

TRAGVERHALTEN VON QUERANSCHLÜSSEN
MITTELS STAHLFORMTEILEN, INSBESONDERE
BALKENSCHUHEN, IM HOLZBAU

von

Jürgen Ehlbeck und Rainer Görlacher

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abt. Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck

1983

V O R W O R T

Diese Arbeit entstand in den Jahren 1980 bis 1982 im Auftrage und mit finanzieller Förderung des Ministers für Landes- und Stadtentwicklung des Landes Nordrhein-Westfalen unter dem Geschäftszeichen VB 1 - 72.02 - Nr. 138/80. Die Firma Schürmann und Hilleke Vertriebsgesellschaft mbH u. Co.KG in Neuenrade/Westfalen stellte das für die Versuche benötigte Nagelmaterial kostenfrei zur Verfügung.

Die Planung und Durchführung der Versuche sowie deren Auswertung erfolgte unter Anleitung des Herrn Dipl.-Ing. Rainer Görlacher, der auch die theoretischen Lösungsansätze entwickelte. Die sorgfältige Herstellung der Versuchskörper und deren Prüfung besorgten die Herren Harald Heck, Johann Lafferthon und Günter Rüd. Bei der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse halfen die Herren cand.ing. Jean-Marie Bichler und cand.ing. Otto Eberhart.

Allen Beteiligten sei für ihren Einsatz gedankt.

Jürgen Ehlbeck

I N H A L T

1	Ziel der Forschungsarbeit	1
2	Auswertung des Schrifttums	3
3	Versuche	4
	3.1 Versuchsprogramm	4
	3.2 Versuchsmaterial	5
	3.3 Versuchsdurchführung	6
4	Ergebnisse der Versuche	8
5	Entwicklung eines Tragfähigkeitsnachweises für Queranschlüsse	13
	5.1 Bezeichnungen	13
	5.2 Aufteilung der anzuschließenden Kraft	15
	5.3 Einfluß mehrerer Nagelreihen	19
	5.4 Wirksame Anschlußfläche	22
	5.5 Querszugfestigkeit des Holzes	29
	5.6 Tragfähigkeitsnachweis für Queranschlüsse	31
6	Gegenüberstellung von Versuchsergebnissen mit dem entwickelten Tragfähigkeitsnachweis	32
	6.1 Allgemeines	32
	6.2 Versuchsdaten aus den Diplomarbeiten [4] bis [7]	32
	6.3 Versuchsdaten von Möhler und Lautenschläger [2]	34
	6.4 Versuchsdaten nach Abschnitt 4	35
7	Zusammenfassung	38

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Obwohl Anschlüsse über Blechformteile im Ingenieurholzbau bereits seit langem zur Anwendung kommen, ist über die dabei im Holz auftretenden Querkzugbeanspruchungen bisher keine zuverlässige Aussage möglich gewesen. Bei Balkenschuhen ist außerdem die Beanspruchung der Nägel und der Blechteile unter Einwirkung der zu übertragenden Kräfte noch nicht eindeutig bekannt. Es kann weder für den Kraftfluß im Balkenschuh noch für die Beanspruchung der Nägel bei gleichzeitiger Wirkung von Abscher- und Ausziehkräften ein gesicherter Nachweis geführt werden. Die Tragfähigkeit derartiger Queranschlüsse als Ganzes wird aber sowohl durch die Tragfähigkeit der Nägel und Blechteile, als auch durch die Querkzugfestigkeit des Holzes oder der Leimfugen von Brettschichtholz bestimmt.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es in erster Linie, die Größe und die Verteilung der Querkzugbeanspruchung in einem Holzträger bei Queranschlüssen mittels Stahlformteilen in Abhängigkeit von den wichtigsten Einflußparametern zu ermitteln. Daraus sollte ein hinreichend zuverlässiger Tragfähigkeitsnachweis abgeleitet werden.

Auf eine genauere Untersuchung der Tragfähigkeit der Nägel und der Stahlformteile, insbesondere der Balkenschuhe, wurde hier verzichtet, da die aufnehmbaren Höchstkräfte dieser mechanischen Verbindungsmittel derzeit befriedigend zuverlässig aufgrund durchgeführter Tragfähigkeitsversuche bekannt sind. Diese Tragfähigkeiten können aber unter Berücksichtigung einer festgelegten Bruchsicherheit nur dann voll ausgenutzt werden, wenn gleichzeitig die Querkzugbeanspruchungen im

Holz zuverlässig bestimmt werden können. Dieser Frage wurde daher besondere Bedeutung beigemessen, mit dem Ziel, die Lösungsansätze so darzustellen, daß sie auch auf andere Arten von Queranschlüssen ohne große Schwierigkeiten übertragen werden können.

2 Auswertung des Schrifttums

Die Durchsicht der zu dem gestellten Thema passenden Literatur ergab keine wesentlichen Hinweise auf die Lösung des vorliegenden Problems eines über Stahlformteile quer zur Holzfaserrichtung beanspruchten Trägers. Die Untersuchungen von FOSCHI und LONGWORTH (1975) behandeln einen Spezialanschluß; die Ergebnisse können kaum verallgemeinert werden. MÖHLER und LAUTENSCHLÄGER (1978) sowie MÖHLER und SIEBERT (1980) haben großflächige Queranschlüsse versuchs-technisch untersucht und die Ergebnisse in Formeln gefaßt, die nicht mit genügender Genauigkeit auf die Fragen des Anschlusses mit Stahlformteilen übertragbar sind. Dennoch wurden die in diesen Arbeiten mitgeteilten Versuchsergebnisse insoweit bei der Entwicklung einer Theorie herangezogen, als sie in Art und Geometrie der Anschlußausbildung den Anforderungen dieses Forschungsauftrages entsprachen.

Am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe wurden vier Diplomarbeiten über die Frage der Krafteinleitung in Holz über einzelne Nägel oder ganze Nagelgruppen verschiedener Konfiguration angefertigt, bei der die Kraft rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes wirkt. Diese Arbeiten von KLATT (1980), GÖRLACHER (1980), MORLOCK (1980) und TROGUS (1981) bildeten als Grundversuche mit ersten Ansätzen einer numerischen Beschreibung in Form empirischer Formeln eine gute Grundlage für eine weitergehende theoretische und versuchstechnische Behandlung des Problems.

3 Versuche

Es war zu erwarten, daß für die Tragfähigkeit des Querschlusses die Anschlußgeometrie von ausschlaggebender Bedeutung ist, da durch sie die Einleitung der Kraft in das Holz bestimmt wird. Es wurde daher eine Reihe von Versuchen geplant, bei denen jeweils ein bestimmter Einflußparameter systematisch variiert wurde.

3.1 Versuchsprogramm

Das Programm bestand aus sechs Versuchsreihen, bei denen grundsätzlich ein Versuchsaufbau entsprechend Bild 1 (Anlage 1) verwendet wurde. In den einzelnen Reihen wurden folgende Größen variiert:

Reihe 1 Lage des Anschlusses bezüglich der geometrischen Längsachse des Trägers, d.h. Variation des Verhältnswertes a/H ; Gegenseitiger Abstand der Stahlblechlaschen, d.h. Variation des Wertes x .

Reihe 2 Variation der Trägerstützweite l .

Reihe 3 Variation des Nageldurchmessers ($d_n = 4$ oder 6 mm);
Variation der Trägerbreite b ;
Variation der Nagellänge l_n .

Reihe 4 Variation der Trägerhöhe H

Reihe 5 Variation des Nagelbildes (siehe Bild 2, Anlage 2).

Reihe 6 Sonderfall des Anschlusses am Kragende eines Kragträgers.

Bei allen Reihen - außer Reihe 5 - wurde das Nagelbild 1.1 in den Stahlblechlaschen verwendet, d.h. die benachbarten Nagelreihen waren gegeneinander versetzt, und alle Nagellöcher wurden ausgenagelt. In der Reihe 5 wurden die übrigen, in Bild 2 (Anlage 2) dargestellten Nagelbilder 1.2, 1.3 sowie 2.1 verwendet.

Die in den einzelnen Versuchsreihen gewählten geometrischen Größen sind in Tabelle 1 (Anlage 3) insgesamt zusammengestellt. Während im Fall $x = 0$ (Versuchsreihen 1.1, 2.1 und 2.2) und bei den Kragarmversuchen (Reihe 6) auf jeder Trägerseite nur eine Stahlflasche angeordnet war, wurden in allen anderen Fällen jeweils zwei Laschen auf jeder Trägerseite angeschlossen.

Bei Reihe 2 und Reihe 6 wurden 2 Versuche, bei allen anderen Reihen 3 Versuche je Variation durchgeführt.

3.2 Versuchsmaterial

Die Blechlaschen bestanden sämtlich aus verzinktem Stahlblech von 2 mm Dicke. Die Materialkennwerte, ermittelt an zehn Flachproben 12,5 x 50 DIN 50 114 im Zugversuch nach DIN 50 146, betragen im Mittel:

Streckgrenze	284 N/mm ² ,
Zugfestigkeit	378 N/mm ² ,
Bruchdehnung	26 %.

Die Laschen waren 40 mm breit und mit den in Bild 2 angegebenen Lochungen versehen. Der Lochdurchmesser betrug 4,8 mm für 4 mm dicke Nägel und 7,0 mm für 6 mm dicke Nägel.

Für die Nagelung wurden Sondernägel des Typs R (Rillennägel) mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung für die Stahlblech-Holz-Nagelung verwendet, siehe Bild 3 (Anlage 4).¹⁾

Aus den Brettschichtholzträgern wurden im Bereich der während der Versuche gerissenen Lamellen Proben zur Bestimmung von Holzfeuchtigkeit, Rohdichte und Druckfestigkeit im Zustand während der Prüfungen entnommen. Die Holzeigenschaften betragen:

	Kleinstwert	Mittelwert	Größt- wert
Holzfeuchtigkeit u in %	9,4	11,2	12,5
Rohdichte ρ in g/cm^3	0,34	0,42	0,58
Druckfestigkeit in Faserrichtung in N/mm^2			
bei u %	31,4	41,7	66,0
umgerechnet auf $u = 15$ %	26,2	34,0	52,4

3.3 Versuchsdurchführung

Die Prüfkörper wurden als Einfeldträger derart gelagert, daß der Queranschluß (siehe Bild 1) genau in Feldmitte lag. Die Kräfte wurden vom Prüfkolben einer 100 kN-Prüfmaschine über eine spezielle Prüfeinrichtung auf die zwei bzw. vier Stahlblechlaschen übertragen (siehe Bild 4, Anlage 5), so daß auf jede Lasche die Hälfte bzw. ein Viertel der Prüfmaschinenlast entfiel. Die genagelten Queranschlüsse wurden auf diese Weise stetig mit einer konstanten Belastungsgeschwindigkeit von 10 kN/min belastet.

1) Es handelte sich um BÄR-Ankernägel der Zulassung Nr. Z 9.1-87 vom 01.04.1981.

Aufgrund der für die Nägel in der bauaufsichtlichen Zulassung angegebenen zulässigen Belastung auf Abscheren von 0,75 kN für $d_n = 4,0$ mm bzw. 1,50 kN für $d_n = 6,0$ mm wurde eine zulässige Belastung eines jeden Anschlusses abgeschätzt. Bei dieser Belastung wurde die Last eine Minute lang konstant gehalten, um danach eine Zwischentlastung auf 40 % dieser zulässigen Belastung mit erneuter einminütiger Wartezeit einzuschalten. Die Wiederbelastung (Zweitbelastung) erfolgte dann stetig bis zum Bruch des Trägers mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit von 10 kN/min.

Beiderseits der Queranschlüsse im Abstand von 3 cm, 6 cm und 9 cm von der äußersten Nagelspalte wurden in Höhe der oberen Nagelreihe (Abstand a) induktive Wegaufnehmer angebracht, mit deren Hilfe die auf eine Meßlänge von 20 mm bezogene Querdehnung des Holzes gemessen werden konnte. Bei den Reihen 1.3, 1.4, 1.6 und 1.7 wurden auch zwischen den beiden Laschen, bei den Reihen 6.1 und 6.2 auch am Stirnende des Kragarmes die Querdehnungen in Höhe der oberen Nagelreihe gemessen. Diese Messungen sollten einen ersten Aufschluß über die seitliche Ausbreitung der über die Nägel in das Holz eingetragenen Kräfte geben.

Bild 5 (Anlage 6) zeigt einen Versuchskörper der Reihe 1.4 nach Erreichen der Bruchlast. In Bild 6 (Anlage 6) ist ein Versuchskörper der Reihe 6 (Kragarmbelastung) gezeigt.

4 Ergebnisse der Versuche

Die Ergebnisse der in Abschnitt 3.1 beschriebenen sechs Versuchsreihen sind hinsichtlich der aufnehmbaren Höchstlasten in den Tabellen 2 bis 7 (Anlagen 7 bis 9) zusammengestellt. Die angegebenen Bruchlasten sind stets die Gesamlast, d.h. die Summe der über alle Blechlaschen in das Holz übertragenen Kräfte.

Im allgemeinen wurden beiderseits der Laschen bereits unterhalb der Höchstlast kleine Risse im Holz beobachtet. Das endgültige Versagen erfolgte aber schlagartig durch einen Querschnittsriß, und zwar stets ausgehend von der oberen Nagelreihe, im allgemeinen bis über die Trägenerauflager hinausgehend (siehe Bild 7 und 8, Anlage 10).

Die Dehnungsmessungen mit induktiven Wegaufnehmern sind für den ersten Versuchskörper der Reihe 1.1 in Bild 9 bis 12 (Anlagen 11 und 12) dargestellt. Da die Ablesungen jeweils in Laststufen von 2 kN erfolgten, kann der tatsächliche Verlauf der Dehnungen, insbesondere bei plötzlichen Dehnungsänderungen infolge Spannungsumlagerungen, geringfügig von den angegebenen Diagrammen abweichen. Aus diesen Dehnungsmessungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- a) Da schon im unteren Lastbereich die Dehnungen auf der Trägervorderseite und der Trägerrückseite sehr unterschiedlich sind, ist eine Mittelwertbildung aus Vorder- und Rückseite unsinnig. Rückschlüsse auf die Dehnungsverteilung über die Trägerbreite können daher nicht gezogen werden.
- b) Das Auftreten kleiner Risse außerhalb des Meßbereichs bewirkt einen Rückgang der Dehnungen im Bereich einzelner Meßstellen. Dieser Effekt ist im Verlauf des Versuches bei den Meßstellen 4, 6, 8, 9, 10, 11 und 12 deutlich erkennbar.

- c) Das Auftreten kleiner Risse deutet darauf hin, daß außerhalb des Meßbereichs und schon frühzeitig vor dem Erreichen der Höchstlast örtlich die Querkzugfestigkeit des Holzes überschritten wurde. Durch die Möglichkeit der Spannungsumlagerung führt dies jedoch noch nicht zum Versagen des Trägers.

Aufgrund des beschriebenen Verhaltens der Kraft-Dehnungslinien, das vor allem durch die starke Inhomogenität des Holzes innerhalb der kleinen Meßbereiche bedingt ist, konnten die Dehnungsmessungen für die Abschätzung oder Beurteilung einer "mitwirkenden Breite" für einen Querkzugspannungsnachweis nicht verwendet werden.

Aus den einzelnen Versuchsreihen können zunächst folgende allgemeine Aussagen gewonnen werden.

1) Reihe 1 - Einfluß von a/H und x

Eine deutliche Zunahme der Tragfähigkeit ist mit steigendem Verhältnis a/H zu erreichen. Zusätzlich günstig wirkt sich dabei ein zunehmender Abstand x nebeneinander angeordneter Laschen aus (siehe Tabelle 2, Anlage 7). Es war jedoch zu beobachten, daß im Fall $\frac{a}{H} = 0,4$ durch zwei Laschen im Abstand von $x = 24$ cm lediglich eine um etwa 30 % höhere Tragfähigkeit erreicht wurde wie im Fall $x = 0$, bei dem nur eine Lasche angeordnet war. Dies deutet auf eine gegenseitige Beeinflussung benachbarter Laschen hin, die sowohl durch eine weite Spannungsausbreitung beidseits der Laschen, als auch durch ungünstige Überlagerung von frühzeitig vor dem Erreichen der Bruchlast aufgetretenen kleinen Rissen ausgelöst werden kann.

2) Reihe 2 - Einfluß der Trägerlänge l

Da bei sehr gedrunenen Trägern sich der Kraftfluß infolge der nahen Auflager verändert, wurden die Versuche der Reihe 2 mit einem Verhältnis l/H zwischen 3 und 5,2 bei einer gleichbleibenden Trägerhöhe $H = 25$ cm durchgeführt (siehe Tabelle 3, Anlage 7). Dabei wurden keine wesentlichen Unterschiede in den erzielten Bruchlasten festgestellt. Beim kurz gestützten Träger ($l/H = 3$; $l = 75$ cm) ist die Tendenz einer Laststeigerung erkennbar; dies kann bereits darauf zurückzuführen sein, daß ein Teil der einzuleitenden Kräfte unmittelbar ohne Querkzugbeanspruchungen im Träger in die Auflager abfließt. Andererseits kann sich die Querkzugspannung, bedingt durch die vom Auflager ausgehenden Querkdruckspannungen, nicht mehr ungestört ausbreiten, so daß bei einem sehr gedrunenen Träger die Kraft über eine kleinere querkzugbeanspruchte Fläche übertragen werden muß als bei einem langen Träger. Dieser Effekt wirkt somit dem "Scheibeneffekt" entgegen, so daß eine Deutung der durchgeführten Versuche schwierig ist. Die Bedeutung einer gestörten Spannungsausbreitung infolge eines zu geringen Abstandes von einem freien Trägerende (Kragarm) wird durch die Versuche der Reihe 6 belegt.

3) Reihe 3 - Einfluß der Nagelabmessungen $d_n \times l_n$
und der Trägerbreite b

Die in Tabelle 4 (Anlage 8) zusammengefaßten Bruchlasten lassen erkennen, daß eine Vergrößerung der Trägerbreite zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit des Anschlusses führt. Dabei scheint es unerheblich zu sein, welche Nagelgeometrie vorliegt, solange dabei Anzahl und Anordnung der Verbindungsmittel nicht geändert werden. Eine direkte Proportionalität von Tragfähigkeit zur Trägerbreite konnte jedoch nicht festgestellt werden. Dies kann daran liegen, daß die Querkzugfestigkeit des Holzes mit zunehmender querkzugbeanspruchter Fläche abnimmt.

Der Einfluß der Nagelgeometrie selbst wurde nur im bau-
praktischen Bereich der Nageldurchmesser 4 und 6 mm,
mit Nagellängen von 10 bis $15 \cdot d_n$, untersucht, so daß
sich daraus keine allgemeinen Schlüsse ziehen lassen.

4) Reihe 4 - Einfluß der Trägerhöhe H

Bei ansonsten unveränderter Anschlußgeometrie war fest-
zustellen, daß die Traglasten mit zunehmender Träger-
höhe H ansteigen, auch wenn das Verhältnis a/H konstant
bleibt (Tabelle 5, Anlage 8). Dies wird dadurch möglich,
daß sich bei höheren Trägern die Querkzugspannungen über
einen größeren Bereich ausdehnen können. Andererseits
wäre eine Traglastabnahme mit zunehmender Trägerhöhe
durchaus denkbar, da ein Nagelbild konstanter Ausdehnung
bei einem niedrigen Träger flächenhafter als bei einem
hohen Träger wirkt. Hier wirken zwei Einflüsse einander
entgegen. Man wird daher die Größe des Anschlußbildes
und die Trägerhöhe im Zusammenhang betrachten müssen,
um eine endgültige Aussage machen zu können.

5) Reihe 5 - Einfluß des Nagelbildes

Es hat sich gezeigt, daß es praktisch ohne Bedeutung ist,
ob in Faserrichtung des Holzes die nebeneinander ange-
ordneten Nägel versetzt sind oder nicht (siehe Tabelle 6,
Anlage 9). Wird jedoch die Gesamtanzahl der Nägel re-
duziert, so tritt auch ein Querkzugbruch im Holz bereits
unter einer geringeren Beanspruchung auf. Das volle Aus-
nageln von Nagelblechen hat also wegen der gleichmäßi-
geren Verteilung der Gesamtlast des Anschlusses hinsicht-
lich der Querkzugbeanspruchung im Holz erhebliche Vor-
teile.

6) Reihe 6 - Queranschluß am Kragende

Je näher ein Queranschluß an ein freies Trägerende rückt, um so geringere Tragfähigkeit im Hinblick auf die Querszugbeanspruchung des Holzes ist zu erwarten. Im Gegensatz zu einem Anschluß in Trägermitte, bei dem sich die Querszugspannungen beiderseits der Krafteinleitung ungestört ausbreiten können, wird bei einem freien Kragende die Ausbreitung der Querszugspannung nach einer Seite hin begrenzt. Es hat sich sogar bei einem Randabstand der außenliegenden Nägel von $25 \times d_n$ ein Tragfähigkeitsabfall von etwa 50 % gegenüber einem gleichartigen Anschluß in Trägermitte gezeigt. Queranschlüsse in der Nähe freier Trägerenden bedürfen daher besonderer Beachtung.

5 Entwicklung eines Tragfähigkeitsnachweises für Queranschlüsse

Aufgrund der vorliegenden Versuchsergebnisse wird im folgenden ein rechnerischer Tragfähigkeitsnachweis entwickelt, der die gewonnenen Erkenntnisse berücksichtigt und auf plausible Grenzfälle anwendbar ist. Die formelmäßige Darstellung soll weiterhin so gestaltet sein, daß sie mechanisch einsichtig und für Tragfähigkeitsnachweise in der Praxis einfach anwendbar ist. Unter Berücksichtigung der im Holzbau von vornherein vorhandenen Streuungen muß dabei die Rechnung den verfügbaren Versuchsdaten angepaßt sein.

Das dargestellte Rechenverfahren gilt für den Tragfähigkeitsnachweis für einen Queranschluß an einen Holzträger, bei dem die Anschlußkraft über Stahlblechlaschen und Nägel quer zur Faserrichtung des Holzes wirkt. Es ist damit möglich, die aufgrund der begrenzten Querkzugfestigkeit des Holzes aufnehmbare Anschlußkraft rechnerisch zu bestimmen.

Eine Anwendung bei der praktischen Bemessung ist unter Festlegung einer angemessenen Sicherheitsspanne für die herkömmliche Methode der "zulässigen Belastung" genau so möglich wie für ein neues Konzept der Bemessung nach Grenzzuständen (Gegenüberstellung von Bemessungslast und Traglast).

5.1 Bezeichnungen

In Bild 13 sind die im folgenden verwendeten geometrischen Größen eines Queranschlusses und ihre Bezeichnungen dargestellt. Der Nagelanschluß besteht aus n Nagelreihen (in horizontaler Richtung) mit je m Nägeln pro Reihe. Jede Nagelreihe besitzt vom beanspruchten (unteren) Rand des Trägers

einen unterschiedlichen Abstand $H - h_1$. Die oberste oder erste Nagelreihe besitzt vom beanspruchten Rand den Abstand

$$a = H - h_1 . \quad (1)$$

- H = Trägerhöhe
- b = Trägerbreite
- a = Abstand der obersten Nagelreihe (1. Reihe) vom beanspruchten Rand
- h_i = Abstand der i-ten Nagelreihe vom unbeanspruchten Rand
- W = Abstand der beiden äußersten Nägel einer Reihe
- s = Einschlagtiefe der Nägel
- n = Anzahl der Nagelreihen
- m = Anzahl der Nägel pro Reihe

Bild 13: Bezeichnungen für die Entwicklung eines Tragfähigkeitsnachweises

5.2 Aufteilung der anzuschließenden Kraft

Je nach Lage des Queranschlusses am Träger wird ein bestimmter Anteil

$$Z = \eta \cdot F \quad (2)$$

der Gesamtkraft F so in den Träger eingeleitet, daß dadurch Querkzugspannungen ausgelöst werden. Der Restanteil

$$D = (1 - \eta) \cdot F \quad (3)$$

erzeugt im Träger Querdruckspannungen. Im Grenzfall, daß die gesamte Kraft F unmittelbar am unteren Träger-
rand angreift, muß $Z = F$ sein. Andererseits gilt $Z = 0$, wenn F vollständig am oberen Träger-
rand eingeleitet wird.

Wird der Träger in Feldmitte durch eine Kraft F im Abstand h_1 vom oberen bzw. $a = H - h_1$ vom unteren Rand beansprucht (siehe Bild 14), so erfährt er nach der tech-

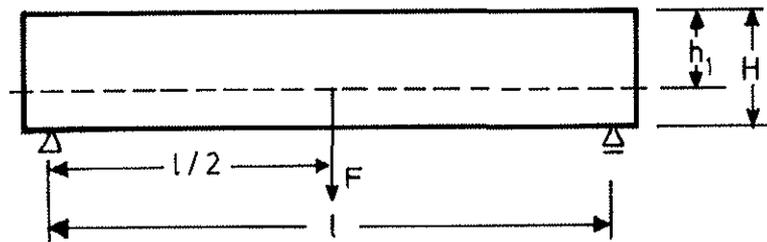


Bild 14: Einfeldträger unter einer Last F in Feldmitte

nischen Biegelehre eine Durchbiegung in Feldmitte von der Größe

$$f = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J} \quad (4)$$

Denkt man sich den Träger entlang der Linie h_1 vom oberen Rand aufgetrennt, so wird der obere Trägerteil für sich betrachtet von einer Kraft Z beansprucht, die am "unteren Trägerrand" angreift (siehe Bild 15). Gleichzeitig wirken entlang dieses Trägerrandes Schubspannungen von der Größe

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{J \cdot b} \quad (5)$$

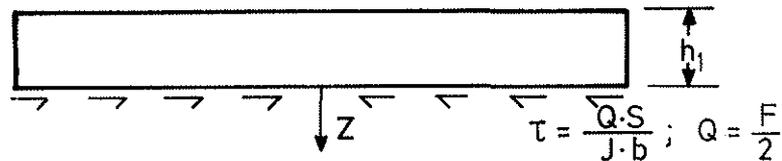


Bild 15: Beanspruchung des "abgetrennten" oberen Trägerteiles

Dabei ist

$$S = \frac{b \cdot h_1}{2} \cdot (H - h_1) = \frac{b \cdot a \cdot h_1}{2} \quad (6a)$$

und

$$J = \frac{b \cdot H^3}{12} \quad (6b)$$

Aus (5) und (6) ergibt sich

$$\tau = \frac{6 \cdot a \cdot h_1}{b \cdot H^3} \cdot Q = \frac{3 \cdot a \cdot h_1}{b \cdot H^3} \cdot F \quad (7)$$

Die Durchbiegung f_1 des Trägerteiles der Höhe h_1 nach Bild 15 setzt sich zusammen aus

$$f_1 = f_Z + f_\tau \quad (8)$$

mit

$$f_Z = \frac{Z \cdot l^3}{48 E \cdot J_1} = \frac{\eta \cdot F \cdot l^3}{48 E \cdot J_1} \quad (9a)$$

und

$$f_\tau = \frac{M_\tau \cdot l^2}{12 \cdot E \cdot J_1} \quad (9b)$$

Dabei ist

$$J_1 = \frac{b \cdot h_1^3}{12} \quad (10)$$

und

$$M_\tau = -\tau \cdot \frac{h_1}{2} \cdot b \cdot \frac{l}{2} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{a \cdot h_1^2 \cdot l}{H^3} \cdot F \quad (11)$$

Die Durchbiegung f_1 ergibt sich aus den Gln. (8 bis 11) dann zu

$$f_1 = \frac{\eta \cdot F \cdot l^3}{48 E \cdot J_1} - \frac{3 a \cdot h_1^2 \cdot F \cdot l^3}{48 E \cdot J_1 \cdot H^3} = \frac{F \cdot l^3}{48 E \cdot J_1} \left(\eta - \frac{3 a \cdot h_1^2}{H^3} \right) \quad (12)$$

Diese Durchbiegung f_1 muß aus Kontinuitätsbedingungen der Durchbiegung f nach Gl. (4) entsprechen:

$$\frac{F \cdot l^3}{48 E J} = \frac{F \cdot l^3}{48 E J_1} \left(\eta - \frac{3 a \cdot h_1^2}{H^3} \right) \quad (13)$$

Führt man ein

$$\frac{J_1}{J} = \frac{h_1^3}{H^3} \quad \text{und} \quad a = H - h_1$$

so wird aus Gl. (13) der Faktor η berechenbar zu

$$\eta = \frac{Z}{F} = \frac{h_1^3}{H^3} + \frac{3(H-h_1) \cdot h_1^2}{H^3}$$

$$\boxed{\eta = 3\left(\frac{h_1}{H}\right)^2 - 2\left(\frac{h_1}{H}\right)^3} \quad (14)$$

Gl. (14) lässt sich mit $h_1 = H - a$ umformen in die Funktion

$$\boxed{\eta = 1 - 3\left(\frac{a}{H}\right)^2 + 2\left(\frac{a}{H}\right)^3} \quad (15)$$

Der Faktor η ist in Bild 16 in Abhängigkeit von h_1/H bzw. a/H dargestellt.

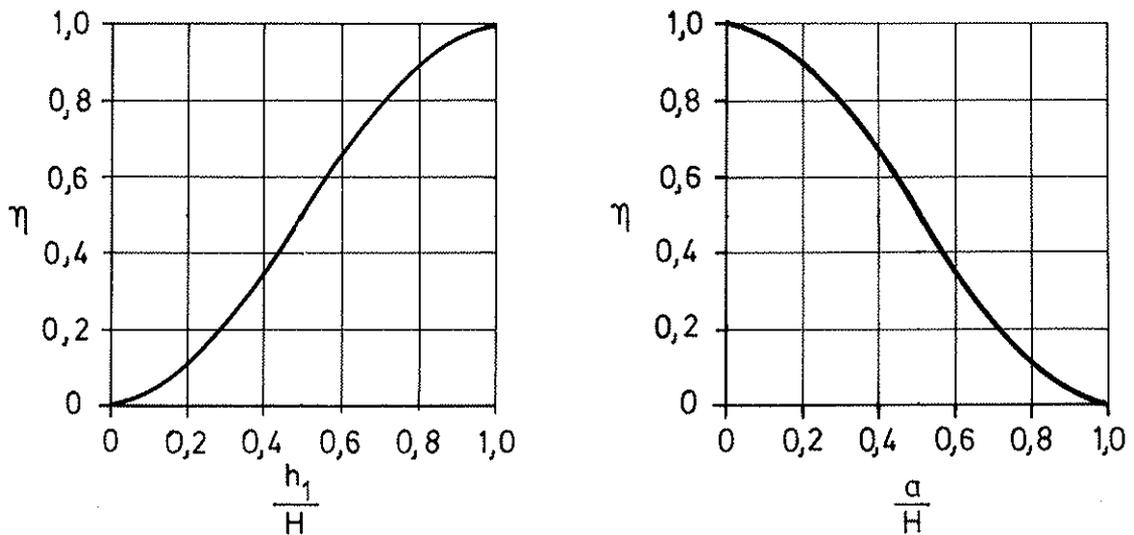


Bild 16: Faktor $\eta = Z/F$ zur Ermittlung des über Querspannungen einzuleitenden Kraftanteils Z

Die hier abgeleitete Aufteilung der anzuschließenden Kraft setzt die Gültigkeit der technischen Biegelehre voraus. Es wird daher darauf hingewiesen, daß bei sehr gedrunge-
nen Trägern die vorliegende Kraftaufteilung etwas zu ungünstig ist, da der Anteil der Kraft, der direkt in die nahe-
liegenden Auflager abfließen kann, um so größer wird,
je geringer das Stützweiten-Höhen-Verhältnis l/h ist.

Die Aufteilung der anzuschließenden Kraft nach Gl. (14) bzw. Gl. (15) gilt auch für Kräfte, die nicht in Feldmitte angreifen: bei der Herleitung ändern sich lediglich die Koeffizienten, die aber in Gl. (13) wieder eliminiert werden. Da durch Überlagerung von Einzellasten, die in Trägerlängsrichtung verteilt sind, beliebige Streckenbelastungen erreicht werden können, ist nachgewiesen, daß die Aufteilung für alle Belastungsarten angewendet werden kann.

5.3 Einfluß mehrerer Nagelreihen

Je mehr Nagelreihen n zur Einleitung der Kraft F herangezogen werden, umso günstiger wird die Querbeanspruchung des Holzes. Der in der i -ten Nagelreihe eingetragene Kraftanteil $F^{(i)}$ erzeugt eine Querkzugspannung $\sigma_i^{(i)}$, die sich oberhalb der i -ten Nagelreihe über den Bereich h_i allmählich abbaut und bis zum oberen Trägerrand auf Null zurückgeht. Unterhalb der i -ten Nagelreihe wird sich die durch den Kraftanteil $F^{(i)}$ erzeugte Querdruckspannung bis zum unteren Trägerrand abbauen.

In Ebene der ersten, d.h. oberen Nagelreihe ist die Querkzugspannung in der Regel am größten, da sich hier nur die Querkzugspannungsanteile sämtlicher Nagelreihen überlagern, während in den anderen Nagelreihen eine Überlagerung von Querkzug- und Querdruckspannungen erfolgt.

Es wird die Annahme getroffen, daß auf jede Nagelreihe der gleiche Kraftanteil

$$F^{(i)} = F/n \quad (16)$$

entfällt. Dies ist für Nagelverbindungen mit bis zu zehn in Krafrichtung hintereinander liegenden Nägeln allgemein üblich und vertretbar. Ferner wird vorausgesetzt, daß der in der Ebene der ersten Nagelreihe noch wirksame Querspannungsanteil aus der i-ten Reihe, $\sigma_i^{(1)}$, um den Faktor $(h_1/h_i)^2$ kleiner ist als der durch die erste Nagelreihe unmittelbar ausgelöste Anteil $\sigma_1^{(1)}$. Diese Annahme wurde bereits in den Arbeiten von MÖHLER und SIEBERT [3] sowie GÖRLACHER [5] vorgeschlagen, da sich gute Übereinstimmungen mit Versuchen ergeben hatten. Mit der Gesamtquerspannung

$$\sigma_{\text{ges}}^{(1)} = \sigma_1^{(1)} + \sigma_2^{(1)} + \dots + \sigma_i^{(1)} + \dots + \sigma_n^{(1)} \quad (17)$$

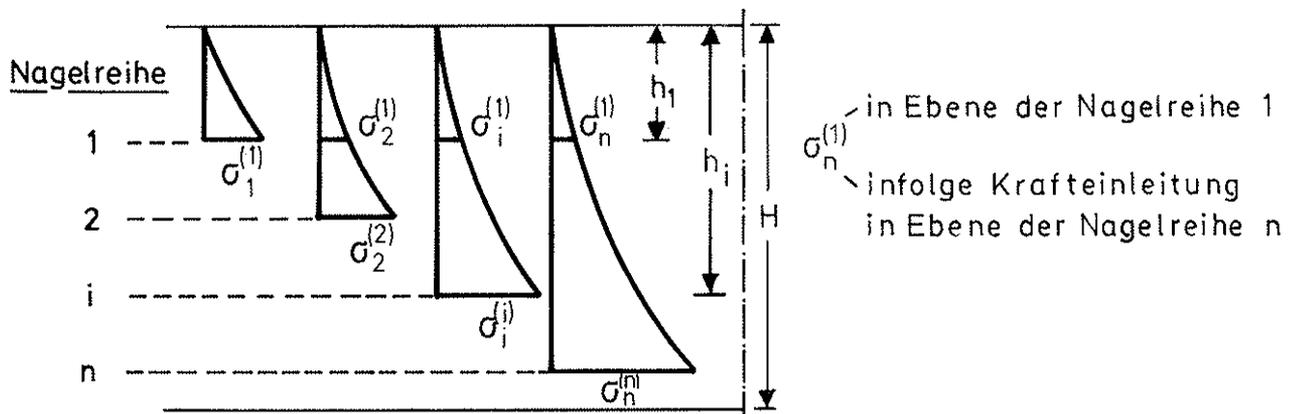


Bild 17: Angenommene Querspannungsverteilung über die Trägerhöhe bei n Nagelreihen

und dem in der Ebene der 1. Nagelreihe vorhandenen Spannungsanteil

$$\sigma_i^{(1)} = \left(\frac{h_1}{h_i}\right)^2 \cdot \sigma_1^{(1)} \quad (18)$$

aus der i-ten Nagelreihe ergibt sich dann

$$\sigma_{\text{ges}}^{(1)} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_1}{h_i}\right)^2 \cdot \sigma_1^{(1)} . \quad (19)$$

Die in der Ebene der 1. Nagelreihe eingeleitete Kraft läßt sich auch als Produkt aus einer fiktiven wirksamen Anschlußfläche $ef A^{(1)}$ und dem in dieser Fläche wirkenden Spannungsanteil $\sigma_1^{(1)}$ anschreiben:

$$Z^{(1)} = \eta \cdot F^{(1)} = ef A^{(1)} \cdot \sigma_1^{(1)} . \quad (20)$$

Aus den Gln. (19 und 20) ergibt sich dann

$$ef A^{(1)} \cdot \sigma_{\text{ges}}^{(1)} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_1}{h_i}\right)^2 \cdot ef A^{(1)} \cdot \sigma_1^{(1)} = \eta \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_1}{h_i}\right)^2 F^{(1)} . \quad (21)$$

Da aber $F^{(1)} = F/n$, ergibt sich mit der Abkürzung

$$\boxed{k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_1}{h_i}\right)^2} \quad (22)$$

$$ef A^{(1)} \cdot \sigma_{\text{ges}}^{(1)} = \eta \cdot k \cdot F . \quad (23)$$

Dies ist der Kraftanteil der gesamten anzuschließenden Kraft, der in der Ebene der 1. Nagelreihe über einer wirksamen Fläche $ef A^{(1)}$ eine Gesamtspannung von $\sigma_{ges}^{(1)}$ auslöst.

Sind die Nägel in einer Nagelreihe in Faserrichtung des Holzes gegeneinander versetzt, dann sollte bei der Ermittlung des "Verteilungsfaktors k " für die Abstände h_i vom unbelasteten (oberen) Trägerrand der jeweils kleinste Wert in Rechnung gestellt werden.

5.4 Wirksame Anschlußfläche

Obwohl die Versuche und insbesondere die in Abschnitt 4 beschriebenen Ergebnisse der Dehnungsmessungen keine verwertbare Aussagen über die Größe einer an der Aufnahme der Querkzugspannungen beteiligten wirksamen Fläche $ef A^{(1)}$ in der am stärksten gefährdeten Ebene der 1. Nagelreihe lieferten, lassen sich anhand einiger Annahmen und Grenzbedingungen insbesondere über eine wirksame Anschlußbreite Angaben machen. Die Anschlußfläche $ef A^{(1)}$ sei das Produkt aus einer wirksamen Anschlußbreite $ef W$ und einer wirksamen Trägerbreite $ef b$:

$$ef A^{(1)} = ef W \cdot ef b . \quad (24)$$

Für den Sonderfall $m = 1$, d.h. wenn jede Nagelreihe nur einen Nagel enthält, ist $W = 0$ (siehe Bild 13). Geht man davon aus, daß die durch eine örtliche Krafteinleitung entstehende Störung von der Trägerhöhe H abhängt, dann wäre

$$ef W_{(w=0)} = ef W_0 = c \cdot H . \quad (25)$$

Hiermit wird zum Ausdruck gebracht, daß mit steigender Trägerhöhe auch eine günstigere Spannungsausbreitung erfolgt. Die Größe von efW_0 muß aber auch von der Lage der betrachteten Ebene (Maß a bzw. Verhältnis a/H) abhängen und wird für $a = 0$ (unterer Trägerrand) und $h_1 = 0$ (oberer Trägerrand) nahezu Null sein, wenn man die kraftübertragende Fläche des Nagels als vernachlässigbar klein betrachtet. Aus diesen Randbedingungen ergibt sich der Ansatz

$$c = \bar{c} \cdot \left(\frac{a}{H}\right)^n \cdot \left(\frac{h_1}{H}\right)^m \quad (26)$$

Die Auswertung der verfügbaren Versuche ergab als geeignete Werte empirisch:

$$c = \frac{4}{3} ; n = \frac{1}{2} ; m = \frac{3}{2} ,$$

so daß

$$\boxed{c = \frac{4}{3} \sqrt{\left(\frac{a}{H}\right) \cdot \left(\frac{h_1}{H}\right)^3}} \quad (26a)$$

der Ermittlung von efW_0 für den Fall eines einzigen Nagels pro Reihe bzw. für eine Nagelspalte zugrunde gelegt werden kann. Bild 17 enthält qualitativ den Verlauf von efW_0 über die Trägerhöhe.

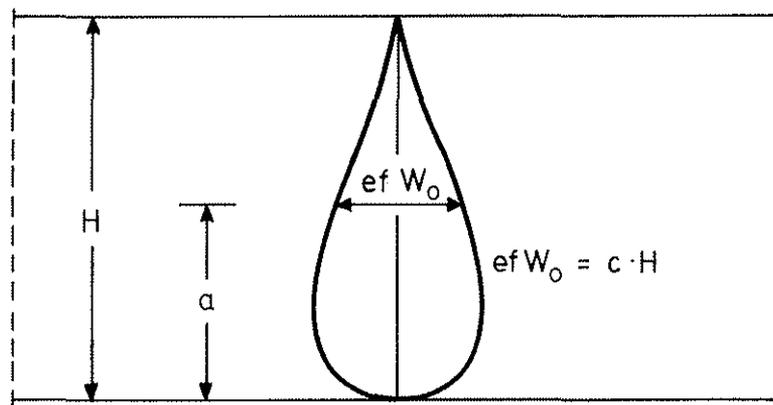


Bild 17: Verlauf der wirksamen Breite efW_0 über die Trägerhöhe H bei einem Nagel pro Reihe ($W = 0$)

Die nachfolgende Tabelle enthält für die verschiedenen Lagen a/H der gefährdeten Ebene die empfohlenen c -Werte nach Gl. (26a).

c -Werte zur Berechnung der wirksamen Anschlußbreite efW_0

a/H	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
c	0,00	0,36	0,43	0,43	0,39	0,33	0,26	0,18	0,11	0,04	0,00

Enthält jede Nagelreihe mehrere Nägel ($m \geq 2$), so wird die wirksame Anschlußbreite größer. Dabei ist von großer Bedeutung, ob die Nägel über die Anschlußbreite W (siehe Bild 13) gleichmäßig verteilt sind, oder ob zwei Nägel bzw. zwei konzentrierte Nagelgruppen im Abstand W voneinander angeordnet sind. Der letztgenannte Fall trifft beispielsweise für Balkenschuhanschlüsse zu.

Bei gleichmäßig über die Breite W verteilten Nägeln muß für große Anschlußbreiten die wirksame Breite $ef W$ der tatsächlichen Anschlußbreite W nahekommen, mit dem theoretischen Grenzwert

$$\max ef W \rightarrow W .$$

Für den Fall $m = 1$ bzw. $W = 0$ muß andererseits die Gl. (25) erfüllt sein. Damit wird empfohlen, die wirksame Anschlußbreite für den Fall $m > 2$

zu

$$ef W = \sqrt{W^2 + ef W_0^2} \quad (27)$$

in Rechnung zu stellen. Dabei ist $ef W_0$ die wirksame Anschlußbreite nach Gl. (25) für den Fall $m = 1$.

Sind nur zwei Nägel im Abstand W voneinander angeordnet ($m = 2$) oder liegen zwei Nagelgruppen im Abstand W vor, dann kann bei großem W höchstens eine wirksame Breite auftreten, die doppelt so groß ist wie $ef W$ für den Fall $m = 1$:

$$\max ef W \rightarrow 2 \cdot ef W_0 .$$

Aus Versuchsergebnissen geht ferner hervor, daß mit zunehmendem Abstand a der betrachteten 1. Nagelreihe vom beanspruchten Rand der Grenzwert $2 \cdot ef W_0$ langsamer erreicht wird. Dieser Erscheinung trägt die Ermittlung der wirksamen Breite nach der Beziehung

$$ef W = ef W_0 \left(1 + \frac{W}{W+a} \right) \quad (28)$$

Rechnung.

Bild 18 zeigt den Zusammenhang zwischen W und efW , wie er durch die Gln. (27 und 28) beschrieben wird.

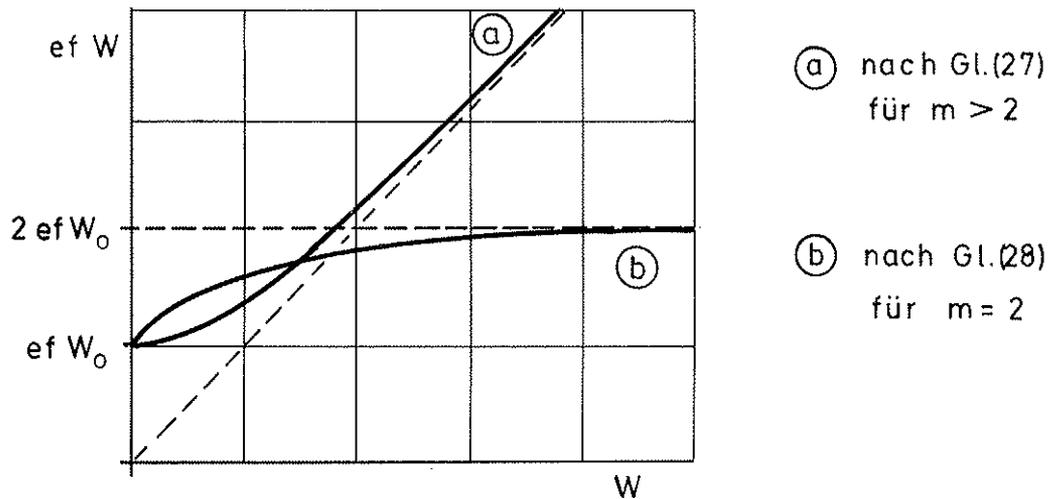


Bild 18: Zusammenhang zwischen tatsächlicher und wirksamer Anschlußbreite

Bei kleinen Anschlußbreiten W ist nicht eindeutig zu sagen, welche der beiden Gln. (27 und 28) die tatsächlichen Verhältnisse besser beschreibt. Auch bei $m = 2$ kann, wenn W klein ist, von einer "gleichmäßigen Verteilung" der Nägel gesprochen werden, so daß mit beiden Formeln ein wirklichkeitsnahes Ergebnis erzielt wird. Im Zweifelsfall sollte man den kleineren Wert als maßgebend ansehen.

Die Ermittlung der wirksamen Anschlußbreite nach Gl. (28) kann statt für zwei weit voneinander entfernten Einzelnägeln auch für zwei konzentrierte Nagelgruppen im

Abstand W_m angewendet werden, wie beispielsweise bei den beiden Schenkeln eines Balkenschuhes (siehe Bild 19). Im Fall a wird efW aus dem Abstand W der beiden äußeren Nagelspalten gemäß Gl. (28) berechnet; dabei ist $efW_0 = c \cdot H$ mit c nach Gl. (26a). Man vernachlässigt also die Mitwirkung der beiden inneren Nagelspalten.

Fall a:

Fall b:

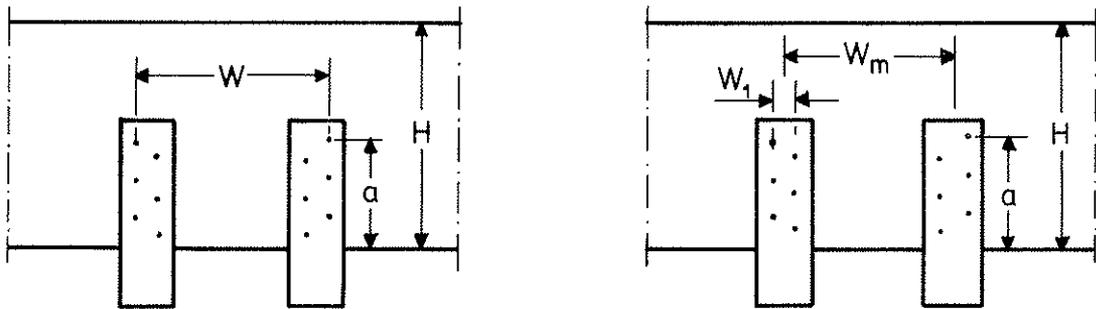


Bild 19: Zur Berechnung der wirksamen Anschlußbreite bei zwei konzentrierten Nagelgruppen

Im Fall b ermittelt man zunächst mit dem Abstand W_1 der beiden äußeren Nagelspalten einer Nagelgruppe ein wirksames W_1 zu

$$ef W_1 = \sqrt{W_1^2 + efW_0^2} \quad (29a)$$

oder

$$efW_1 = efW_0 \left(1 + \frac{W_1}{W_1 + a} \right) . \quad (29b)$$

Im zweiten Rechengang ermittelt man dann die wirksame Anschlußbreite des gesamten Anschlußbildes zu

$$efW = efW_1 \left(1 + \frac{W_m}{W_m + a} \right) . \quad (30)$$

Dabei ist für W_m der Abstand der Schwerpunkte der beiden Nagelgruppen (siehe Bild 19, Fall b) in Ansatz zu bringen.

Im allgemeinen empfiehlt sich bei Balkenschuhanschlüssen der etwas einfachere Rechenweg nach Gl. (28), entsprechend Bild 19, Fall a. Nur wenn die beiden Nagelgruppen für sich betrachtet eine größere Ausdehnung haben, liefert die Rechnung über $ef W_1$ der Nagelgruppe günstigere Werte für die wirksame Anschlußbreite des Gesamtanschlusses.

Um die wirksame Anschlußfläche in der Ebene der 1. Nagelreihe zu erhalten, muß die wirksame Anschlußbreite $ef W$ mit einer als wirksam angenommenen Trägerbreite $ef b$ multipliziert werden. Es kann erwartet werden, daß bei kleiner Nagelschlankheit, d.h. nicht zu großer Eindringtiefe s der Nägel, z.B. $s \leq 15 \cdot d_n$, über die gesamte Nagellänge Kräfte in das Holz abgegeben werden. Die wirksame Trägerbreite wird daher der Einschlagtiefe der Nägel gleichgesetzt (siehe Bild 20):

$$ef b = \sum s \quad (31)$$

Als obere Grenzen gelten dabei $ef b = b$ und $s = 15 \cdot d_n$.

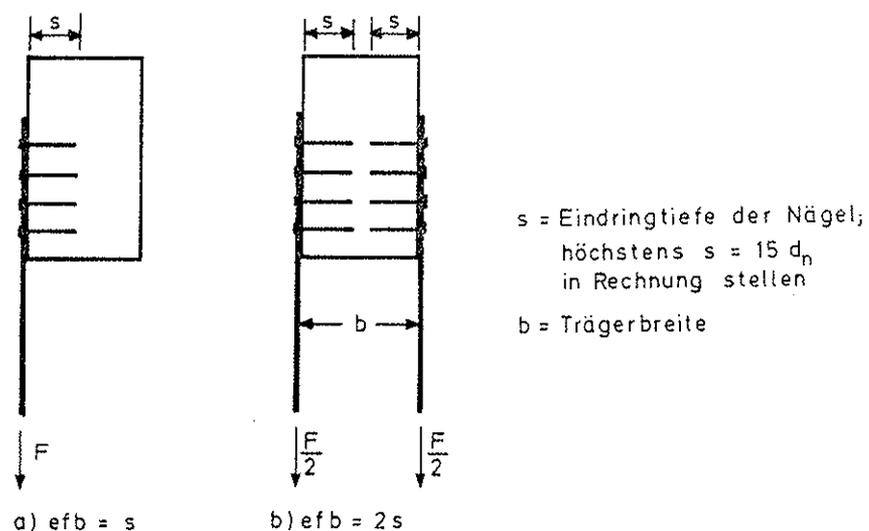


Bild 20: Wirksame Trägerbreite $ef b$ bei einseitigem und doppelseitigem Anschluß

5.5 Querkzugfestigkeit des Holzes

Die Querkzugfestigkeit des Holzes ist nach Untersuchungen von BARRETT, FOSCHI and FOX [8], MÖHLER und LAUTENSCHLÄGER [2] und MÖHLER und SIEBERT [3] vom querkzugbeanspruchten Holzvolumen abhängig. MÖHLER und SIEBERT [3] geben die Abhängigkeit mit

$$\beta_{Z\perp} = 5 \cdot V^{-0,2} \quad (32)$$

($\beta_{Z\perp}$ in N/mm²; V in cm³) an. Diese Beziehung gilt für Holzprismen, die über die gesamte Prismenhöhe mit einer gleichmäßig verteilten Zugspannung beansprucht werden. Es kommt darin in erster Linie zum Ausdruck, daß wegen der Inhomogenität des Holzes (Wuchsunregelmäßigkeiten) mit zunehmendem Volumen eine abnehmende rechnerische Querkzugfestigkeit verbunden ist.

Im vorliegenden Fall des Queranschlusses über genagelte Stahlblechlaschen tritt der Querkzugbruch stets in der Ebene der ersten (oberen) Nagelreihe auf; es besteht eine rasch nach oben abklingende Spannungsverteilung, so daß die Gl. (32) nicht anwendbar erscheint. Das oberhalb der Reißebene vorhandene Holzvolumen hat in diesem Fall keinen Einfluß auf die Querkzugfestigkeit.

Durch systematische Auswertung der Versuche nach Abschnitt 3 und 4 wurde als empirische Näherung die

Querzugfestigkeit daher in Abhängigkeit von der wirksamen Anschlußfläche $ef A^{(1)}$ in der Form

$$\beta_{Z \perp} = 4 \cdot ef A^{(1)-0,2} \quad (ef A^{(1)} \text{ in } \underline{\text{cm}^2}) \quad (33a)$$

bzw.

$$\beta_{Z \perp} = 10 \cdot ef A^{(1)-0,2} \quad (ef A^{(1)} \text{ in } \underline{\text{mm}^2}) \quad (33b)$$

($\beta_{Z \perp}$ in N/mm^2) ermittelt.

Darin ist $ef A^{(1)}$ mit den in Abschnitt 5.4 beschriebenen wirksamen Anschlußbreiten $ef W$ und wirksamen Trägerbreiten $ef b$ zu berechnen.

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß die Gl. (33) nur für den untersuchten Anwendungsfall eines durch eine Krafteinleitung rechtwinklig zur Holzfaserrichtung querzugbeanspruchten Biegeträgers gilt. Bei anderen Bauteilformen, wie z.B. gekrümmten Biegeträgern oder solchen mit veränderlichen Trägerhöhen (Satteldach- oder Pultdachform), liegen andere Querzugspannungsverteilungen infolge von Biegebeanspruchungen vor, so daß dann auch in der einen oder anderen Form die Höhe des querzugbeanspruchten Trägerolumens von Bedeutung ist.

5.6 Tragfähigkeitsnachweis für Queranschlüsse

Die Tragfähigkeit F_U eines Queranschlusses kann mit den in den Abschnitten 5.1 bis 5.5 abgeleiteten Gleichungen und den Bezeichnungen nach Bild 13 bestimmt werden:

$$F_U = \beta_{Z\perp} \cdot ef A^{(1)} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (34)$$

$$\beta_{Z\perp} = 10 \cdot ef A^{(1)-0,2} \quad (33b)$$

(ef A⁽¹⁾ in mm²; $\beta_{Z\perp}$ in N/mm²)

$$ef A^{(1)} = ef W \cdot ef b \quad (24)$$

$$ef W = \sqrt{W^2 + ef W_0^2} \quad m > 2 \quad (27)$$

$$ef W = ef W_0 \left(1 + \frac{W}{W+a}\right) \quad m \leq 2 \quad (28)$$

$$ef W = c \cdot H \quad (25)$$

$$c = \frac{4}{3} \sqrt{\left(\frac{a}{H}\right) \cdot \left(\frac{h_1}{H}\right)^3} \quad (26a)$$

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{h_i}\right)^2 \quad (22)$$

$$\eta = 3 \left(\frac{h_1}{H}\right)^2 - 2 \left(\frac{h_1}{H}\right)^3 \quad (14)$$

$$ef b = \sum s \quad (31)$$

6 Gegenüberstellung von Versuchsergebnissen mit dem entwickelten Tragfähigkeitsnachweis

6.1 Allgemeines

Das in Abschnitt 5 beschriebene Rechenverfahren erlaubt, die Tragfähigkeit eines Queranschlusses unter Beachtung der wichtigsten Einflußparameter abzuschätzen zu:

$$F_u = \beta_{Z \perp} \cdot e f A^{(1)} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (34)$$

Im folgenden sollen die vorliegenden Versuchsergebnisse aus dem Schrifttum [3] bis [7] sowie die Ergebnisse der Versuche nach Abschnitt 4 diesem Tragfähigkeitsnachweis gegenübergestellt werden. Da die wirksame Anschlußfläche $e f A^{(1)}$ von den Maßen H , W und a und der Faktor η vom Verhältnis a/H abhängen (vgl. hierzu die Bezeichnungen in Bild 13), ist es nicht möglich, alle vorliegenden Versuchsdaten in gleicher Weise miteinander und mit der theoretisch berechneten Tragkraft F_u nach Gl. (34) zu vergleichen. Der Verteilungsfaktor k ist vom jeweiligen Nagelbild und vom Abstand a der ersten Nagelreihe vom belasteten (unteren) Trägerrand abhängig. Im Falle $n = 1$ ist auch $k = 1$; bei mehreren Nagelreihen oder bei mehreren in Kraftrichtung hintereinander angeordneten Nägeln in einer Nagelspalte ($m = 1$) ist der Verteilungsfaktor $k < 1$. Es ist daher möglich, die Versuchswerte im Falle $k \neq 1$ zu normieren und die k -fachen Traglasten in Abhängigkeit von den übrigen geometrischen Einflußparametern darzustellen.

6.2 Versuchsdaten aus den Diplomarbeiten [4] bis [7]

In den Bildern 21 bis 27 (Anlagen 13 bis 19) sind alle Versuchsdaten in Abhängigkeit vom Verhältniswert a/H

dargestellt, die an 3 cm breiten und 10 cm hohen Biegeträgern mit einer Stützweite von 60 cm ermittelt wurden. Dabei wurden einheitlich Nageldurchmesser von 4,2 mm durch die Versuchsträger geschlagen, so daß stets $ef b = b = 3$ cm betrug. Das Anschlußbild war in allen Fällen symmetrisch zur Feldmitte angeordnet; beim Holz handelte es sich um fehlerfreies, normalklimatisiertes Fichtenholz.

Bild 21 (Anlage 13) zeigt Versuche mit Einzelnägeln ($n = m = 1$ sowie $W=0$) aus [5] und [6]. Die normierte Tragfähigkeit $k \cdot F_u$ ergibt sich dann mit einer wirksamen Anschlußbreite $efW = efW_0$ nach Gl. (25).

In Bild 22 bis 24 (Anlage 14 bis 16) sind Versuchswerte aus [7] dargestellt, bei denen stets nur eine Nagelreihe ($n = 1$) mit zwei Nägeln ($m = 2$) in verschiedenen Abständen W angeordnet war. Die normierte Traglast entspricht in diesen Fällen der tatsächlichen Traglast. Die rechnerische Traglast wurde vergleichsweise mit efW nach Gl. (27) und nach Gl. (28) ermittelt.

In Bild 25 (Anlage 17) sind in einer Nagelreihe jeweils vier Nägel angeordnet, die sich auf einen Bereich von 3 cm gleichmäßig verteilen. In diesem Falle erfolgt die Rechnung nur mit einer wirksamen Anschlußbreite efW nach Gl. (27). Die Versuchswerte stammen aus [7].

Bild 26 (Anlage 18) enthält Versuchsdaten aus [4] und [6], bei denen jeweils zwei Nägel pro Reihe im Abstand von 5 cm angeordnet waren. Die Normierung der Traglasten für zwei und drei Nagelreihen bestätigt insbesondere die Bedeutung des Verteilungsfaktors k , der bei den

zwei- und dreireihigen Anschlüssen zwischen 0,78 und 0,56 schwankte. Die Rechnung mit $ef W$ nach Gl. (28) trifft die tatsächlichen Verhältnisse bei einem Abstand von 5 cm der beiden Nägel einer Reihe erheblich besser als die Rechnung unter Annahme gleichmäßiger Verteilung der Querspannungen. Demgegenüber erweist sich die Rechnung nach Gl. (27) für zutreffend, wenn über einen Bereich von 6 cm vier Nägel verteilt werden, wie Bild 27 (Anlage 19) bestätigt. Diese Versuchsdaten aus [7] wurden aus Versuchen mit nur einer Nagelreihe gewonnen, so daß die angegebenen Traglasten wiederum den tatsächlichen Versuchswerten entsprechen ($k = 1$).

Das Bild 28 (Anlage 20) enthält schließlich Versuchswerte aus allen Diplomarbeiten [4] bis [7], wobei alle Ergebnisse einreihiger Anschlüsse mit $a/H = 0,2$ in Abhängigkeit von der tatsächlichen Anschlußbreite W dargestellt sind. Bei $W = 0$ handelt es sich um Einzelnagelversuche, bei größeren Anschlußbreiten sind zwei bzw. vier Nägel in einer Reihe angeordnet. Hier wird insbesondere deutlich, daß bei zwei Nägeln pro Reihe die Berechnung von $ef W$ sowohl nach Gl. (27) als auch nach Gl. (28) erfolgen kann, wenn der gegenseitige Abstand W der beiden Nägel klein genug ist. Lediglich für große gegenseitige Abstände W der beiden äußersten Nägel einer Reihe unterscheiden sich die Ergebnisse nach Gl. (27) und Gl. (28) signifikant, so daß bei mehreren Nägeln pro Reihe Gl. (27), bei zwei Nägeln pro Reihe Gl. (28) zutreffend ist.

6.3 Versuchsdaten von Möhler und Lautenschläger [2]

An 70 cm weit gestützten Modellträgern aus fehlerfreiem Fichtenholz wurden von MÖHLER und LAUTENSCHLÄGER Versuche mit einreihigen Queranschlüssen durchgeführt. Die Träger waren 12 cm hoch und 4 cm breit. Nägel mit

einem Durchmesser von 3,8 mm wurden durch die Träger geschlagen, so daß $e f b = b$ galt. Das Verhältnis $a/H = 0,23$ war konstant; die Anschlußbreite wurde von $W = 0$ bis $W = 11,4$ cm variiert. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Bild 29 (Anlage 21) dargestellt und mit der Rechnung nach Gl. (34) verglichen. Dabei wurde $e f W$ nach Gl. (27) und nach Gl. (28) in die Rechnung eingeführt. Besonders interessant ist die Feststellung, daß die Traglast eines Queranschlusses mit einem Stabdübel ($d_{st} = 8$ mm) im Hinblick auf die Quersugbeanspruchung des Trägers nicht größer war als die eines Anschlusses mit einem dünneren Nagel ($d_n = 3,8$ mm). Für zwei Nägel pro Reihe liegen die Versuchsergebnisse erneut zwischen den Berechnungen nach Gl. (27) und (28); dies deutet auf eine Gleichwertigkeit dieser Gleichungen im Falle kleiner Anschlußbreiten hin.

Bei anderen Versuchen an 18 cm hohen und 4 cm breiten Trägern wurde die Höhenlage (a/H) eines einreihigen Queranschlusses variiert. Die Ergebnisse sind in Bild 30 (Anlage 22) mit dem rechnerischen Tragfähigkeitsnachweis verglichen. Da $m > 2$, erweist sich die Rechnung mit $e f W$ nach Gl. (27) als zutreffend.

6.4 Versuchsdaten nach Abschnitt 4

Die im Zusammenhang mit der vorliegenden Forschungsarbeit durchgeführten Versuche, mit besonderer Berücksichtigung der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Versuchsparameter, werden in Bild 31 bis 33 (Anlagen 23 bis 25) mit der rechnerischen Tragfähigkeit verglichen. In diesen Versuchen ist von besonderer Bedeutung die Mehrreihigkeit der Nagelanschlüsse und die für Balkenschuhanschlüsse typische Aufteilung des Gesamtanschlusses in zwei Nagelgruppen mit gegenseitigem Abstand W_m (siehe Bild 19b).

Bild 31 (Anlage 23) enthält die Versuchsdaten, die an 25 cm hohen und 10 cm breiten Brettschichtholzbiegeträgern von 1,30 m Stützweite mit einem Verhältniswert $a/H = 0,4$ ermittelt wurden. Da es sich stets um mehrreihige Anschlüsse handelte, ist der Verteilungsfaktor $k < 1$; es wurden daher die auf $k = 1$ normierten Traglasten in Abhängigkeit von der gesamten Anschlußbreite W dargestellt. Die Versuchsdaten für $W = 2$ cm sind aus Versuchen mit nur einer Lasche je Trägerseite; im Falle $W = 6$ cm sind auf jeder Trägerseite jeweils zwei Laschen unmittelbar nebeneinander angeordnet. Die Verteilungsfaktoren k betragen für $a/H = 0,4$ je nach Nagelbild:

Nagelbild ¹⁾	1.1	1.2	1.3	2.1
k	0,73	0,89	0,76	0,73

1) siehe Bild 2, Anlage 2

Bei den Versuchen der Reihe 5 und der Versuchs-Nr. 1.2 war jeweils $W = 6$ cm, während die Nagelbilder variiert wurden. Die normierten Traglasten $k \cdot F_u$ (aus je drei Einzelversuchen; siehe Tabelle 6, Anlage 9) betragen:

Nagelbild		1.1	1.2	1.3	2.1
$k \cdot F_u$ (kN)	Einzelwert	30,8	37,5	23,9	28,2
		34,1	25,4	22,3	32,9
		26,4	32,3	30,5	31,2
	Mittel	30,4	31,7	25,5	30,8

Die Werte für $W = 11$ cm bzw. $W = 26$ cm bestätigen den für den Fall konzentrierter Nagelgruppen vorgeschlagenen vereinfachten Rechenweg nach Gl. (28), der insbesondere für den Quersugnachweis von Balkenschuhanschlüssen geeignet ist. Wird die effektive Anschlußbreite nach Gl. (29a) und Gl. (30) berechnet, erhält man lediglich eine Abweichung von 1 % gegenüber der Berechnung nach Gl. (28).

Die mit geringeren Stützweiten von $l = 100$ cm bzw. 75 cm bei $W = 2$ cm ermittelten Werte liegen in gleicher Größenordnung wie die bei $l = 130$ cm erreichten Traglasten; vgl. dazu Abschnitt 4, Einfluß der Trägerlänge.

In Bild 32 (Anlage 24) sind die bei gleicher Trägerabmessung, jedoch bei einem Verhältniswert $a/H = 0,6$ ermittelten Versuchsdaten der Versuchsreihe 1 dargestellt. In diesem Falle war der Verteilungsfaktor $k = 0,65$, und alle Versuchskörper waren mit dem gleichen Nagelbild ausgeführt. Die für Verhältnisse bei Balkenschuhanschlüssen wichtigen Versuche mit $W = 26$ cm werden durch die Rechnung mit $e_f W$ nach Gl. (28) ebenfalls gut erfaßt.

Bild 33 (Anlage 25) schließlich enthält die Ergebnisse, ermittelt an 40 cm hohen Brettschichtträgern, bei denen jeweils zwei Laschen unmittelbar nebeneinander angeordnet waren, so daß der Anschluß als vierreihig mit je vier Nägeln pro Reihe - gleichmäßig verteilt angeordnet - betrachtet werden kann. Die in Abhängigkeit von a/H dargestellten, normierten Traglasten lassen sich durch die Rechnung mit $e_f W$ nach Gl. (27) abschätzen.

7 Zusammenfassung

Anhand von vorliegenden Versuchsdaten aus Arbeiten mit ähnlicher Zielsetzung sowie von gezielt durchgeführten Versuchen im Rahmen dieser Untersuchung mit Variationen der wichtigsten Einflußparameter wurde ein theoretisch-empirischer Tragfähigkeitsnachweis für Queranschlüsse entwickelt, bei denen über aufgenagelte Laschen aus 2 mm dickem Stahlblech Kräfte quer zur Faserrichtung in Biegeträger aus europäischem Nadelholz eingeleitet werden. Dabei war besonders der Fall einzubeziehen, bei dem zwei in relativ engem Abstand angeordnete Laschen den Queranschluß bilden, da dieser Fall bei Balkenschuhanschlüssen auftritt.

Das Berechnungsverfahren wurde möglichst allgemeingültig (zumindest im Rahmen der bei Anschlüssen mit Stahlblechformteilen üblichen praktischen Größenordnungen) gehalten, um es auf verschiedene ähnliche Ausführungsarten in einfacher Weise übertragen zu können. Auf extrem großflächige Queranschlüsse ist dieses Verfahren daher nicht ohne weiteres übertragbar. Auch muß darauf hingewiesen werden, daß die durch dieses Verfahren berechneten Traglasten in dieser Form nur für weitgehend fehlerfreies Holz und Brett-schichtholz gelten, so daß bei Vollholzträgern in Bauholzqualität mit deutlich niedrigeren Traglasten gerechnet werden muß. Schließlich fehlen auch noch durch Versuche untermauerte Modifizierungen für die Einflüsse der Holzfeuchtigkeit und der Langzeitbelastung. Für die Anwendung in der Praxis wird man daher für diese Bedingungen vorerst die allgemein üblichen Reduzierungen in Rechnung stellen müssen, um die Bemessung solcher Anschlüsse im Hinblick auf die auftretenden Querspannungen im Holz durchführen zu können.

In der Regel treten die Querkzugbrüche in der Ebene der oberen Nagelreihe auf. Daher wurde die Querkzugfestigkeit für diesen besonderen Fall als Funktion von einer als wirksam angenommenen Anschlußfläche anstatt wie in jüngeren Arbeiten mehrfach vorgeschlagen in Abhängigkeit des querkzugbeanspruchten Volumens dargestellt. Diese Querkzugfestigkeitswerte sind daher nur im Zusammenhang mit den dargestellten wirksamen Anschlußflächen zu verwenden. Die im Zusammenhang mit dem vorgestellten Tragfähigkeitsnachweis auftretenden empirisch ermittelten Koeffizienten können bei einer Erweiterung dieser Theorie auf ähnliche Anschlußprobleme modifiziert werden, vor allem wenn weitere Versuchsdaten vorliegen.

Festlegungen über einen erforderlichen Mindestabstand benachbarter Queranschlüsse oder eines Queranschlusses von einem freien Trägerrand (z.B. Ende eines Kragarmes) können aufgrund der durchgeführten Untersuchungen noch nicht zuverlässig angegeben werden, da die Größe einer Verteilungsbreite der Querkzugspannungen sowohl von der Trägerhöhe als auch von der Anschlußbreite des Einzelqueranschlusses (z.B. der Balkenschuhbreite) abhängt. Der z.Z. für Balkenschuhe vorgesehene lichte Mindestabstand von 200 mm ist aufgrund der durchgeführten Versuche auf jeden Fall zu gering. Man darf nicht davon ausgehen, daß ein zweiter Balkenschuhanschluß in einem solchen Abstand die gleiche Tragfähigkeit besitzt wie ein einzelner Anschluß. Andererseits ist denkbar, bei zu geringem Abstand zweier Anschlüsse untereinander die zulässige Beanspruchung in Abhängigkeit vom tatsächlichen Abstand entsprechend zu mindern. Die Frage mehrerer Balkenschuhanschlüsse in relativ engem Abstand nebeneinander hängt auch mit der Abhängigkeit der Querkzugfestigkeit von der Größe der querbeanspruchten Fläche zusammen. Dieser Frage müssen daher weitere Untersuchungen gewidmet werden.

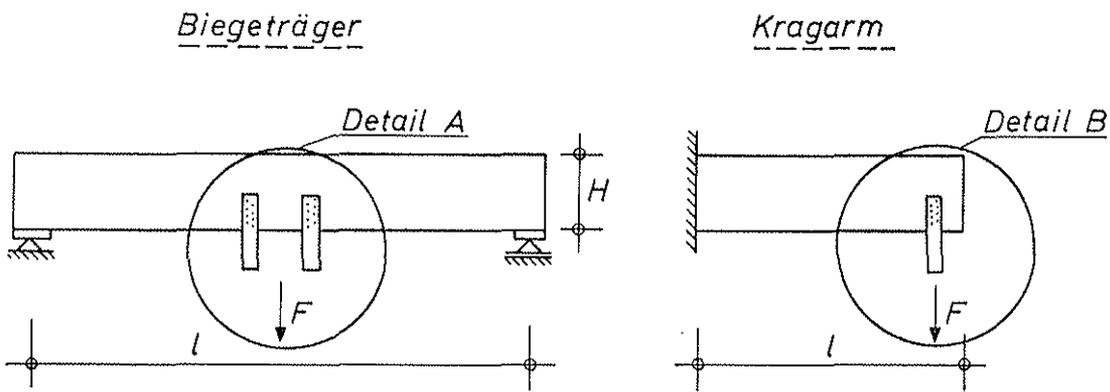
Für die praktische Anwendung, insbesondere bei Balkenschuhanschlüssen, aber auch bei Queranschlüssen ähnlicher Art, ist der entwickelte Tragfähigkeitsnachweis unter Zugrundelegung der handelsüblichen Balkenschuhabmessungen oder ähnlicher Stahlblechformteile auswertbar, so daß unter Einhaltung der erforderlichen Sicherheiten zulässige Belastungen festgelegt werden können. Die Sicherheitsbeiwerte müssen neben den Streuungen dabei gegebenenfalls die genannten Einflüsse der Holzfeuchtigkeit und der Langzeitbeanspruchung einerseits sowie die Übertragung auf Träger mit üblicher Bauholzqualität andererseits berücksichtigen.

8 SCHRIFTTUM

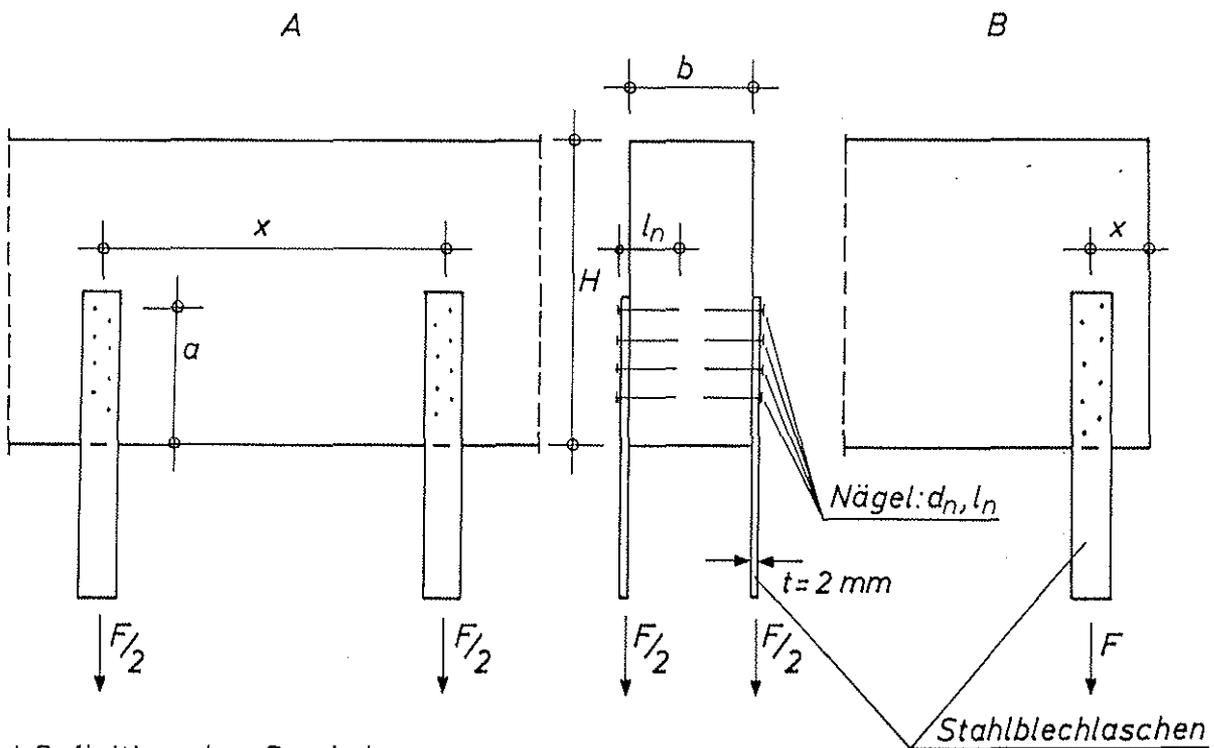
- [1] Foschi, R.O. and J. Longworth: Analysis and Design of Griplam Nailed Connections. Journal of the Structural Division St 12, 1975, S. 2537/55.
- [2] Möhler, K. und R. Lautenschläger: Großflächige Queranschlüsse bei Brettschichtholz. Forschungsbericht des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1978.
- [3] Möhler, K. und W. Siebert: Ausbildung von Queranschlüssen bei angehängten Lasten an Brettschichträger. Forschungsbericht des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1980.
- [4] Klatt, E.-H.: Ermittlung der Traglast von Nagelanschlüssen in Abhängigkeit vom Nagelbild. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe 1980, unveröffentlicht.
- [5] Görlacher, R.: Ermittlung der Traglast von Nagelanschlüssen in Abhängigkeit vom Nagelbild. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe 1980, unveröffentlicht.

- [6] Morlock, T.: Ermittlung der Traglast von Nagelanschlüssen in Abhängigkeit vom Nagelbild. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe 1980, unveröffentlicht.
- [7] Trogus, F.: Ermittlung der Traglast von Nagelanschlüssen in Abhängigkeit vom Nagelbild. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe 1981, unveröffentlicht.
- [8] Barrett, J.D., R.O. Foschi and S.P. Fox: Perpendicular-to-Grain Strength of Douglas-Fir. Canadian Journal of Civil Engineering Volume 2, Number 1, 1975.

a) Versuchsanordnung



b) Detail



c) Definition der Symbole

H = Trägerhöhe

b = Trägerbreite

l = Stützweite des Biegeträgers (Reihe 1 bis 5) bzw. Länge des Kragarms (Reihe 6)

a = Abstand des obersten Nagels vom belasteten Rand

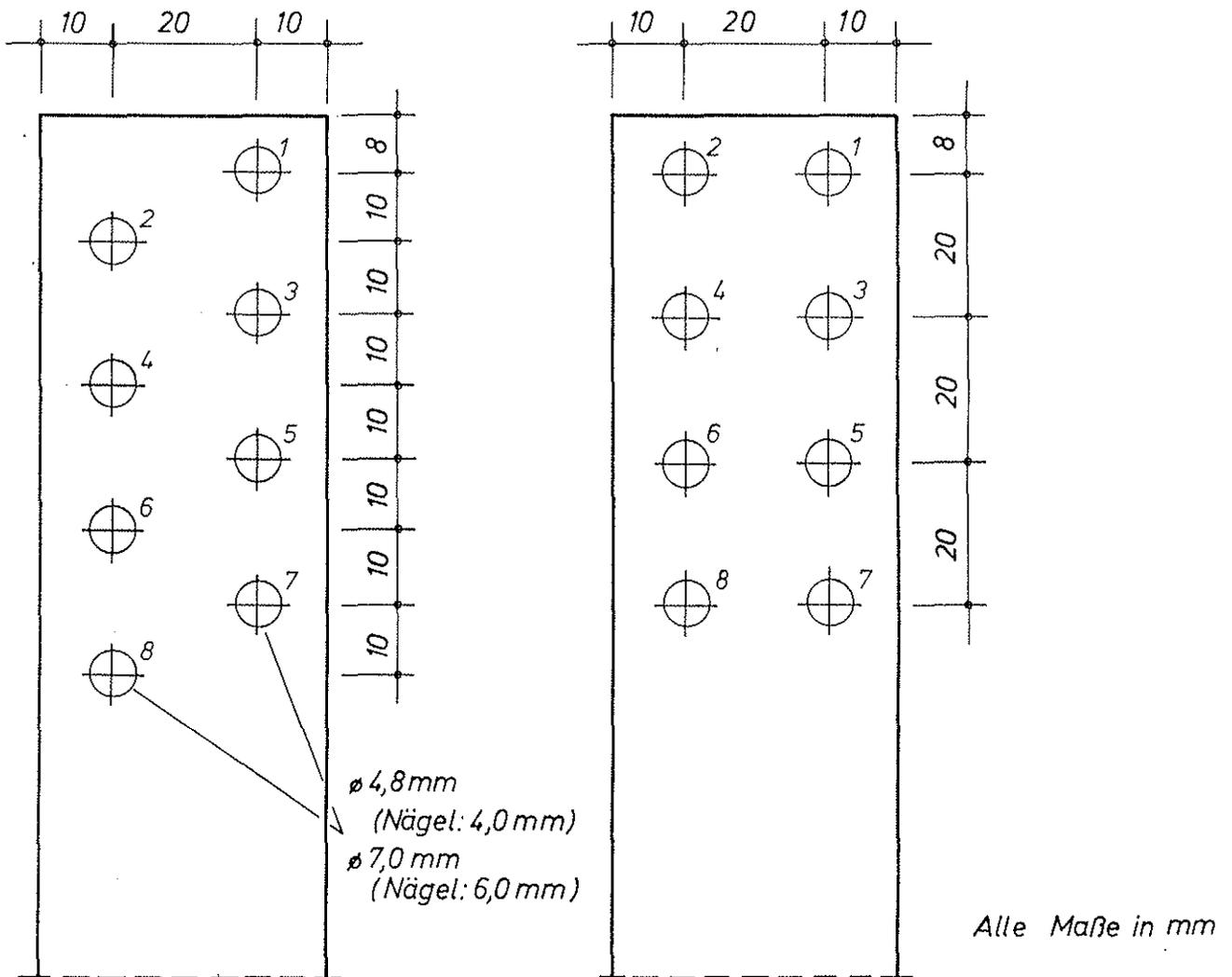
x = Abstand der Schwerlinien der Stahlblechlaschen (Reihe 1 bis 5) bzw.

Abstand der Schwerlinien der Stahlblechlaschen vom Kragarmende (Reihe 6)

d_n = Nageldurchmesser

l_n = Nagellänge

Bild 1: Versuchsanordnung der Reihen 1 bis 6



Nagelbild 1

Nagelbild 2

1.1 alle Löcher ausgenagelt

2.1 alle Löcher ausgenagelt

1.2 Löcher 1 bis 4 genagelt

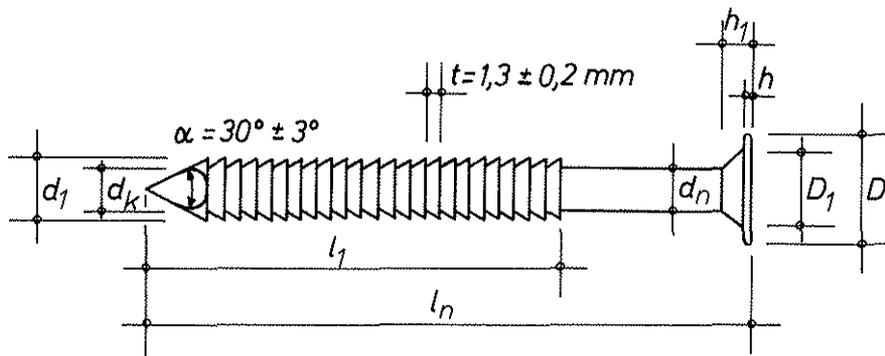
1.3 Löcher 1 und 2 sowie 7 und 8 genagelt

Bild 2: Verwendete Nagelbilder

Tabelle 1: Zusammenstellung aller Versuche

Reihe	Versuchsnummer	l (cm)	H (cm)	b (cm)	$\frac{a}{H}$	d_n (mm)	l_n (mm)	x (cm)
1	1.1	130	25	10	0,4	4	50	0
	1.2	130	25	10	0,4	4	50	4
	1.3	130	25	10	0,4	4	50	9
	1.4	130	25	10	0,4	4	50	24
	1.5	130	25	10	0,6	4	50	4
	1.6	130	25	10	0,6	4	50	9
	1.7	130	25	10	0,6	4	50	24
2	2.1	100	25	10	0,4	4	50	0
	2.2	75	25	10	0,4	4	50	0
3	3.1	130	25	8	0,4	4	40	4
	3.2	130	25	12	0,4	4	60	4
	3.3	130	25	12	0,4	4	40	4
	3.4	130	25	12	0,4	6	60	4
4	4.1	160	40	10	0,25	4	50	4
	4.2	160	40	10	0,4	4	50	4
	4.3	80	15	10	0,6	4	50	4
5	5.1	130	25	10	0,4	4	50	4
	5.2	130	25	10	0,4	4	50	4
	5.3	130	25	10	0,4	4	50	4
6	6.1	65	25	10	0,4	4	50	3 ⁽¹⁾
	6.2	65	25	10	0,4	4	50	11 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Anordnung der Laschen am Kragarmende



Nagelgröße	l_n (mm) $\pm 0,35$	l_1 (mm) $\pm 2,0$	d_n (mm) $+0,1; -0,2$	d_1 (mm) $+0,2; -0,1$	d_k (mm) $\pm 0,2$	h (mm) $\pm 0,2$	h_1 (mm) $\pm 0,2$	D (mm) $\pm 0,2$	D_1 (mm) $\pm 0,2$
4,0 x 40	40	31	4,0	4,4	3,75	1,6	4,4	8,0	6,0
4,0 x 50	50	41							
4,0 x 60	60	51							
6,0 x 60	60	48	6,0	6,4	5,65	1,6	4,6	11,0	8,0

Bild 3: Form und Abmessungen der für die Versuche verwendeten Nägel.

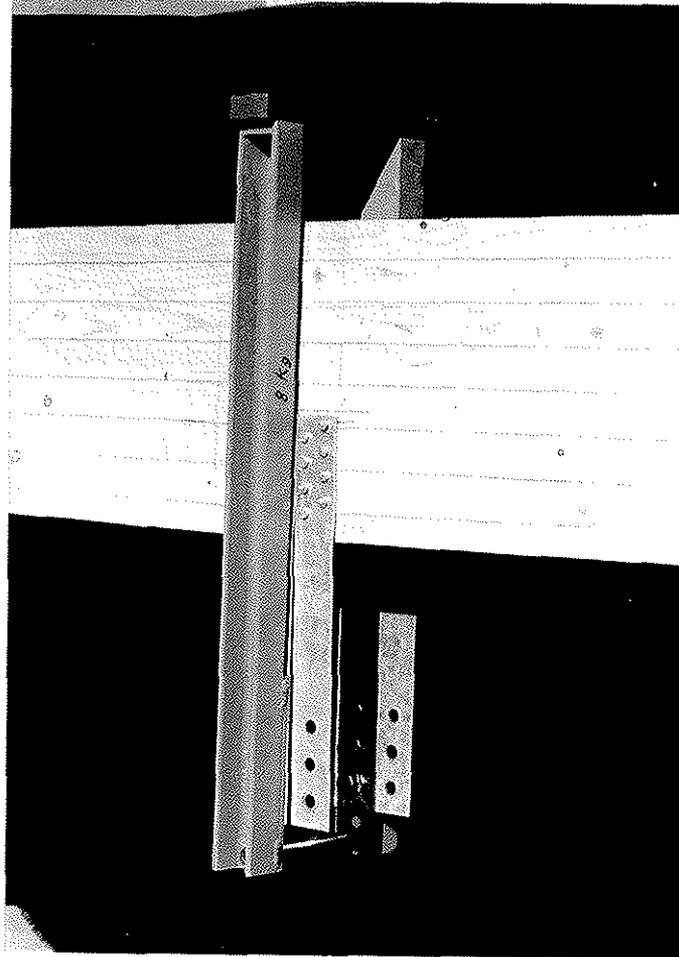


Bild 4: Prüfeinrichtung zur Einleitung der Kraft (Belastungsbügel für die beiden rechten Blechlaschen entfernt)



Bild 5: Versuchsanordnung unter einer 100 kN-Prüfmaschine (Versuchsnummer 1.4).

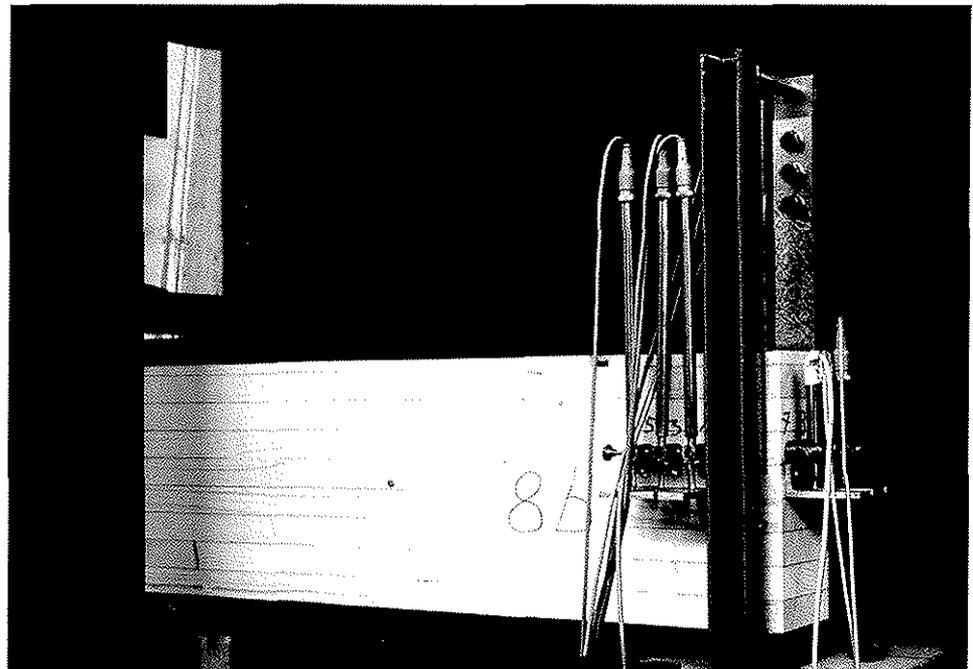


Bild 6: Versuchsanordnung unter einer 100 kN-Prüfmaschine (Anordnung am Kragarmende).

Tabelle 2: Bruchlasten F_U in kN der Reihe 1
 -Einfluß der Lage des Anschlusses (a/H)
 und -Einfluß des gegenseitigen Abstandes
 zweier Anschlüsse (x)

x (cm) a/H	0	4	9	24
0,4	38,4	42,2	42,3	44,0
	39,0	46,7	38,7	49,2
	34,6	36,2	47,6	50,7
Mittel	37,3	41,7	42,9	48,0
0,6		48,3	67,7	72,6
		56,2	49,3	66,2
		54,6	55,9	74,4
Mittel		53,0	57,6	71,1

Trägerhöhe $H=25$ cm

Tabelle 3: Bruchlasten F_U in kN der Reihe 2
 -Einfluß der Trägerlänge l

l (cm) a/H	130	100	75
0,4	38,4	40,1	39,3
	39,0	31,3	38,6
	34,6	-	-
Mittel	37,3	35,7	39,0

Trägerhöhe $H=25$ cm

Tabelle 4: Bruchlasten F_u in kN der Reihe 3
 - Einfluß der Nagelabmessungen
 $d_n \times l_n$
 - Einfluß der Trägerbreite b

b (cm)	8	10	12
$d_n \times l_n$			
4 x 40	35,9 38,3 30,4		45,4 48,6 46,0
Mittel	34,9		46,7
4 x 50		38,4 39,0 34,6	
Mittel		37,3	
4 x 60			44,5 50,8 43,3
Mittel			46,2
6 x 60			46,1 42,4 44,5
Mittel			44,3

Trägerhöhe $H=25$ cm

Tabelle 5: Bruchlasten F_u in kN der Reihe 4
 - Einfluß der Trägerhöhe H

H (cm)	15	25	40
a/H			
0,25			37,6 41,2 39,9
Mittel			39,6
0,40		42,2 46,7 36,2	59,4 41,1 54,5
Mittel		41,7	51,7
0,60	(35,7) ¹ (37,9) ¹ 47,3	48,3 56,2 54,6	
Mittel	(40,3) ¹	53,0	

¹ Biegebruch (Ast in der Zugzone)

Tabelle 6: Bruchlasten F_u in kN der Reihe 5
- Einfluß des Nagelbildes

$\begin{matrix} \text{Nagel -} \\ \text{bild} \\ \text{a/H} \end{matrix}$	1.1	1.2	1.3	2.1
0,4	42,2	42,1	31,4	38,6
	46,7	28,5	29,4	45,1
	36,2	36,3	40,1	42,8
Mittel	41,7	35,6	33,6	42,2

Tabelle 7: Bruchlasten F_u in kN der Reihe 6 (Kragarm)
- Anordnung des Queranschlusses
am Kragarmende

$\begin{matrix} x \\ \text{a/H} \end{matrix}$	3	11
0,4	15,9	19,5
	21,8	27,6
Mittel	18,9	23,6

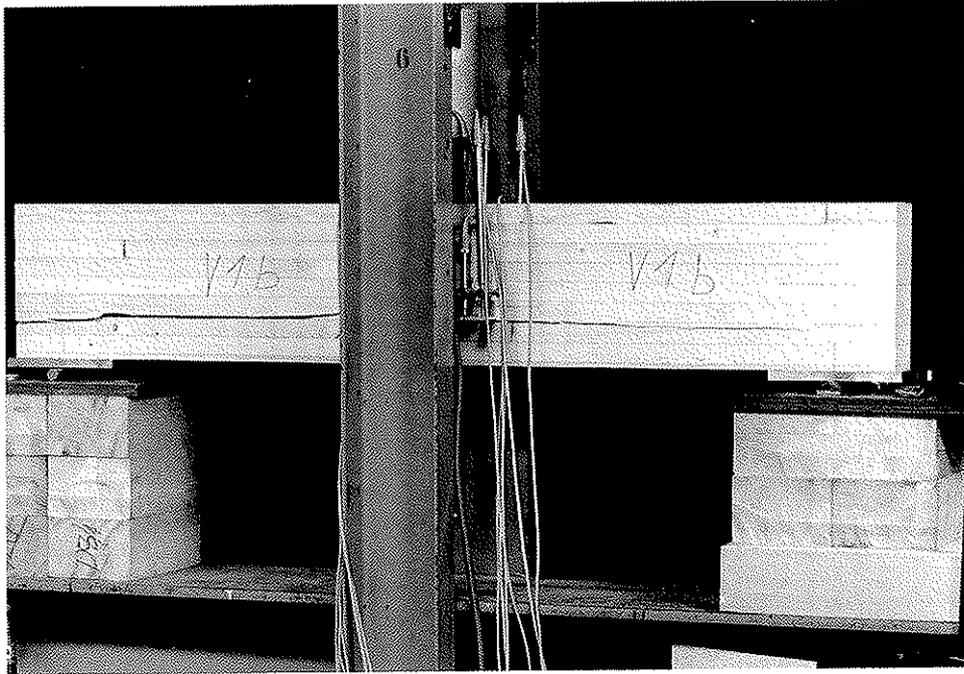


Bild 7: Versuchsträger der Reihe 1.1 nach Erreichen der Höchstlast $\max F_u = 39,0 \text{ kN}$

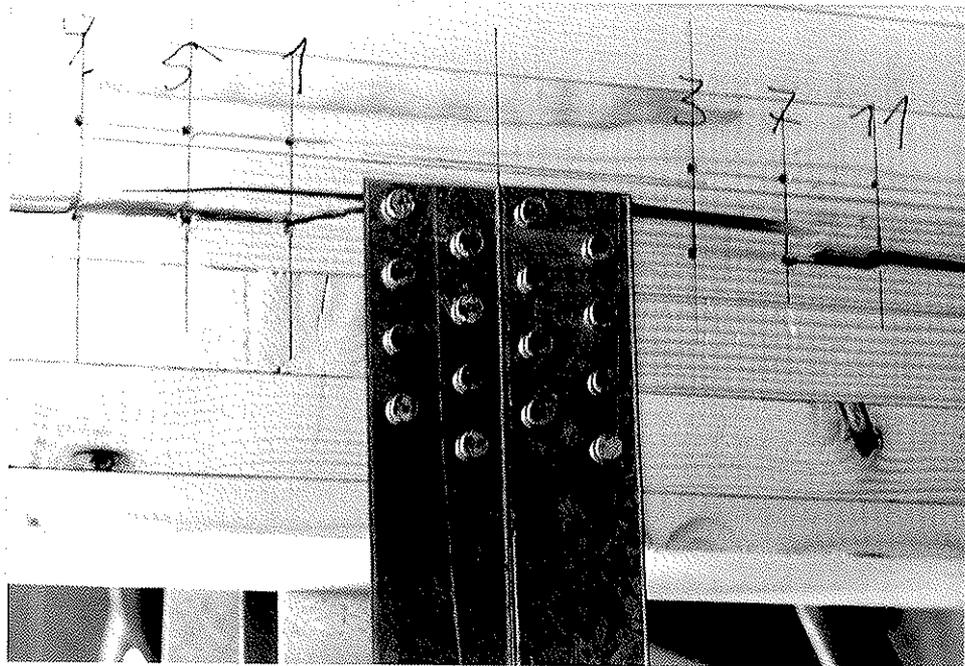


Bild 8: Detail eines Versuchsträgers der Reihe 1.2 nach Erreichen der Höchstlast $\max F_u = 46,7 \text{ kN}$

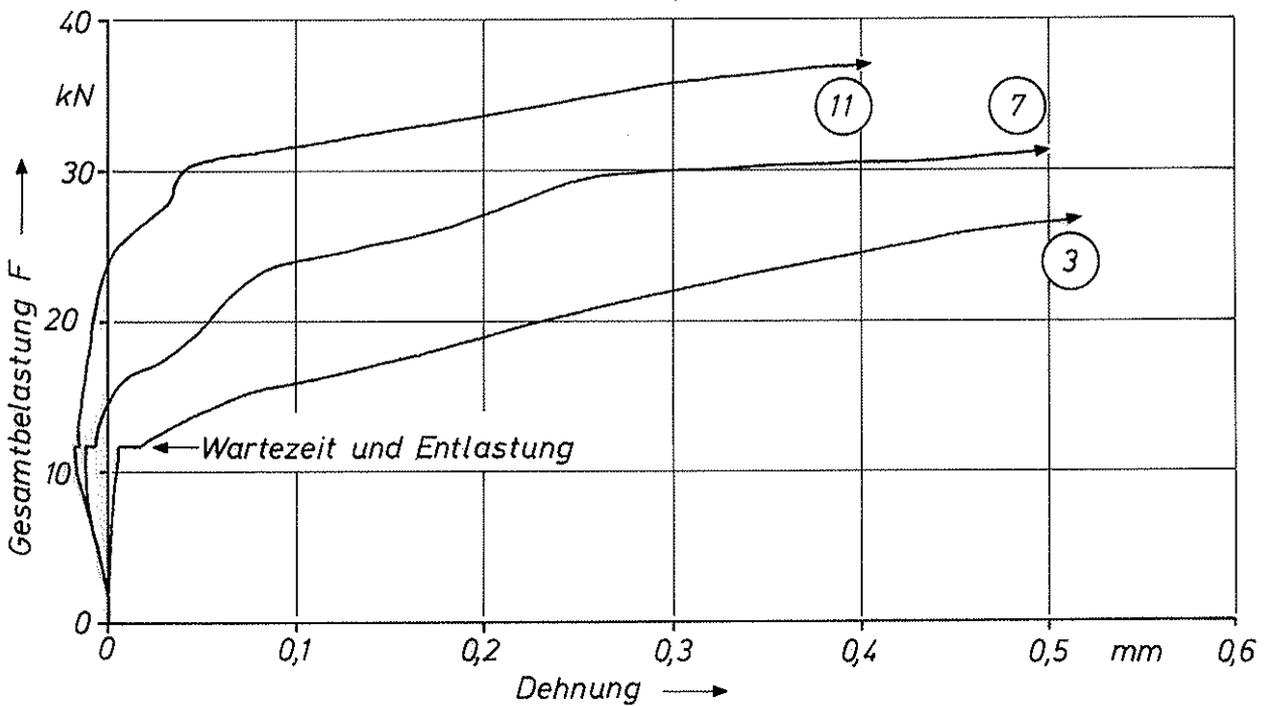
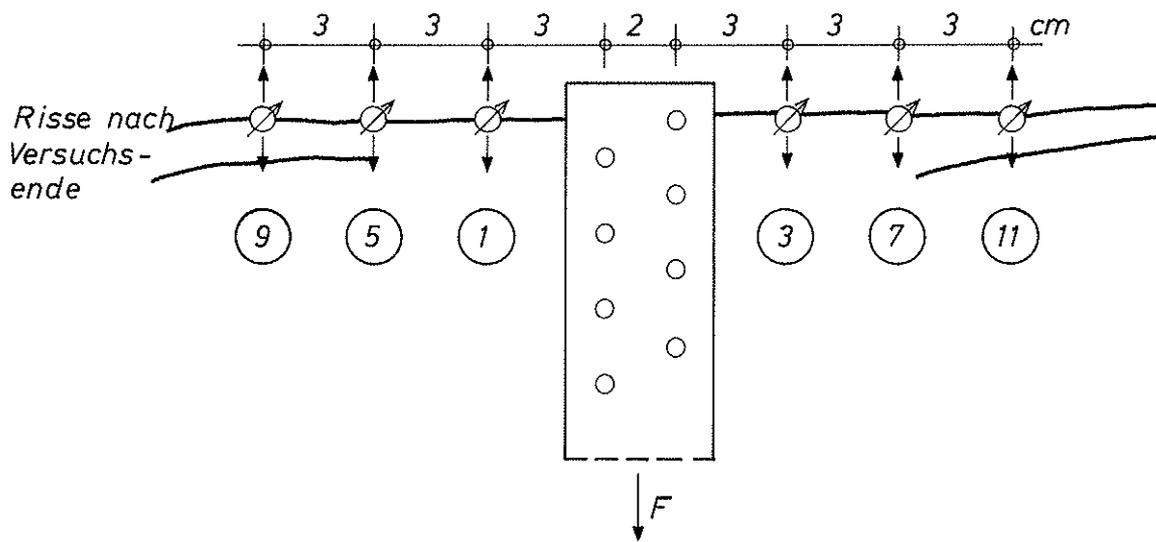
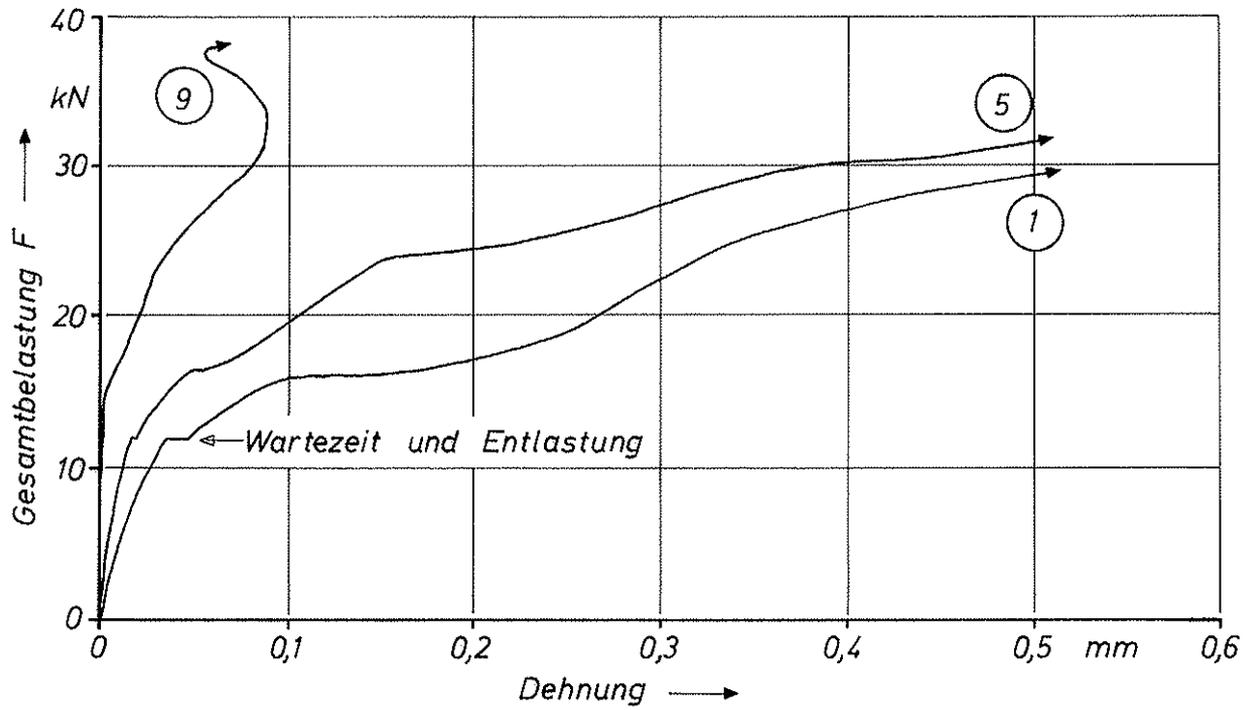


Bild 9 u. 10: Last-Dehnungsdiagramme, Versuch 1.1, Trägervorderseite

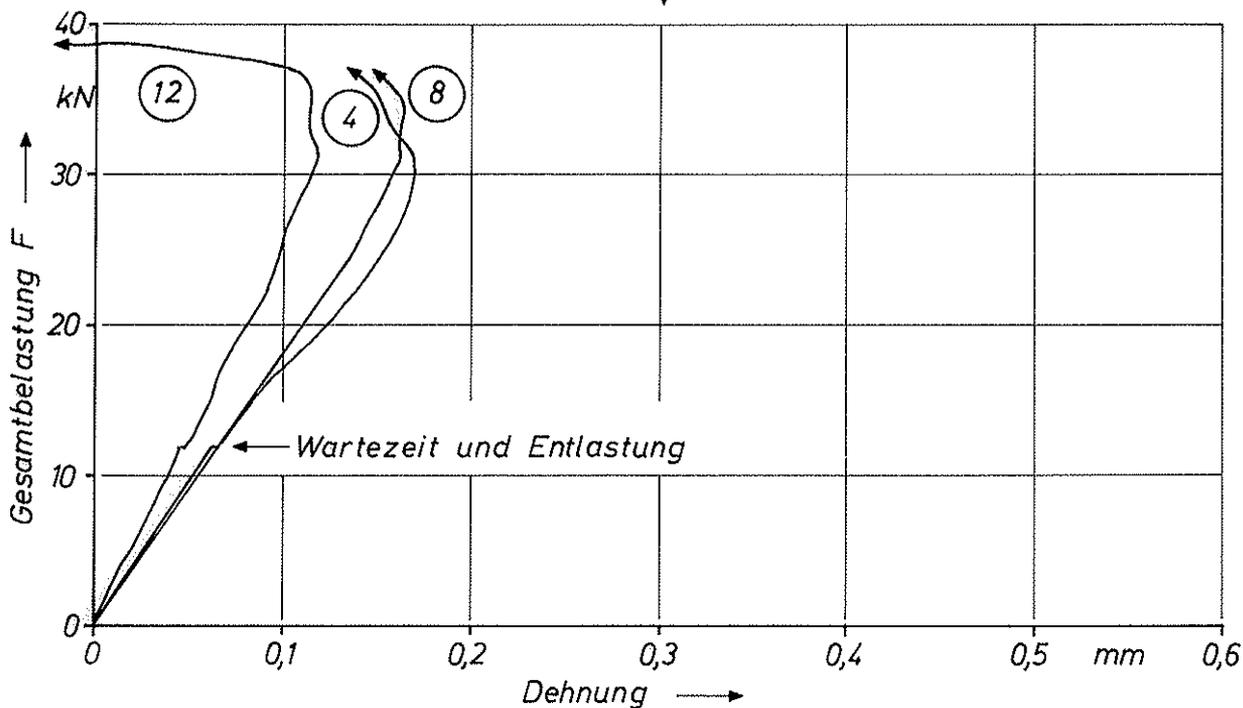
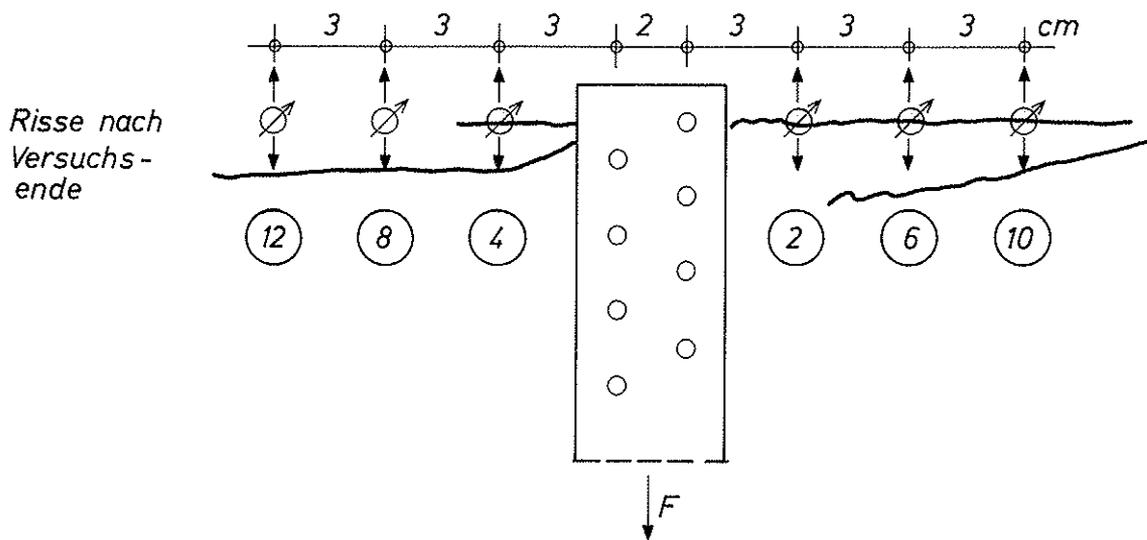
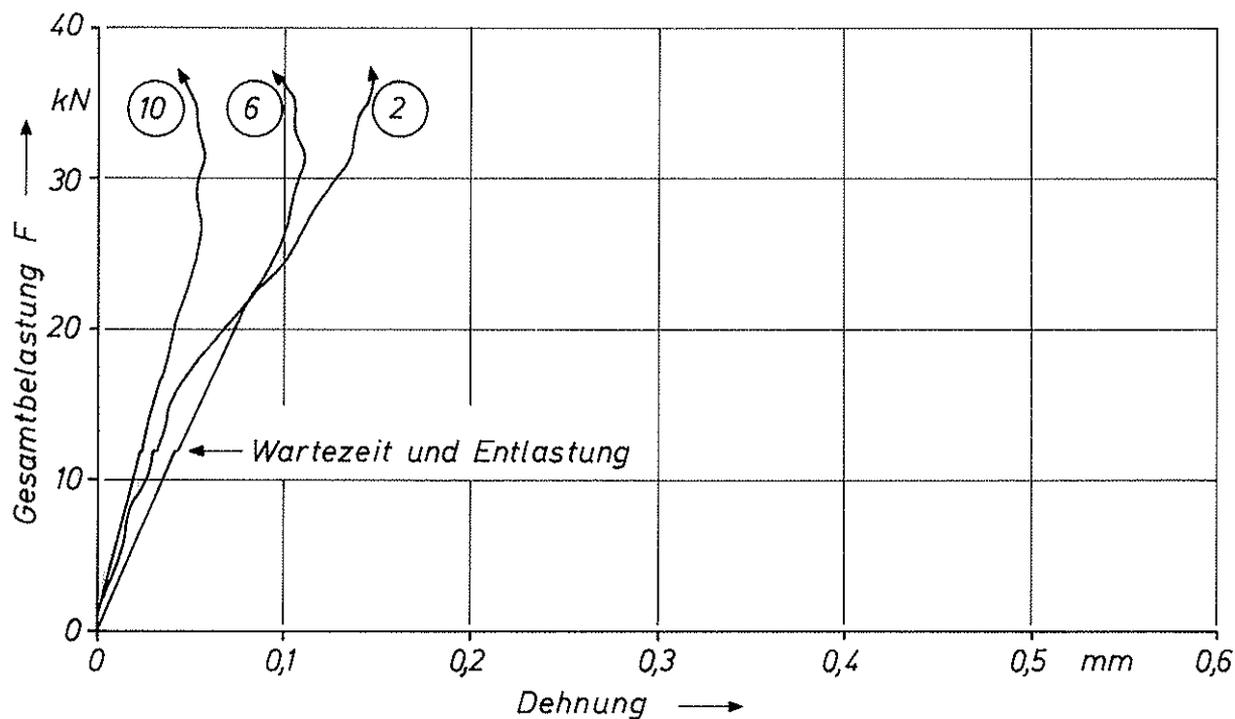


Bild 11 u. 12: Last-Dehnungsdiagramme, Versuch 1.1, Trägerrückseite

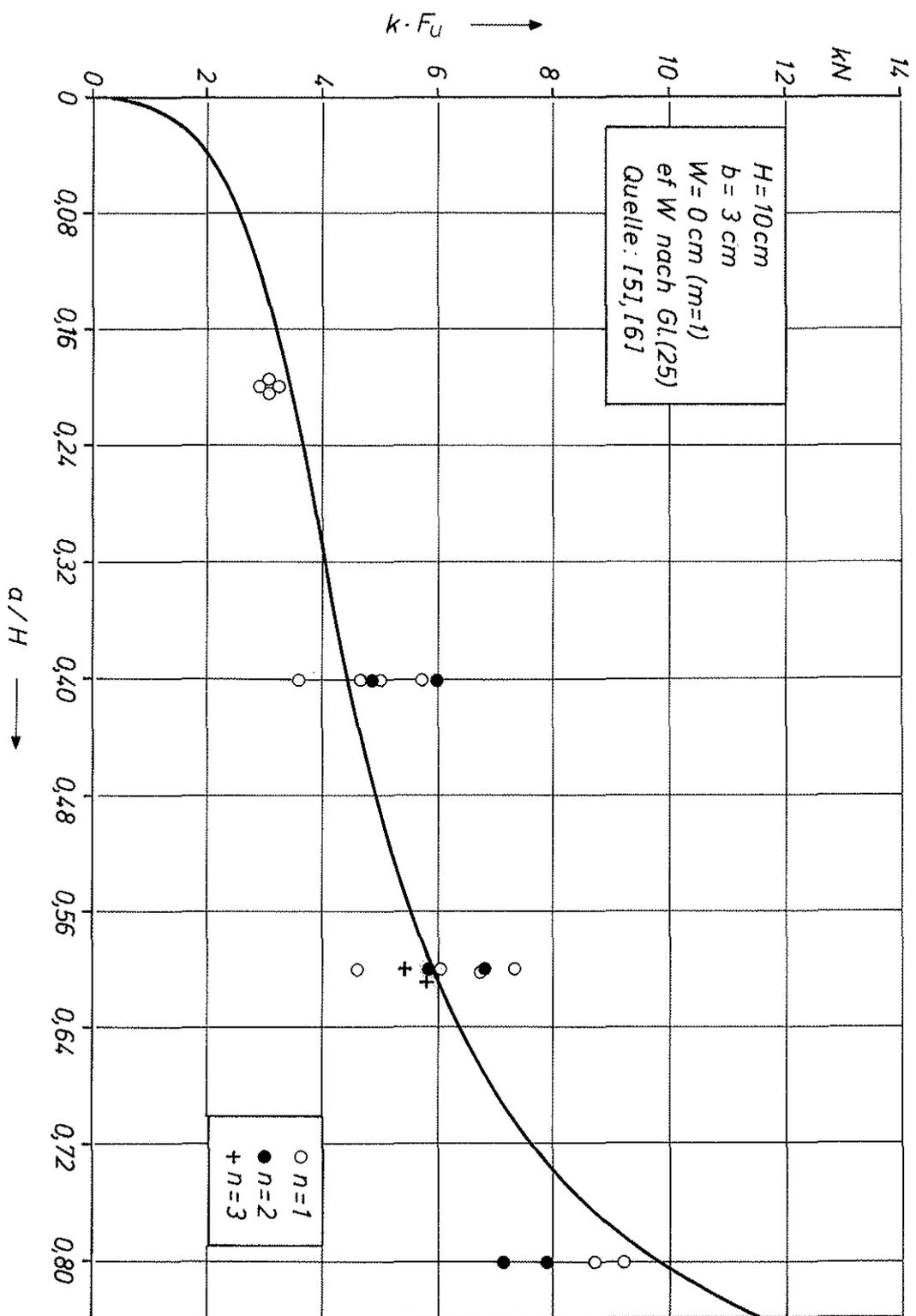


Bild 21: Normierte Traglast in Abhängigkeit von a/H

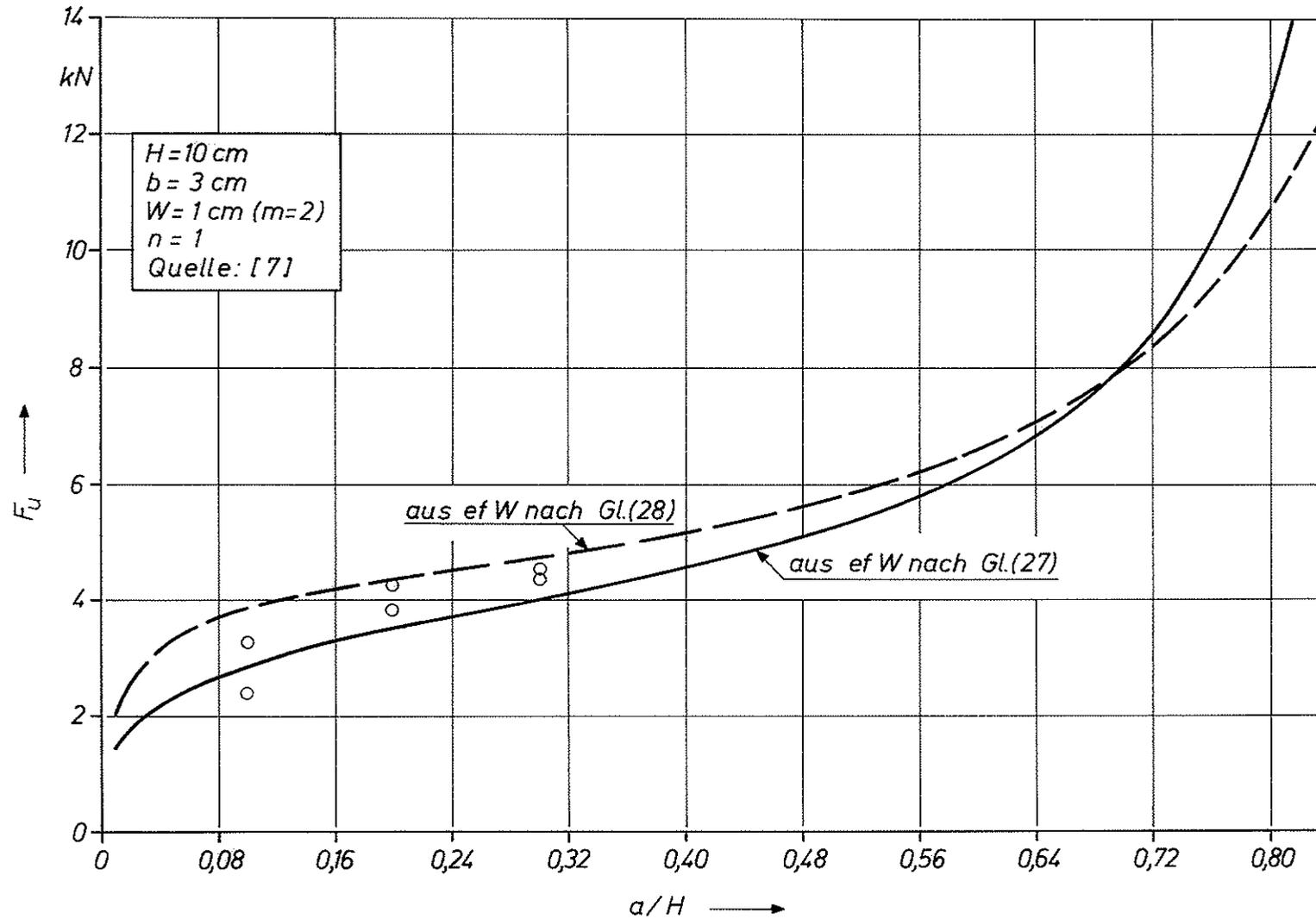


Bild 22: Traglasten in Abhängigkeit von a/H bei einer Nagelreihe mit zwei Nägeln ($m=2$)

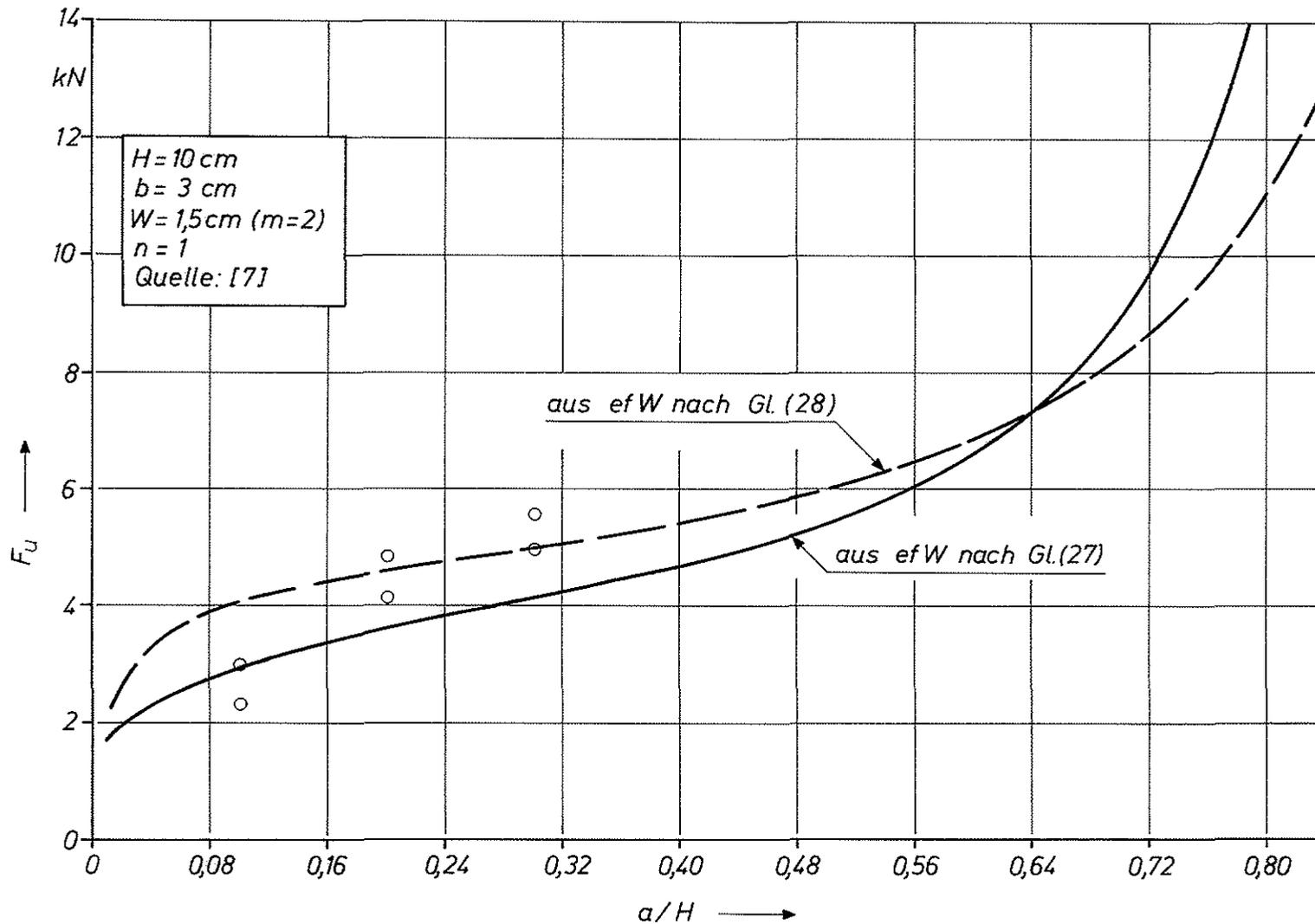


Bild 23: Traglasten in Abhängigkeit von a/H bei einer Nagelreihe mit zwei Nägeln ($m=2$)

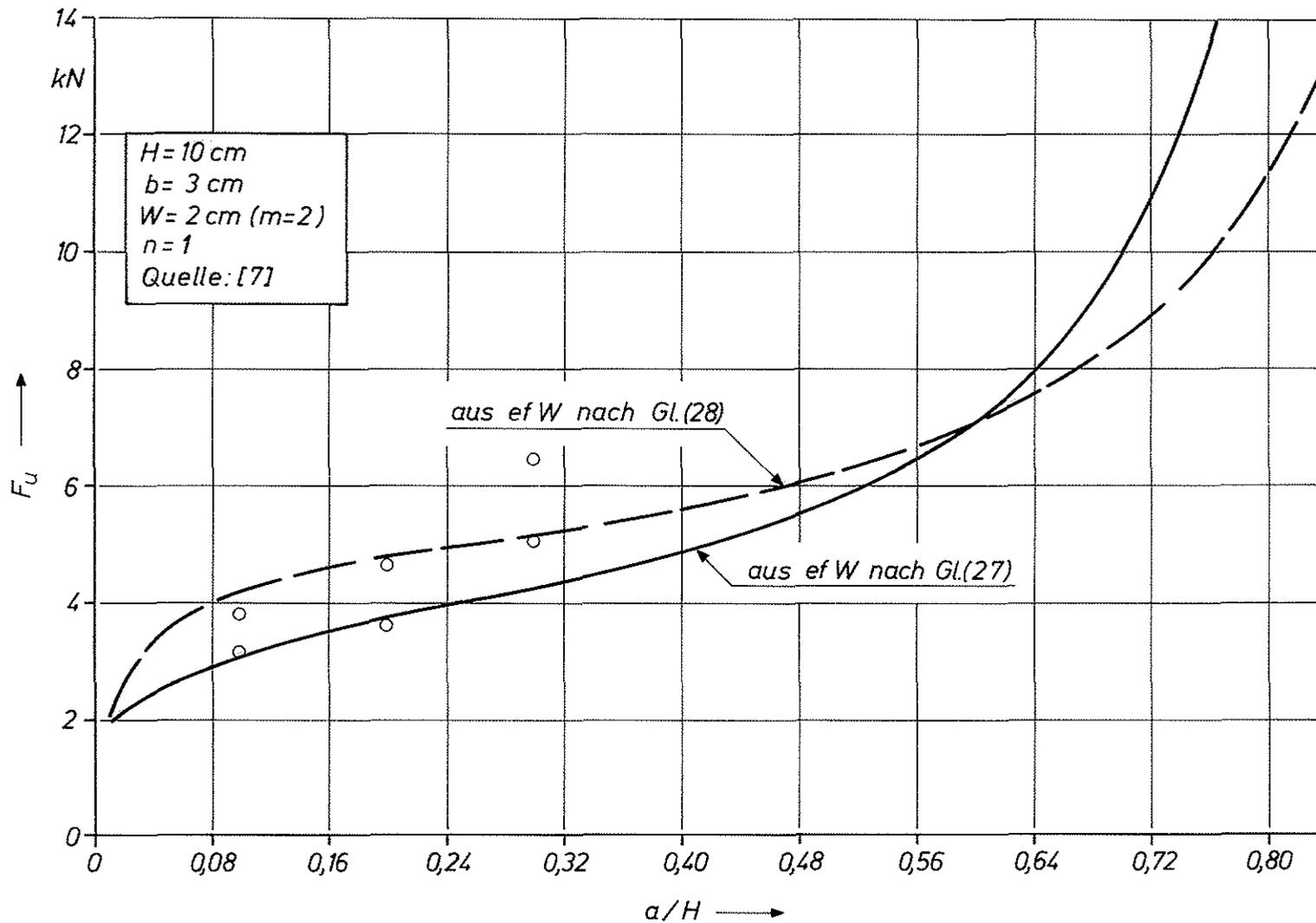


Bild 24: Traglasten in Abhängigkeit von a/H bei einer Nagelreihe mit zwei Nägeln ($m=2$)

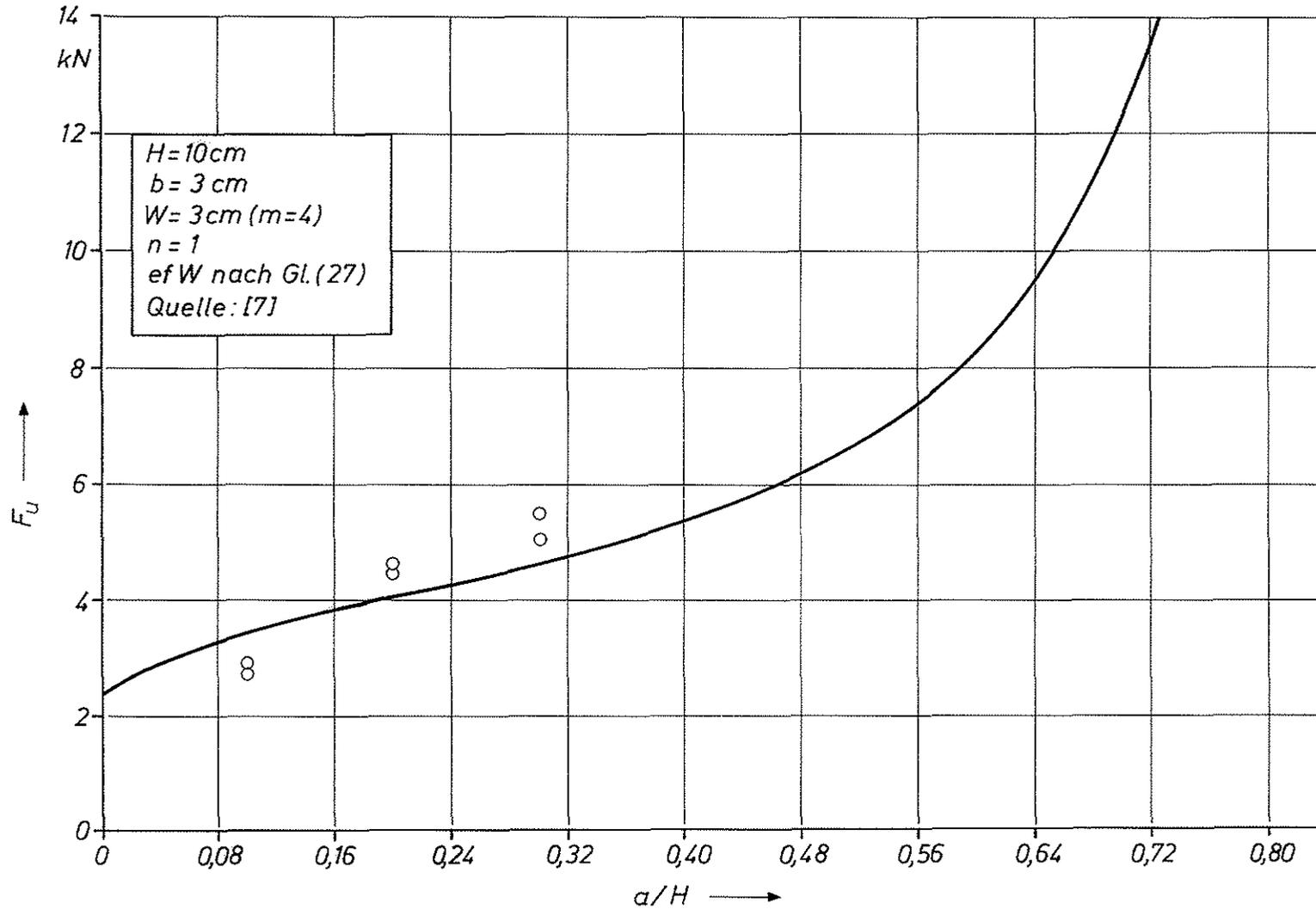


Bild 25: Traglasten in Abhängigkeit von a/H bei einer Nagelreihe mit vier Nägeln ($m=4$)

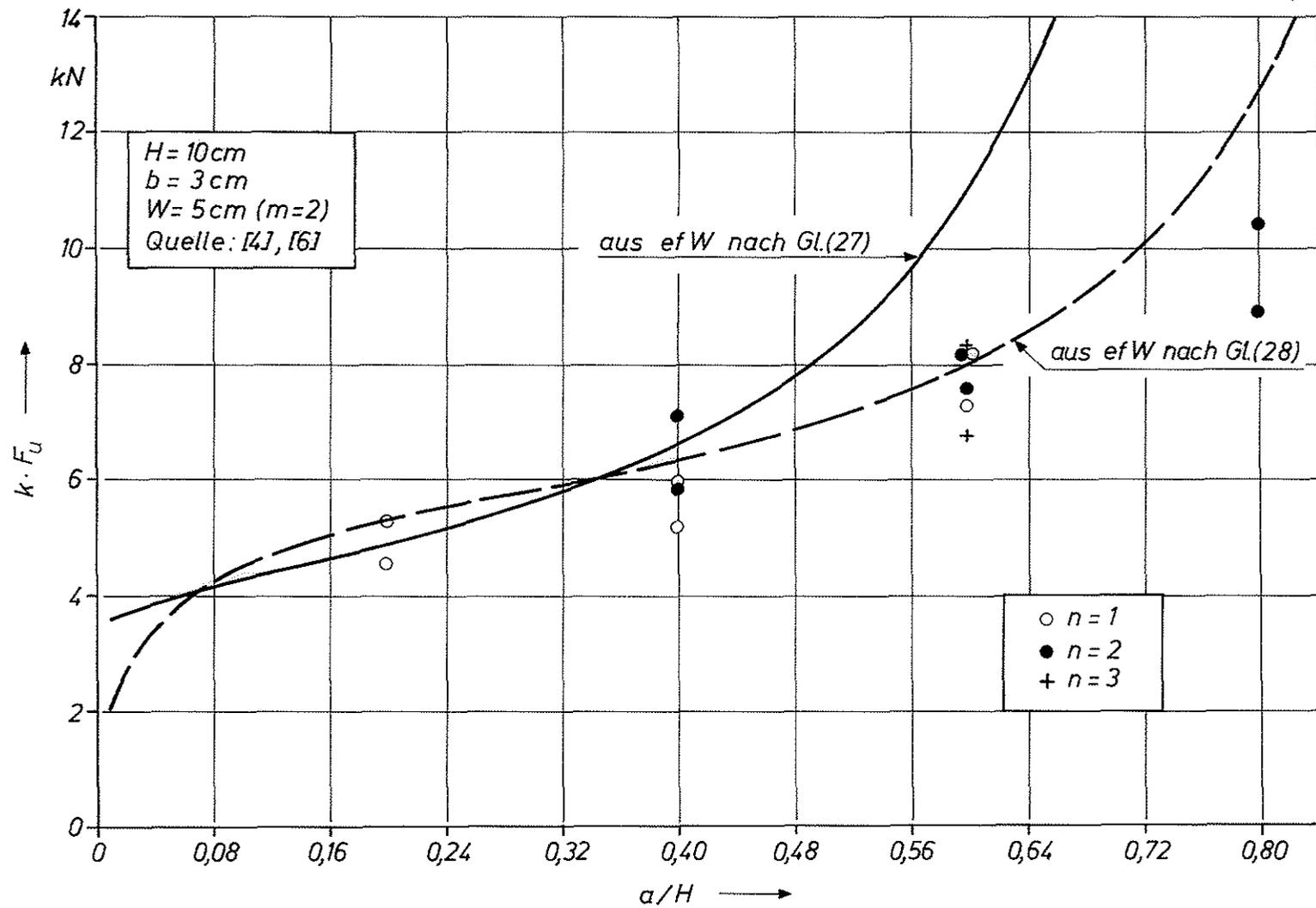


Bild 26: Normierte Traglasten in Abhängigkeit von a/H mit jeweils zwei Nägeln je Nagelreihe in einem Abstand von 5 cm

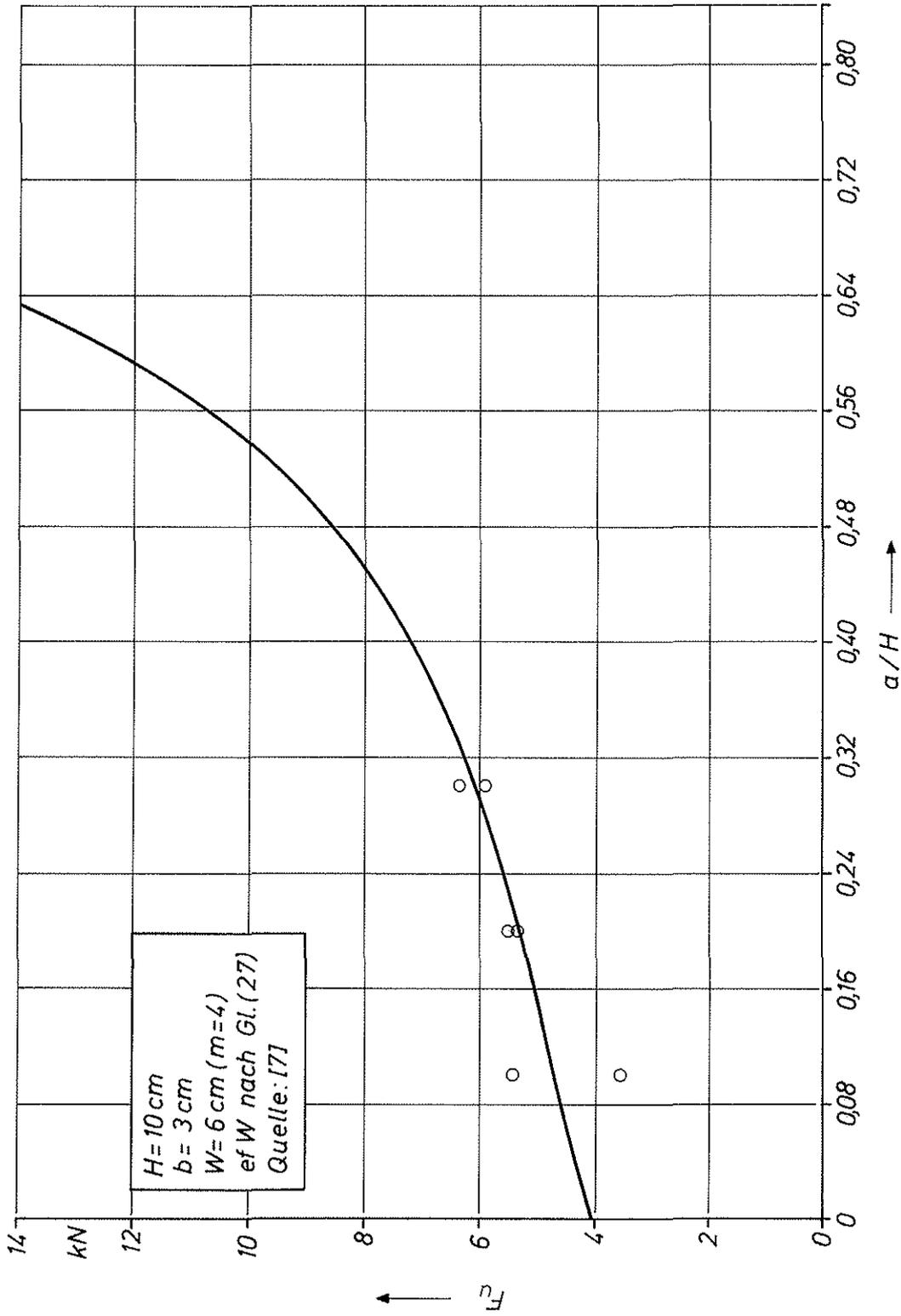


Bild 27: Traglasten in Abhängigkeit von a/H bei einer Nagelreihe mit vier Nägeln

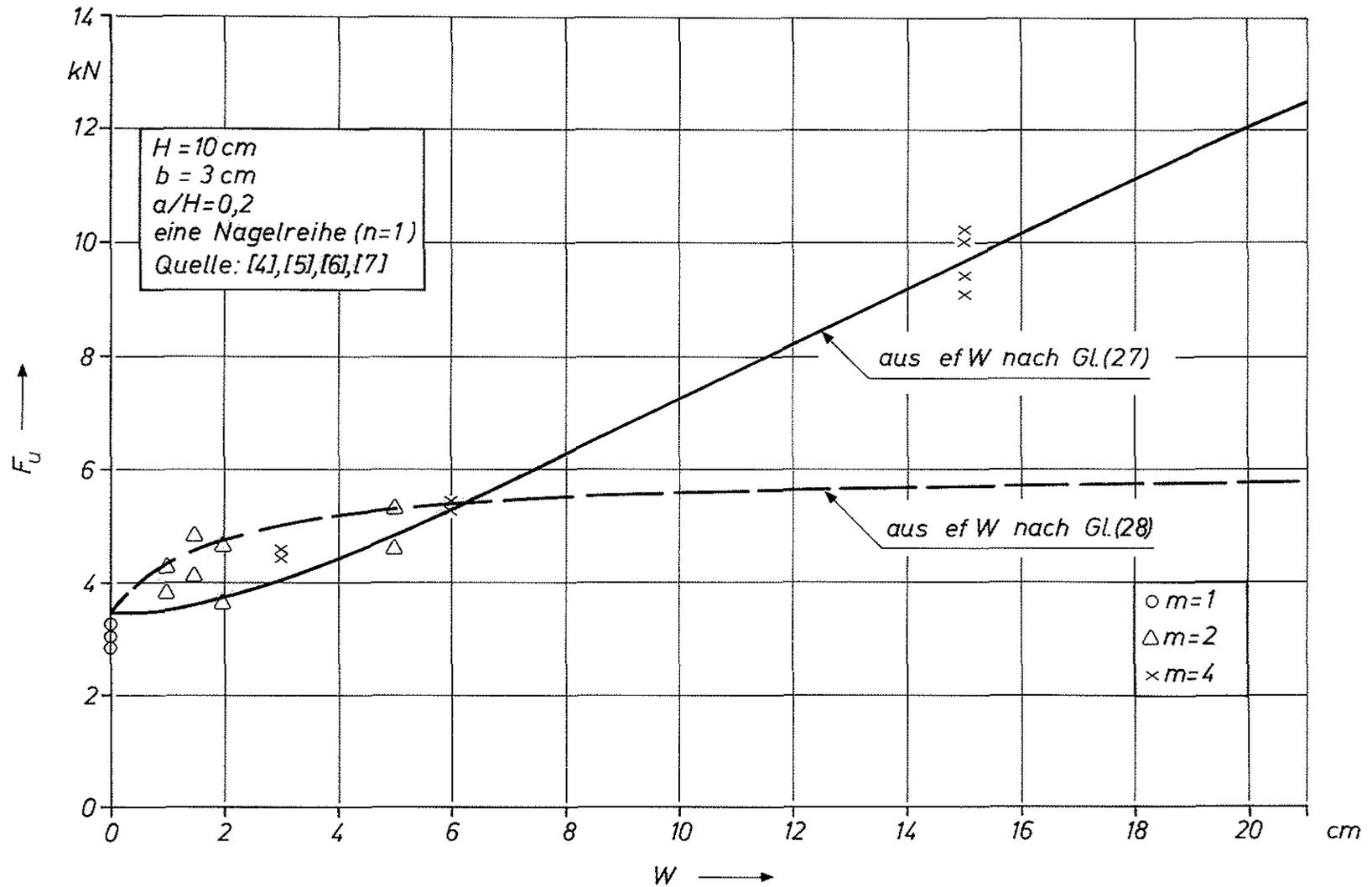


Bild 28: Traglasten einreihiger Queranschlüsse verschiedener Anschlußbreite W bei konstantem $a/H=0,2$

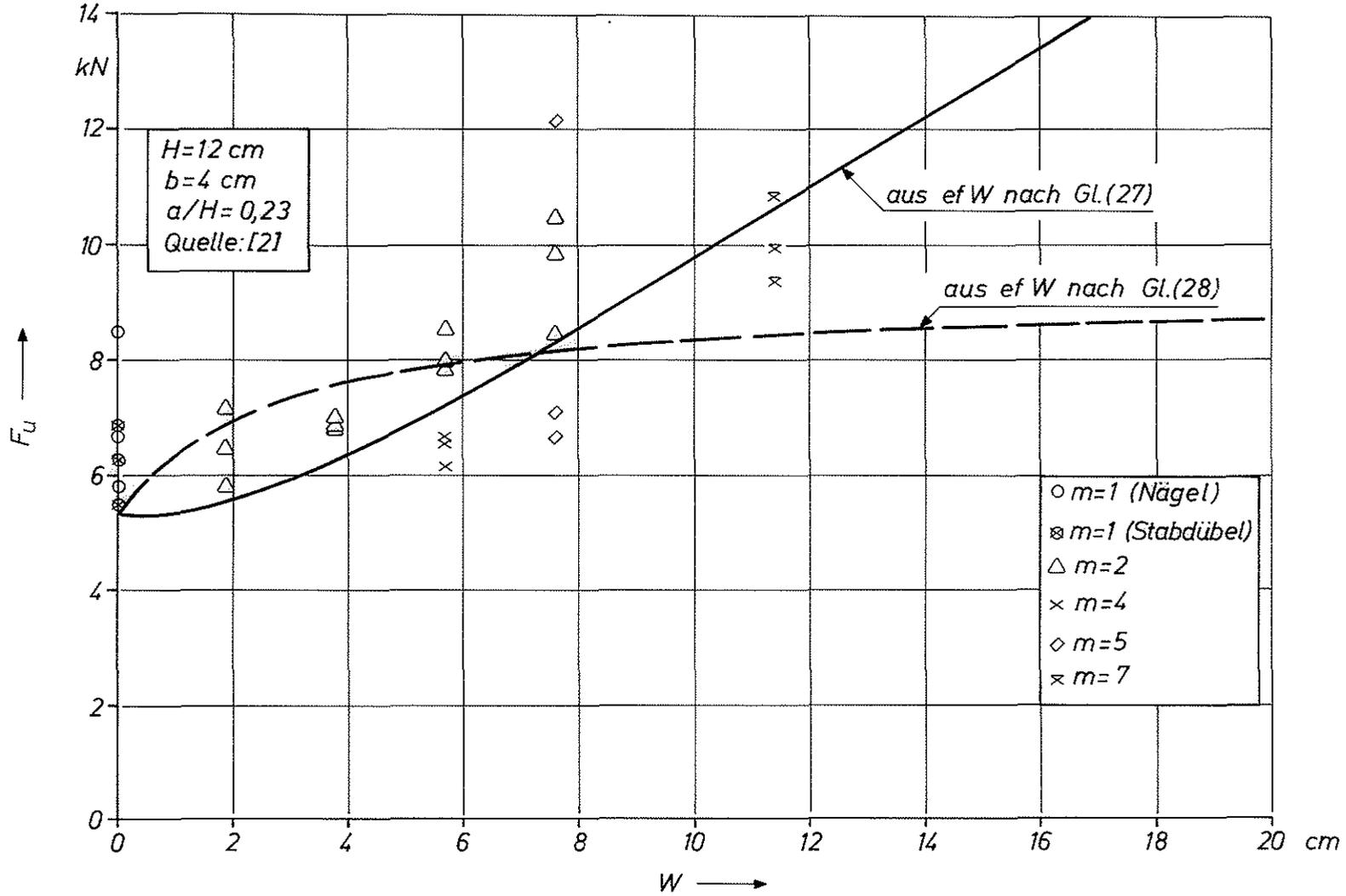


Bild 29: Traglasten nach [2] eines einreihigen Anschlusses mit verschiedener Nagelanzahl m

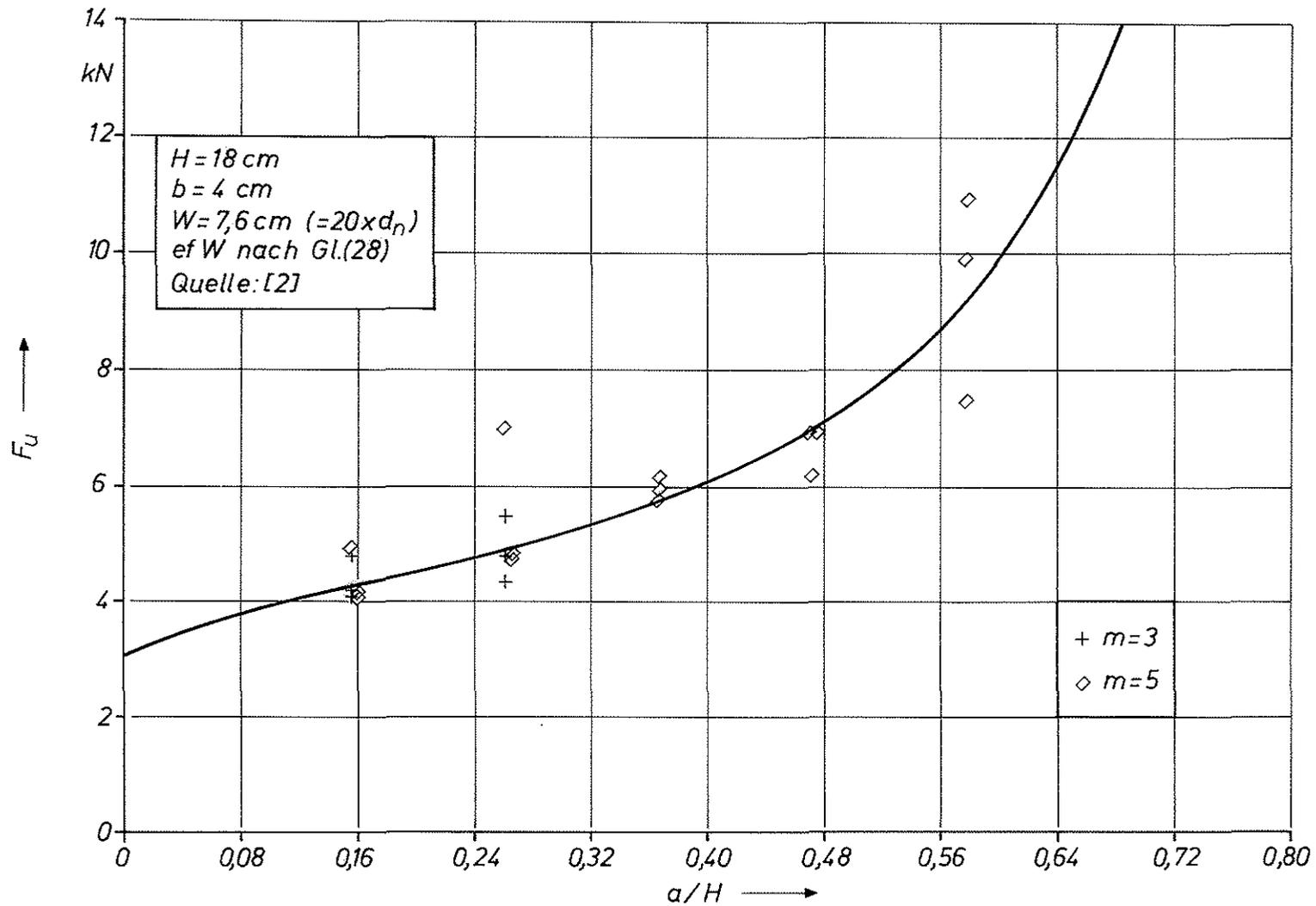


Bild 30: Traglasten nach [2] einreihiger Anschlüsse bei verschiedenem Verhältniswert a/H

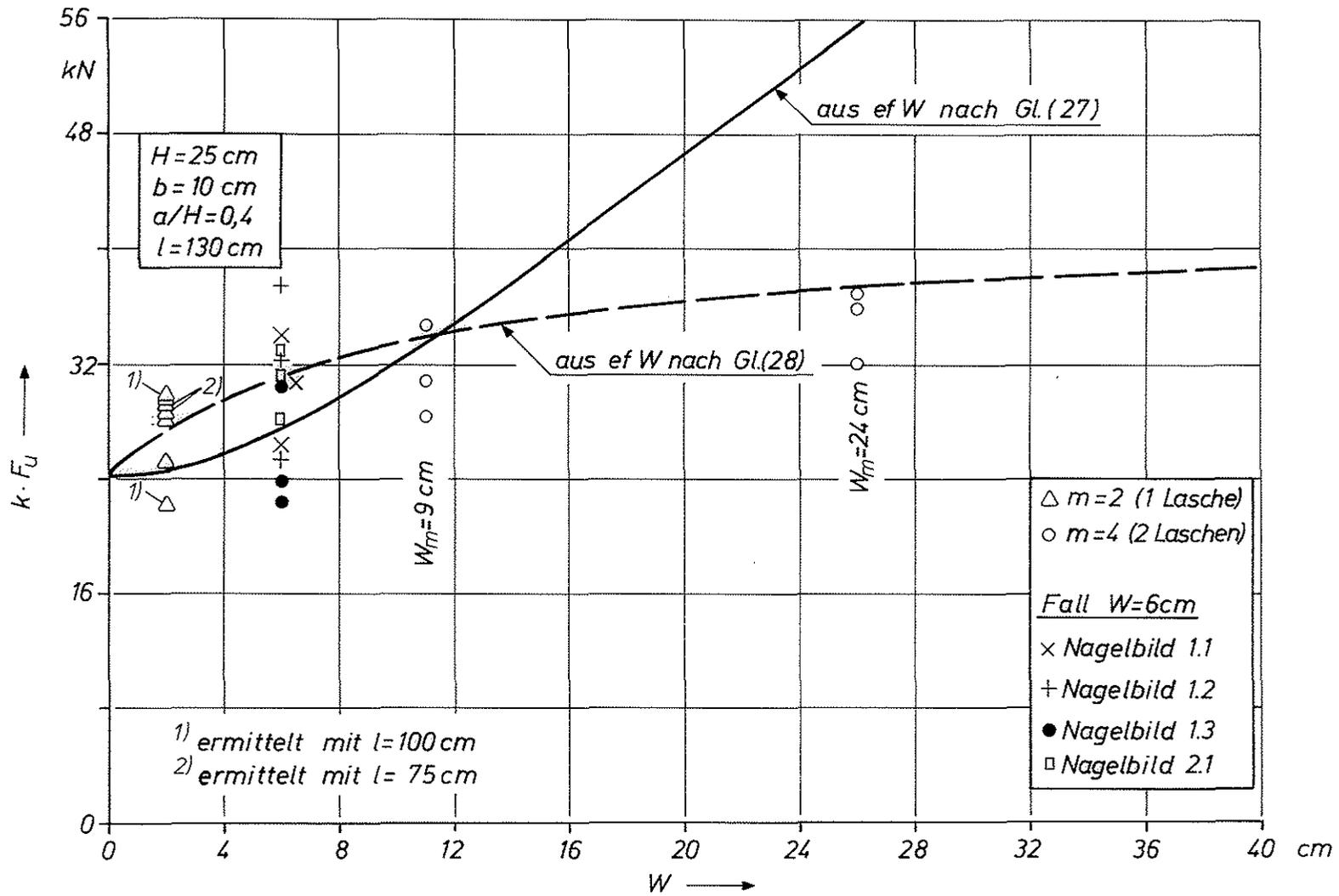


Bild 31: Normierte Traglasten für $a/H = 0,4$ aus Versuchsreihe 1, 2 und 5 (Tabelle 1)

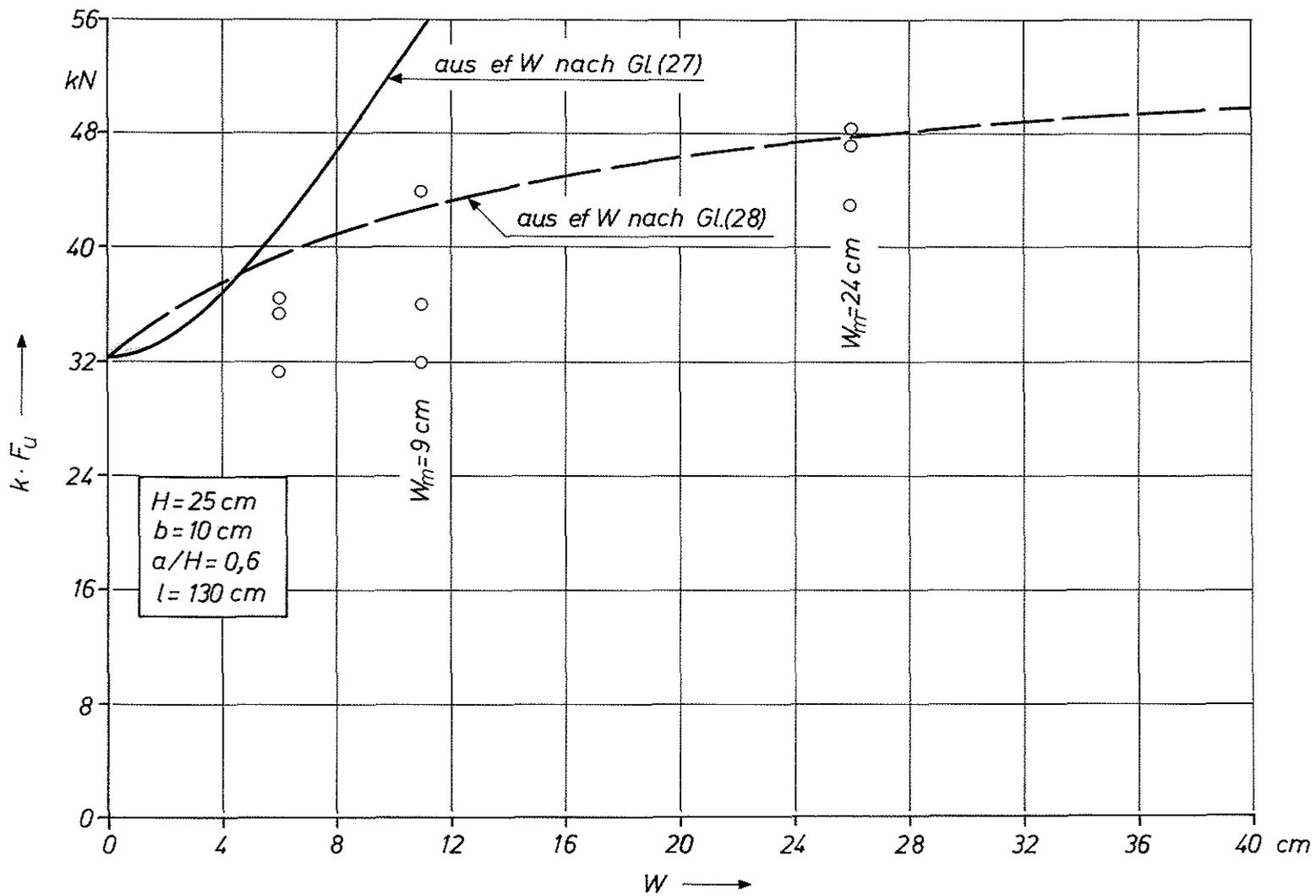


Bild 32: Normierte Traglasten für $a/H = 0,6$ aus Versuchsreihe 1

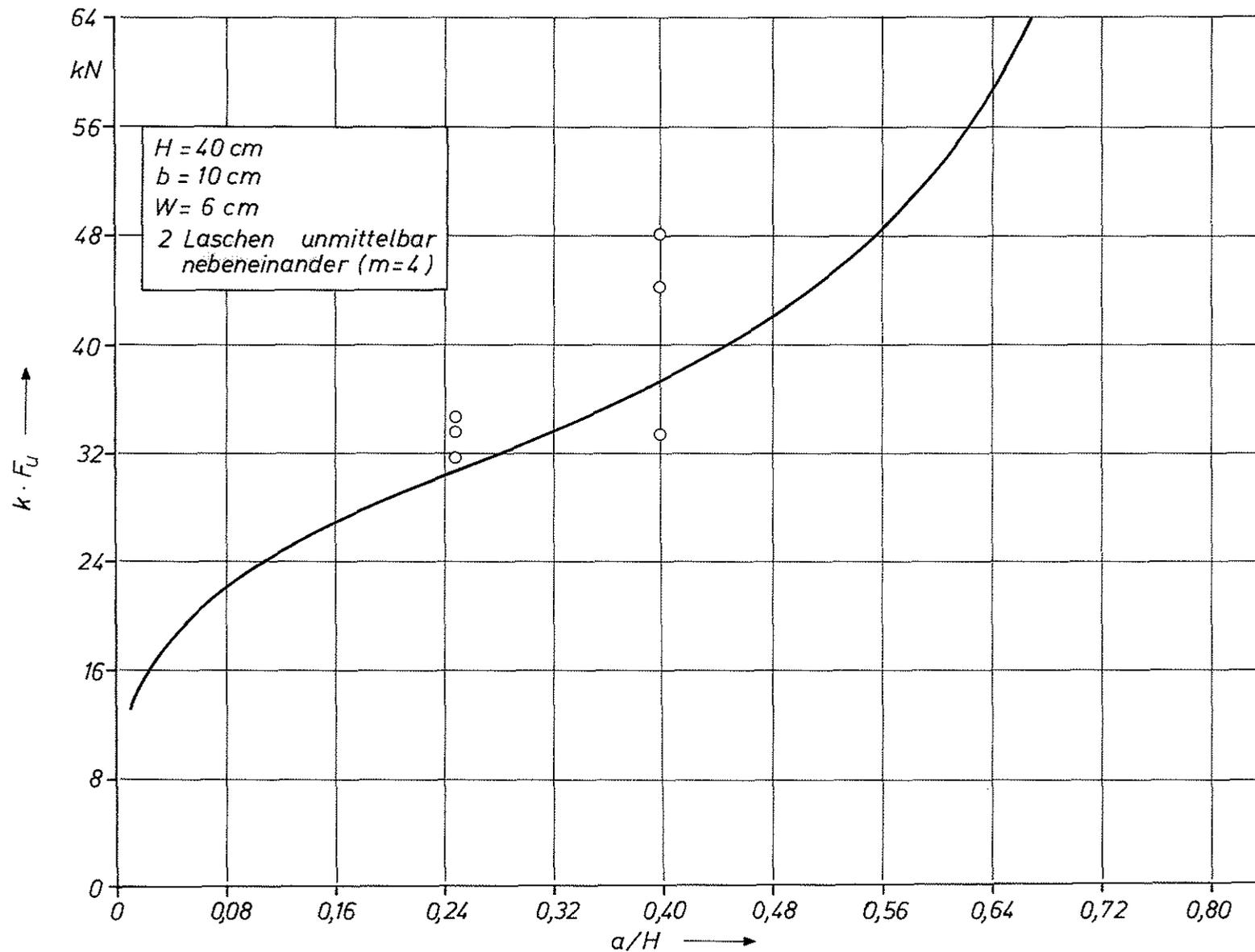


Bild 33: Normierte Traglasten vierreihiger Anschlüsse mit $m=4$ Nägeln pro Nagelreihe

5.6 Tragfähigkeitsnachweis für Queranschlüsse

Die Tragfähigkeit F_u eines Queranschlusses kann mit den in den Abschnitten 5.1 bis 5.5 abgeleiteten Gleichungen und den Bezeichnungen nach Bild 13 bestimmt werden:

$$F_u = \beta_{Z\perp} \cdot ef A^{(1)} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\eta}$$

$$\beta_{Z\perp} = 10 \cdot ef A^{(1)-0,2}$$

$$ef A^{(1)} = ef W \cdot ef b$$

$$ef W = \sqrt{W^2 + ef W_0^2} \quad m > 2$$

$$ef W = ef W_0 \left(1 + \frac{W}{W+a}\right) \quad m \leq 2$$

$$ef W = c \cdot H$$

$$c = \frac{4}{3} \sqrt{\left(\frac{a}{H}\right) \cdot \left(\frac{h_1}{H}\right)^3}$$

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{h_i}\right)^2$$

$$\eta = 3 \left(\frac{h_1}{H}\right)^2 - 2 \left(\frac{h_1}{H}\right)^3$$

$$ef b = \sum s$$