50	M/S2	FREMO	RGE	1060	0	0	*****	*****	*****	*****
AS3929	1	10	M/S2	POT	RGE	-1060	0	0	*****	*****	*****	*****
AS3930	3	50	M/S2	FREMO	RGE	-1060	0	-1060	*****	*****	*****	*****
AS3931	1	50	M/S2	FREMO	RGE	918	4050	-530	*****	*****	*****	*****
AS3932	3	50	M/S2	FREMO	RGE	918	4050	-530	*****	*****	*****	*****
AS3943	1	50	M/S2	FREMO	RGE	918	4050	530	*****	*****	*****	*****
AS3944	3	50	M/S2	FREMO	RGE	918	4050	530	*****	*****	*****	*****
AS3945	1	150	M/S2	FREMO	RGE	828	4240	-634	*****	*****	*****	*****
AS3946	2	150	M/S2	FREMO	RGE	828	4240	-634	*****	*****	*****	*****
AS3947	3	100	M/S2	DMS	RGE	828	4240	-634	*****	*****	*****	*****
AS3948	1	150	M/S2	DMS	RGE	1020	4140	-285	*****	*****	*****	*****
BS4401	1	5	M/S2	PRES	RGE	100	2670	-40	*****	*****	*****	*****
BS4402	3	5	M/S2	PRES	RGE	100	2670	-40	*****	*****	*****	*****
CS 401	1	10	M/S2	DMS	RGE	1000	4000	0	*****	*****	*****	*****
CS 403	1	2	M/S2	POT	RGE	290	3085	230	*****	*****	*****	*****
CS 404	2	2	M/S2	POT	RGE	290	3085	230	*****	*****	*****	*****
CS 405	3	2	M/S2	POT	RGE	290	3085	230	*****	*****	*****	*****
CS 407	1	2	M/S2	POT	RGE	0	2955	750	*****	*****	*****	*****
CS 411	1	2	M/S2	POT	RGE	0	3010	1650	*****	*****	*****	*****
CS 700	1	2	M/S2	PRES	RGE	480	1425	570	*****	*****	*****	*****
CS 701	2	2	M/S2	PRES	RGE	480	1425	570	*****	*****	*****	*****
CS 702	3	2	M/S2	PRES	RGE	480	1425	570	*****	*****	*****	*****

Tab. 1-2 Kenndatenliste der Meßstellen

1	11	17	13	19	7	8	9	10	87	92	88	89	
MESS STELLE	ZUS. KENNZ. VEKT. RICHT- UNG	MESS- BE- REICH VOR- GABE BIS	PHYS. EIN- HEIT	AUF- NEHMER PRIN- ZIP	KOOR- DINAT. SYSTEM	LAGEBEZEICHNUNG			HOEHE Z	FREQUENZ UNABHAENIGIGE FEHLER IN (%) BEZOGEN AUF MESSWERT VORGABEBEREICH			
						RADIUS LAENGE X	WINKEL LAENGE PHI Y	Z		MAX. -> KEINE	MITT.	MAX.	MITT.
CS 703	1	2	M/S2	POT	RGE	805	2575	428	*****	*****	*****	*****	
CS 704	2	2	M/S2	POT	RGE	805	2575	428	*****	*****	*****	*****	
CS 705	3	2	M/S2	POT	RGE	805	2575	428	*****	*****	*****	*****	
CS3201	1	2	M/S2	POT	RGE	-760	-500	0	*****	*****	*****	*****	
CS3202	2	2	M/S2	POT	RGE	-760	-500	0	*****	*****	*****	*****	
CS3730	1	2	M/S2	POT	RGE	714	-500	0	*****	*****	*****	*****	
CS3731	2	2	M/S2	POT	RGE	714	-500	0	*****	*****	*****	*****	
CS3901	1	10	M/S2	POT	RGE	0	4000	1003	*****	*****	*****	*****	
CS3902	3	10	M/S2	POT	RGE	0	4000	1003	*****	*****	*****	*****	
CS3910	1	10	M/S2	DMS	RGE	0	5000	0	*****	*****	*****	*****	
CS3911	2	10	M/S2	DMS	RGE	0	5000	0	*****	*****	*****	*****	
CS3912	3	10	M/S2	DMS	RGE	0	5000	0	*****	*****	*****	*****	
CS4701	1	2	M/S2	POT	RGE	0	-300	0	*****	*****	*****	*****	
CS4703	2	2	M/S2	POT	RGE	0	-300	0	*****	*****	*****	*****	
FS 121	1	1000	M/S2	DMS	RGE	1290	4010	70	*****	*****	*****	*****	
FS 122	2	1000	M/S2	DMS	RGE	1290	4010	-70	*****	*****	*****	*****	
FS 123	1	2	X0	DMS	RGE	1360	4050	70	*****	*****	*****	*****	
FS 124	2	2	X0	DMS	RGE	1360	4050	-70	*****	*****	*****	*****	
FS 125	2	2	X0	DMS	RGE	1220	-4050	-70	*****	*****	*****	*****	
FS 126	2	2	X0	DMS	RGE	1220	4050	70	*****	*****	*****	*****	
FS 127	1	520	MM	FREMD	RGE	1180	4030	0	*****	*****	*****	*****	
FS 128	1	40	M/S2	DMS	RGE	1240	5100	395	*****	*****	*****	*****	
FS 129	1	40	M/S2	DMS	RGE	1240	5100	-395	*****	*****	*****	*****	
FS 131	1	2	X0	DMSH	RGE	2000	4240	-150	5.4	3.5	3.0	2.5	
FS 132	1	2	X0	DMSH	RGE	2000	4240	150	5.4	3.5	3.0	2.5	
FS 133	2	60	ACRD	POT	RGE	1290	5000	160	*****	*****	*****	*****	
HS 1	1	90	M/S2	FREMD	RGE	400	1400	1150	*****	*****	*****	*****	
HS 5	1	90	M/S2	FREMD	RGE	600	1400	1700	*****	*****	*****	*****	
OP3955	0	10	M/S2	PRES	RGE	1030	3940	0	*****	*****	*****	*****	
RA6611	1	1	X0	DMSH	PDL	510	1840	230	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA6612	1	1	X0	DMSH	PDL	510	1840	230	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA6613	1	1	X0	DMSH	PDL	510	1840	230	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA6614	1	1	X0	DMSH	PDL	510	1840	230	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA6615	1	1	X0	DMSH	PDL	510	1840	230	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA6681	1	1	X0	DMSH	PDL	0	2400	-200	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA6682	1	1	X0	DMSH	PDL	0	2400	-200	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA6683	1	1	X0	DMSH	PDL	0	2400	-200	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA6684	1	1	X0	DMSH	PDL	0	2400	-200	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA6685	1	1	X0	DMSH	PDL	0	2400	-200	5.4	3.5	5.0	5.0	
RA7301	1	1	X0	DMSH	RGE	810	4240	-614	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7302	1	1	X0	DMSH	RGE	810	4240	-614	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7303	1	1	X0	DMSH	RGE	810	4240	-614	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7304	1	1	X0	DMSH	RGE	810	4240	-614	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7305	1	1	X0	DMSH	RGE	980	4190	-320	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7311	1	1	X0	DMSH	RSL	980	4190	-320	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7312	1	1	X0	DMSH	RGE	980	4190	-320	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7313	1	1	X0	DMSH	RGE	980	4190	-320	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7314	1	1	X0	DMSH	RGE	980	4190	-320	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7315	1	1	X0	DMSH	RGE	980	4190	-320	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7321	1	1	X0	DMSH	RGE	1018	3900	-20	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7322	1	1	X0	DMSH	RGE	1018	3900	-20	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7323	1	1	X0	DMSH	RGE	1018	3900	-20	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7324	1	1	X0	DMSH	RGE	1018	3900	-20	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7325	1	1	X0	DMSH	RGE	1025	3460	-176	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7331	1	1	X0	DMSH	RGE	1025	3460	-176	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7332	1	1	X0	DMSH	RGE	1025	3460	-176	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7333	1	1	X0	DMSH	RGE	1025	3460	-176	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7334	1	1	X0	DMSH	RGE	1025	3460	-176	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7335	1	1	X0	DMSH	RGE	1025	3460	-176	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7341	1	1	X0	DMSH	RGE	1042	2960	-20	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7342	1	1	X0	DMSH	RGE	1042	2960	-20	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7343	1	1	X0	DMSH	RGE	1042	2960	-20	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7344	1	1	X0	DMSH	RGE	1042	2960	-20	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7345	1	1	X0	DMSH	RGE	1042	2960	-20	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7601	1	1	X0	DMSH	VKL	-260	2300	850	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7602	1	1	X0	DMSH	VKL	-260	2300	850	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7603	1	1	X0	DMSH	VKL	-260	2300	850	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7604	1	1	X0	DMSH	VKL	-260	2300	850	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7605	1	1	X0	DMSH	VKL	-260	2300	850	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7611	1	1	X0	DMSH	VKL	250	2760	570	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7612	1	1	X0	DMSH	VKL	250	2760	570	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7613	1	1	X0	DMSH	VKL	250	2760	570	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7614	1	1	X0	DMSH	VKL	250	2760	570	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7615	1	1	X0	DMSH	VKL	250	2760	570	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7621	1	1	X0	DMSH	VKL	290	2300	800	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7622	1	1	X0	DMSH	VKL	290	2300	800	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7623	1	1	X0	DMSH	VKL	290	2300	800	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7624	1	1	X0	DMSH	VKL	290	2300	800	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7625	1	1	X0	DMSH	VKL	290	2300	800	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7661	1	1	X0	DMSH	VKL	730	2635	390	5.4	3.5	5.7	5.0	

Tab. 1-2 Kenndatenliste der Meßstellen (Fortsetzung)

1	11	17	13	19	7	8	9	10	87	92	88	89	
MESS STELLE	ZUS. KENNZ. VEKT. RICHT- UNG	MESS- BE- REICH- VOR- GABE- BIS	PHYS. EIN- HEIT	AUF- NEHMER PRIN- ZIP	KOOR- DINAT. SYSTEM	LAGEBEZEICHNUNG			HOEHE Z Z	FREQUENZ UNABHAENIGIGE FEHLER IN [%] BEZOGEN AUF MESSWERT VORGABEBEREICH		MAX. * -> KEINE FEHLERBERECHNUNG	MITT. FEHLERBERECHNUNG
						RADIUS LAENGE X	WINKEL LAENGE Y	PHI Y		MAX.	MITT.		
RA7662			X0	DMSH	VKL	730	2635	390	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7663			X0	DMSH	VKL	730	2635	390	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7664			X0	DMSH	VKL	730	2635	390	5.4	3.5	5.7	5.0	
RA7665			X0	DMSH	VKL	730	2635	390	5.4	3.5	5.7	5.0	
RS6601	1		M/S2	PRES	RGE	510	1725	230	*****	*****	*****	*****	
RS6603	3		M/S2	PRES	RGE	510	1725	230	*****	*****	*****	*****	
RS6610	1		M/S2	DMS	RGE	430	2350	385	*****	*****	*****	*****	
RS6611	2		M/S2	DMS	RGE	430	2350	385	*****	*****	*****	*****	
RS6612	3		M/S2	DMS	RGE	430	2350	385	*****	*****	*****	*****	
RS6622	1		M/S2	DMS	RGE	510	1814	440	*****	*****	*****	*****	
RS6710	1		M/S2	DMS	RGE	720	2400	440	*****	*****	*****	*****	
RS6711	2		M/S2	DMS	RGE	720	2400	440	*****	*****	*****	*****	
RS6712	3		M/S2	DMS	RGE	720	2400	440	*****	*****	*****	*****	
RS7311	1	150	M/S2	FREMD	RSL	946	4240	-384	*****	*****	*****	*****	
RS7321	1	150	M/S2	FREMD	RSL	986	4140	-272	*****	*****	*****	*****	
RS7322	2	100	M/S2	DMS	RSL	986	4140	-272	*****	*****	*****	*****	
RS7323	3	100	M/S2	DMS	RSL	986	4140	-272	*****	*****	*****	*****	
RS7331	1	150	M/S2	FREMD	RSL	1017	4140	-38	*****	*****	*****	*****	
RS7332	2	100	M/S2	DMS	RSL	1017	4140	-38	*****	*****	*****	*****	
RS7341	1	150	M/S2	FREMD	RSL	1018	3965	-20	*****	*****	*****	*****	
RS7342	3	100	M/S2	PRES	RSL	1018	3965	-20	*****	*****	*****	*****	
RS7351	1	150	M/S2	FREMD	RSL	1018	3760	-20	*****	*****	*****	*****	
RS7361	1	150	M/S2	DMS	RSL	1025	3460	-188	*****	*****	*****	*****	
RS7362	2	100	M/S2	PRES	RSL	1025	3460	-188	*****	*****	*****	*****	
RS7371	1	150	M/S2	PRES	RSL	1026	3210	-195	*****	*****	*****	*****	
RS7373	3	100	M/S2	DMS	RSL	1026	3210	-195	*****	*****	*****	*****	
RS7381	1	150	M/S2	PRES	RSL	1027	2960	-176	*****	*****	*****	*****	
RS7601	1		M/S2	DMS	RGE	-260	2300	850	*****	*****	*****	*****	
RS7602	2		M/S2	DMS	RGE	-260	2300	850	*****	*****	*****	*****	
RS7603	3		M/S2	DMS	RGE	-260	2300	850	*****	*****	*****	*****	
RS7610	1		M/S2	DMS	RGE	85	2380	590	*****	*****	*****	*****	
RS7611	2		M/S2	DMS	RGE	85	2380	590	*****	*****	*****	*****	
RS7612	3		M/S2	DMS	RGE	85	2380	590	*****	*****	*****	*****	
RS7616	1		M/S2	DMS	RGE	730	2635	390	*****	*****	*****	*****	
RS7617	2		M/S2	DMS	RGE	730	2635	390	*****	*****	*****	*****	
RS7618	3		M/S2	DMS	RGE	730	2635	390	*****	*****	*****	*****	
RS7621	1		M/S2	DMS	RGE	290	2300	800	*****	*****	*****	*****	
RS7622	2		M/S2	DMS	RGE	290	2300	800	*****	*****	*****	*****	
RS7623	3		M/S2	DMS	RGE	290	2300	800	*****	*****	*****	*****	
UK7322	2		X0	DMS	RSL	1018	3578	-20	*****	*****	*****	*****	
UK7332	2		X0	DMS	RSL	1026	3210	-195	*****	*****	*****	*****	
UK7341			X0	DMSH	RSL	1018	3960	-20	5.4	3.5	2.9	2.5	
UK7342			X0	DMSH	RSL	1018	3960	-20	5.4	3.5	2.9	2.5	
UK7343			X0	DMS	RSL	1018	3960	-20	*****	*****	*****	*****	
UK7344			X0	DMSH	RSL	1018	3960	-20	5.4	3.5	2.9	2.5	
UK7345			X0	DMSH	RSL	1018	3960	-20	5.4	3.5	2.9	2.5	
UK7346			X0	DMSH	RSL	1018	3960	-20	5.4	3.5	2.9	2.5	
US7321	1		MM	IND	RGE	986	4140	-272	*****	*****	*****	*****	
US7323	3		MM	DMS	RGE	986	4140	-272	*****	*****	*****	*****	
US7341			MM	DMS	RGE	1063	3960	-20	*****	*****	*****	*****	
US7342			MM	DMS	RGE	1063	3960	-20	*****	*****	*****	*****	
US7343	2		MM	DMS	RGE	1063	3960	-20	*****	*****	*****	*****	
WS1704	1		M/S2	DMS	RGE	400	2840	570	*****	*****	*****	*****	
WS1706	3		M/S2	DMS	RGE	400	2840	570	*****	*****	*****	*****	
WS2701	1		MM	DMS	RGE	0	0	0	*****	*****	*****	*****	
WS2703	3		MM	DMS	RGE	0	0	0	*****	*****	*****	*****	
WS3701	1		M/S2	DMS	RGE	480	1480	570	*****	*****	*****	*****	
WS3703	3		M/S2	DMS	RGE	480	1480	570	*****	*****	*****	*****	
WS3704	1		MM	DMS	RGE	0	0	0	*****	*****	*****	*****	
WS3706	3		MM	DMS	RGE	0	0	0	*****	*****	*****	*****	

Tab. 1.2 Kenndatenliste der Meßstellen (Fortsetzung)

Zwischenblatt

2

Charakteristische Ergebnisse

2.1

Kraft-Zeitverläufe

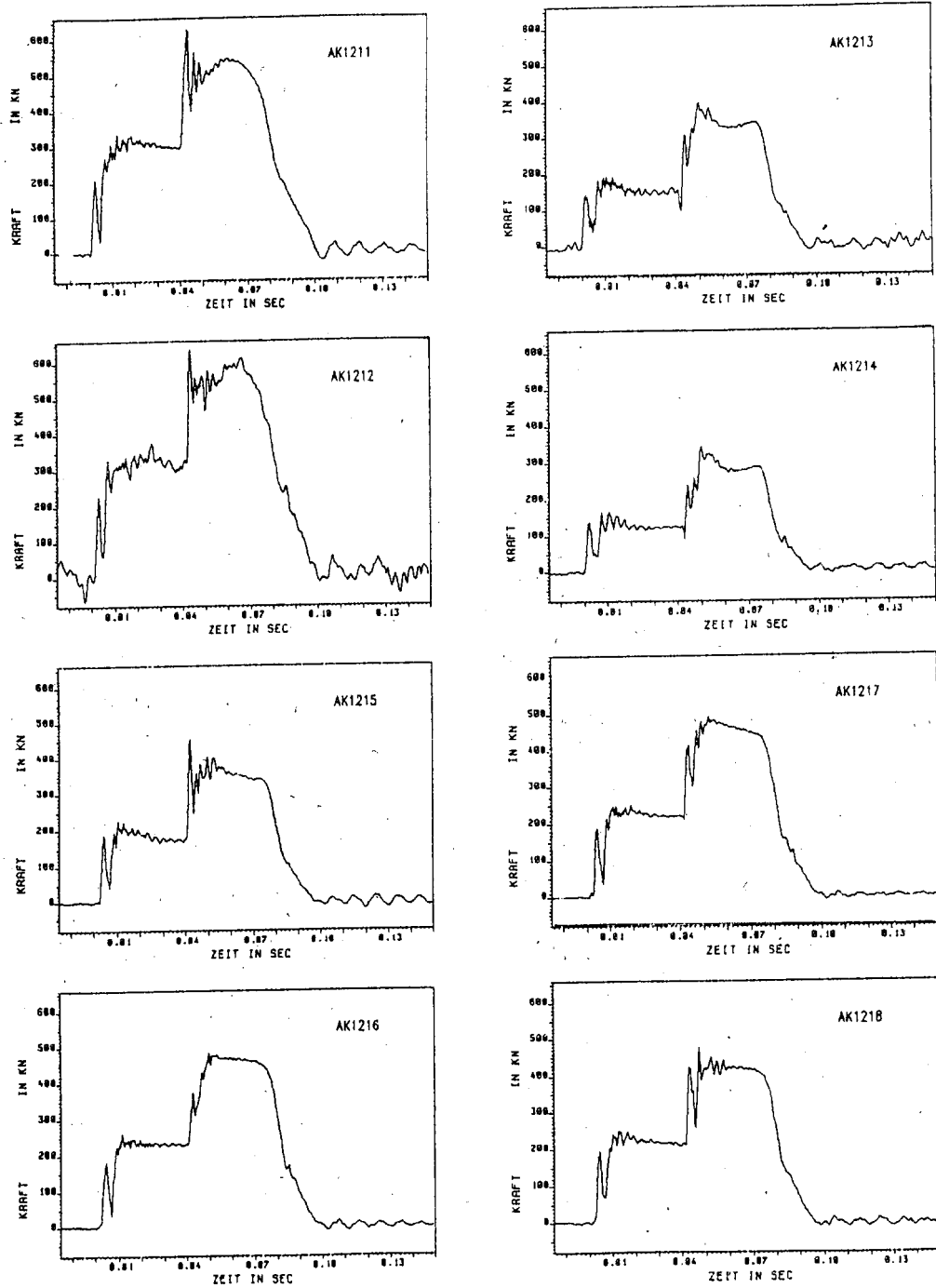


Fig. 2.1-1 Gemessene Einzelkräfte der Meßdosen
Referenzlastfall T42.16

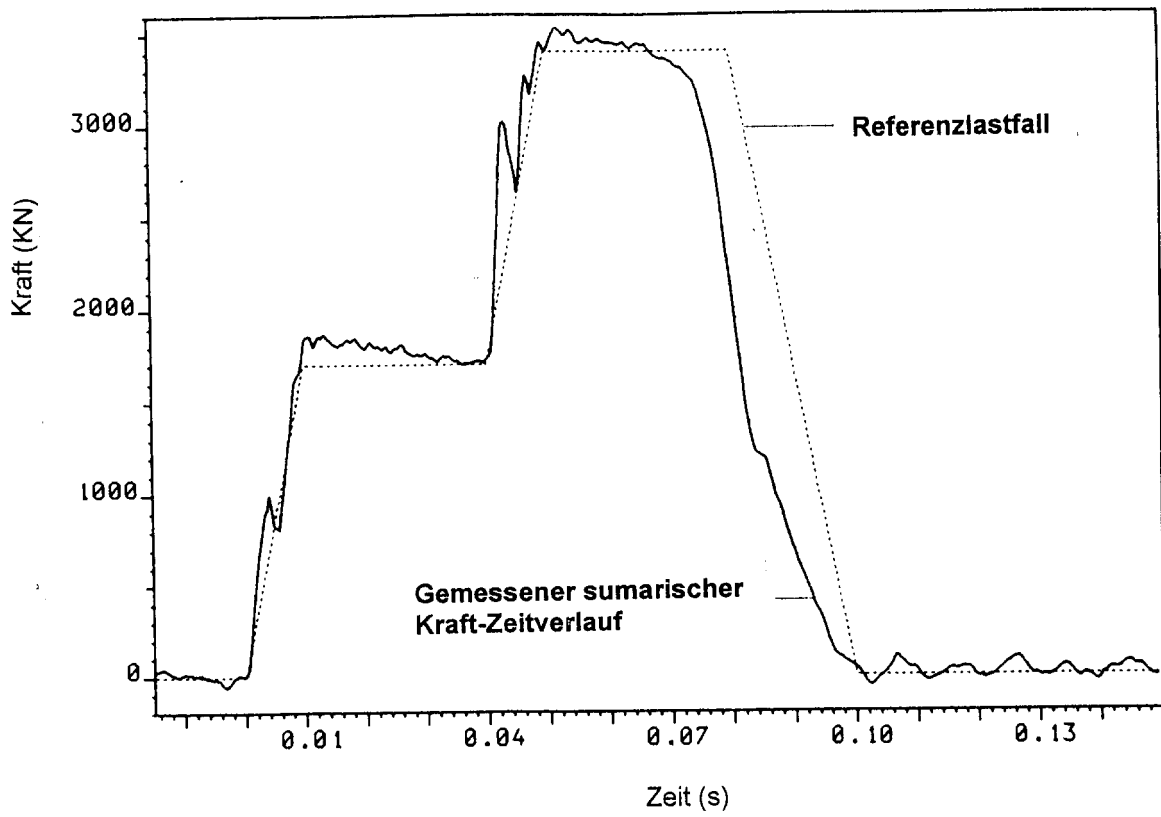


Fig. 2.1-2 Pendelstoß - Lastfunktionen HDR
(Summarischer Kraftzeitverlauf)

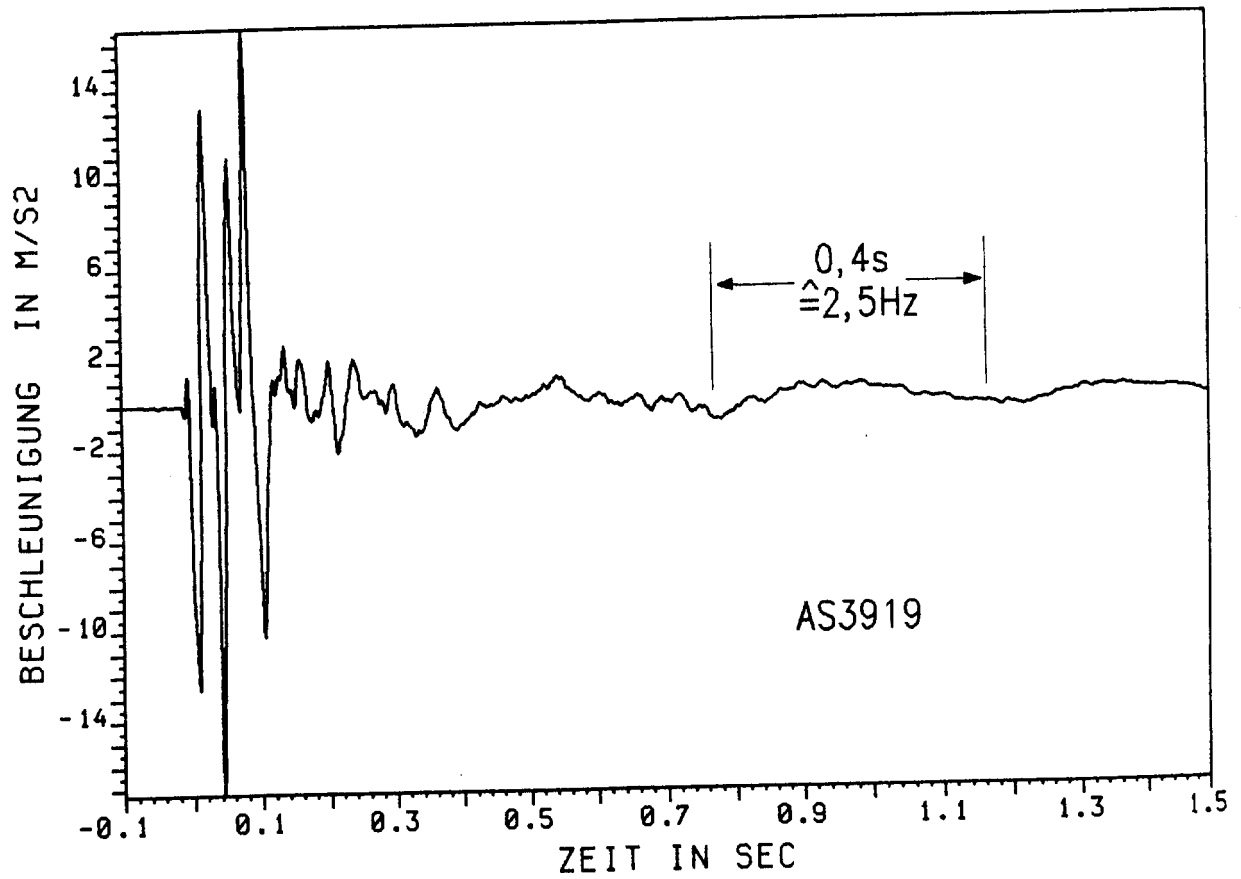


Fig. 2.1-3 Anregungsfunktion in der Lasteinleitungsstelle
Versuch T42.16

2.2

**Vergleich berechneter (Diskretisierungsgrad 5T)
und gemessener Beschleunigungszeitverläufe,
Antwortspektren und Starrkörperbeschleunigungen
in charakteristischen Beobachtungspunkten**

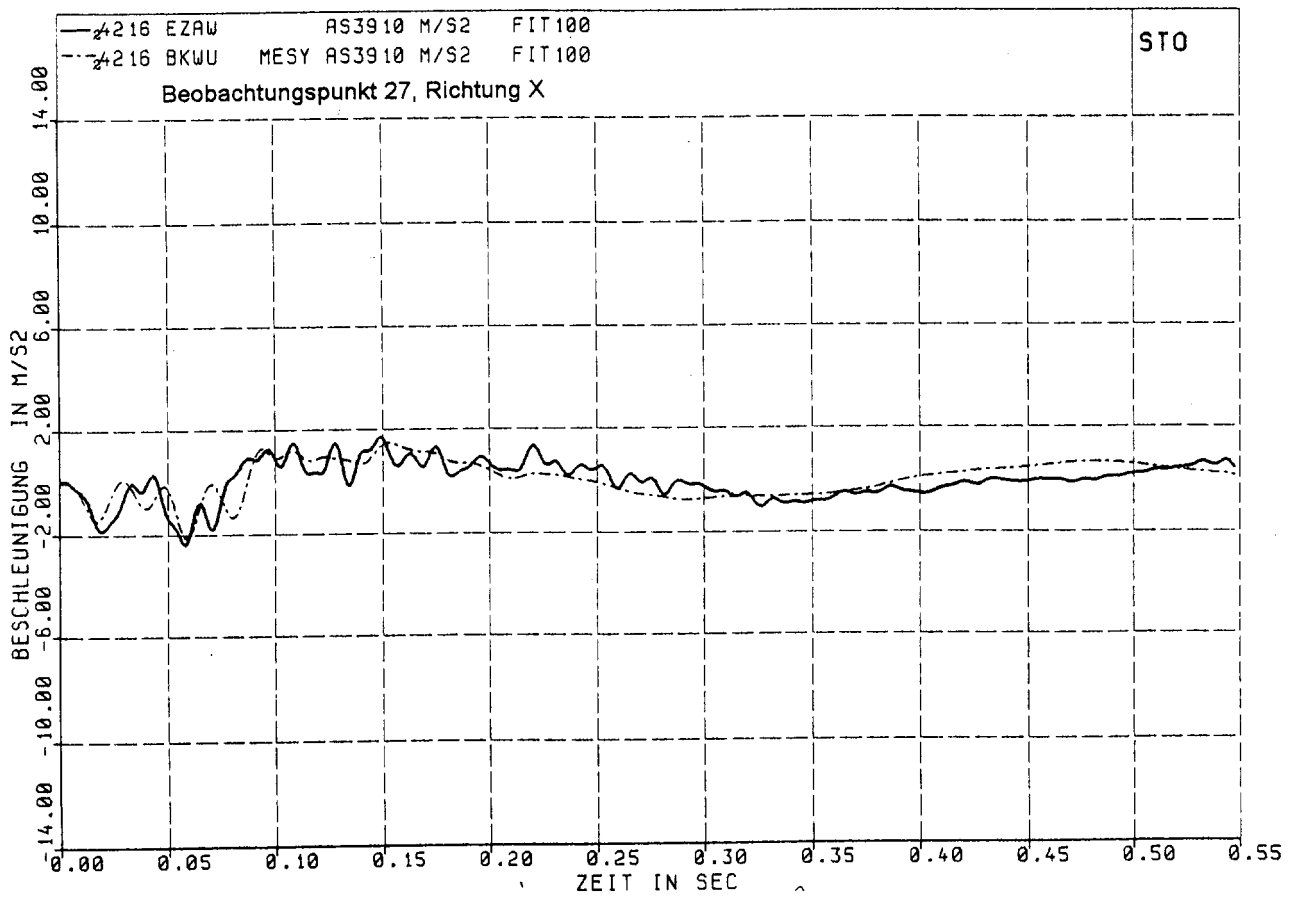


Fig. 2.2-1 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

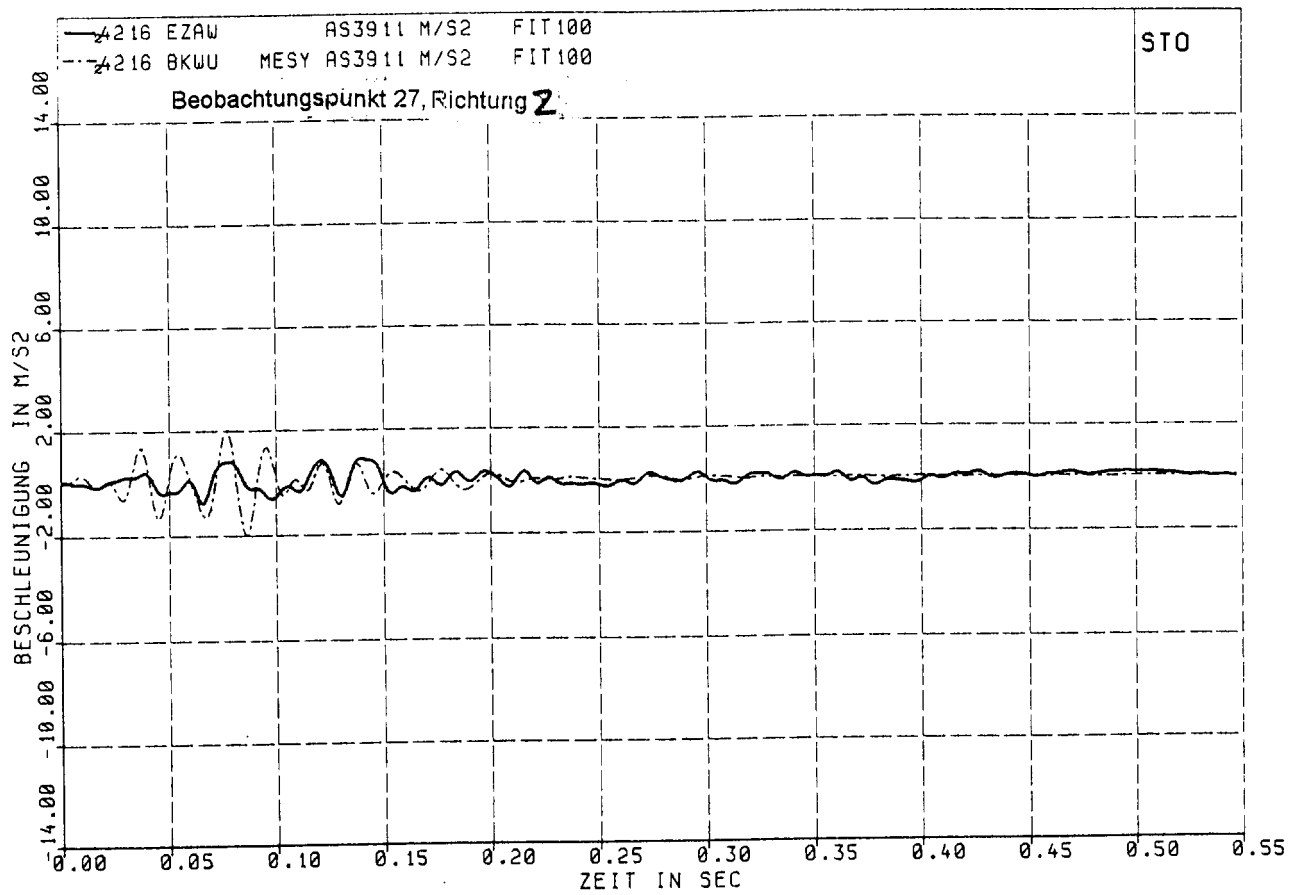


Fig. 2.2-2 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

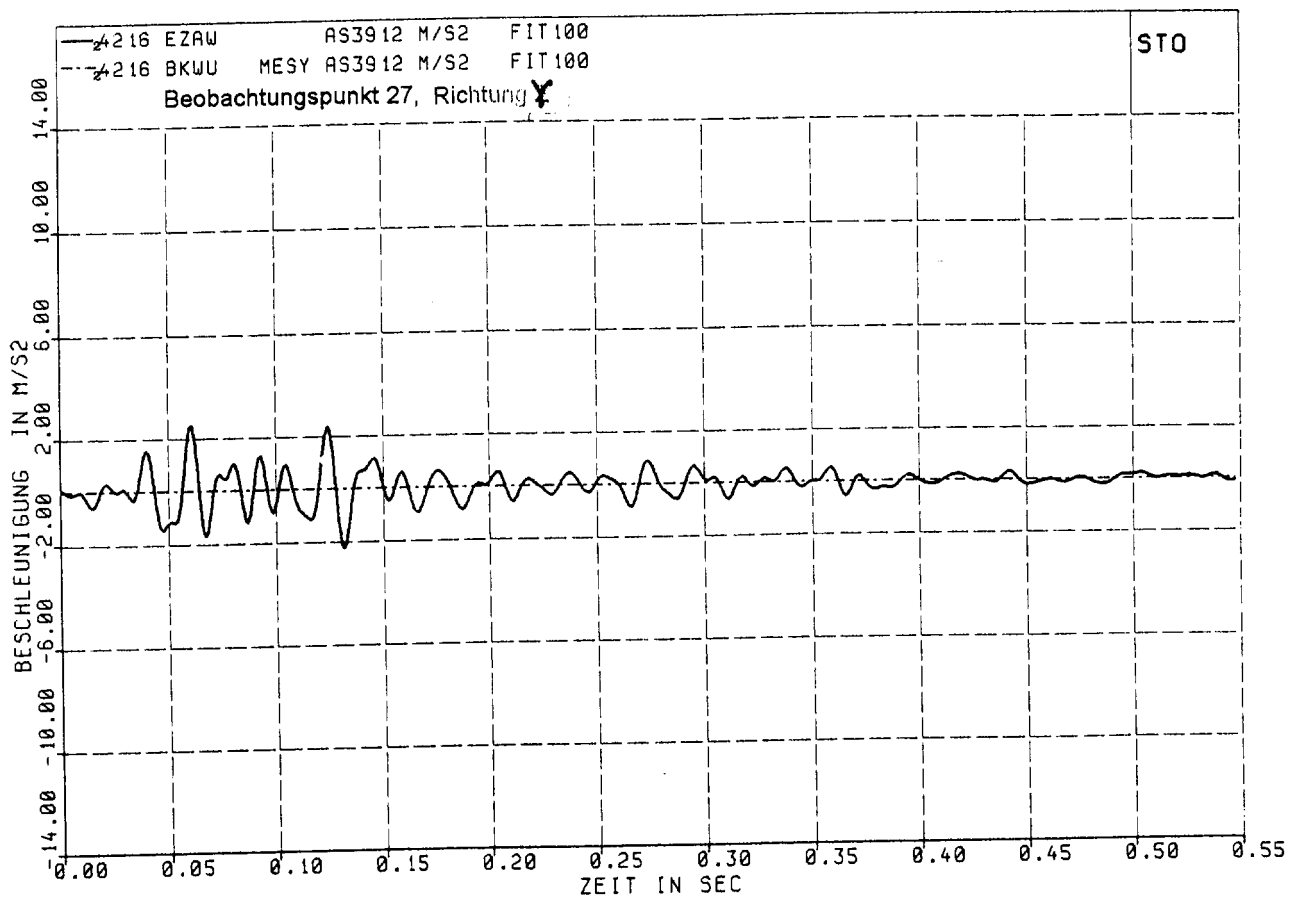


Fig. 2.2-3 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

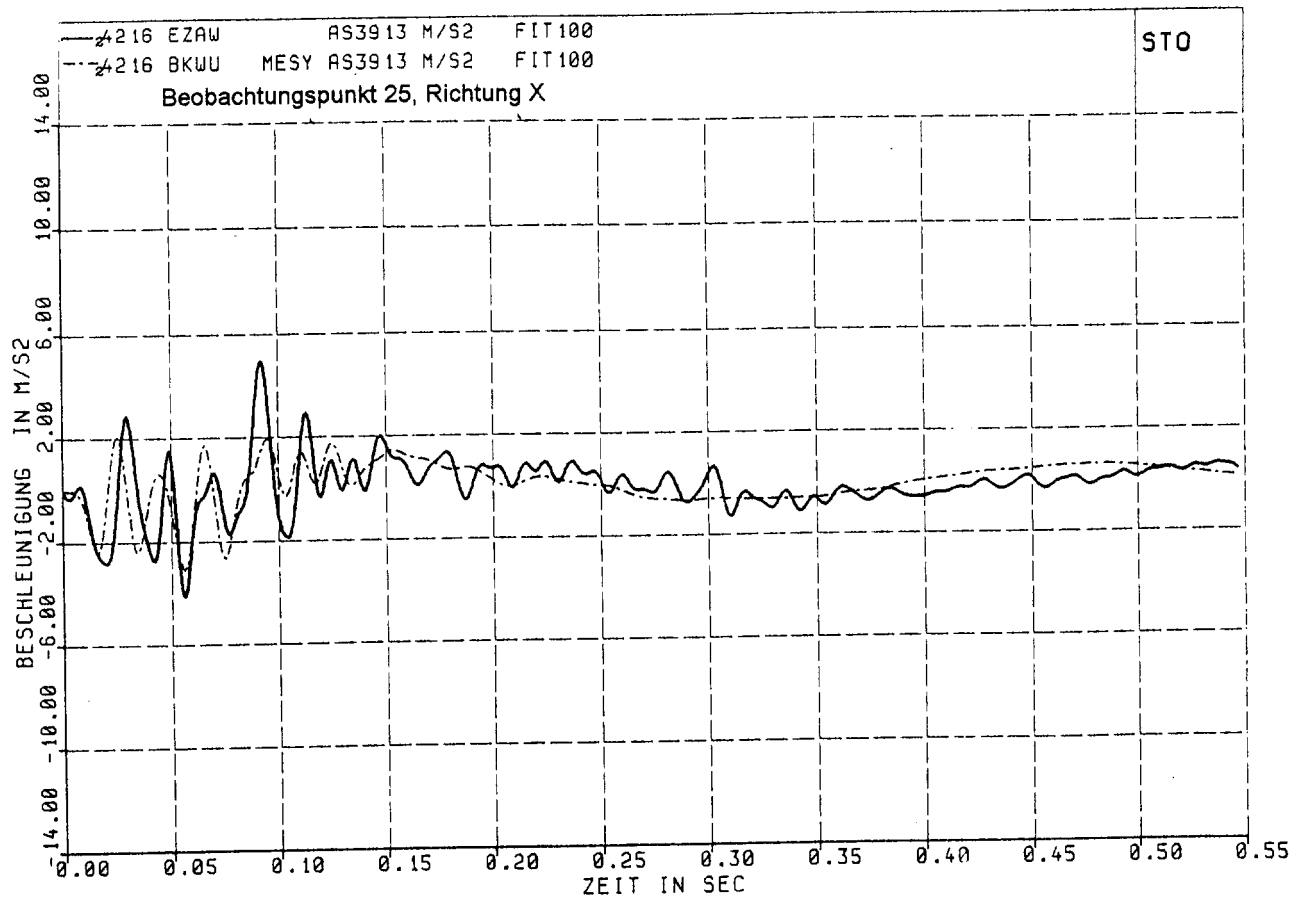


Fig. 2.2-4 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

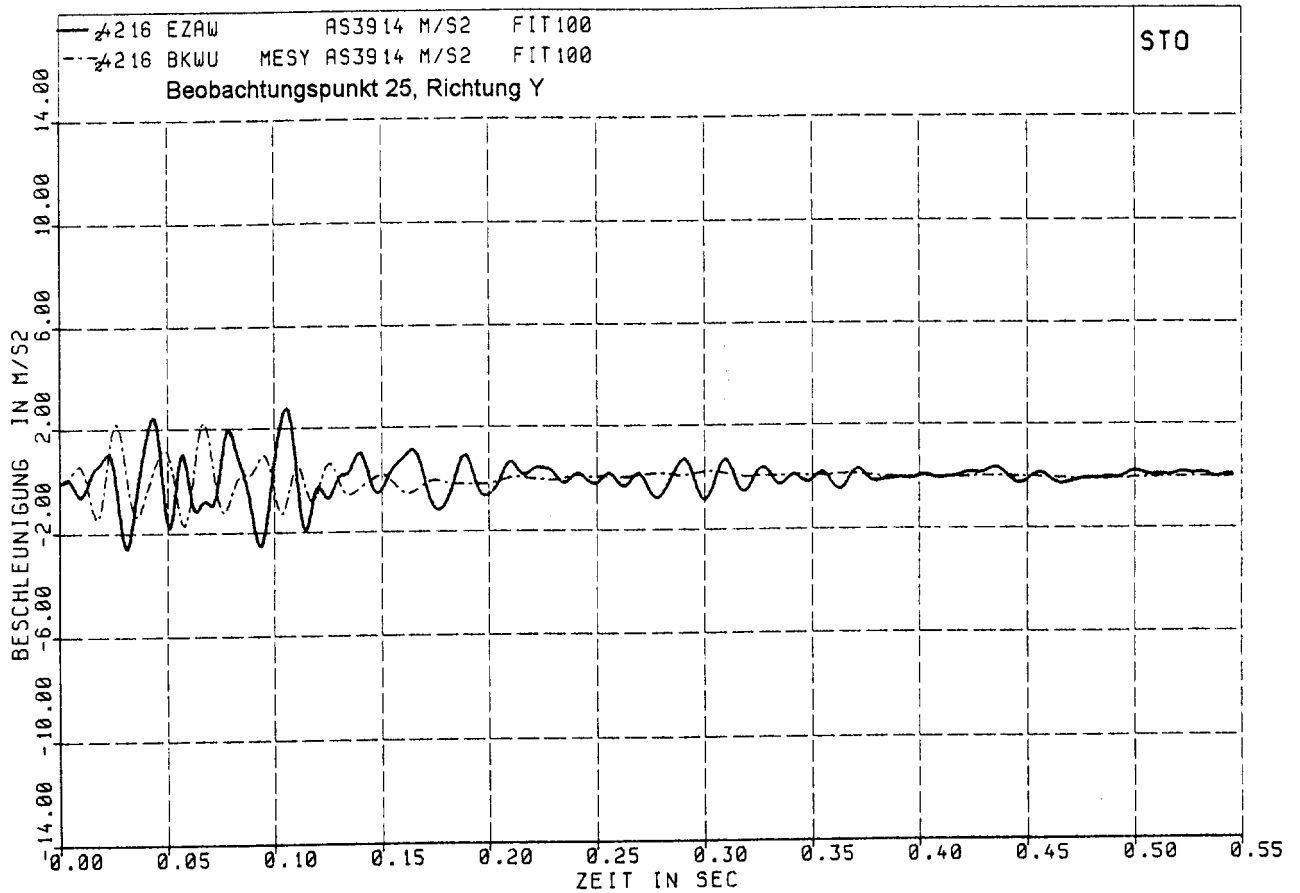


Fig. 2.2-5 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

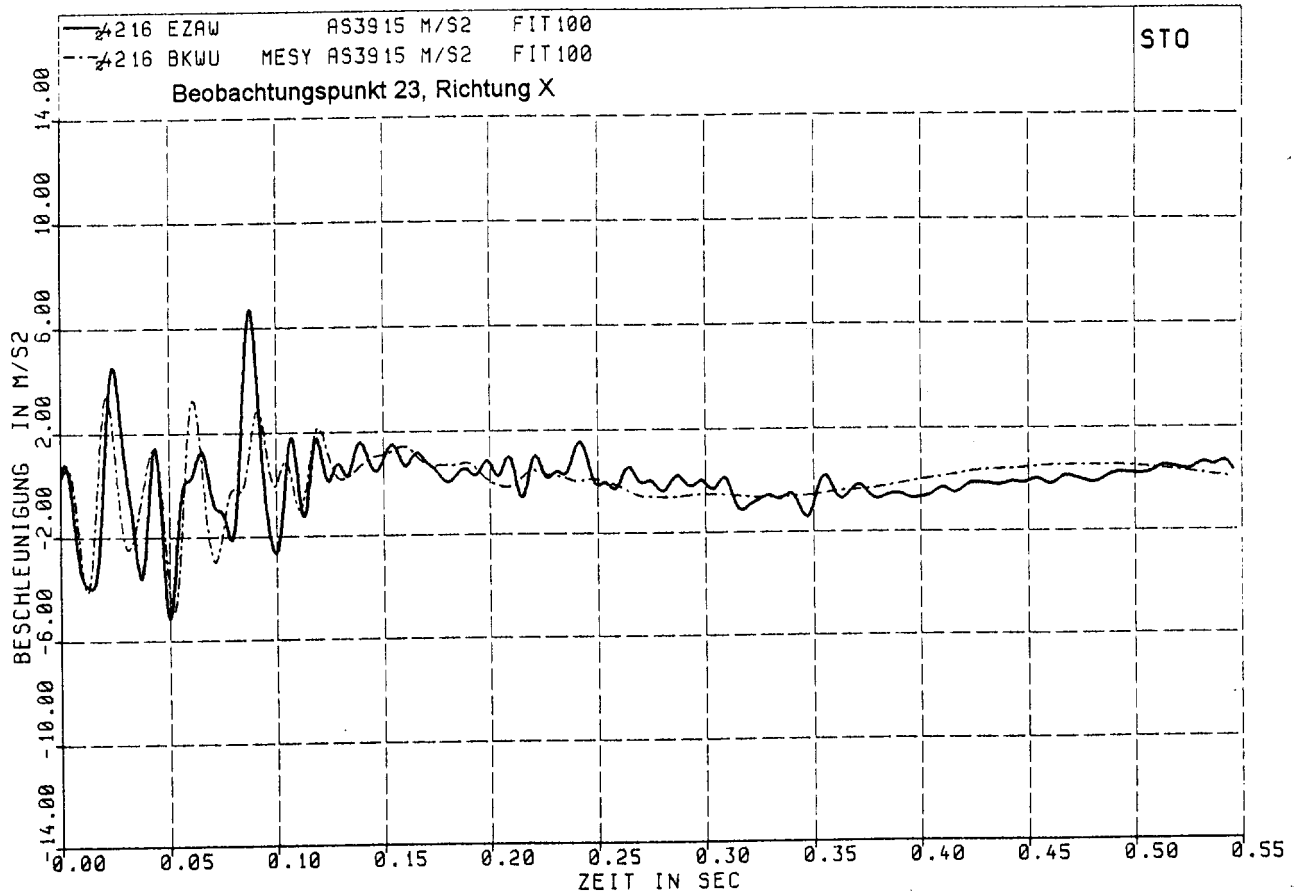


Fig. 2.2-6 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

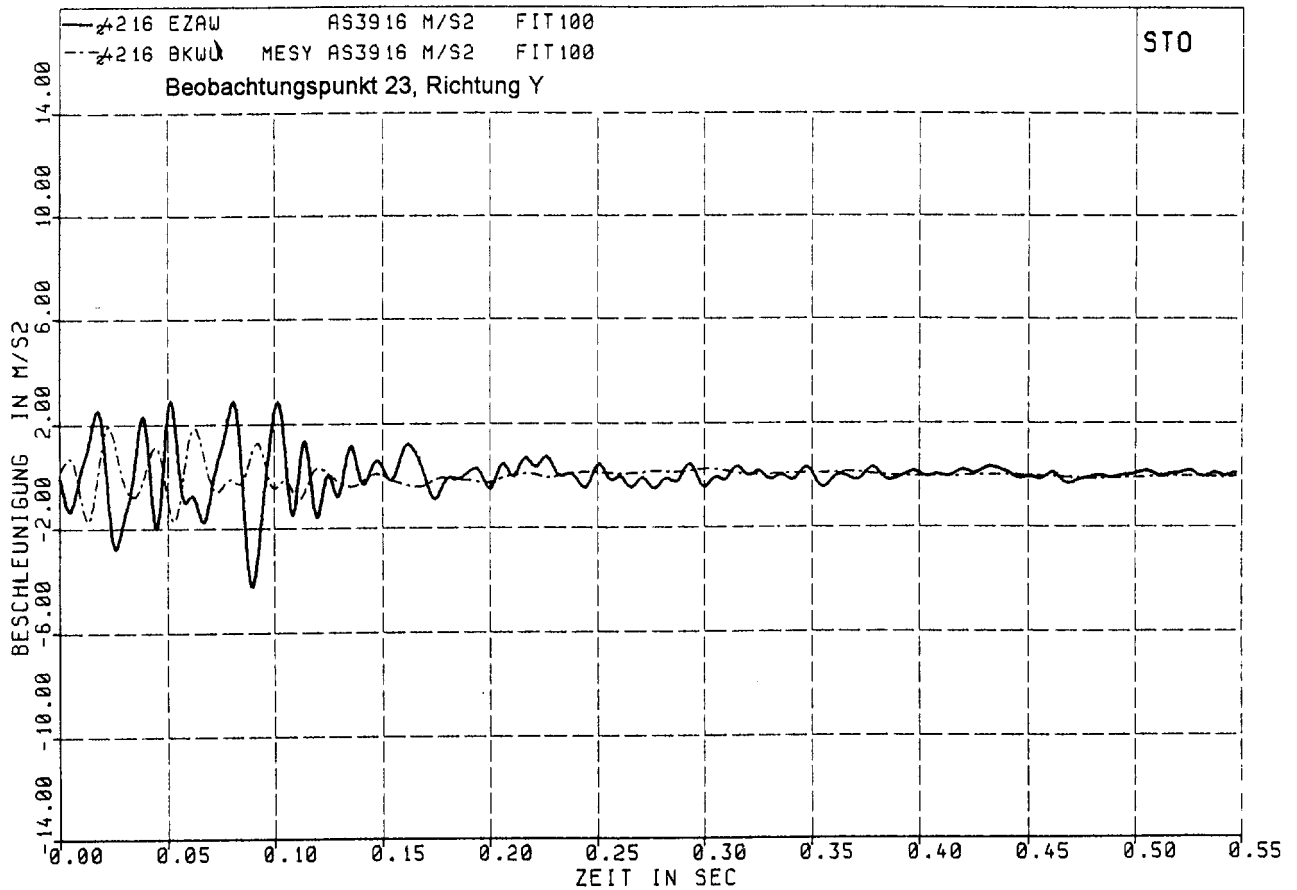


Fig. 2.2-7 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

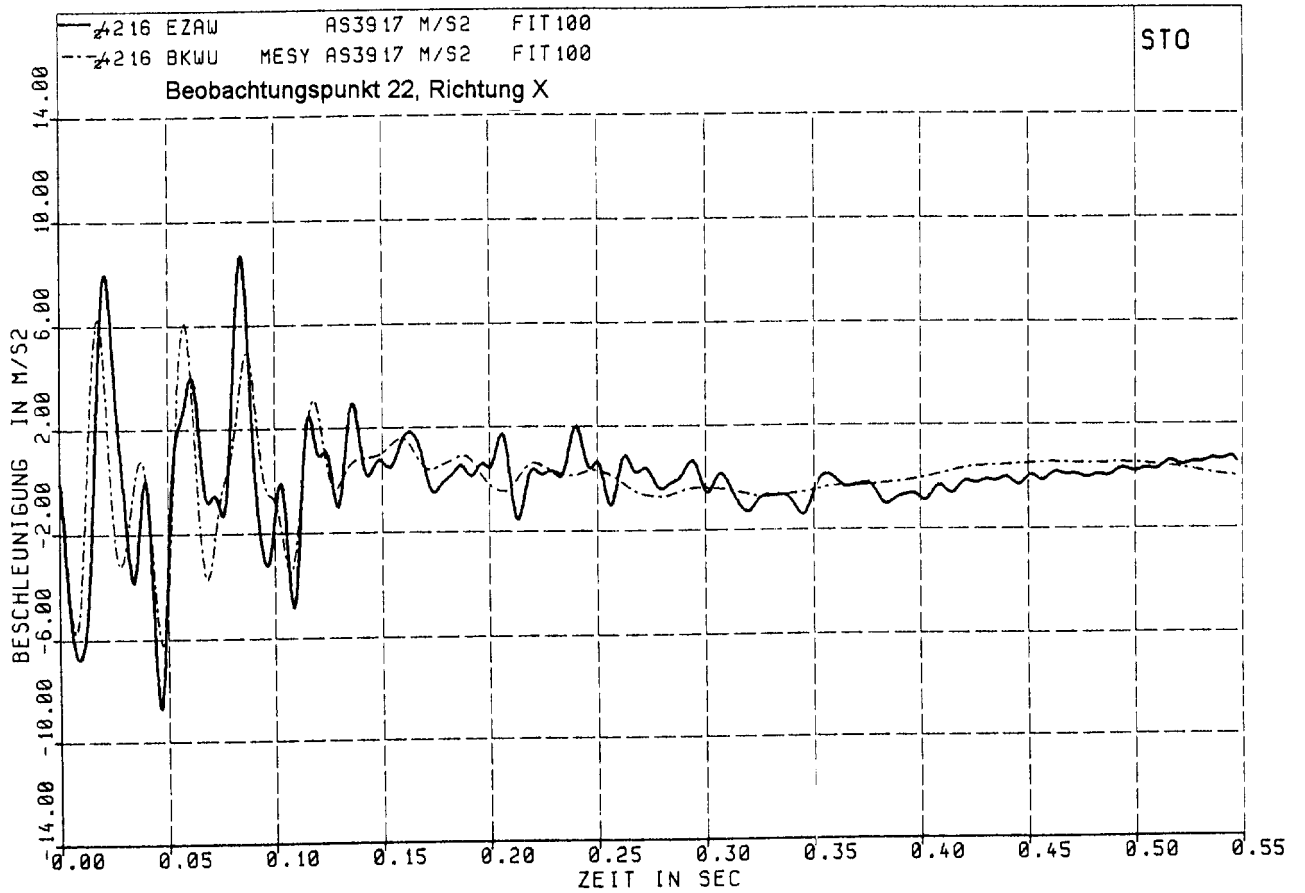


Fig. 2.2-8 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

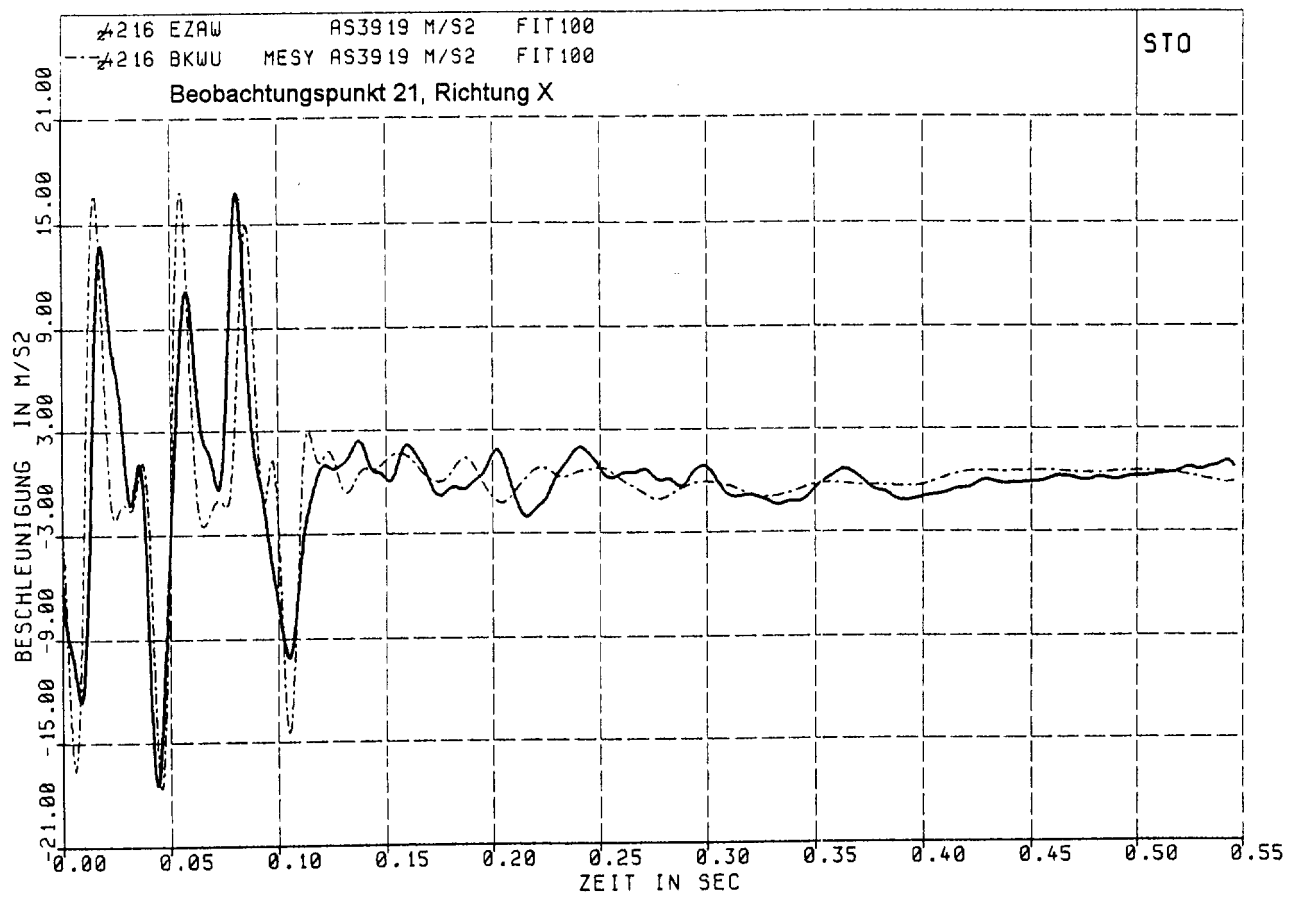


Fig. 2.2-9 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

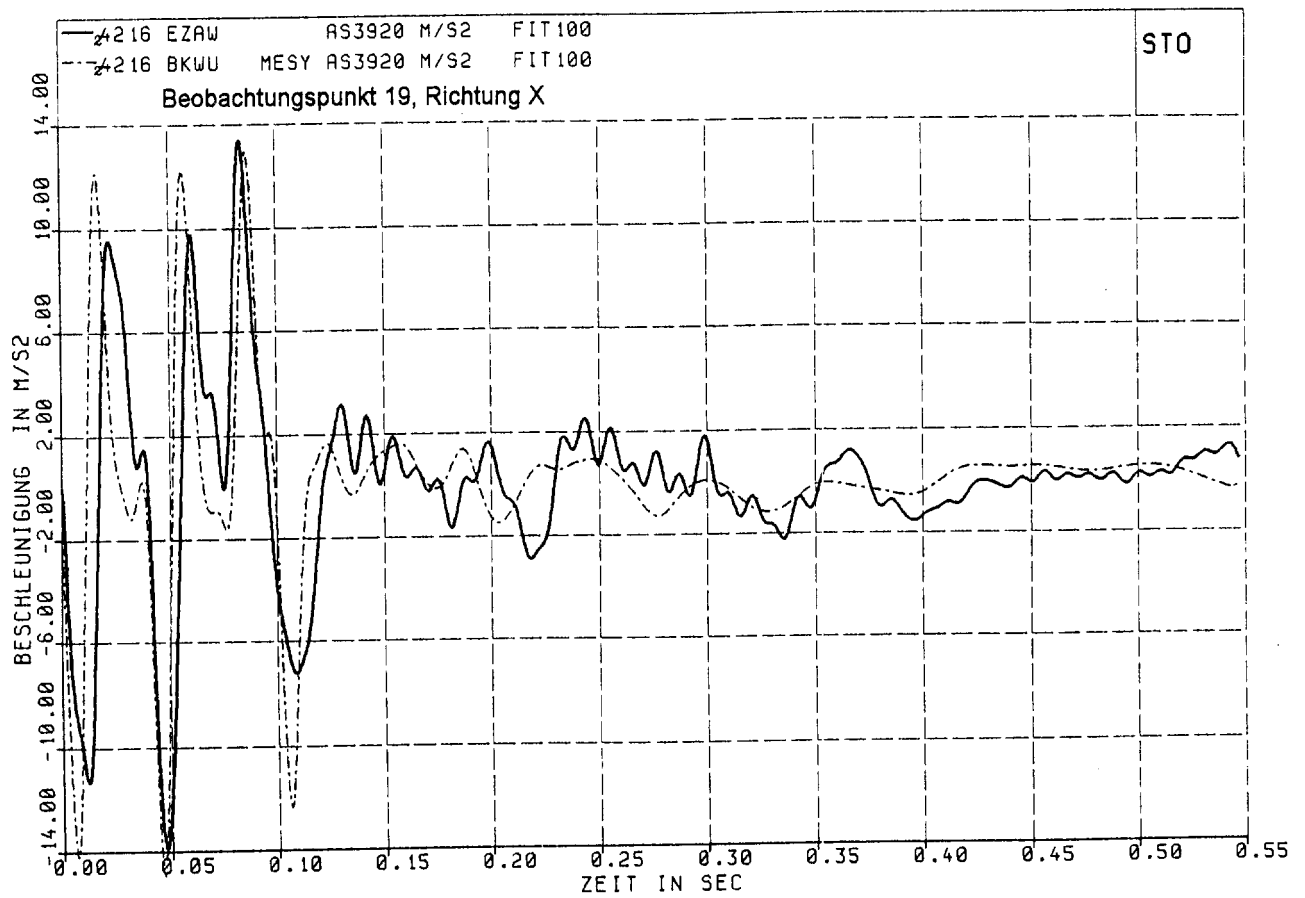


Fig. 2.2-10 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

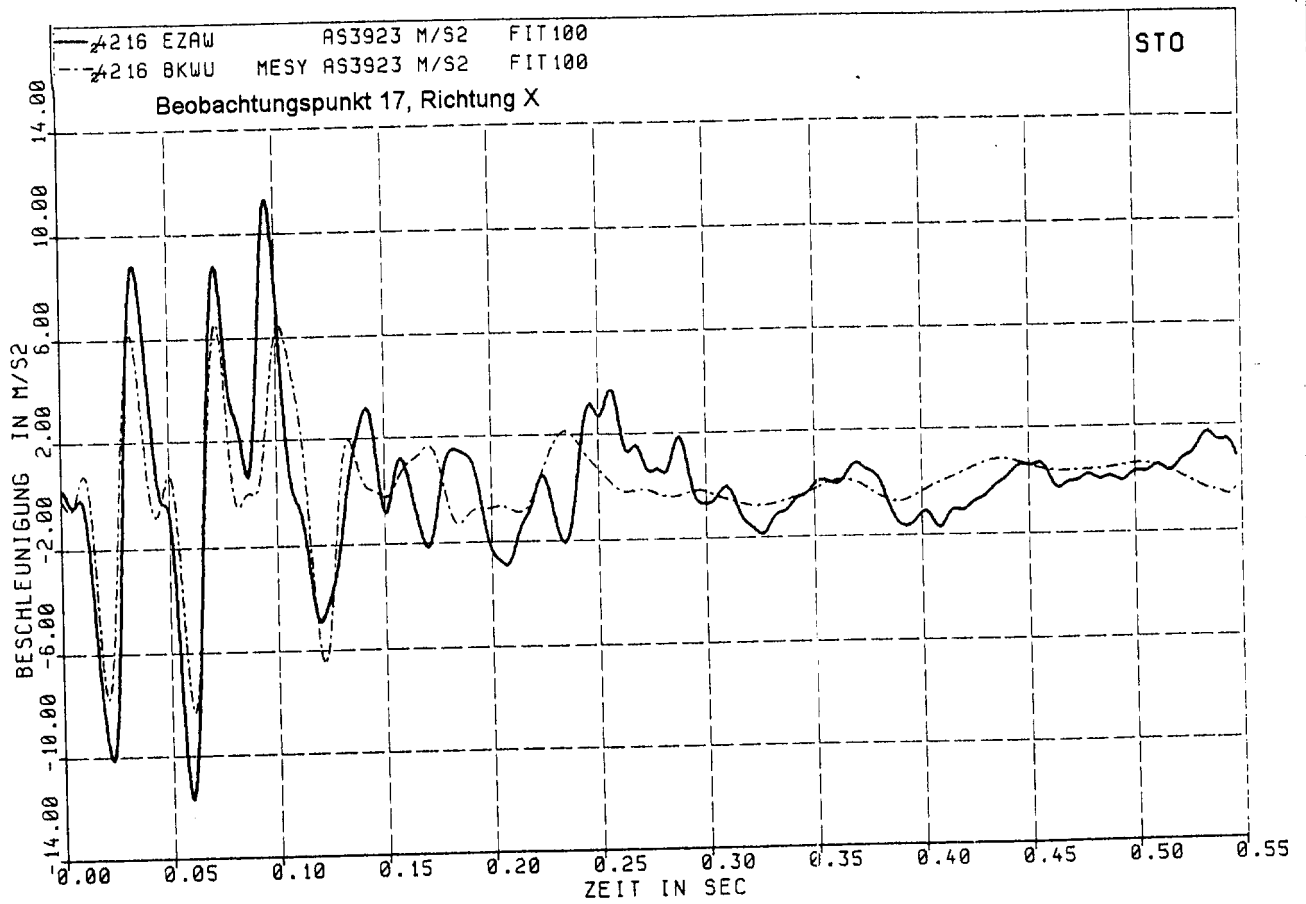


Fig. 2.2-11 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

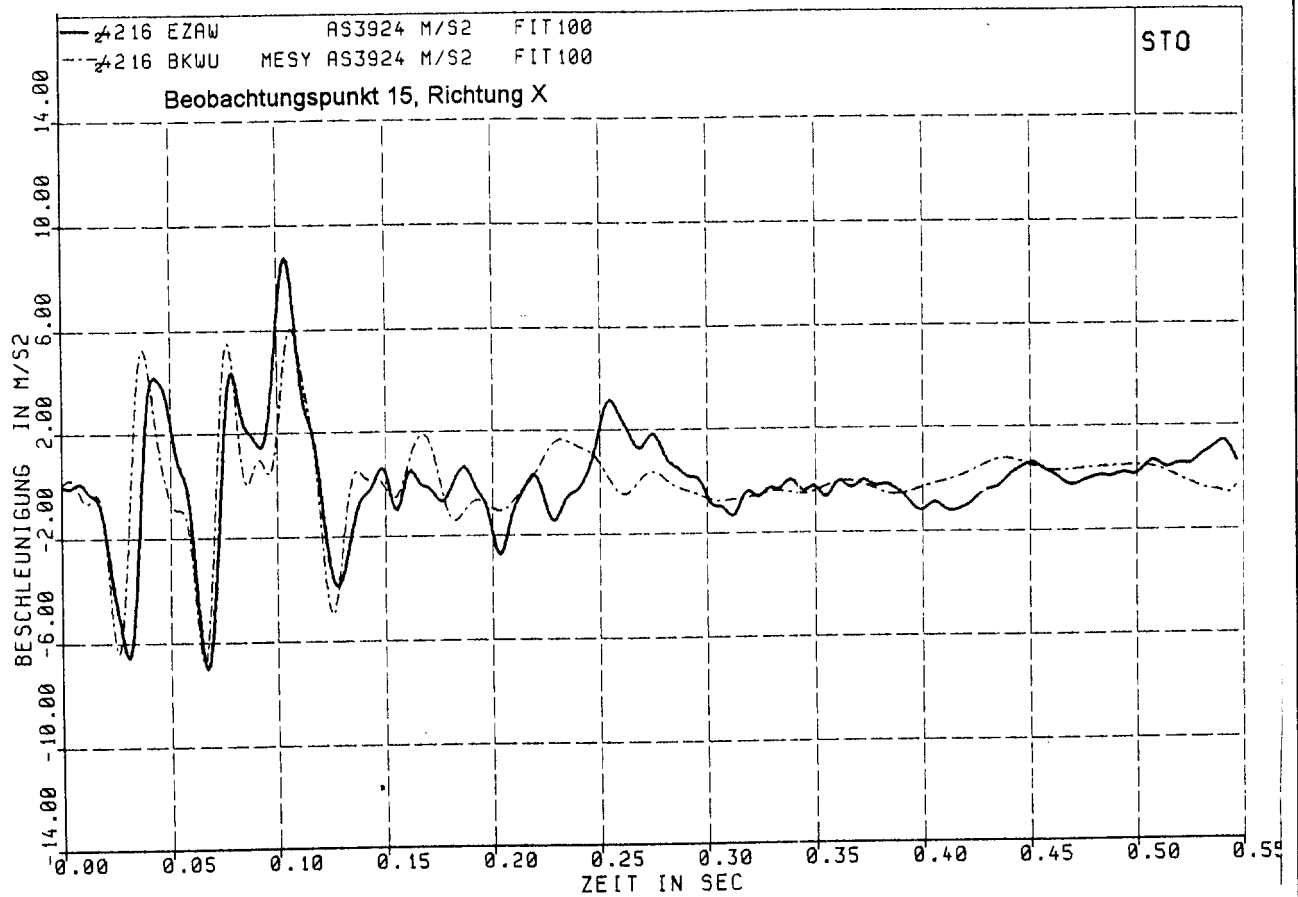


Fig. 2.2-12 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

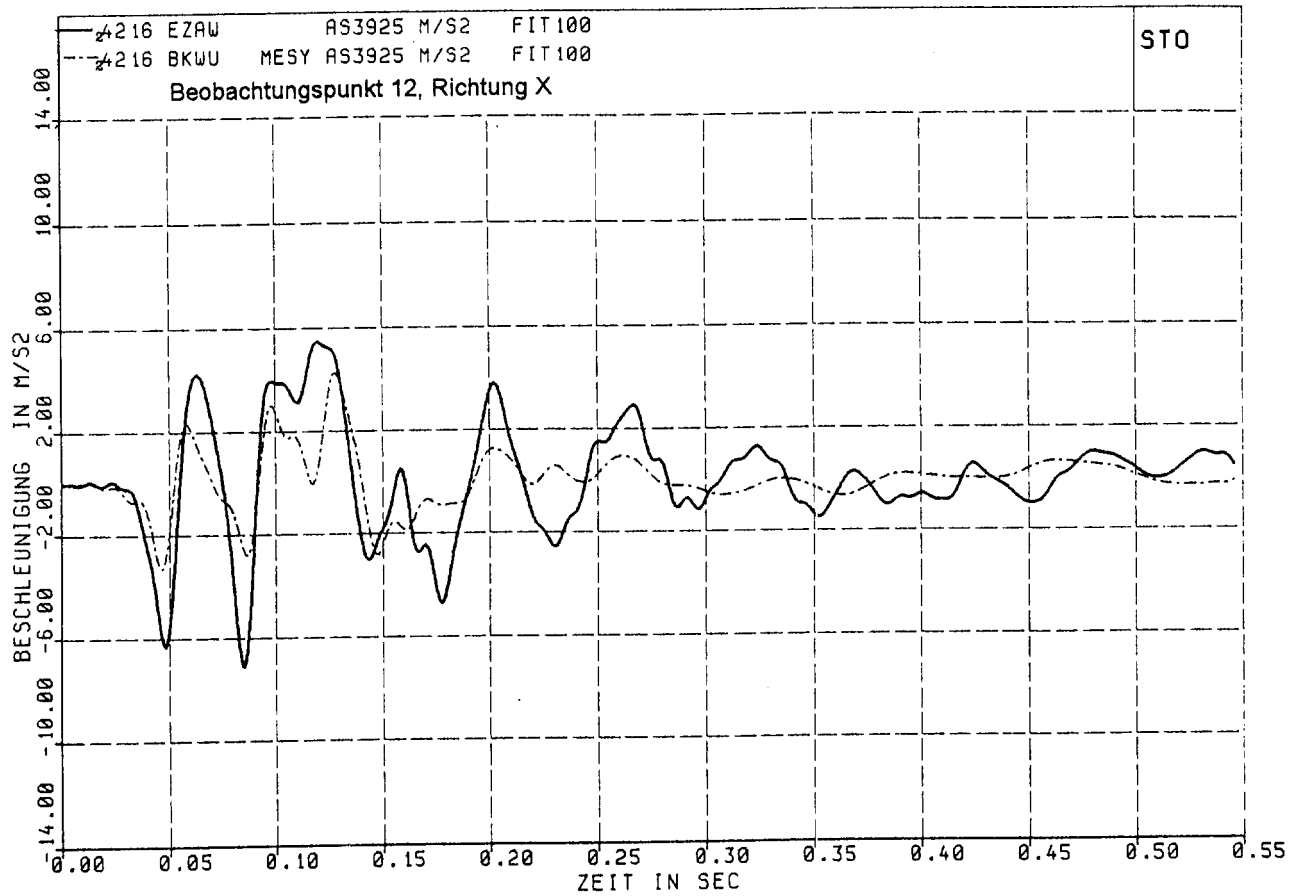


Fig. 2.2-13 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

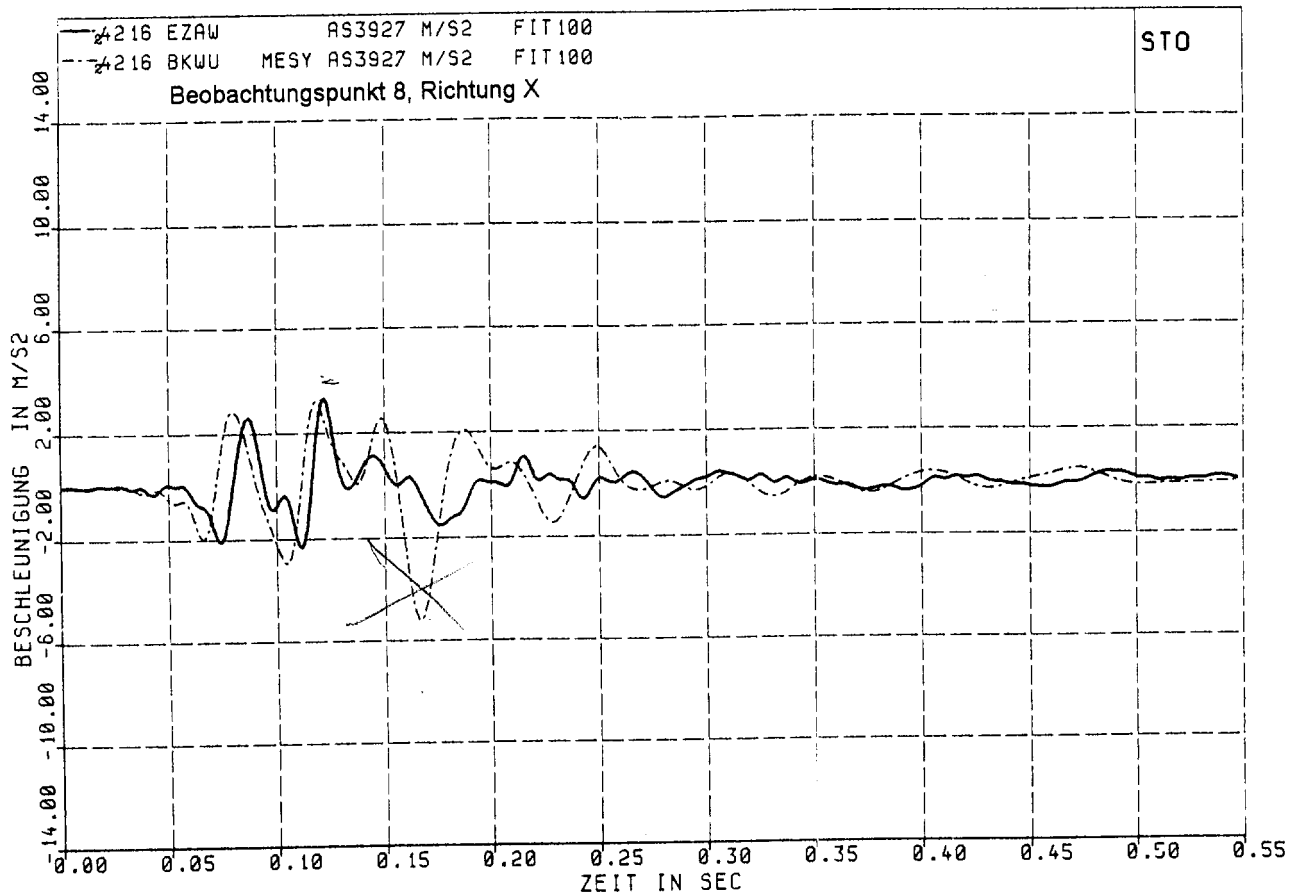


Fig. 2.2-14 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

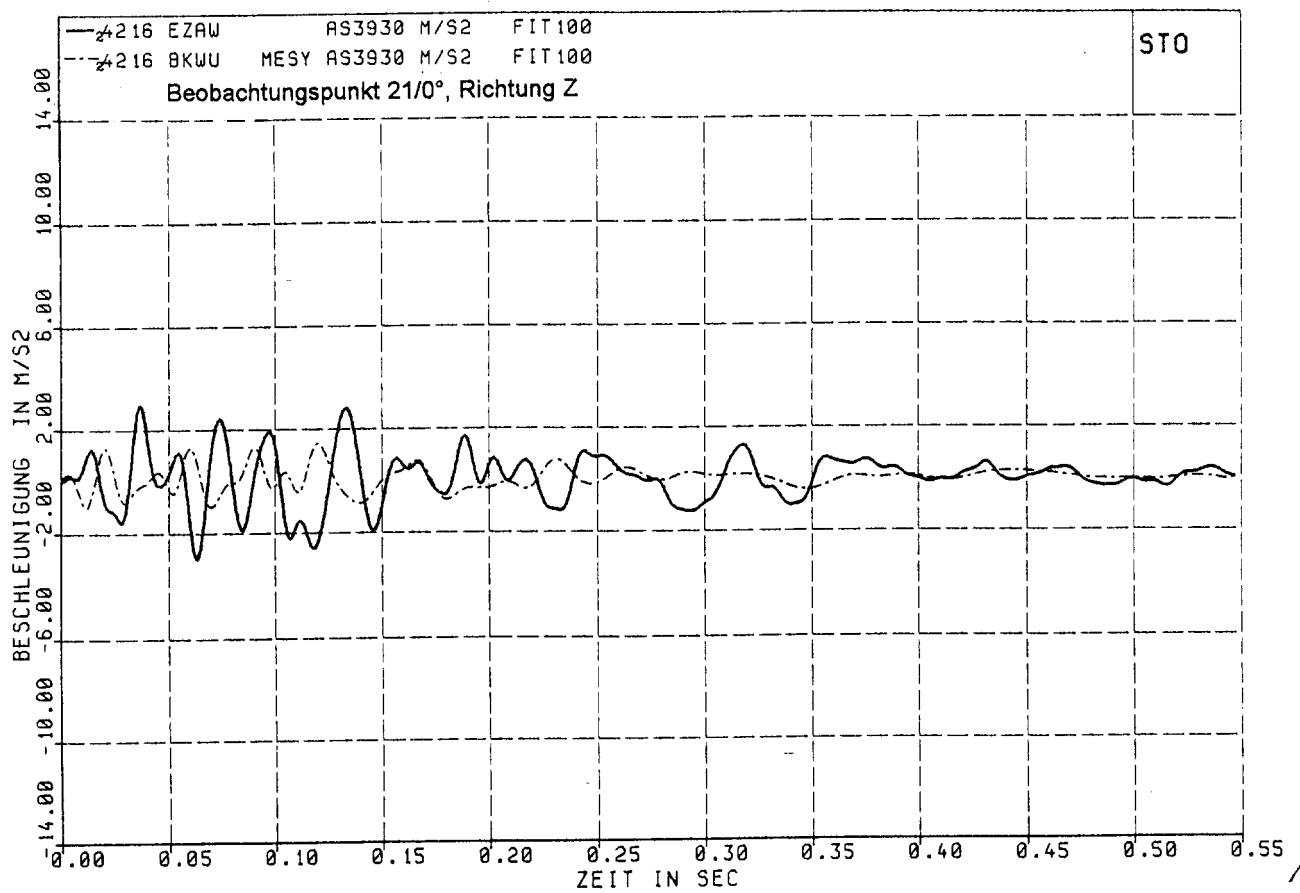


Fig. 2.2-15 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

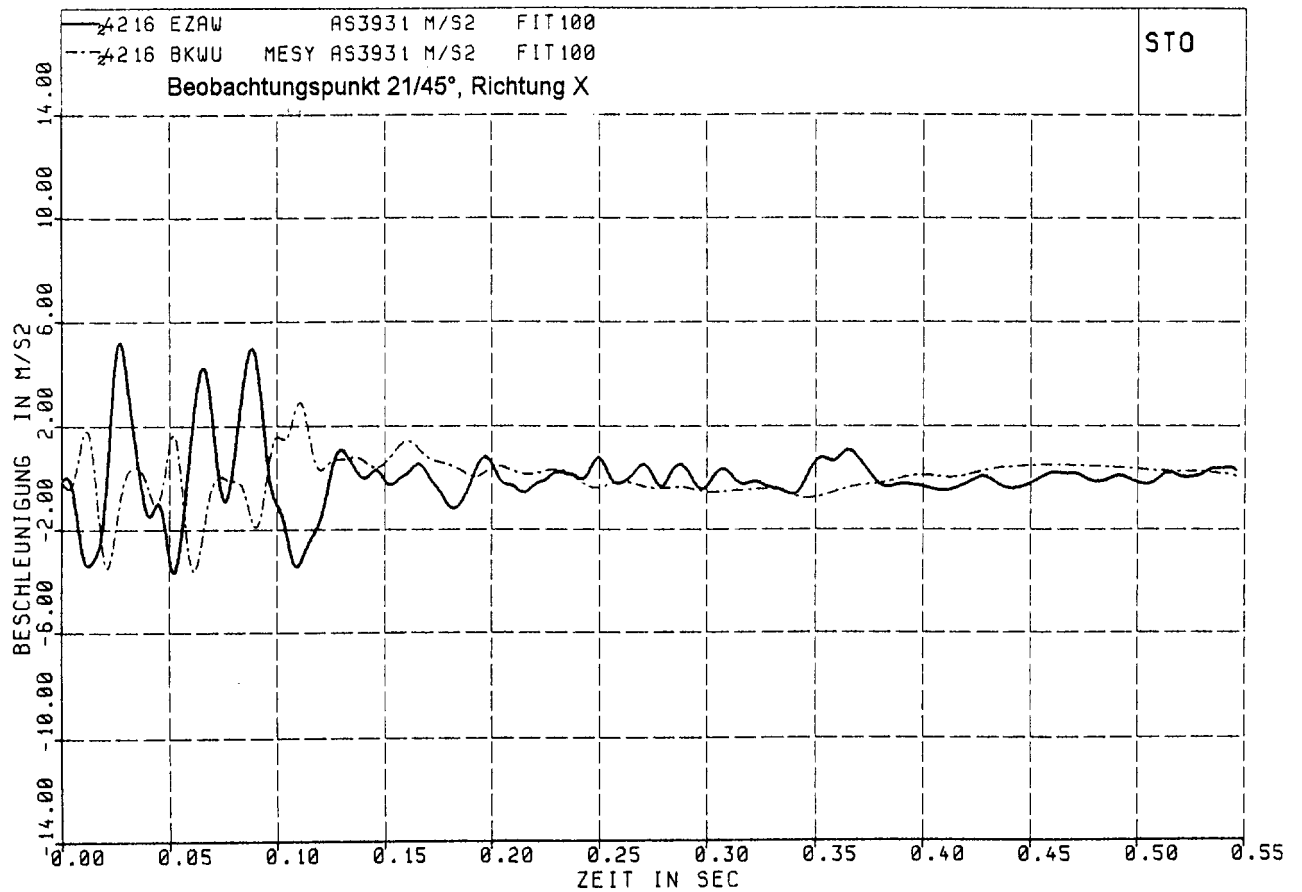


Fig. 2.2-16 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

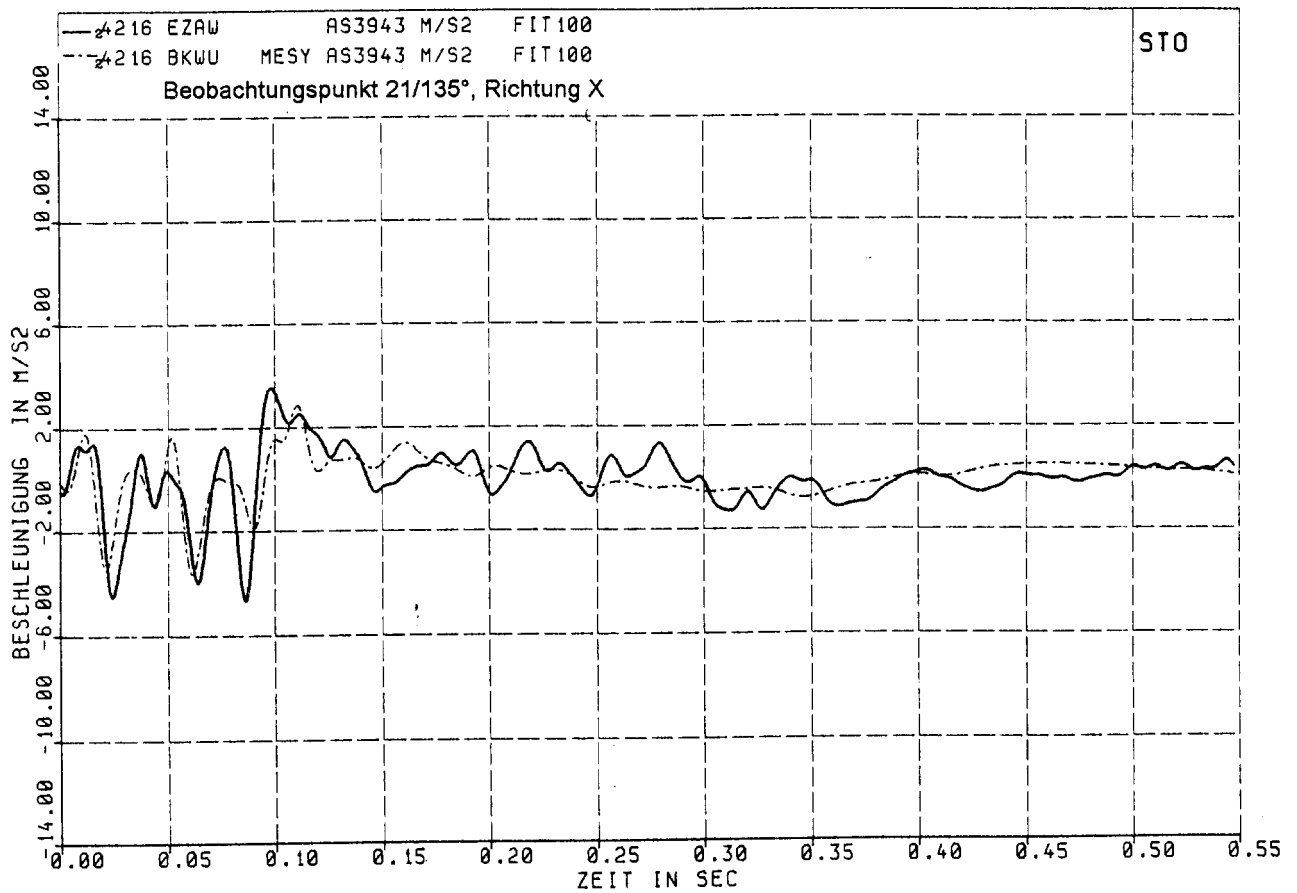


Fig. 2.2-17 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

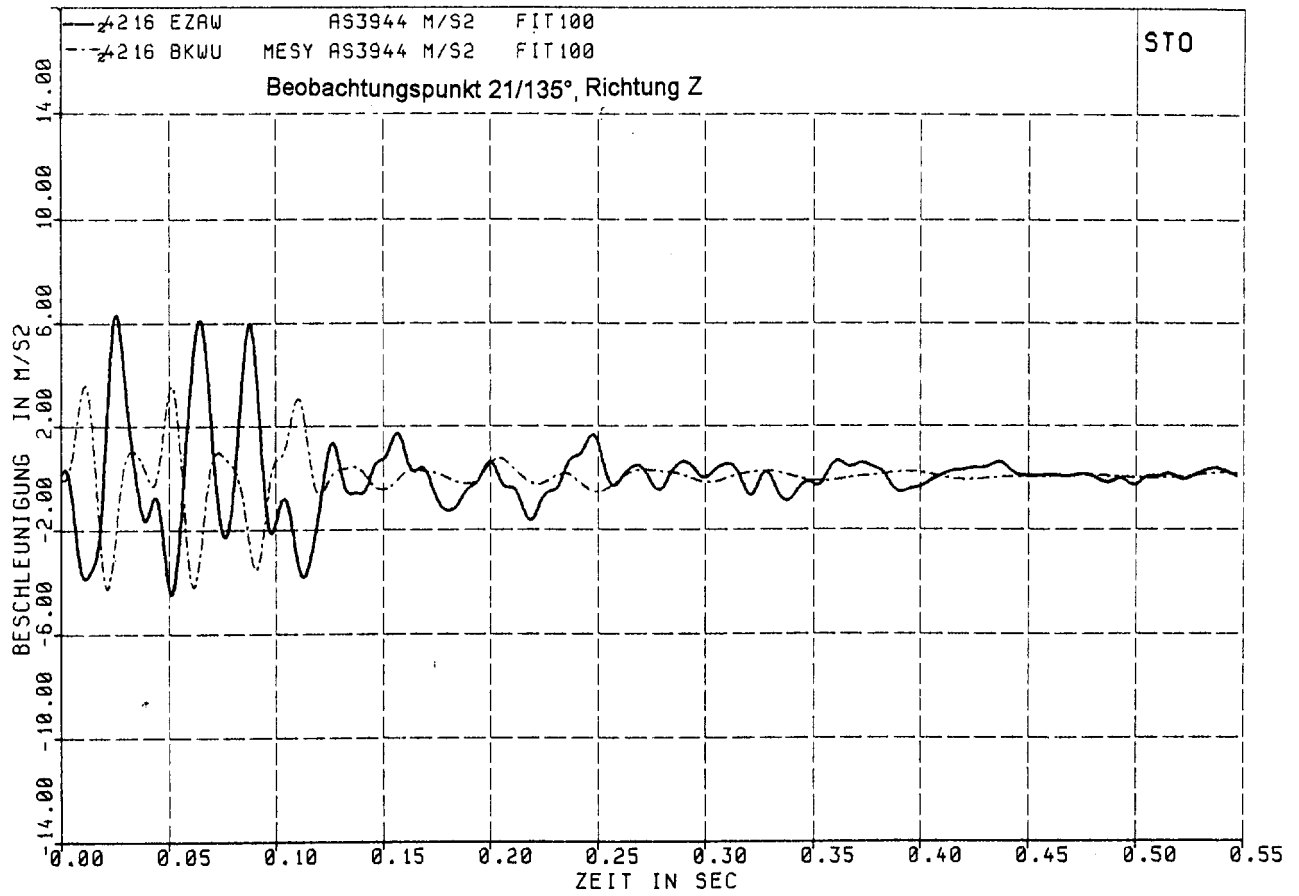


Fig. 2.2-18 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

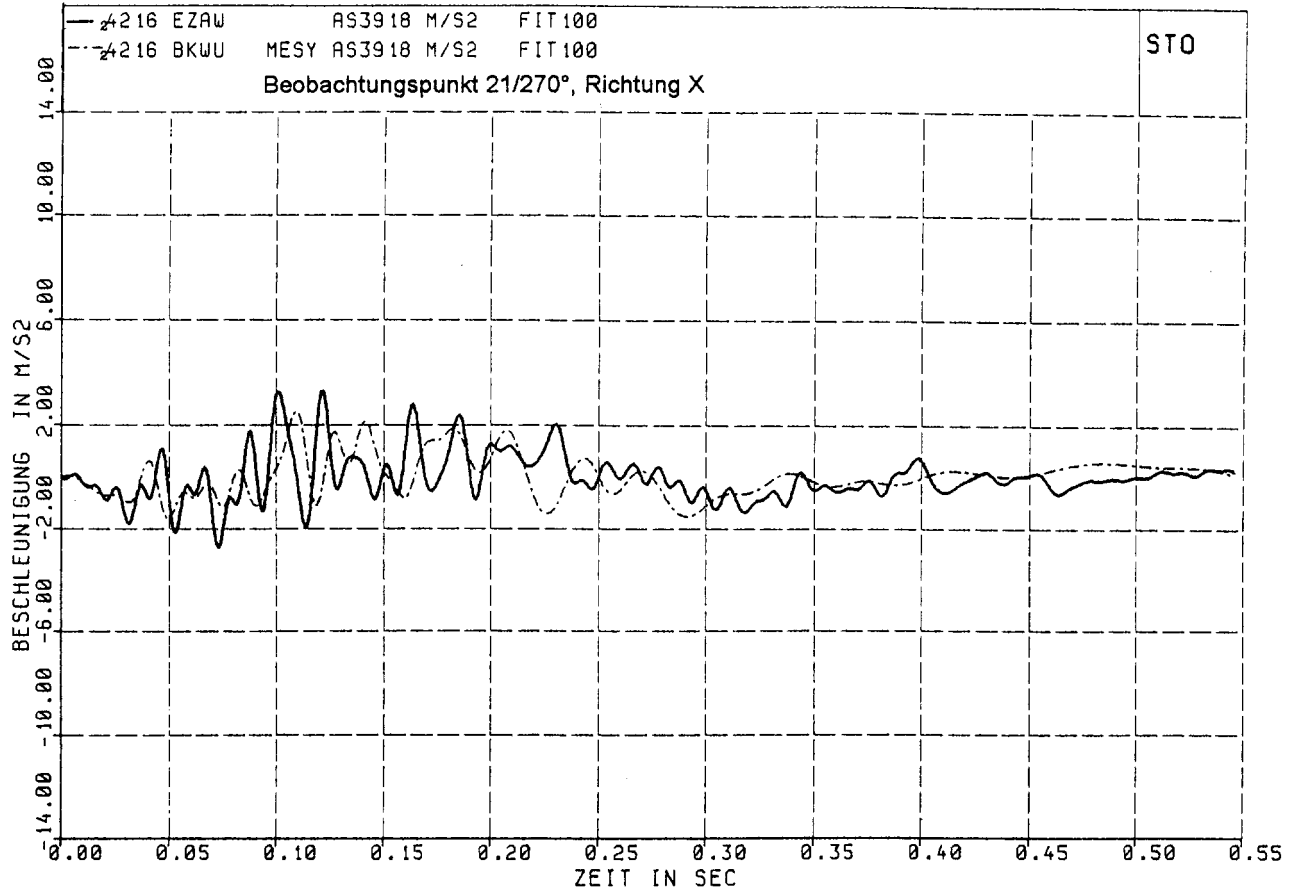


Fig. 2.2-19 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe an der Außenschale

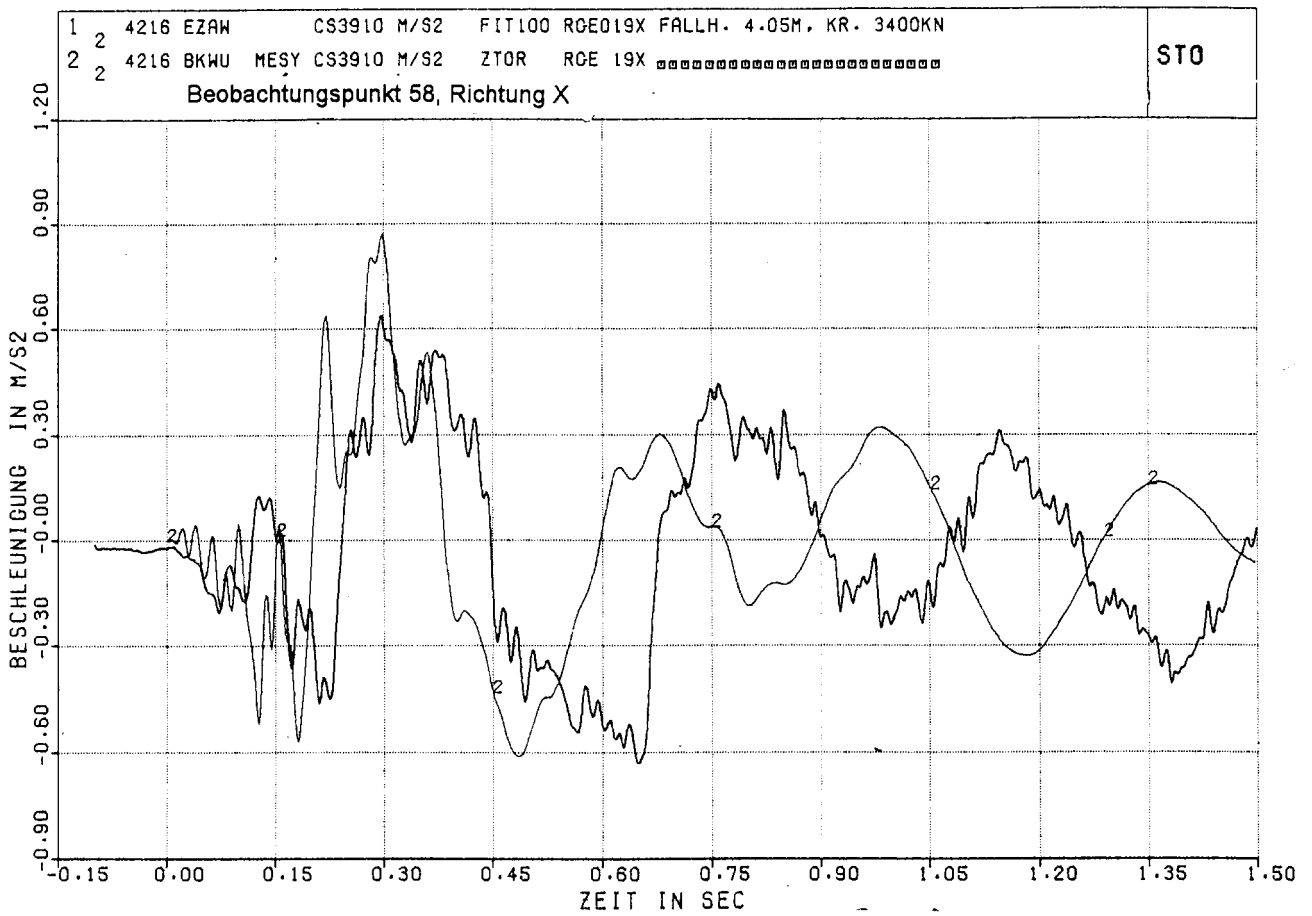


Fig. 2.2-21 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe in den Innenstrukturen

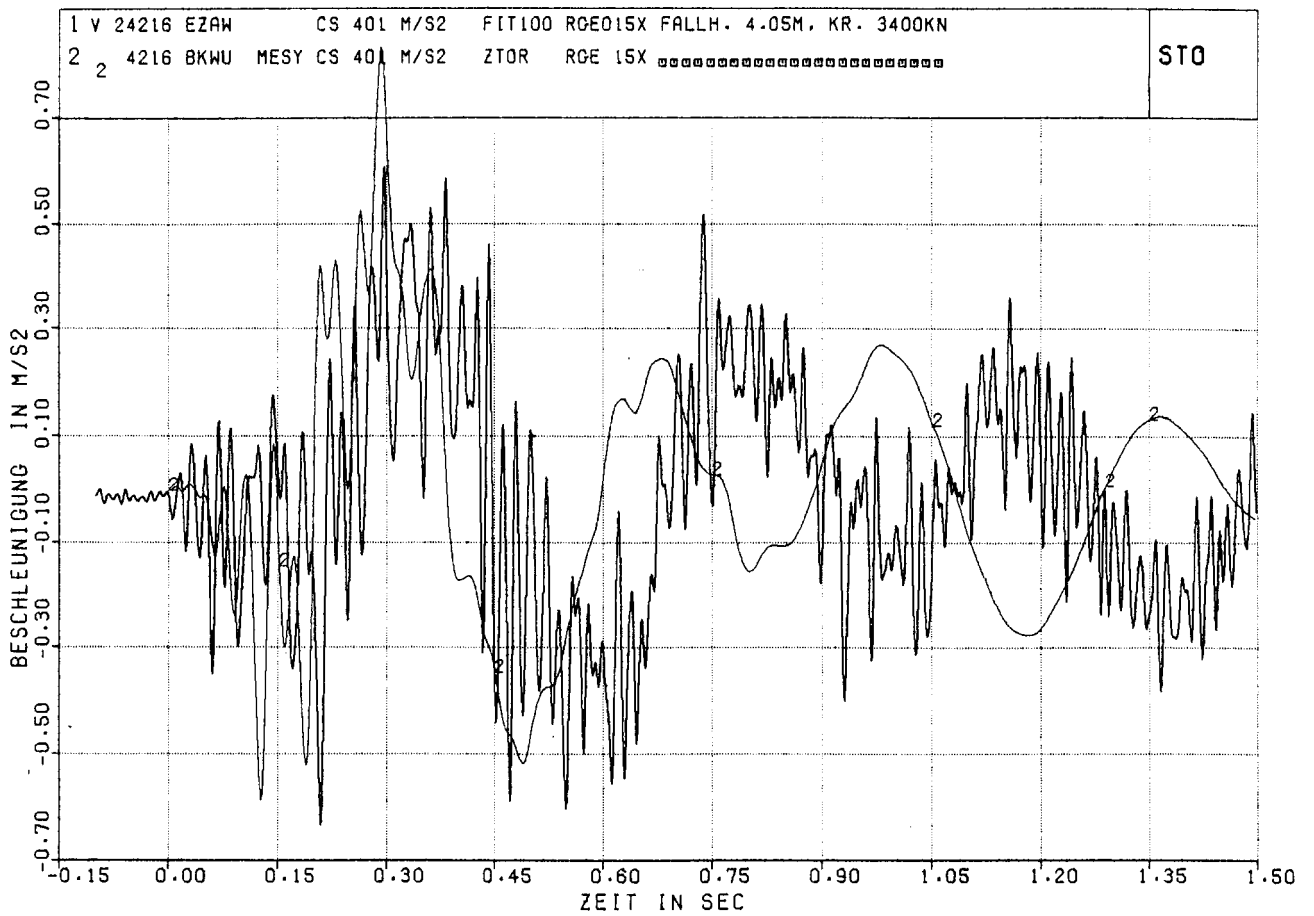


Fig. 2.2-24 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe in den Innenstrukturen

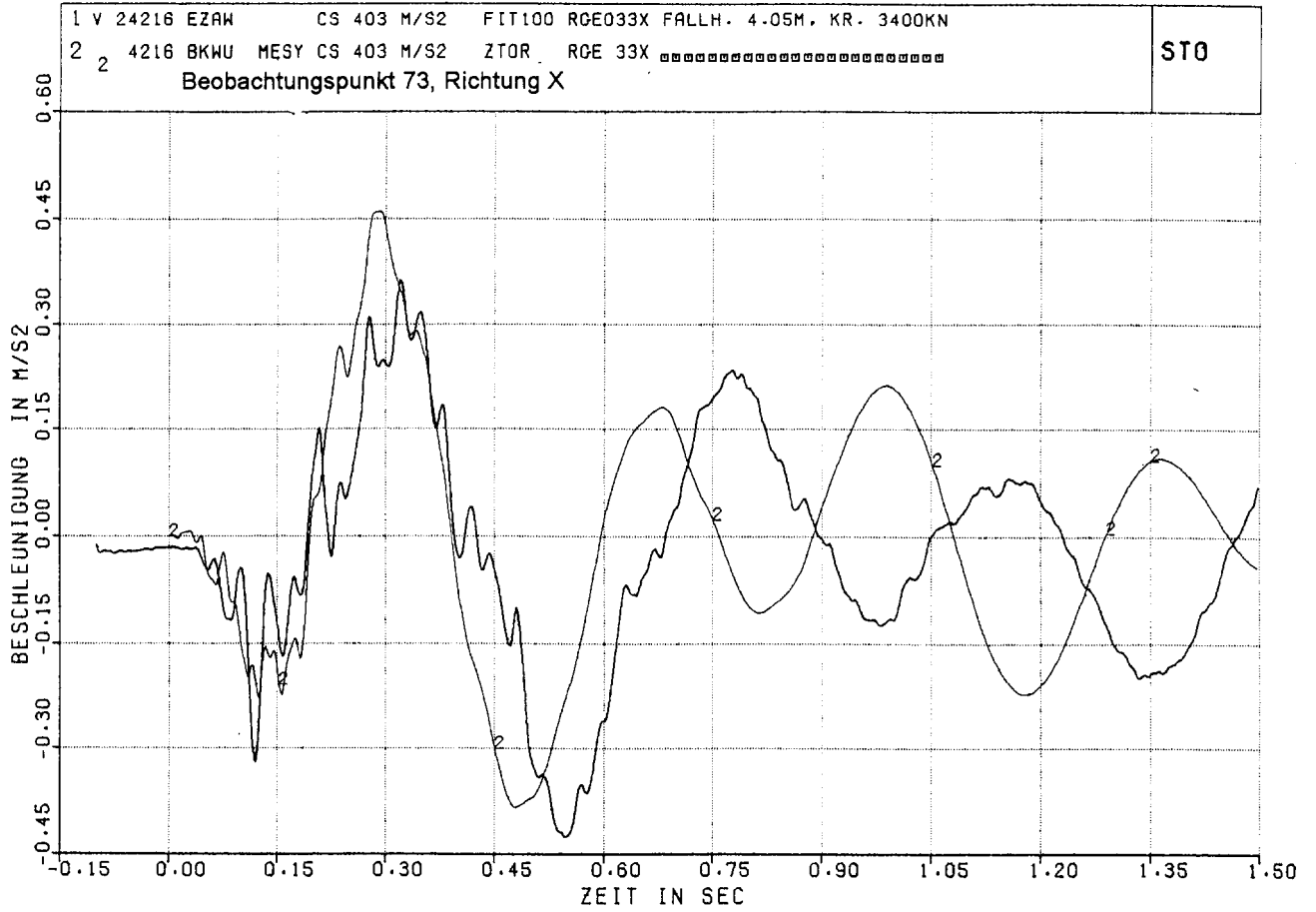


Fig. 2.2-25 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe in den Innenstrukturen

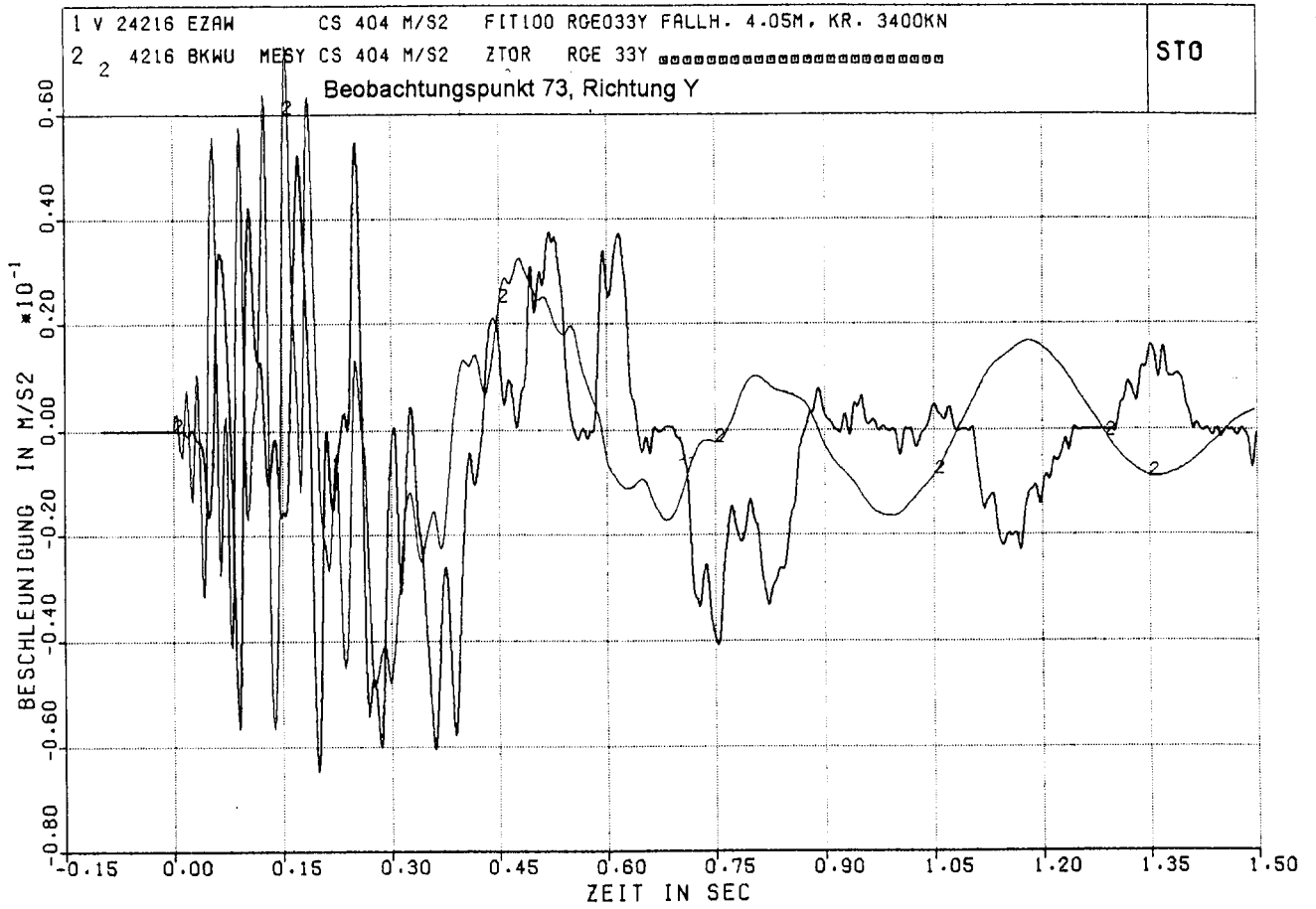


Fig. 2.2-26 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe in den Innenstrukturen

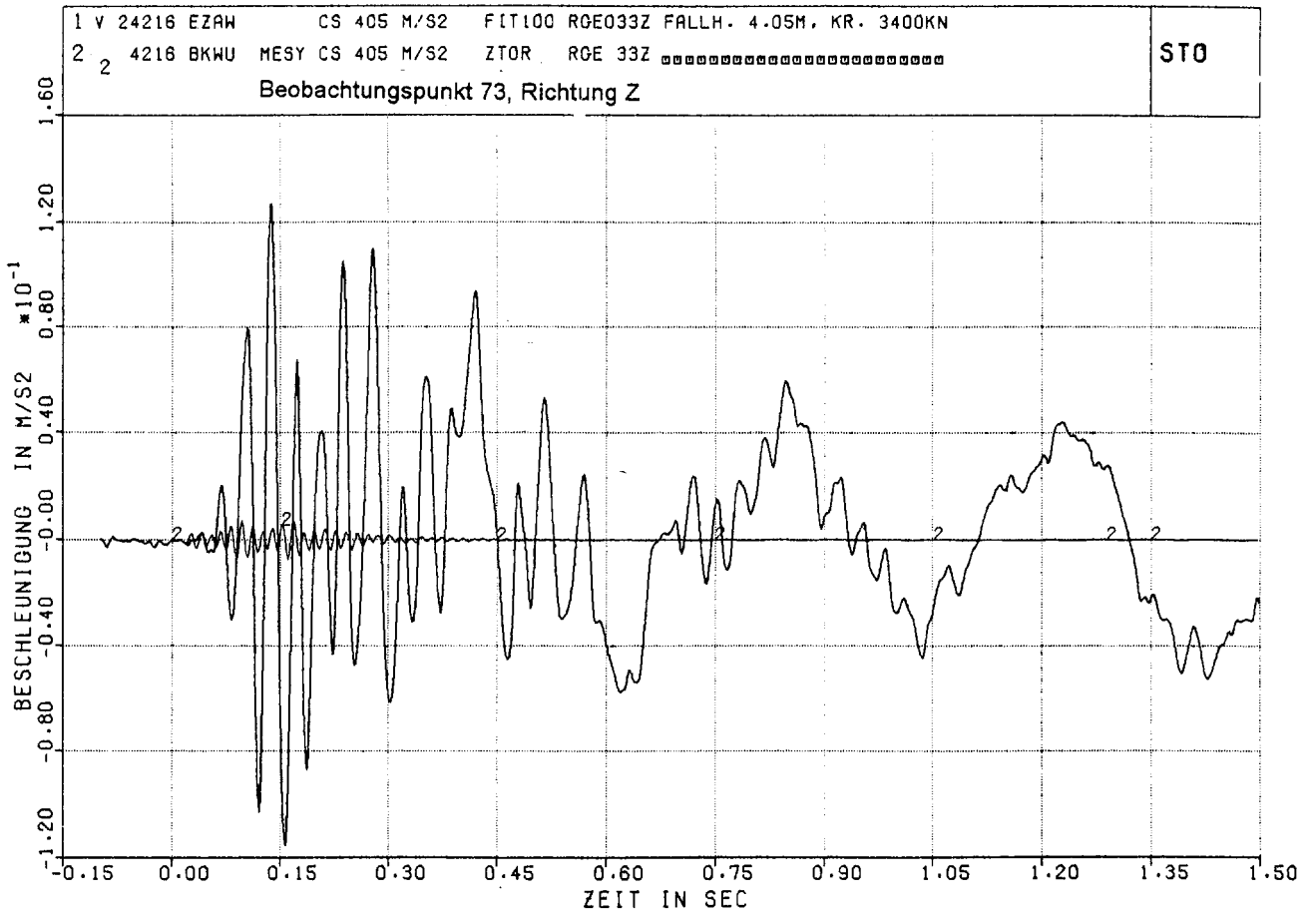


Fig. 2.2-27 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe in den Innenstrukturen

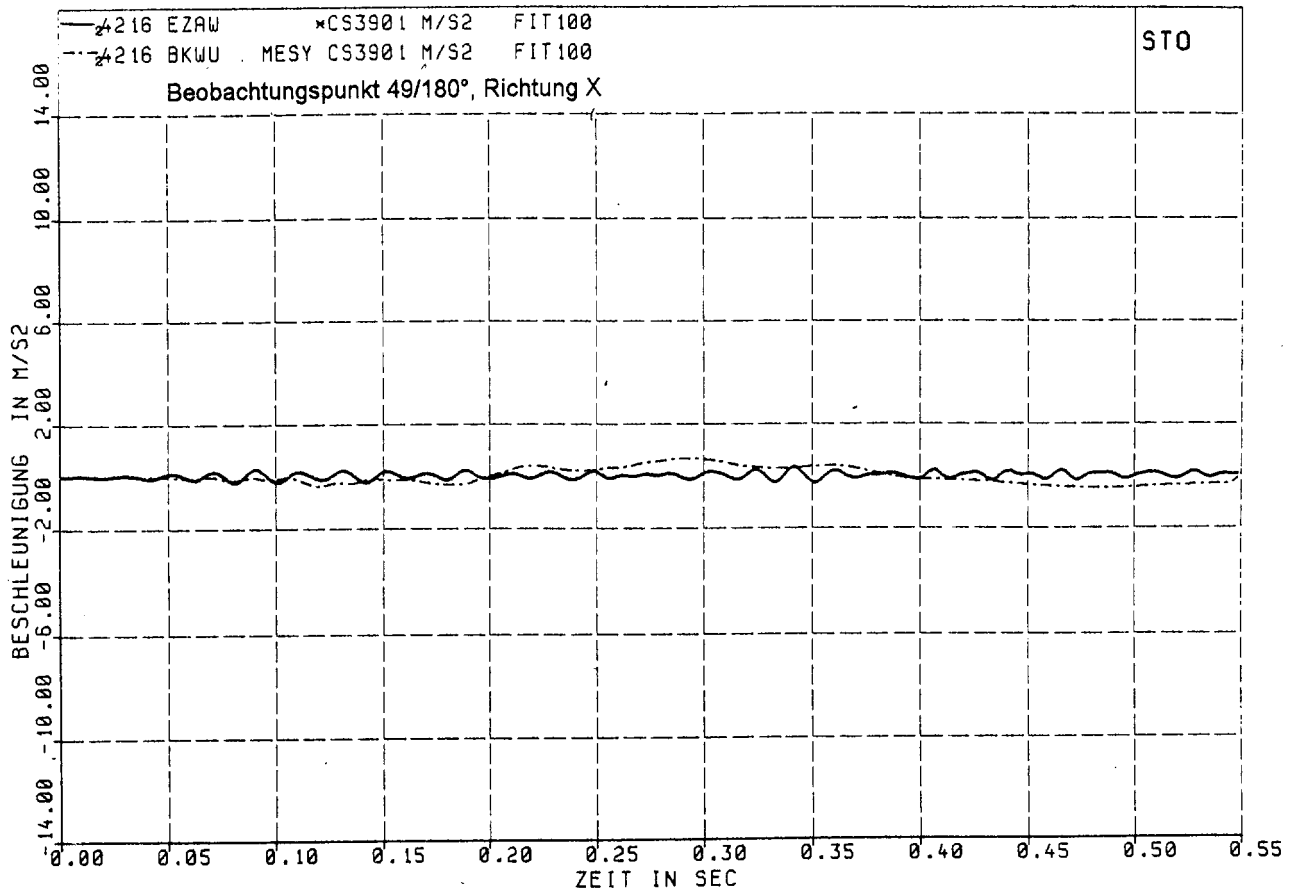


Fig. 2.2-28 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe in den Innenstrukturen

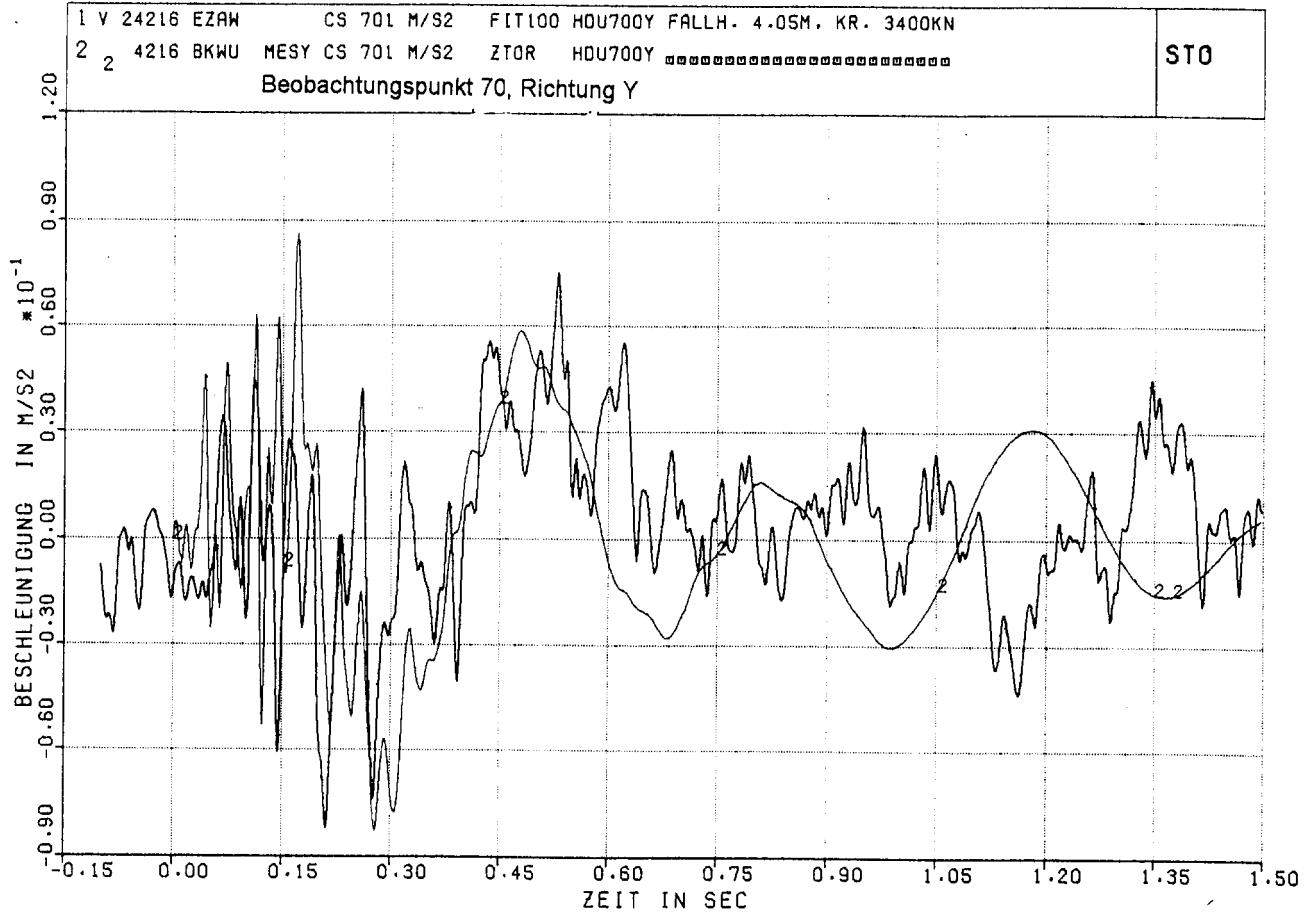


Fig. 2.2-30 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe in den Innenstrukturen

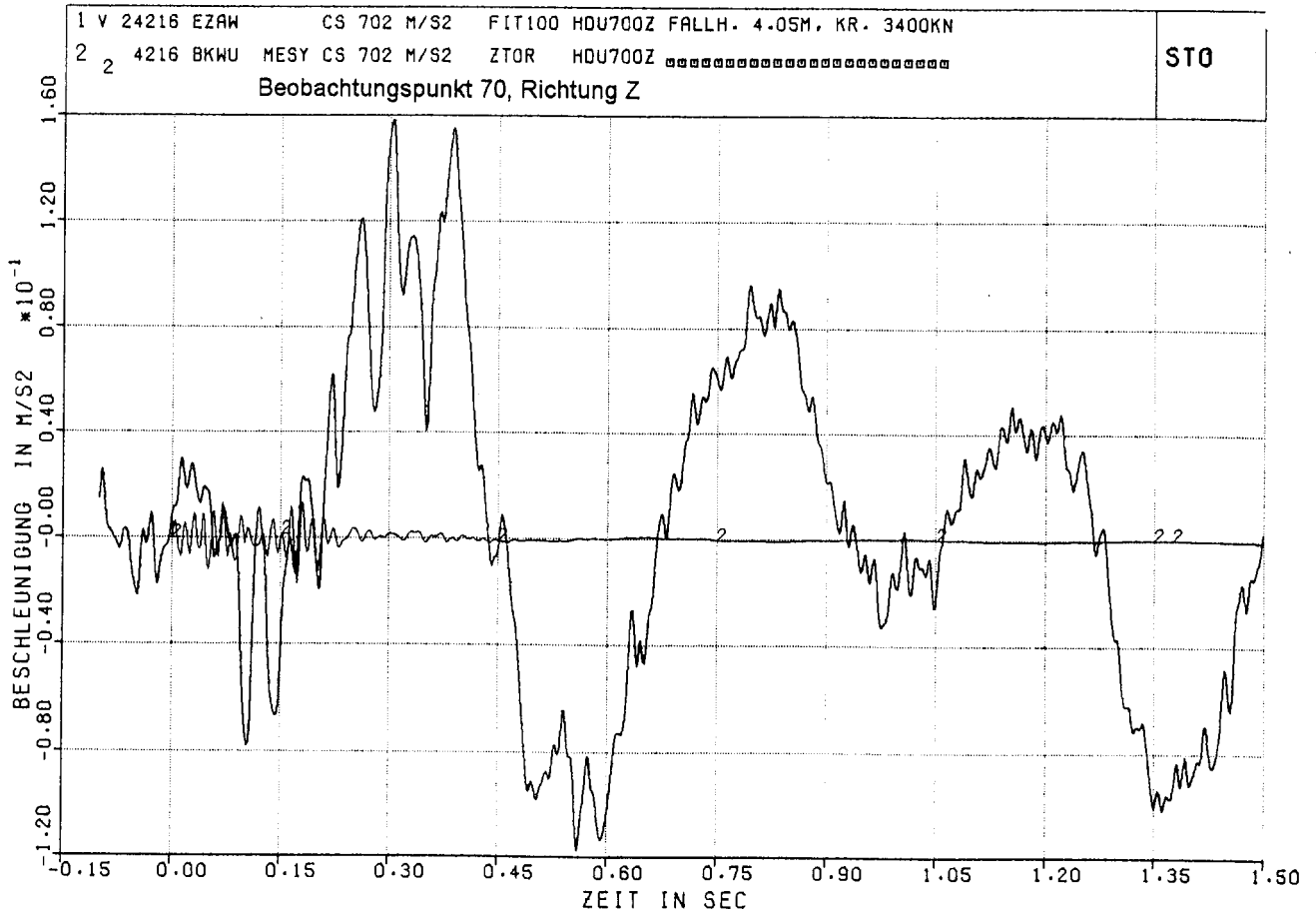


Fig. 2.2-31 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe in den Innenstrukturen

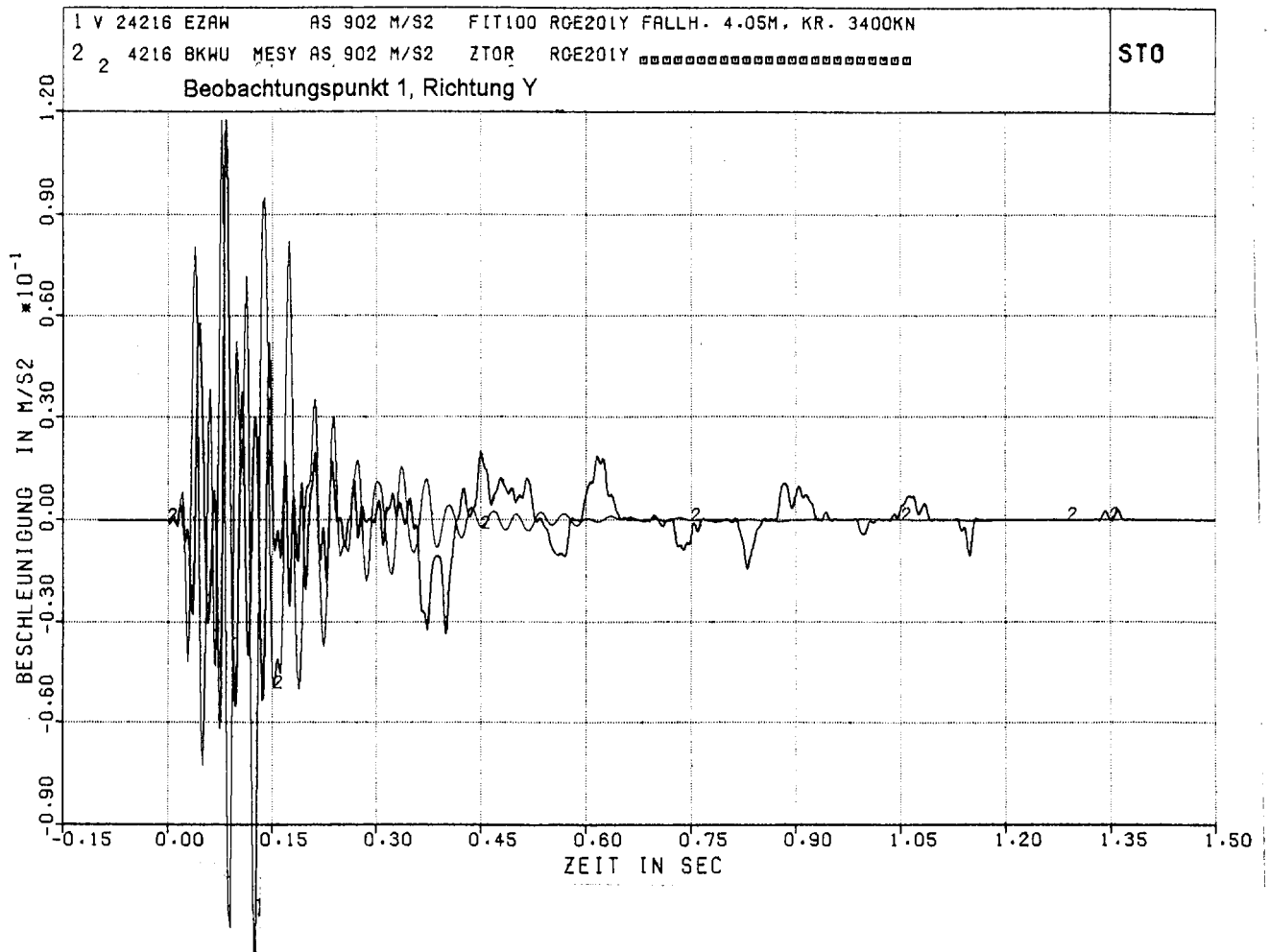


Fig. 2.2-33 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungszeitverläufe in den Innenstrukturen

2.3

Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungsantwortspektren

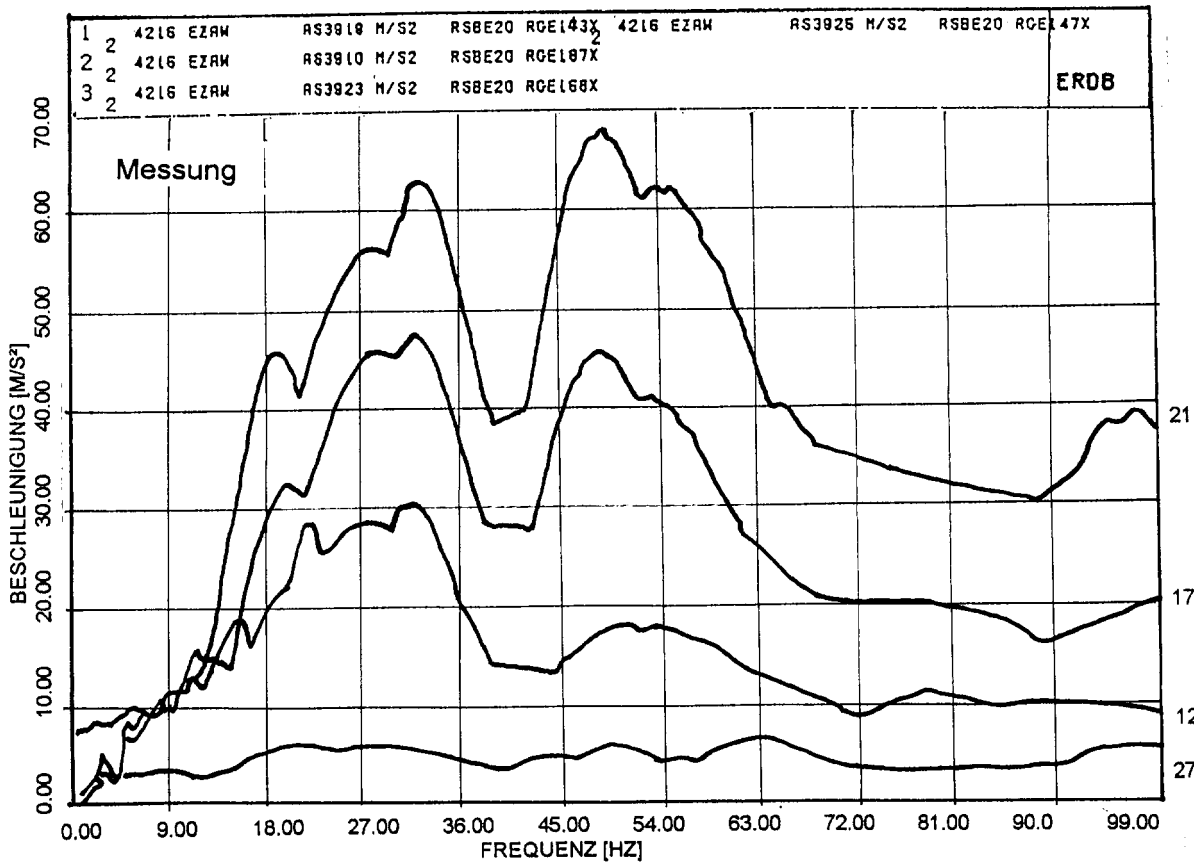
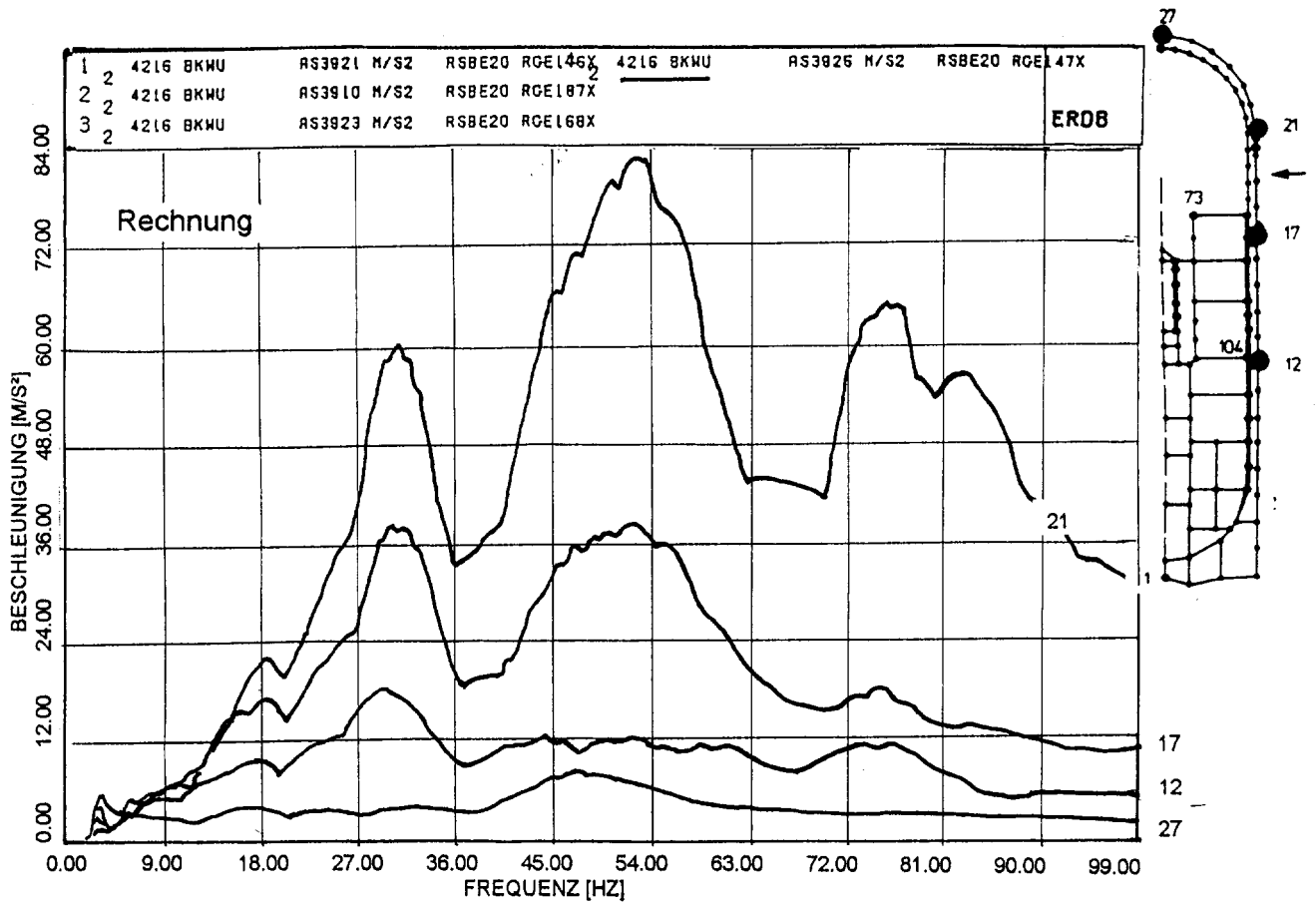


Fig. 2.3-1 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungsantwortspektren Außenstrukturen

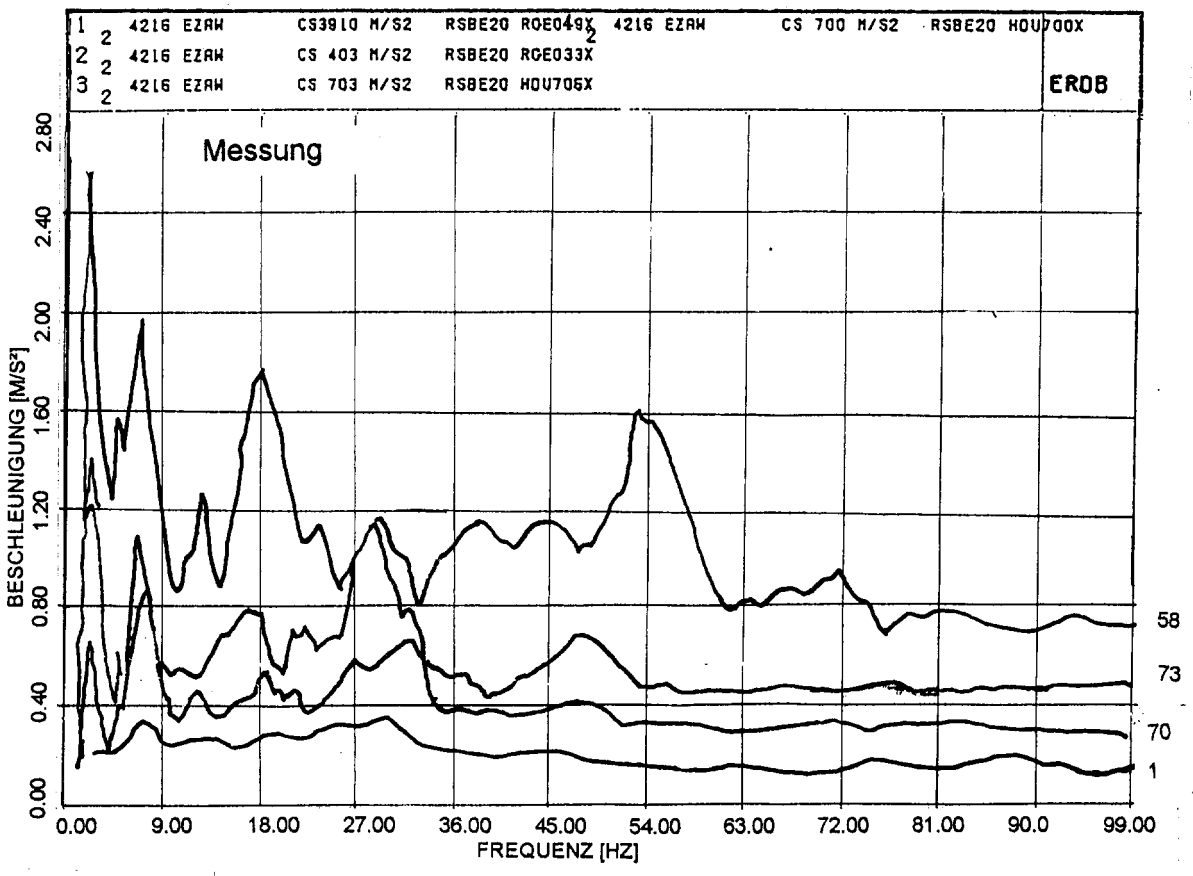
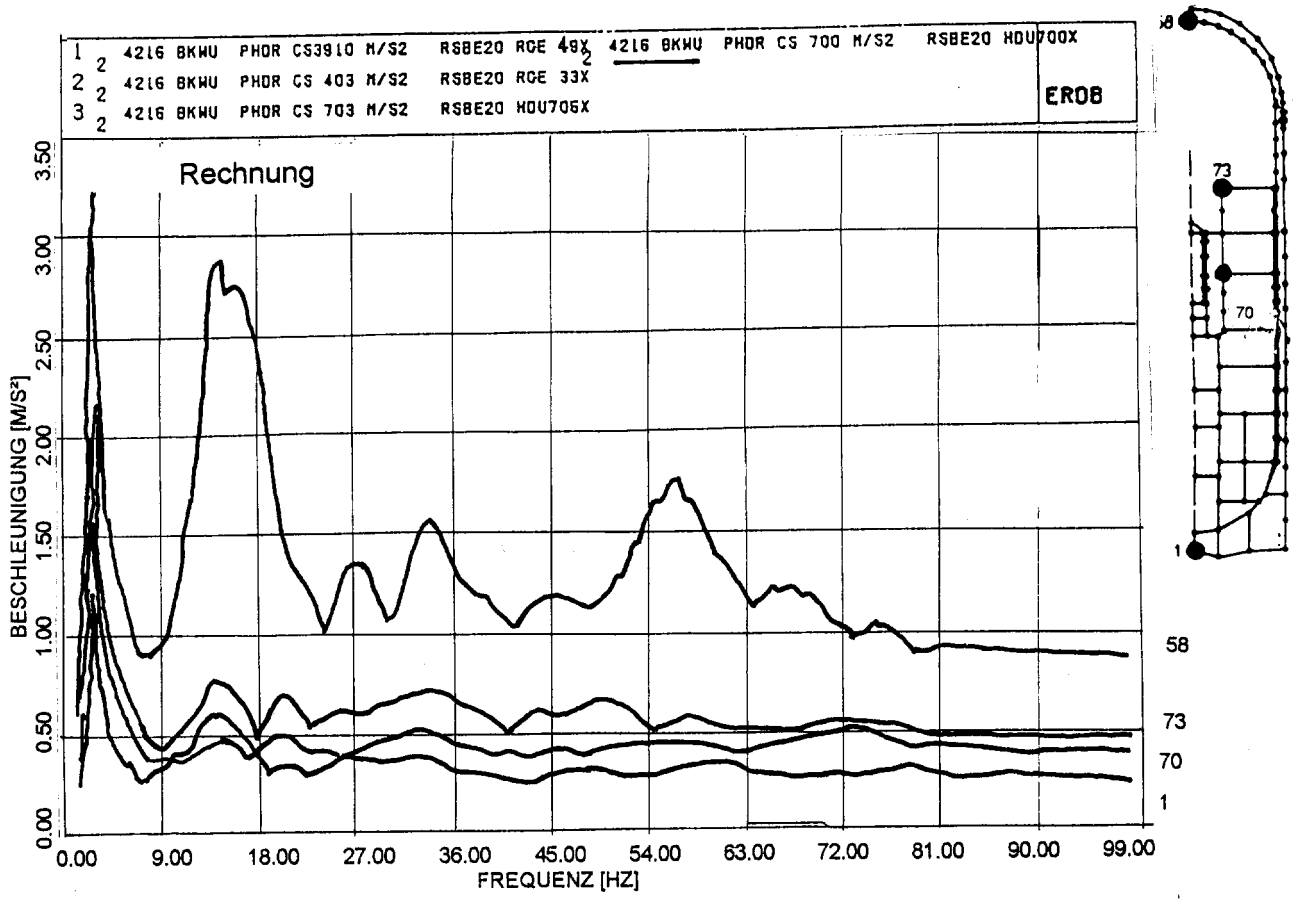


Fig. 2.3.-2 Vergleich berechneter und gemessener Beschleunigungsantwortspektren Innenstrukturen

2.4

Vergleich von Starrkörperbeschleunigungen an den Innen- und Außenstrukturen

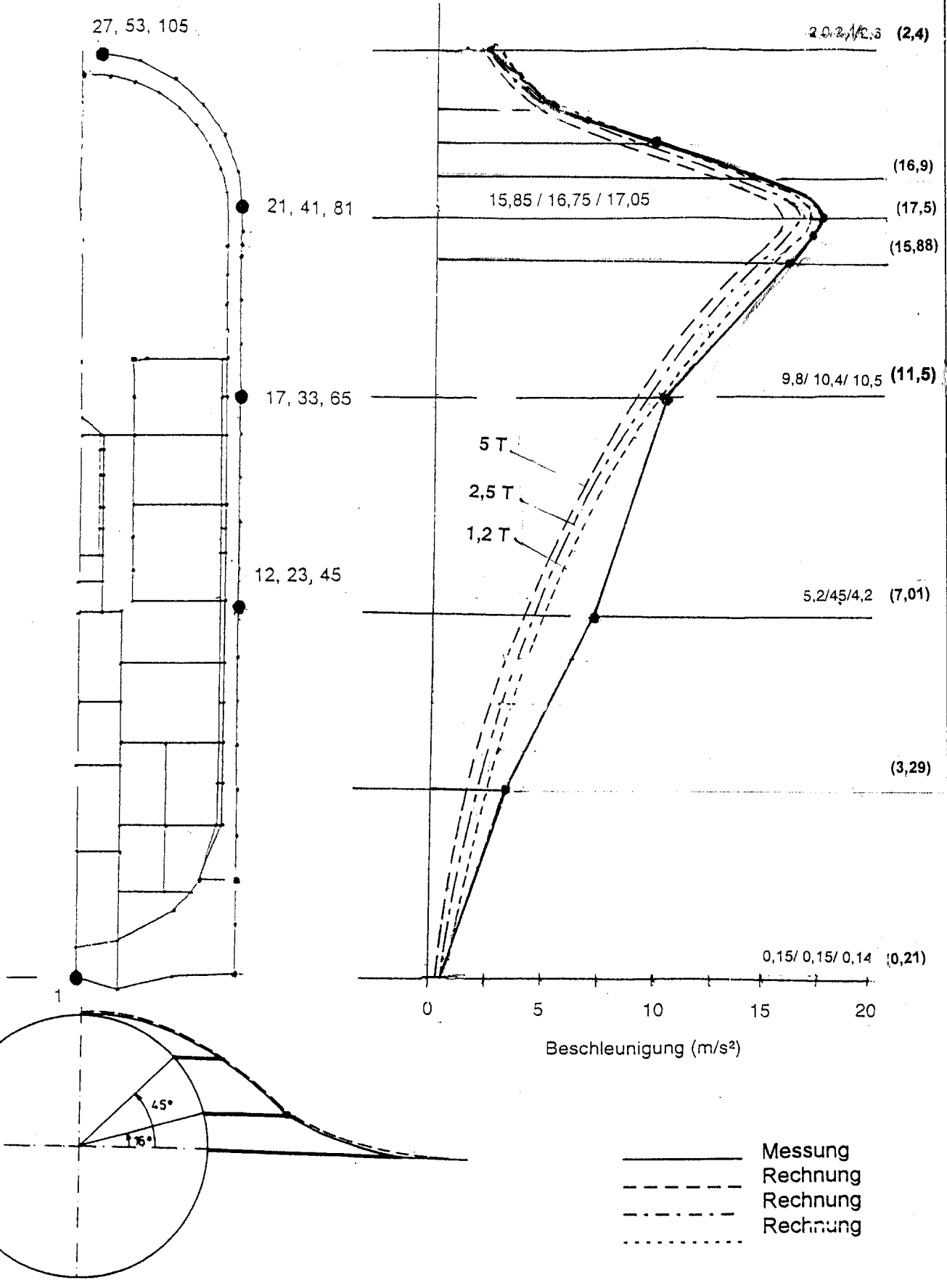


Fig.2.4-1 Vergleich gemessener und berechneter (5T, 2,5T, 1,2T) Starrkörperbeschleunigungen
Im Meridianschnitt durch die Aussenstrukturing

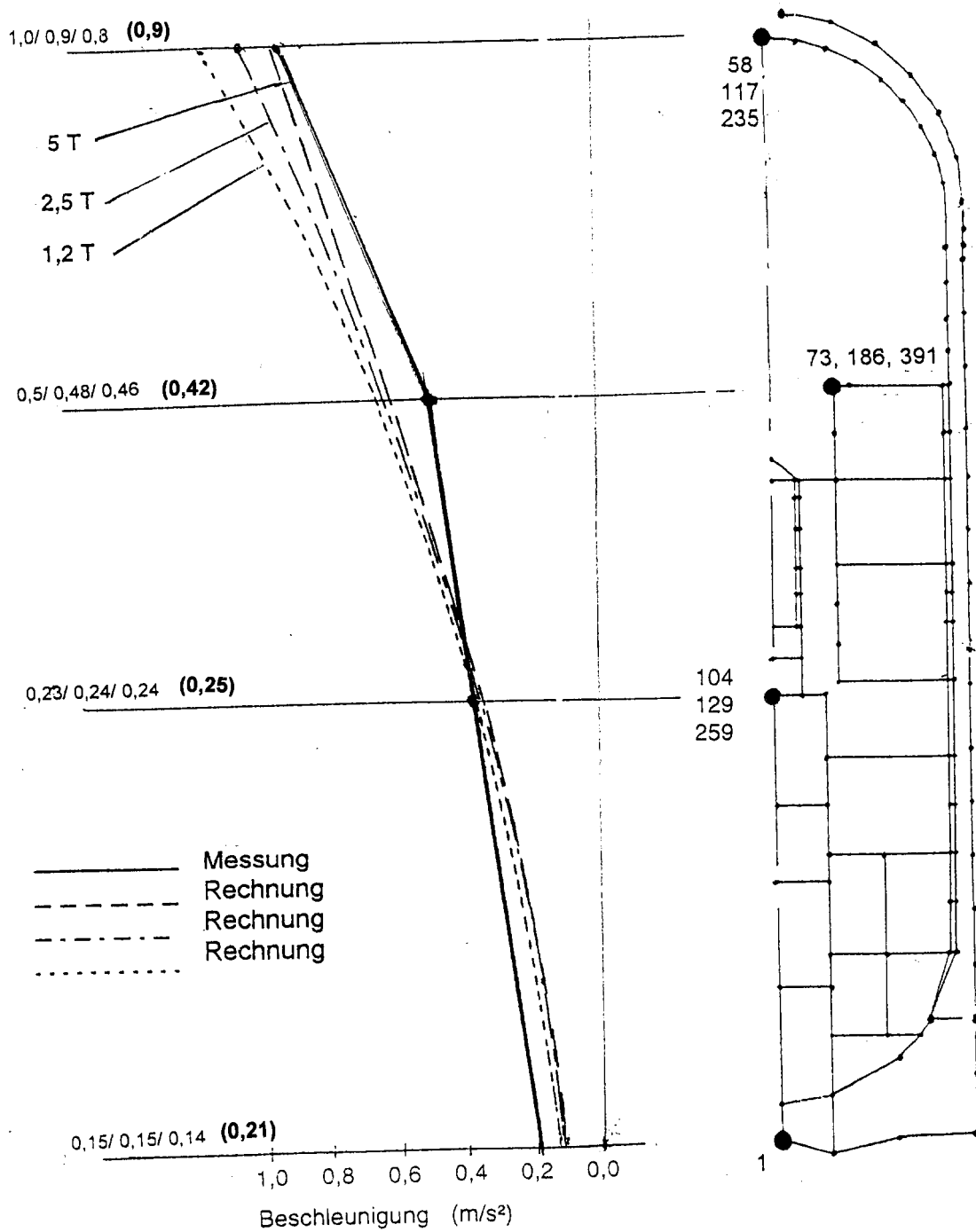


Fig.2.4-2 Vergleich gemessener und berechneter (5T, 2,5T, 1,2T) Starrkörperbeschleunigungen
Im Meridianschnitt durch die Innenstruktureng