

KfK 2779 B
Mai 1979

**Fluid-Struktur-Schwingungen
eines kugelförmigen
Siedewasserreaktor-
Containments mit
Druckunterdrückungssystem.
Rechnungen mit SING-S für
einen 120°-Ausschnitt bei
vorgegebenen
Dampfblasenkollapsen**

G. Hailfinger, R. Krieg
Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Nukleare Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KfK 2779B

Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Nukleare Sicherheit

Fluid-Struktur-Schwingungen eines kugelförmigen Siedewasserreaktor-Containments mit Druckunterdrückungssystem.
Rechnungen mit SING-S für einen 120°-Ausschnitt bei vorgegebenen Dampfblasenkollapsen.

von

G. Hailfinger, R. Krieg

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Fluid-Struktur-Schwingungen eines kugelförmigen Siedewasserreaktor-Containments mit Druckunterdrückungssystem.

Rechnungen mit SING-S für einen 120° -Ausschnitt bei vorgegebenen Dampfblasenkollapsen.

Zusammenfassung

Es werden Parameterrechnungen zum dynamischen Verhalten eines Druckunterdrückungssystems dargestellt und diskutiert. Die Ergebnisse enthalten im wesentlichen Containmentauslenkungen als Funktion der Zeit. Die zugrunde gelegten Abmessungen orientierten sich am Siedewasserreaktor Brunsbüttel. Es wird ein 120° -Ausschnitt (60° Spiegelsymmetrie-Hälfte) untersucht. Die Kopplung zwischen den Strömungsbewegungen im Wasserpool des Druckunterdrückungssystems und den Schwingungen des kugelförmigen Containments wird mit Hilfe des Computerprogrammes SING-S für gekoppelte fluid-strukturdynamische Probleme in beliebiger dreidimensionaler Geometrie berücksichtigt. Das schalendynamische Verhalten des relativ dünnwandigen Containments wird mit Hilfe eines speziell entwickelten halbanalytischen Modelles beschrieben. Dämpfungseffekte werden nicht berücksichtigt. Die Systemanregung erfolgt durch kollabierende Dampfblasen im Wasserpool mit verschiedenen vorgegebenen Kollapszeiten. Variiert werden ferner der flexible Bereich des Containmentteiles, der die äußere Wand der Kondensationskammer darstellt, und die Anzahl der verwendeten Freiheitsgrade. Außerdem wird der Einfluß einer gleichzeitig vorhandenen, nicht kollabierenden Dampfblase untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Berücksichtigung des mitschwingenden Wasserpools, d.h. die fluid-strukturdynamische Koppelung wesentlich ist. Die Modelle und die Anzahl der verwendeten Freiheitsgrade reichen für eine zuverlässige Beschreibung des Systems hin. Die Schalenauslenkungen nehmen bei gleichem Dampfblasenvolumen mit kürzer werdenden Kollapszeiten zu. Nahe am unteren Rand des flexiblen, kugelförmigen Containments treten die größten Schalenauslenkungen und vor allem die größten Schalenbiegungen auf. Das Vorhandensein weiterer, nicht kollabierender Blasen reduziert die Schalenverformungen.

Fluid-structural Vibrations of a Spherical
BWR-containment with Pressure Suppression System.
Applications of SING-S to a 120^o-section
for Prescribed Steam Bubble Collapses.

Summary

Parameter calculations are presented for the dynamic behavior of a pressure suppression system. The results show primarily containment displacements versus time. The dimensions are based on the Brunsbüttel reactor. A 120^o-section (60^o-section with symmetry about a plane) is investigated. Coupling between the fluid motion in the water pool of the pressure suppression system and the oscillations of the spherical containment is achieved with the computer code SING-S for fluid structural dynamic problems in any three-dimensional geometry. The shell dynamics of the relatively thin-walled containment is described with a special semi-analytical model which was developed recently. Damping effects are not taken into account. System excitation is due to prescribed steam bubble collapses in the water pool. Parameters are the collapse time, the flexible region of that part of the containment which represents the outer wall of the condensation chamber and the number of degrees of freedom used for analysis. Furthermore, the influence of a not-collapsed steam bubble is investigated.

The results confirm that the added masses of the water pool, i.e. fluid structural coupling plays a dominant role. The model and the number of degrees of freedom used are sufficient. Starting with the same bubble volume, shorter bubble collapse times lead to increasing containment displacements. Maximum containment displacements with high shell bendings occur close to the pool bottom. The existence of additional, not collapsed steam bubbles reduces the containment deformations.

1. Einleitung

Unter gewissen Betriebs- und Störfallbedingungen wird Wasserdampf vom druckführenden Primärsystem abgegeben. Um einen daraus resultierenden Druckaufbau - etwa im Containment - zu reduzieren, ist bei Siedewasserreaktoren ein Druckunterdrückungssystem vorhanden, das die Kondensation des Dampfes erzwingt. Bei Siedewassereaktoren vom Typ Brunsbüttel oder Krümmel beispielsweise, wird der Dampf mit Hilfe zahlreicher Abblaserohre (ca. 60 Rohre, etwa 600 mm Durchmesser) in einen ringförmigen Wasserpool geblasen. Wie Versuche zeigten, kann dies zur Bildung großer Dampfblasen führen, die bei der Kondensation starke Drucktransienten im Wasserpool erzeugen und die umgebende Containment-Wand zu Vibrationen anregen [1]. Eingehende Untersuchungen zu dieser Dampfkondensation sowie abschätzende Rechnungen zur dynamischen Beanspruchung des Containments wurden von Class durchgeführt [2, 3].

In diesem Bericht werden die Ergebnisse von Parameterrechnungen zum Schwingungsverhalten des kugelförmigen Containments vorgestellt. Die Abmessungen sind aus Abb. 1 zu entnehmen. Sie entsprechen in etwa den Gegebenheiten des Siedewasserreaktors Brunsbüttel. Von den Kondensationsrohren der inneren Reihe (Teilkreisdurchmesser 16 m) sind einige direkt mit Druckentlastungsventilen des Primärsystems (Reaktordruckbehälter) verbunden. Ein solches Rohr ist in Abb. 1 dargestellt. Es hat eine größere Eintauchtiefe (4 m) und besitzt eine Ausströmdüse, die die Bildung größerer Dampfblasen weitgehend verhindert. Trotzdem wurde für den Dampfblasenkollaps an einem inneren Kondensationsrohr die größere Eintauchtiefe zugrunde gelegt. Die etwas geringere Eintauchtiefe (2,8 m) der Kondensationsrohre ohne spezielle Ausströmdüse führt zu einer gewissen Verminderung der Schalenauslenkungen.

Wegen des besonderen Verhaltens einer dünnwandigen Kugelschale [4] genügte es, die Untersuchungen auf jenen Teil des Containments zu beschränken, der die äußere Wand der Kondensationskammer darstellt. Von wesentlicher Bedeutung war die detaillierte Berücksichtigung des Trägheitseinflusses des Wasserpools (Fluid-Struktur-Koppelung). Die Flexibilität der kegel- und zylinderförmigen Wände der Kondensationskammer konnten in diesem Zusammenhang wegen ihrer relativ großen Wandstärke vernachlässigt werden [5, 6].

Die Dampfkondensation, d.h. der Kollaps einzelner Dampfblasen wurde mit Hilfe von Volumensenken simuliert. Hierzu wurden Volumenabnahmen als Funktion der Zeit vorgegeben.

Die Ergebnisse enthalten einige wichtige Eigenfrequenzen mit zugehörigen Schwingungsformen (Radialauslenkungen) für die wasserbeaufschlagte Kugelschale. Hauptteil ist eine Serie von Diagrammen mit radialen Schalenauslenkungen bzw. Wasserdrücken an der Kugelschale als Funktion der Zeit für verschiedene Blasenkolllapse.

2. Rechenprogramme

Zur Analyse des gekoppelten fluid-strukturdynamischen Verhaltens wurde das Rechenprogramm SING-S verwendet [7, 8, 9, 10]. Es basiert auf einer "Boundary Integral Equation Method" (Singularitätenverfahren), bei der rechteckige Dipole-Panels zum Einsatz kommen. Hierbei wird das Fluid als inkompressibel und reibungsfrei und die Struktur als linear elastisch behandelt. Abschätzungen zeigen [4], daß bei dem vorgegebenen Problem die Wasserkompressibilität nur einen sehr geringen Einfluß auf die Ergebnisse hat. Die Wasserviskosität und die zu erwartenden Abweichungen vom linear elastischen Strukturverhalten (Hysterese) führen zu einer Reduzierung (Dämpfung) der Schalenverformungen im Vergleich zu den berechneten Werten. Die für die SING-S Rechnungen erforderlichen Steifigkeitsmatrix für die Struktur (Kugelschale, die die äußere Wand der Kondensationskammer darstellt) wurde mit Hilfe des Programmes SPHERE bestimmt [4].

3. Randbedingung und Diskretisierung

Es wurde angenommen, daß eine simultane Anregung durch je eine kollabierende Blase in den Umfangswinkeln 0° , 120° und 240° erfolgen soll. Aus diesem Grund und wegen der in SING-S implementierten Spiegelsymmetrie genügte es, einen 60° -Ausschnitt des Druckunterdrückungssystems zu untersuchen. Die Diskretisierung des ringförmigen Wasserpoools in 696 Rand- bzw. Oberflächenelemente ist in Abb. 2 dargestellt. Als unabhängige Freiheitsgrade sind die Radialverschiebungen jedes zweiten Elementes sowohl in Umfangs- als auch in Meridianrichtung eingeführt. Kopplung mit der Struktur-

wurde für den Bereich der kugelförmigen Randfläche berücksichtigt. An der freien Oberfläche wurde ein konstanter Druck und an den restlichen Randflächen eine verschwindende Auslenkung vorgeschrieben.

Als Randbedingungen für den zu untersuchenden Teil der Kugelschale wurde an den Schnittlinien mit den kegelförmigen Kondensationskammerwänden freie Auflagerung angenommen.

Für die Systemanregung durch kollabierende Dampfblasen wurde an der Mündung eines der inneren bzw. äußeren Kondensationsrohre eine Quelle (Senke) mit einem der in Abb. 4 dargestellten Volumen-Zeit-Verläufe angenommen. In die Analysen gehen die in Abb. 5 dargestellten zweiten zeitlichen Ableitungen ein. Die Kurven 1 bis 4 mit Blaskollapszeiten zwischen 25 und 100 msec wurden in Anlehnung an experimentelle Untersuchungen und theoretische Überlegungen von Class gewählt [2, 3]. Die Kurve 5 diente für Testzwecke. Das Ausgangsvolumen V_0 , das einer Kugel mit dem Durchmesser von 1 m entspricht, wurde dagegen aus rein rechen-technischen Gründen gewählt. Die in den späteren Diagrammen dargestellten Ergebnisse lassen sich leicht auf andere Ausgangsvolumina V umrechnen, die zu tatsächlichen, etwa experimentell beobachteten Blasengrößen gehören. Ist A_0 ein Ordinatenwert in den Diagrammen, so ergibt sich der tatsächliche Ordinatenwert A :

$$A = A_0 \sqrt{V/V_0}$$

Rechnungen wurden für die folgenden geometrischen oder Diskretisierungs-Varianten durchgeführt:

DAS00: Blaskollaps an der Mündung eines inneren Kondensationsrohres.

DAS01: Blaskollaps an der Mündung eines äußeren Kondensationsrohres.

DAS02: Blaskollaps an der Mündung eines äußeren Kondensationsrohres.

Zusätzlich starre Kugelschale im Bereich der unteren drei Elementreihen.

- DASO3: Blaskollaps an der Mündung eines äußeren Kondensationsrohres.
Zusätzlich starre Kugelschale im Bereich der unteren drei Elementreihen.
Ein unabhängiger Freiheitsgrad für jedes Element im Kopplungsbereich.
- DASO4: Blaskollaps an der Mündung eines inneren Kondensationsrohres.
Zusätzlich starre Kugelschale im Bereich der unteren drei Elementreihen.
Ein unabhängiger Freiheitsgrad für jedes Element im Kopplungsbereich.
- DASO5: Wie DASO4, jedoch Kugelblase an der Mündung des radial benachbarten (äußeren) Kondensationsrohres; Blasendurchmesser 0,5 m; Blasendruck entsprechend der freien Oberfläche.

Bei den meisten Varianten wurde als Systemanregung je ein Blaskollaps mit den Volumen-Zeit-Verläufen 1 bis 5 angenommen. Eine Übersicht über die durchgeführten Rechnungen liefert die Tabelle I.

4. Rechenergebnisse

Erster Teil der Analyse ist die Bestimmung der Eigenfrequenzen mit den zugehörigen Eigenschwingungsformen der Kugelschale. In Tabelle II sind die 20 niedrigsten Eigenfrequenzen für die verschiedenen Varianten DASO0 - DASO5 sowie für den Fall ohne Wasserbeaufschlagung wiedergegeben. Einige der zugehörigen Eigenschwingungsformen sind in Abb. 6-8 wiedergegeben. Die Pfeile stellen die radiale Schalenauslenkung dar. Auslenkungen, deren Pfeillänge kleiner als die Pfeilspitze ausfallen würden, sind nicht gezeichnet.

Zweiter Teil der Analyse ist die Bestimmung der Radialauslenkungen der Schale und der zugehörigen Drücke im wasserbeaufschlagten Bereich. In den anhängenden Diagrammen sind die Radialauslenkungen sowie in wenigen Fällen auch die zugehörigen Drücke als Funktion der Zeit für einige ausgewählte Schalenpunkte dargestellt. Für DASO0/DASO1 sind die ausgewählten Schalenpunkte (Elementmittelpunkte) in Abb. 9, für DASO2 in Abb. 10 und für DASO3/DASO4/DASO5 in Abb. 11 zu ersehen.

Abb. 9, 10 und 11 sind jeweils vor den zugehörigen, nicht mit Abbildungsnummern versehenen Diagrammen zu finden.

5. Diskussion der Rechenergebnisse

Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen.

Die Eigenfrequenzen (Tab. II) und Eigenschwingungsformen (Abb. 6-8) der Kugelschale hängen nicht vom zeitlichen Verlauf und vom Ort der Systemanregung ab. Aus diesem Grunde muß bei den Eigenwerten nicht zwischen den verschiedenen Blaskollapsen 1-5 und Kollapsen an einem inneren oder äußeren Kondensationsrohr (DASII/DASO1 bzw. DASO4/DASO3) unterschieden werden.

Wie zu erwarten, führt das Verschwinden der Schalenflexibilität im Bereich der unteren drei Elementreihen zu einer Erhöhung der Eigenfrequenzen (vergl. DASO0/DASO1 mit DASO2 in Tab. II). Die tiefste Frequenz wird um etwa 40 %, die höheren Frequenzen werden etwas weniger stark angehoben.

Die Einführung einer größeren Zahl von unabhängigen Freiheitsgraden im Kopplungsbereich führt zu einer gewissen Erniedrigung der Eigenfrequenzen (vergl. DASO2 mit 48 Kopplungsfreiheitsgraden und DASO3/DASO4 mit 138 Kopplungsfreiheitsgraden in Tab. II). Die Erniedrigung beträgt bei der tiefsten Frequenz etwa 5 %, steigt aber mit zunehmender Frequenz an. Dies stimmt überein mit theoretischen Überlegungen, nach denen mit zunehmend verbesserter Approximation der Eigenschwingungsformen die errechneten Eigenfrequenzen monoton von oben zu den wahren Werten konvergieren. Bei einfachen Eigenschwingungsformen (tieferen Frequenzen) liefert eine vorgegebene Zahl von Freiheitsgraden in der Regel eine bessere Approximation als bei höheren Eigenschwingungsformen (höheren Frequenzen). Die wahren Eigenfrequenzen liegen deswegen etwas unterhalb der für DASO3/DASO4 in Tab. II angegebenen Werte. Bei den tieferen Frequenzen werden Abweichungen von weniger als 5 % erwartet.

Außerdem ist zu beachten, daß beim Siedewasserreaktor Brunsbüttel, auf den diese Rechnungen zugeschnitten wurden, die Kugelschale im Bereich der unteren drei Elementreihen zwar wesentlich starrer

ausgeführt wurde als im übrigen Bereich, daß aber eine gewisse, bei den Rechnungen DAS03/DAS04 nicht berücksichtigte Rest-Flexibilität noch vorhanden ist. Hinzu kommt der ebenfalls nicht berücksichtigte geringe Flexibilitätseinfluß der übrigen Wände der Kondensationskammer. Beides führt zu einer weiteren Erniedrigung der Frequenzen. Aufgrund des Vergleiches DAS00/DAS01 mit DAS02 dürften diese Abweichungen jedoch kaum mehr als 5 % betragen.

Eine andere Fehlerquelle für die Eigenfrequenzen ist das Vorhandensein zusätzlicher freier Oberflächen in Form weiterer, nicht kollabierter Dampfblasen. Die Berücksichtigung einer einzelnen, nicht kollabierten Dampfblase mit 0,5 mm Durchmesser an der Mündung eines der äußeren Kondensationsrohre hat jedoch nur einen sehr geringen Einfluß auf die Eigenfrequenzen (vergl. DAS03/DAS04 mit DAS05 in Tab. II). Die tiefste Frequenz wird um etwa 1 % angehoben, höhere Frequenzen werden noch weniger angehoben.

Der Einfluß der in den vorliegenden Rechnungen nicht berücksichtigten Kompressibilität des Wassers wurde von Göller untersucht [7]. Er liegt durchweg unter 1 %.

Zum Vergleich sind in Tab. II auch die Schaleneigenfrequenzen bei Vernachlässigung des mitschwingenden Wassers angegeben. Sie liegen um ein Mehrfaches über den Werten mit Berücksichtigung des mitschwingenden Wassers. Daraus folgt, daß die Vernachlässigung der Wasserträchtigkeit, d.h. die Vernachlässigung der Kopplung zwischen Fluid- und Strukturdynamik im Druckunterdrückungssystem auch für grobe Rechnungen unzulässig ist.

Einen Hinweis für die Richtigkeit der berechneten Eigenfrequenzen und zugehörigen Fehlerabschätzungen liefern die Auswertungen von Dampf-Abblase-Versuchen im Siedewasserreaktor Brunsbüttel [1]. Sie ergaben für die Containment-Schwingungen eine niedrigste Eigenfrequenz von 11,5 Hz. Der durch Ungenauigkeiten bei den Messungen und Auswertungen verursachte Fehler dürfte in der Größenordnung von ± 1 Hz liegen.

Bei den Eigenschwingungsformen, die zu den 4 bzw. 8 niedrigsten Eigenfrequenzen gehören (Abb. 6 bzw. Abb. 7, 8) fällt auf, daß nennenswerte Auslenkungen nur im fluidbeaufschlagten Schalenbereich auftreten. Dies mag als nachträgliche Rechtfertigung dafür dienen, daß die schalendynamischen Untersuchungen in sehr guter Näherung auf jenen Teil des kugelförmigen Containments reduziert werden durften, der die äußere Wand der Kondensationskammer darstellt. Außerdem fällt auf, daß die Maxima der Schalenauslenkung näher am Boden der Kondensationskammer als an der Pool-Oberfläche liegen.

Radiale Schalenauslenkungen als Funktion der Zeit.

Aus den zahlreichen Diagrammen mit der radialen Schalenauslenkung als Funktion der Zeit geht hervor, daß die maximalen Auslenkungen (Maximalwert bezüglich der verschiedenen, in den Diagrammen erfaßten Schalenpunkten und innerhalb der ersten 0,5 sec) mit kleiner werdenden Blaskollapszeiten in etwa linear ansteigen. Dies gilt für die Blaskollapskurven 1, 2, 3 und 4 mit den Kollapszeiten 0,1; 0,08; 0,05 und 0,025 sec. Wie Abb. 4 zeigt, wurde für das Blaskollapsvolumen zu Beginn des Kollapses stets derselbe Wert ($0,523 \text{ m}^3$) angenommen. Umrechnung auf andere Ausgangsvolumina siehe Abschnitt 3.

Bei einer im gesamten Bereich der Kondensationskammer flexiblen Schale beträgt die maximale Schalenauslenkung zwischen

2,4 mm (DAS01, Blaskollaps 1) und 6,7 mm (DAS01, Kollaps 4), wenn sich die kollabierende Blase an der Mündung eines äußeren Kondensationsrohres befindet.

Die maximale Schalenauslenkung ist nur wenig geringer, nämlich zwischen

2,3 mm (DAS00, Blaskollaps 1) und 5,9 mm (DAS00, Kollaps 4) für eine kollabierende Blase an der Mündung eines inneren Kondensationsrohres.

Anders ist die Situation bei einer Kugelschale, die im Bereich der unteren drei Elementreihen als starr angesehen wird. Die maximale Schalenauslenkung beträgt jetzt zwischen

3,1 mm (DAS03, Blaskollaps 1) und 8,5 mm (DAS03, Kollaps 4) bei einer kollabierenden Blase an der Mündung eines äußeren Kondensationsrohres, dagegen nur zwischen

1,8 mm (DASO4, Blasen kollaps 1) und 4,7 mm (DASO4, Kollaps 4) bei einer kollabierenden Blase an der Mündung eines inneren Kondensationsrohres.

Die letzte, relativ geringe Schalenauslenkung ist wohl darauf zurückzuführen, daß in diesem Falle die Systemanregung, d.h. die kollabierende Blase im Randbereich des flexiblen Schalenteils liegt.

Wie weitere Vergleiche der Diagramme zeigen (beispielsweise DASO1 und DASO2, Punkt 12 und 24; beachte den unterschiedlichen Abstand der Punkte), sind bei einer im Bereich der unteren drei Elementreihen starren Kugelschale nicht nur die Auslenkungen selbst, sondern mehr noch ihre örtlichen (vertikalen) Gradienten und Krümmungen größer als bei einer voll flexiblen Kugelschale. Schalenkrümmungen rufen aber Schalen-Biegespannungen hervor. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt am unteren Rand des flexiblen Bereichs der Kugelschale. Auch bei der Diskussion der Eigenschwingungsformen wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Auslenkungsmaxima - und damit auch die Krümmungsmaxima - nahe am unteren Rand des flexiblen Bereiches der Kugelschale auftreten.

Entlang des Umfanges beobachtet man in allen Fällen relativ hohe Auslenkungen beim Umfangswinkel 0° , d.h. nahe an der kollabierenden Blase und beim Umfangswinkel 60° , d.h. genau beim halben Winkelabstand zum nächsten Blasen kollaps (Es wurden drei simultan kollabierende Blasen im Winkelabstand von 120° angenommen). An dieser Stelle überlagern sich die von zwei Blasen kollapsen ausgehenden Störungen erstmalig. Beim Umfangswinkel 30° nehmen die Auslenkungen etwas geringere Werte an.

Bei nur einer kollabierenden Blase beim Umfangswinkel 0° wären demnach die hohen Auslenkungen bei 0° und 180° und geringere Werte in den Zwischenbereichen zu erwarten. Außerdem würde in diesem Falle vermutlich ein gewisses Abklingverhalten über der Zeit auftreten. Es wäre die Folge einer allmählichen Energie-Ausbreitung auf die gesamte Schale, die selbstverständlich längere Zeit in Anspruch nimmt als im Falle von drei simultan kollabierenden Blasen. Dieses Abklingen ist nicht zu verwechseln mit Dämpfungseffekten, die in Wirklichkeit noch hinzukommen, hier aber nicht berücksichtigt wurden.

Besonders auffallend sind zwei scharfe zeitliche Auslenkungspeaks im Zeitbereich bis 0,05 sec, die mit kürzer werdender Blasen-kollapszeit an den Schalenspunkten beim Umfangswinkel 0° , also nahe beim Blasen-kollaps auftreten (vergl. DAS00 bis DAS02, Punkte 1, 13 und 25 bzw. DAS03 und DAS04, Punkte 1, 24, 47, 70; Blasen-kollaps 3 und 4). Außerdem ist zu beachten, daß an den Schalenspunkten, beim Umfangswinkel 60° (bei DAS00 bis DAS02 die Punkte 12, 24, 36 usw., bei DAS03 und DAS04 die Punkte 23, 46, 69, 92 usw.) die ersten Auslenkungen etwas später auftreten als in den zuvor genannten näher am Blasen-kollaps liegenden Punkten. Dies ist eine Folge der unterschiedlichen Störungsausbreitungszeiten, die auch bei gekoppelten fluid-struktur-dynamischen Systemen mit inkompressiblem Fluid endlich sind.

Die Einführung einer größeren Zahl von unabhängigen Freiheitsgraden im Kopplungsbereich führt im Zeitbereich bis 0,5 sec nur zu geringen Änderungen der Schalenauslenkungen (vergl. DAS02 mit DAS03). Sie liegen ähnlich wie bei den Eigenfrequenzen in der Größenordnung von 5 %; können jedoch im Gegensatz zu diesen nach beiden Richtungen auftreten.

Die Berücksichtigung einer einzelnen, nicht kollabierten Dampfblase mit 0,5 m Durchmesser an der Mündung eines äußeren Kondensationsrohres führt bei einem angenommenen Blasen-kollaps am benachbarten inneren Kondensationsrohr zu einer erheblichen Verringerung der Schalenauslenkung in der Größenordnung von 50 % (vergl. DAS05 mit DAS04, Blasen-kollaps 3). Es sei daran erinnert, daß der Einfluß einer nicht kollabierten Blase auf die System-Eigenschwingungen dagegen sehr gering war. Aus diesem Grunde wird die oben diskutierte Verringerung der Schalenauslenkung in etwa linear mit kleiner werdendem Volumen der nicht kollabierten Blase abnehmen. Außerdem darf der Schluß gezogen werden, daß bei Vernachlässigung nicht kollabierter Blasen im Wasserpool die Schalenauslenkungen stets überschätzt werden. (Bei starkem Einfluß nicht kollabierter Blasen auf die Eigenschwingungen wären dagegen unübersichtliche Änderungen bei der Superposition der Eigenschwingungen zu erwarten, die eine eindeutige Trendaussage nicht zulassen.)

Drücke als Funktion der Zeit.

Ein Vergleich der Druckverläufe (DAS00, Blaskollaps 1 and 3) mit den entsprechenden Radialverschiebungen zeigt, daß beide Größen fast zueinander proportional sind mit dem Proportionalitätsfaktor 0,2 bar/mm. Die Unschärfe dieses Faktors liegt meist innerhalb $\pm 10\%$. Eine Ausnahme ist der untere Bereich des Wasserpools. Nähert man sich von oben dem unteren Rand des flexiblen Kugelschalenbereiches, so verschwindet die radiale Kugelschalenauslenkung. Der zugehörige Wasserdruck fällt dagegen von dem einmal erreichten Maximum kaum ab. Dies bedeutet, daß die oben erwähnte Proportionalität zwischen Druck und Verschiebung nur in Bereichen schwacher örtlicher Gradienten gegeben ist. Dies ist - wie zuvor ausgeführt - am unteren Kugelschalenrand nicht der Fall.

Literatur

- [⁻1_] J. Kadlec, R.A. Müller:
Dynamic Loading of Containment during Blowdown. Review of Experimental Data from Marviken and Brunsbüttel.
Transactions of the International Seminar ELCALAP, No. Q 1/2, Berlin, Sept. 1975.
- [⁻2_] G. Class:
Theoretische Untersuchung der Druckpulsentstehung bei der Dampfkondensation im Druckabbausystem von Siedewasserreaktoren - Rechenprogramm KONIDAS. Kernforschungszentrum Karlsruhe, KFK 2487, Okt. 1977.
- [⁻3_] G. Class:
Untersuchung der bei der Dampfkondensation im Druckabbausystem von Siedewasserreaktoren entstehenden Wandbelastungen. Kernforschungszentrum Karlsruhe, KFK 2549
- [⁻4_] B. Göller:
Schalendynamisches Verhalten des kugelförmigen Containments eines Siedewasserreaktors bei Dampfkondensation im Druckabbausystem. Kernforschungszentrum Karlsruhe, KFK 2778

- [⁻5_] B. Göller, G. Hailfinger, R. Krieg:
Vibrations of the Pressure Suppression System of a Boiling
Water Reactor.
Int. Conf. Vibration in Nuclear Plant, Keswick, May 1978.
- [⁻6_] B. Göller, G. Hailfinger, R. Krieg:
Schwingungen im Druckunterdrückungssystem von Siedewasser-
Reaktoren mit flexiblem, wasserbeaufschlagten Kugel-Contain-
ment. Reaktortagung Hannover 1978.
- [⁻7_] R. Krieg:
Coupled Problems in Transient Fluid and Structural Dynamics
in Nuclear Engineering.
Appl. Math. Modelling, June 1978, Vol. 2.
- [⁻8_] R. Krieg, G. Hailfinger:
SING1 - ein Computercode zur Berechnung transienter, drei-
dimensionaler, inkompressibler Potentialströmungen nach
einem Singularitätenverfahren. Kernforschungszentrum Karls-
ruhe, KfK 2505, März 1978.
- [⁻9_] R. Krieg, G. Hailfinger:
Transient, Three-dimensional Potential Flow Problems and
Dynamic Response of the Surrounding Structures. Part I:
Description of the Fluid Dynamics by a Singularity Method.
Veröffentlichung demnächst in Journal of Computational Physics.
- [⁻10_] R. Krieg, B. Göller, G. Hailfinger:
Transient, Three-dimensional Potential Flow Problems and
Dynamic Response of the Surrounding Structures. Part II:
Simultaneous Coupling between Fluid and Structural Dynamics.
Veröffentlichung demnächst in Journal of Computational Physics.

Tabelle 1 Übersicht über die durchgeführten Rechnungen

	Kondensationsrohr		Starre Kugelschale im unteren Bereich	Freiheitsgrad für jedes Element im Kopplungsbereich	Volumen-Zeit-Verlauf für Blasen kollaps				
	innen	außen			1 (100 ms)	2 (80 ms)	3 (50 ms)	4 (25 ms)	5 (Test)
DAS00	x				x	x	x	x	x
DAS01		x			x	x	x	x	x
DAS02		x	x		x	x	x		x
DAS03		x	x	x	x	x	x	x	x
DAS04	x		x	x	x	x	x	x	x
DAS05	x		x	x			x		

Tabelle II: Eigenfrequenzen der Kugelschale

	voll flexible Kugelschale	Starre Kugelschale im Bereich der unteren drei Elementreihen			
	Unabhängige Freiheitsgrade für jedes zweite Element in Umfangs- und Meridianrichtung	Unabhängige Freiheitsgrade für jedes Element im Kopplungsbereich			
	DAS00 DAS01	DAS02	DAS03 DAS04	DAS05	ohne Wasserbeaufschlagung
1	9,36 Hz	13,12 Hz	12,49 Hz	12,62 Hz	51,97 Hz
2	13,01	15,81	14,90	15,03	56,01
3	17,52	19,27	17,87	17,90	58,82
4	17,81	22,42	20,45	20,40	59,10
5	19,31	23,30	21,50	21,51	59,50
6	21,44	24,31	22,30	22,31	60,05
7	21,92	25,39	22,79	22,79	60,23
8	24,40	25,96	23,62	23,62	60,87
9	24,77	27,89	24,98	24,98	60,93
10	24,96	28,27	25,05	25,05	61,11
11	25,06	30,14	26,62	26,62	61,24
12	26,46	31,01	27,09	27,09	61,61
13	27,93	31,39	28,30	28,30	61,63
14	28,06	31,86	28,39	28,39	61,70
15	28,51	32,58	28,79	28,79	62,12
16	28,61	32,71	29,21	29,21	62,47
17	29,06	33,66	29,53	29,54	62,72
18	30,24	33,83	30,13	30,13	62,79
19	30,99	35,18	30,49	30,49	62,94
20	31,16	35,39	31,44	31,44	63,04

Tiefste am Siedewasserreaktor Brunsbüttel gemessene Eigenfrequenz der Kugelschale

11.5 ± 1.0 Hz

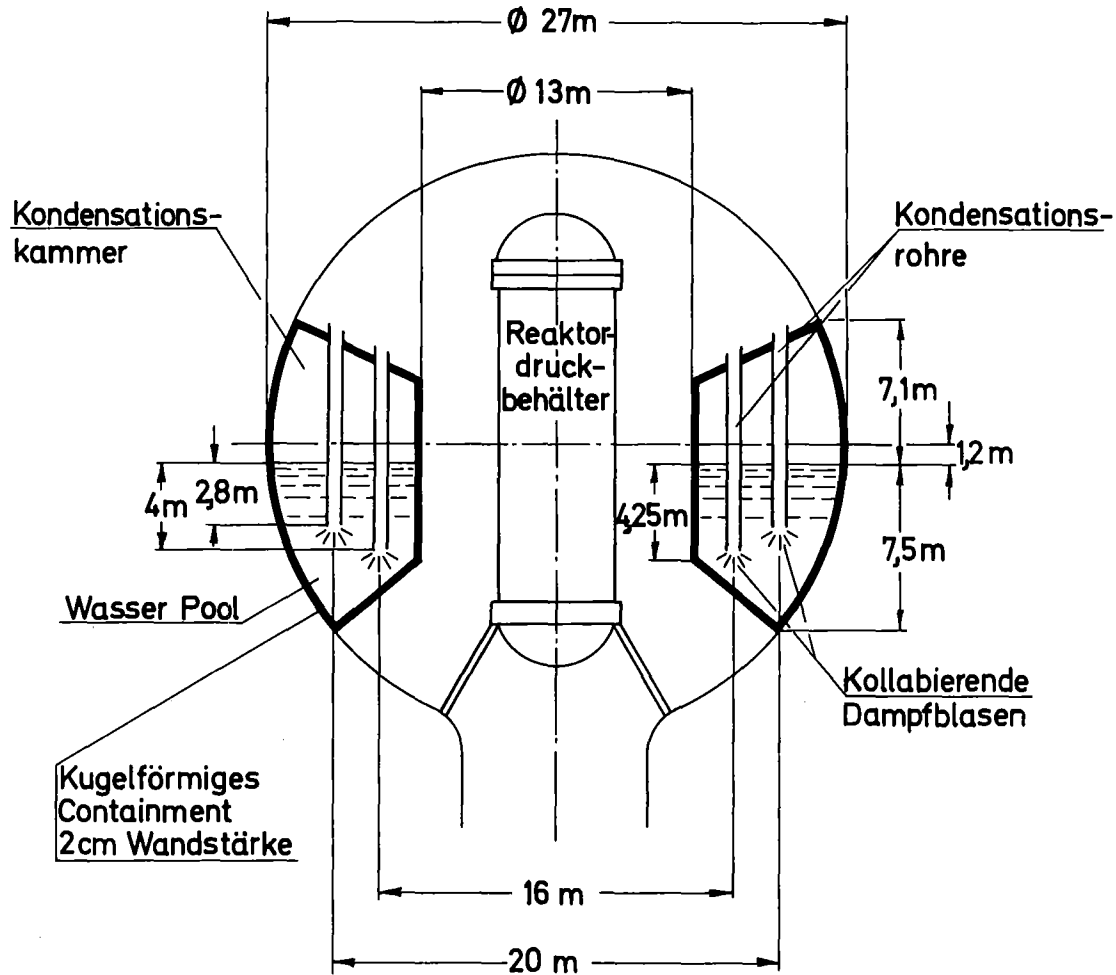


Abb. 1: Druckunterdrückungssystem eines Siedewasserreaktors (Baulinie 69)

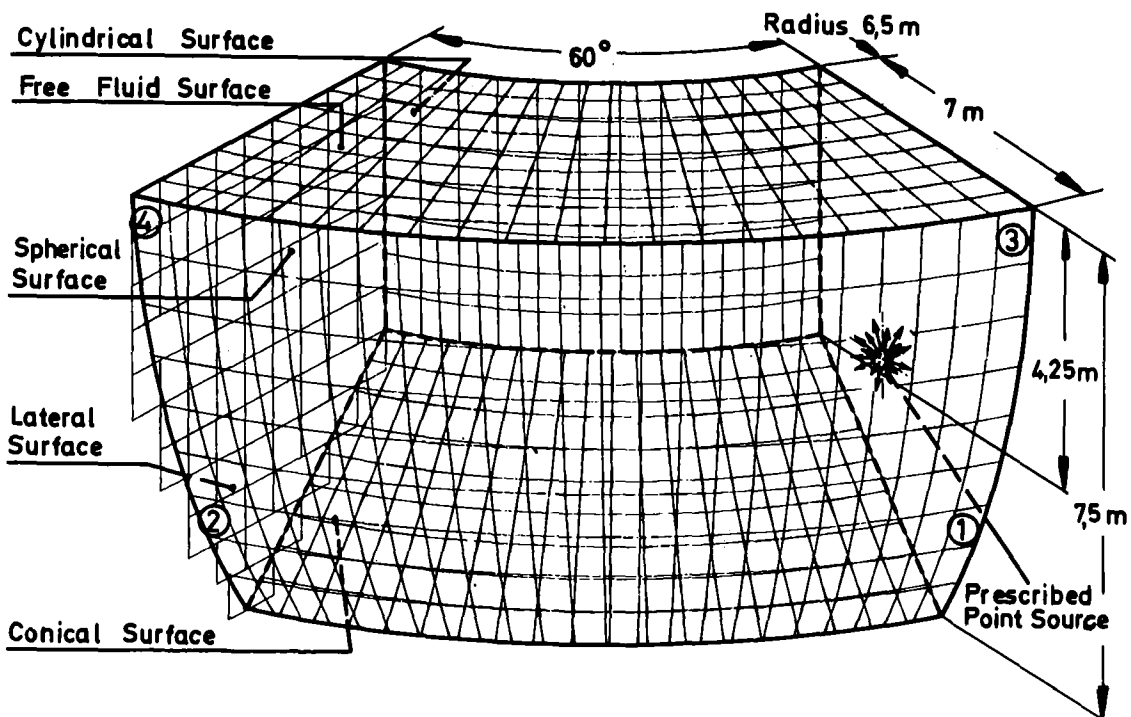


Abb. 2: Diskretisierung des Wasserpools in Oberflächenelemente

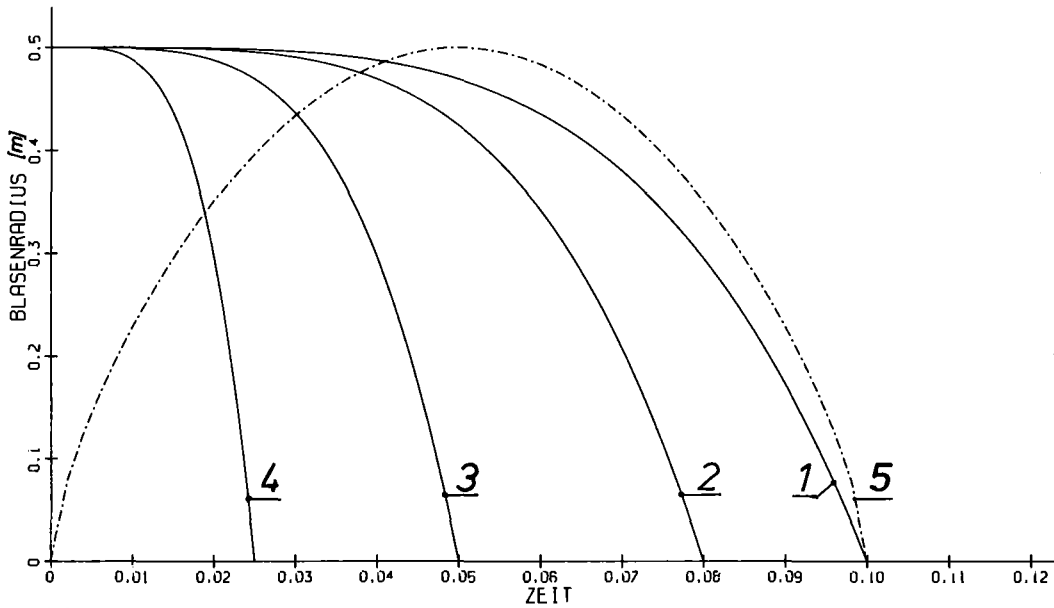


Abb. 3: Radius-Zeit-Verläufe 1 ÷ 5 zur Simulation von Blasen-kollapsen, wenn die Blase Kugelgestalt hat.

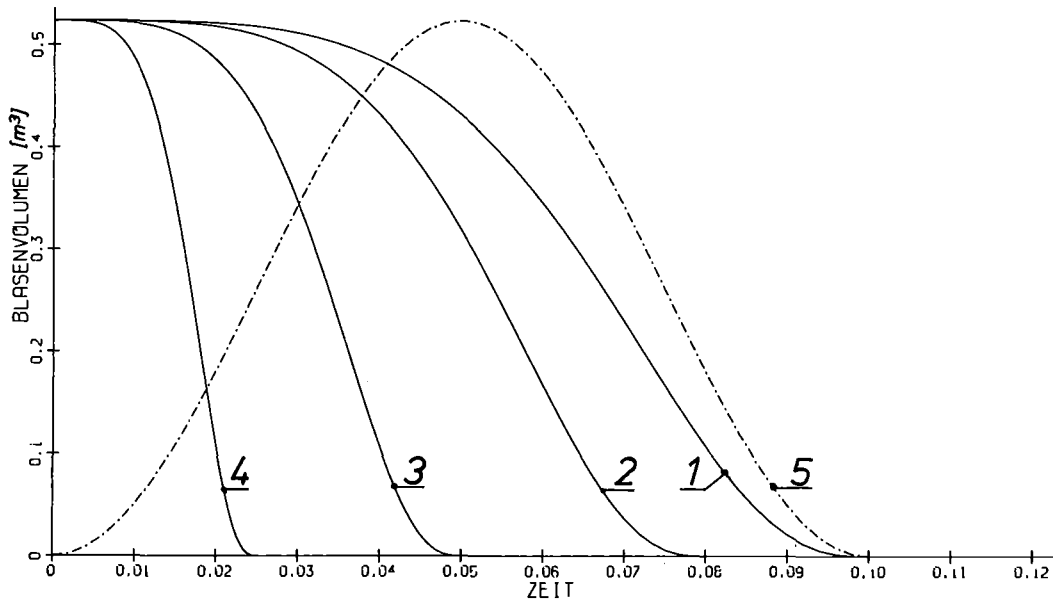


Abb. 4: Volumen-Zeit-Verläufe 1 ÷ 5 zur Simulation von Blasen-kollapsen

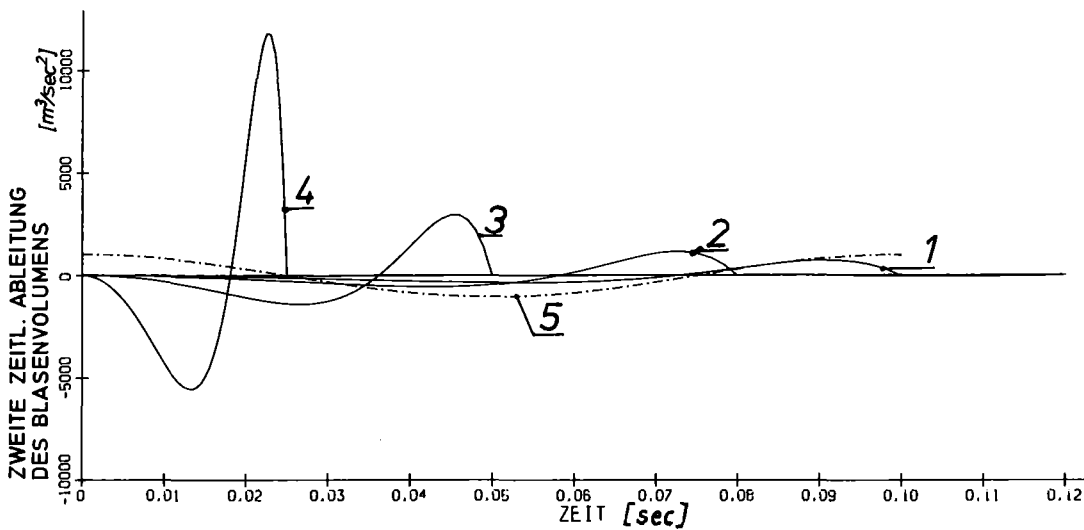
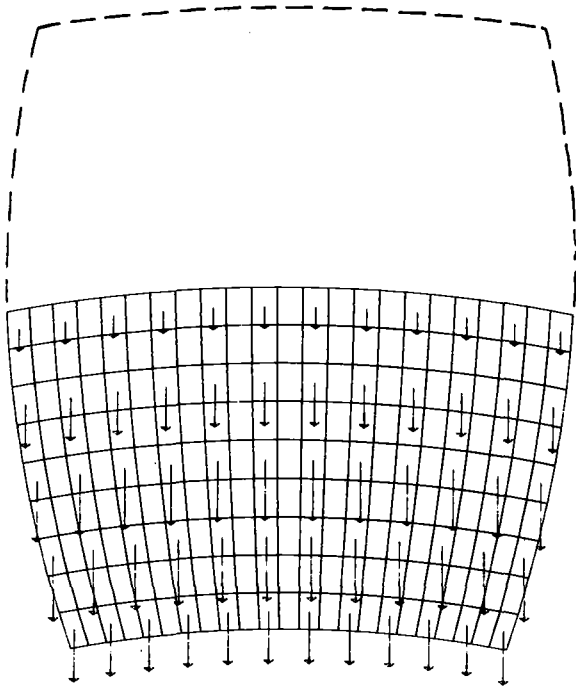
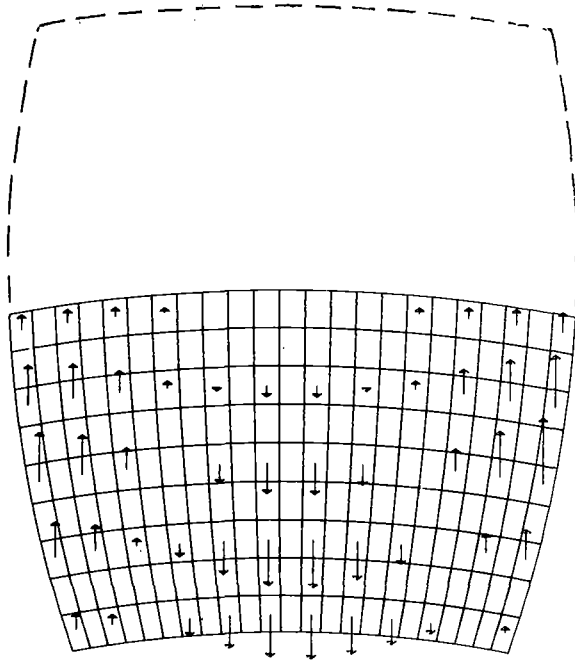


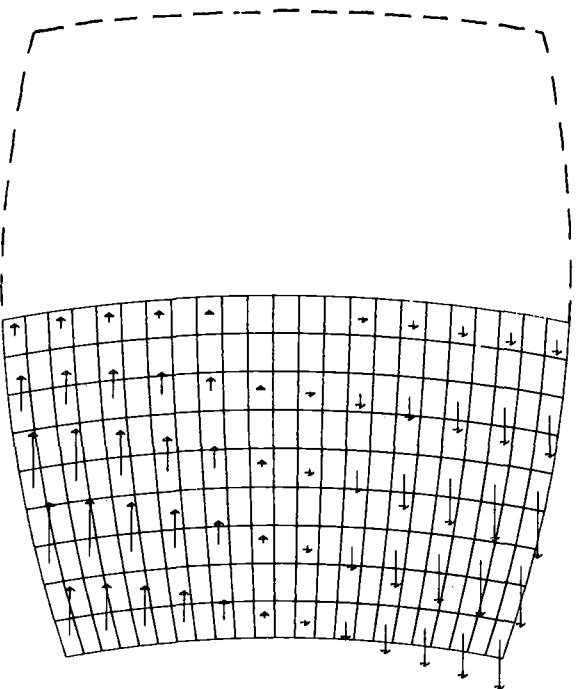
Abb. 5: Zweite zeitliche Ableitungen der Volumen-Zeit-Verläufe



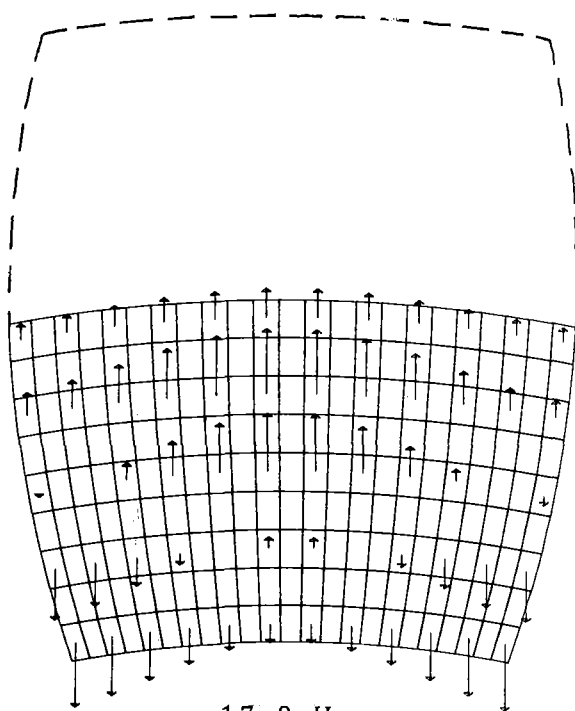
9.4 Hz



17.5 Hz

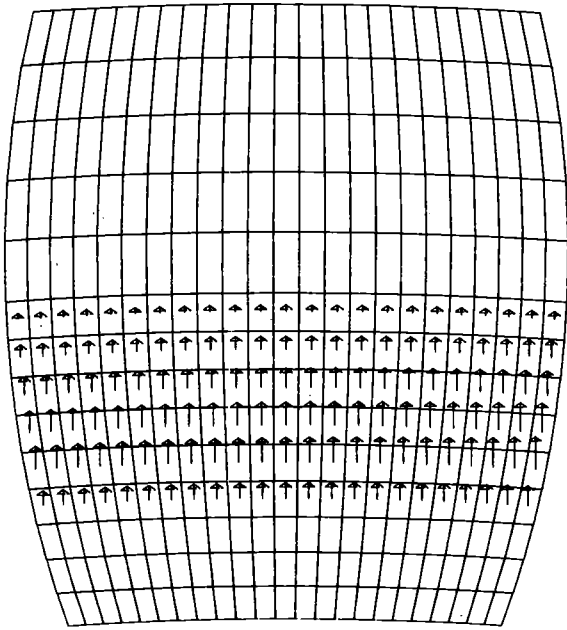


13.0 Hz

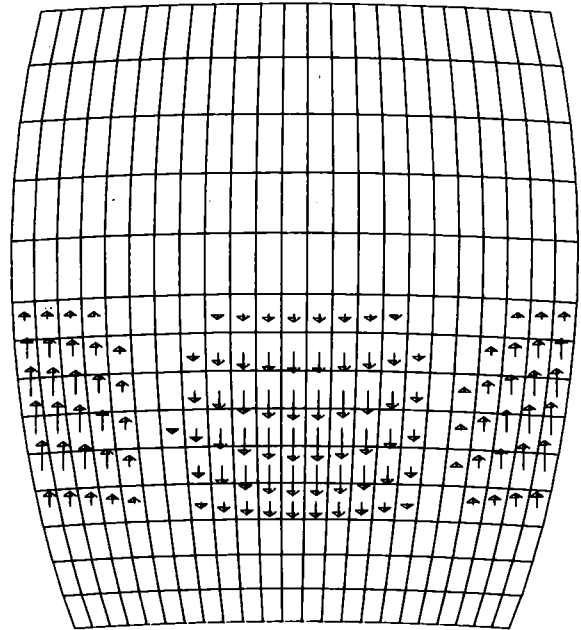


17.8 Hz

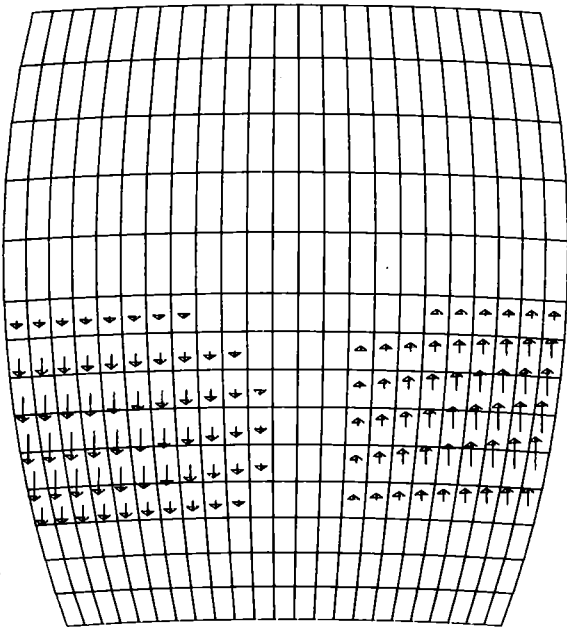
Abb. 6: Eigenschwingungsformen 1 ÷ 4 der Varianten DAS00/DAS01



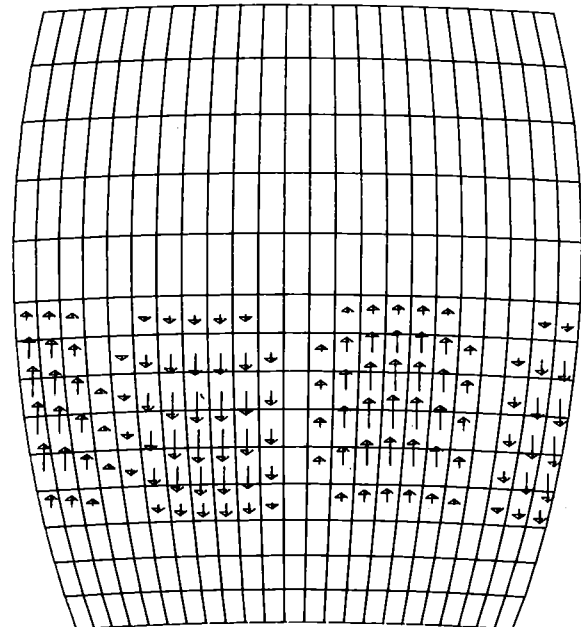
12.5 Hz



17.9 Hz

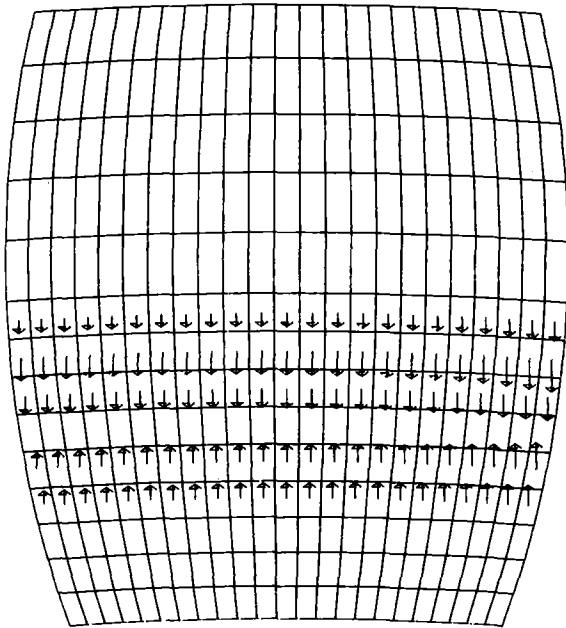


14.9 Hz

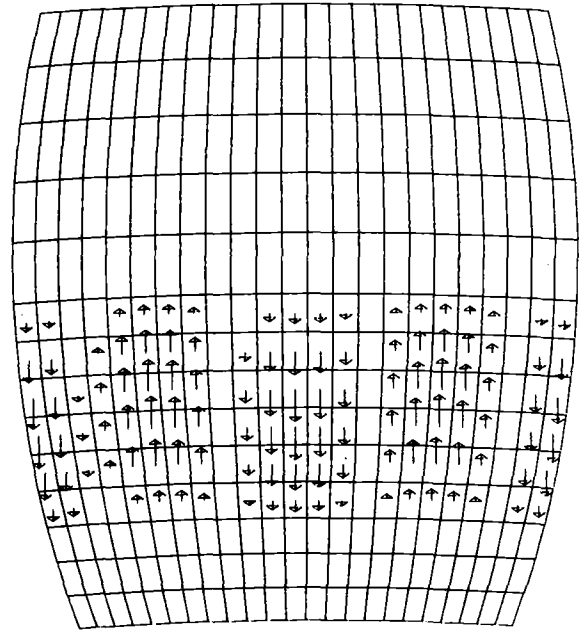


20.4 Hz

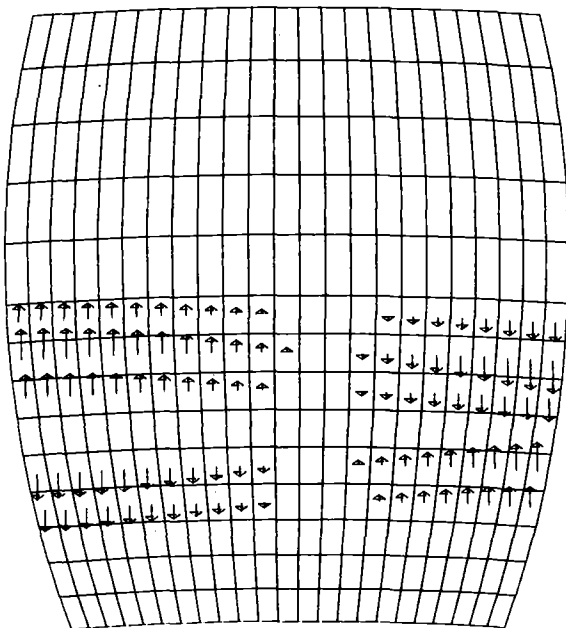
Abb. 7: Eigenschwingungsformen 1 ÷ 4 der Varianten DASO3/DASO4



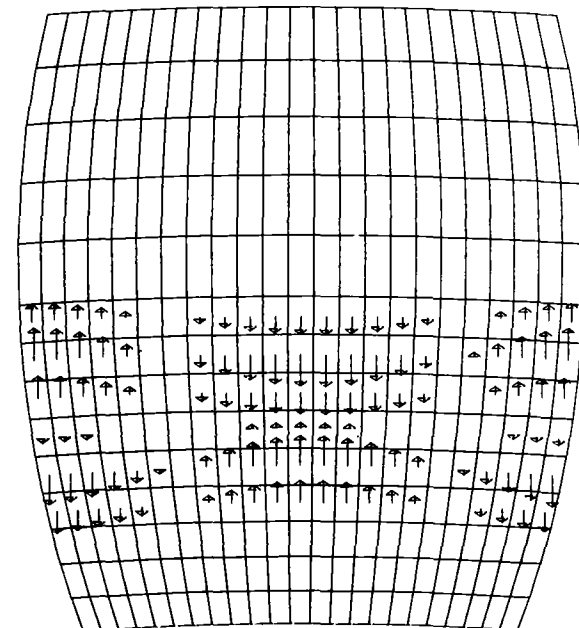
21.5 Hz



22.8 Hz



22.3 Hz



23.6 Hz

Abb. 8: Eigenschwingungsformen 5 ÷ 8 der Varianten DAS03/DAS04

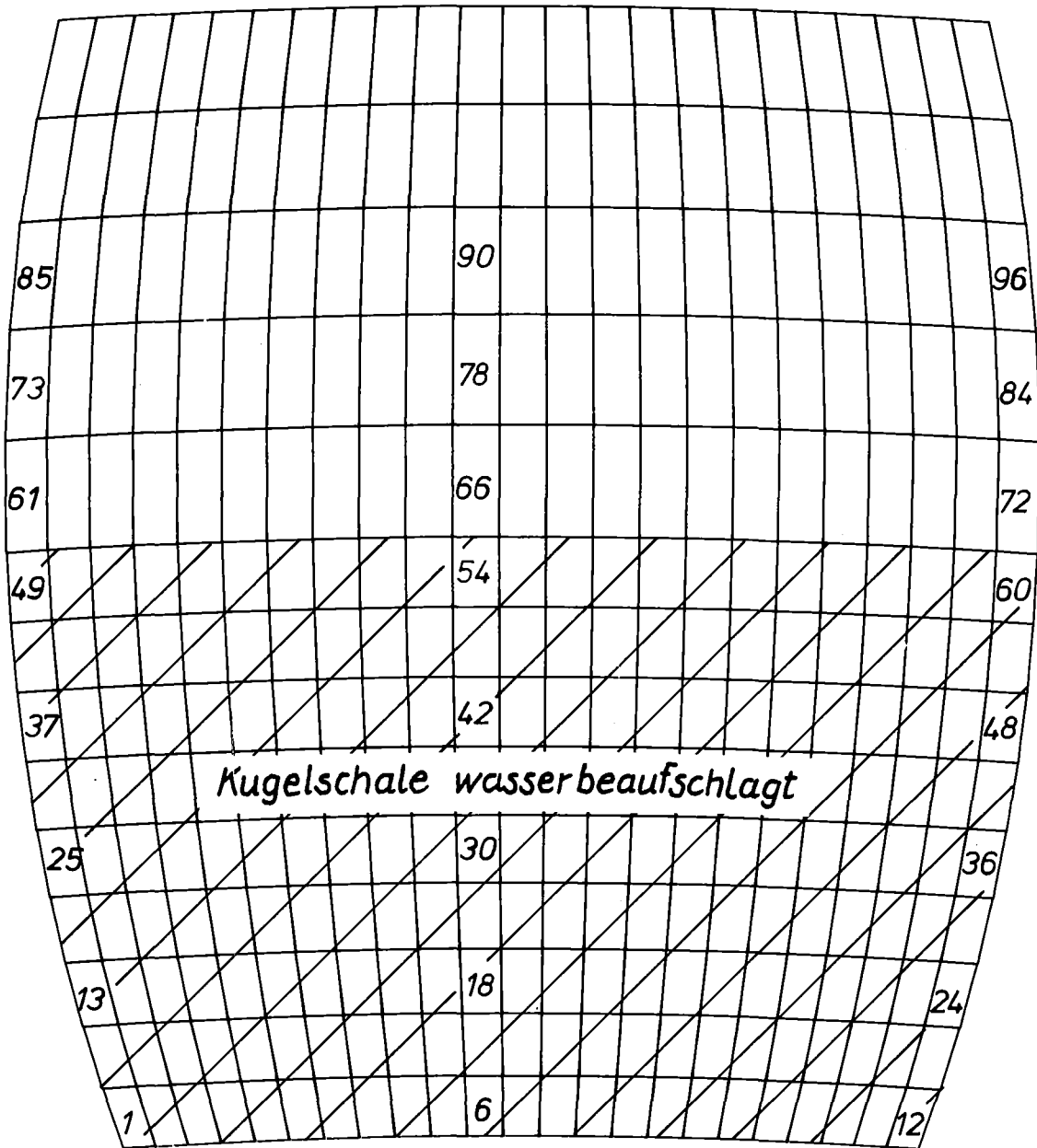
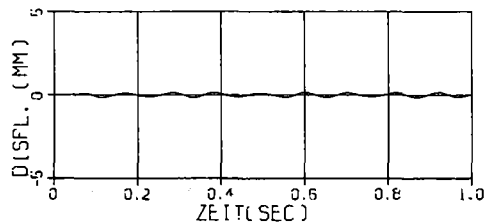
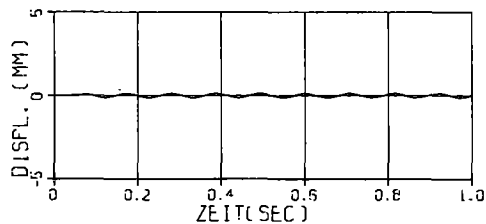


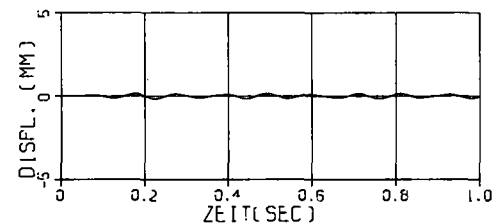
Abb. 9: Punkte in denen die Schalenauslenkung für DAS00/DAS01 dargestellt sind



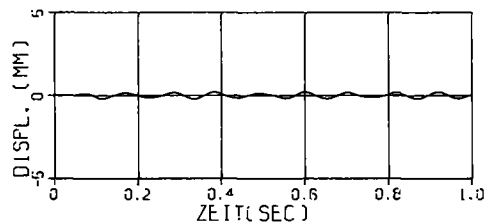
PUNKT. 085 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



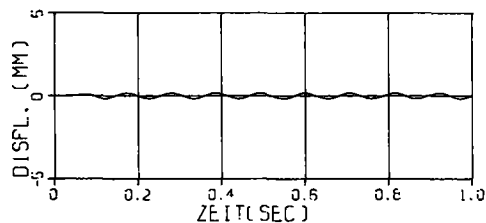
PUNKT. 090 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



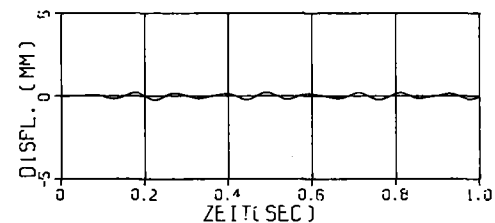
PUNKT. 096 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



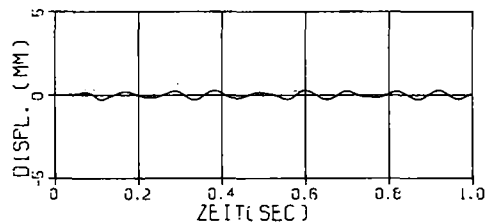
PUNKT. 073 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



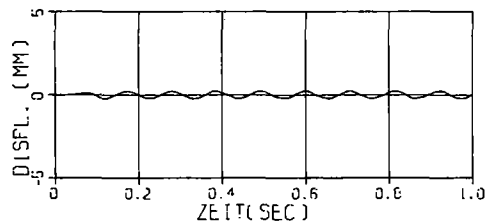
PUNKT. 078 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



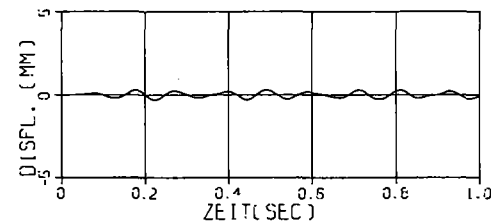
PUNKT. 084 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



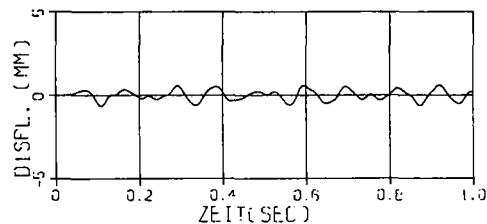
PUNKT. 061 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



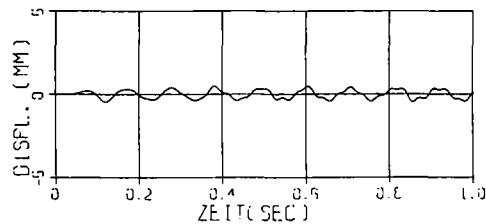
PUNKT. 066 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



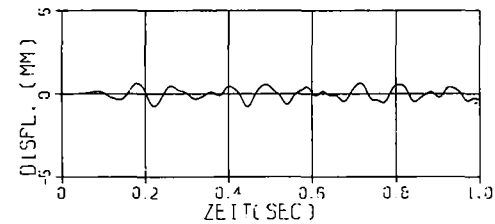
PUNKT. 072 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



PUNKT. 049 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC

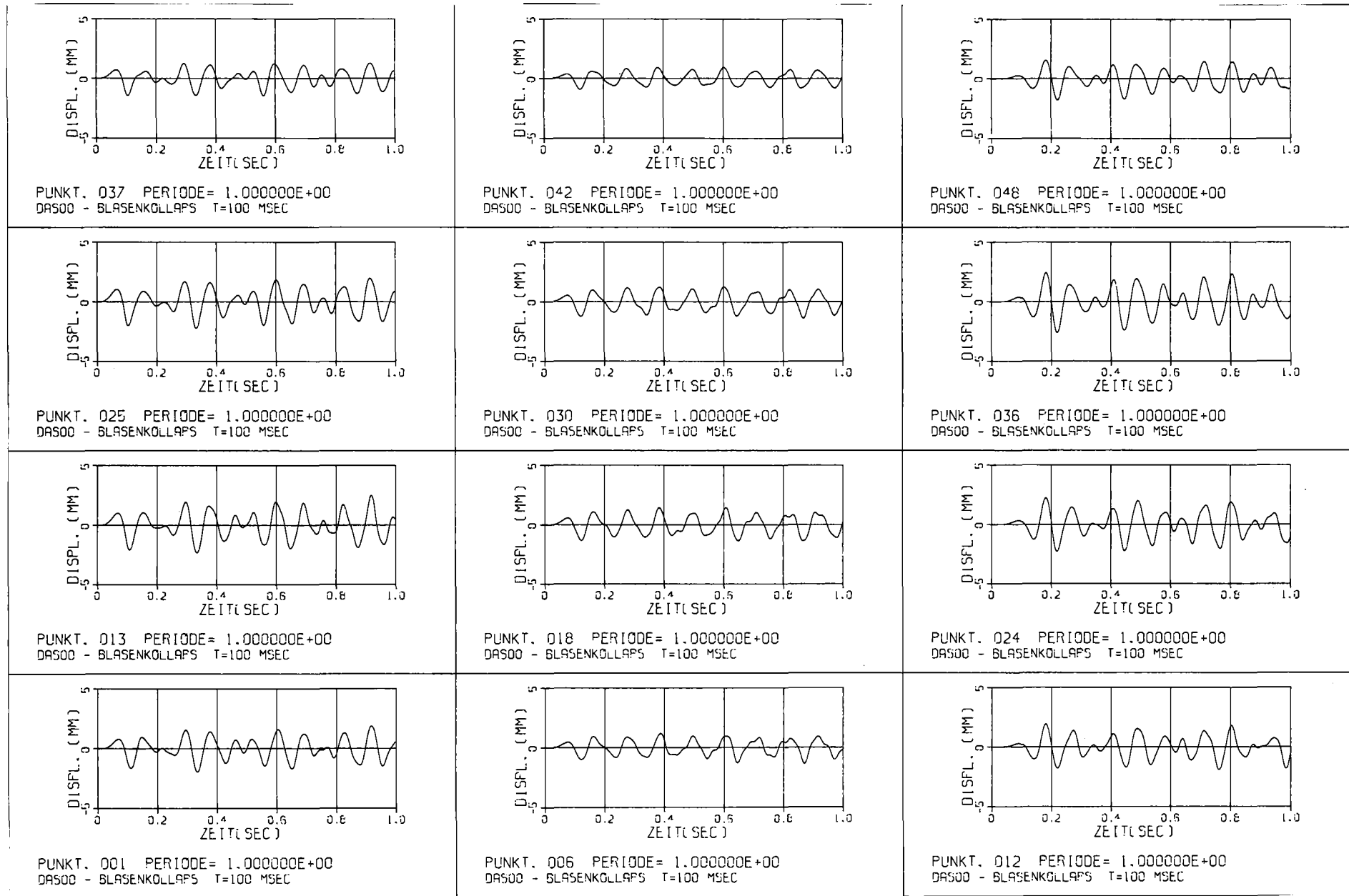


PUNKT. 054 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC

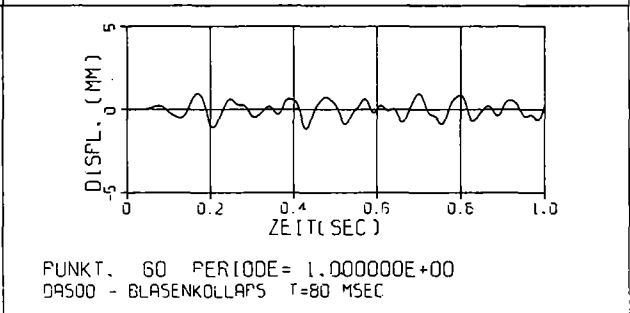
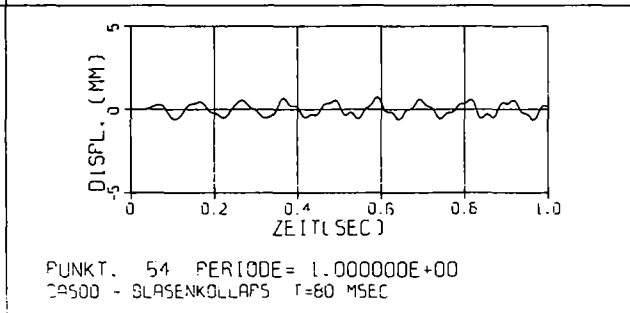
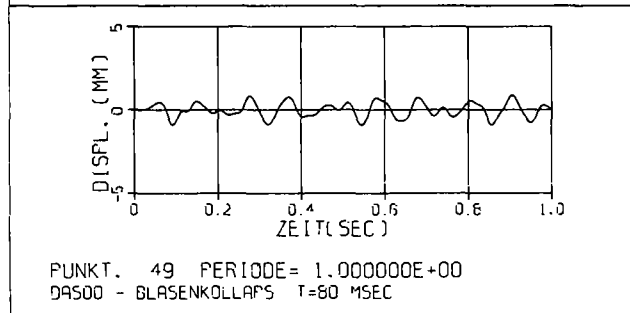
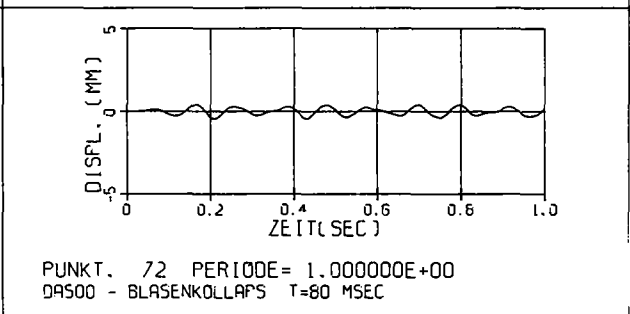
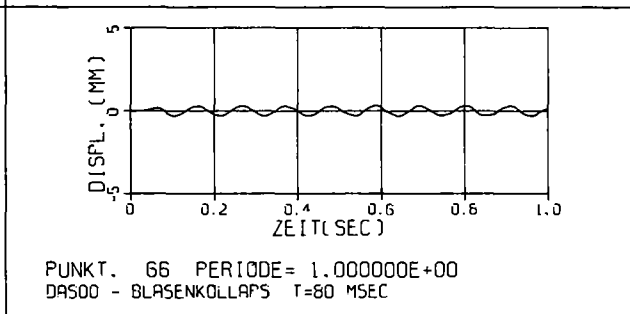
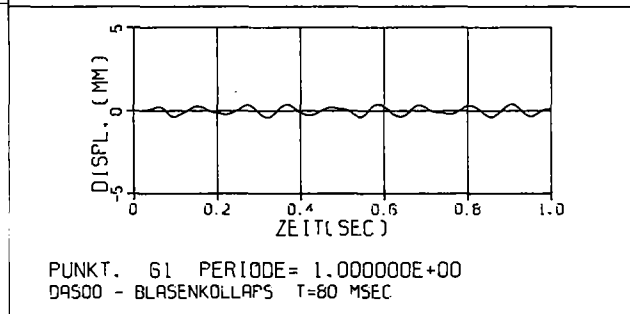
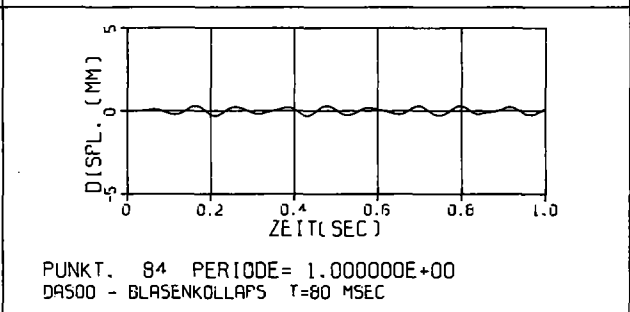
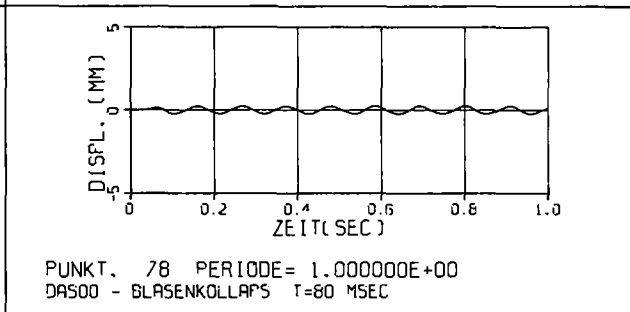
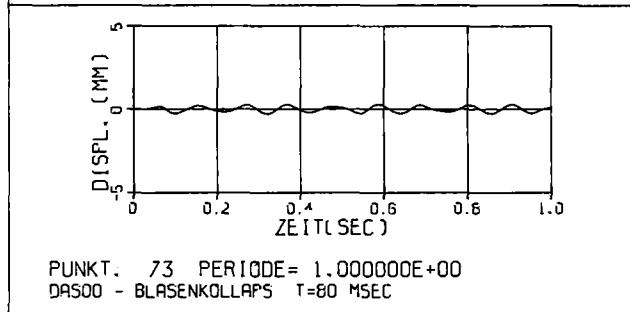
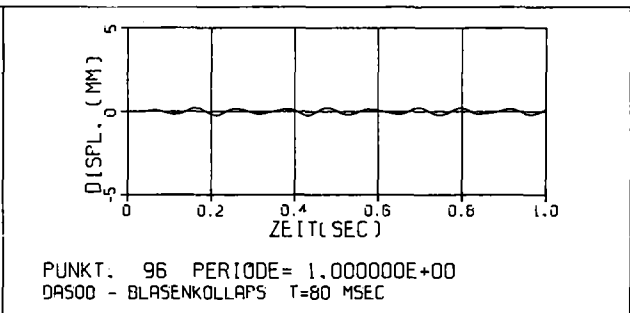
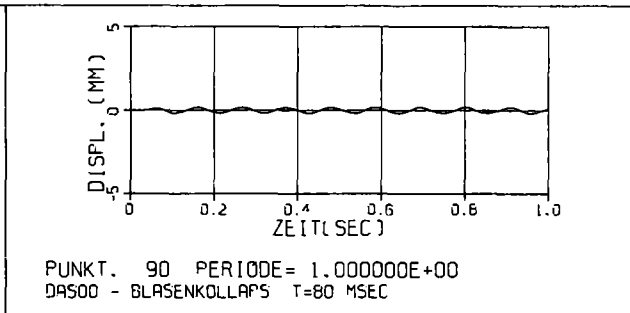
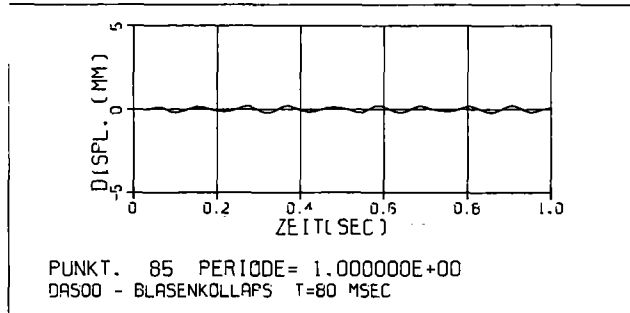


PUNKT. 060 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC

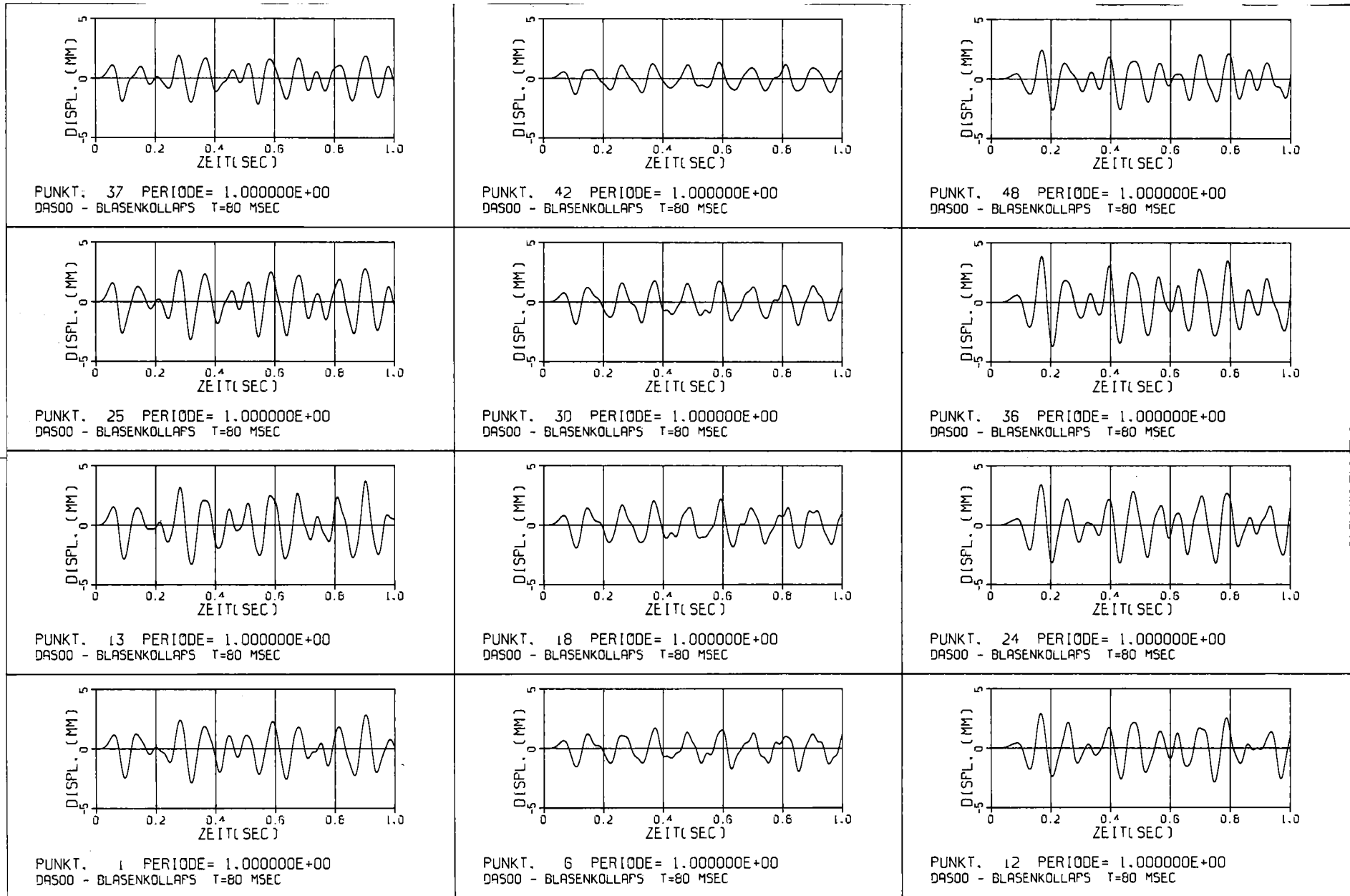
Radialauslenkung, DAS00, Blasenkolllaps



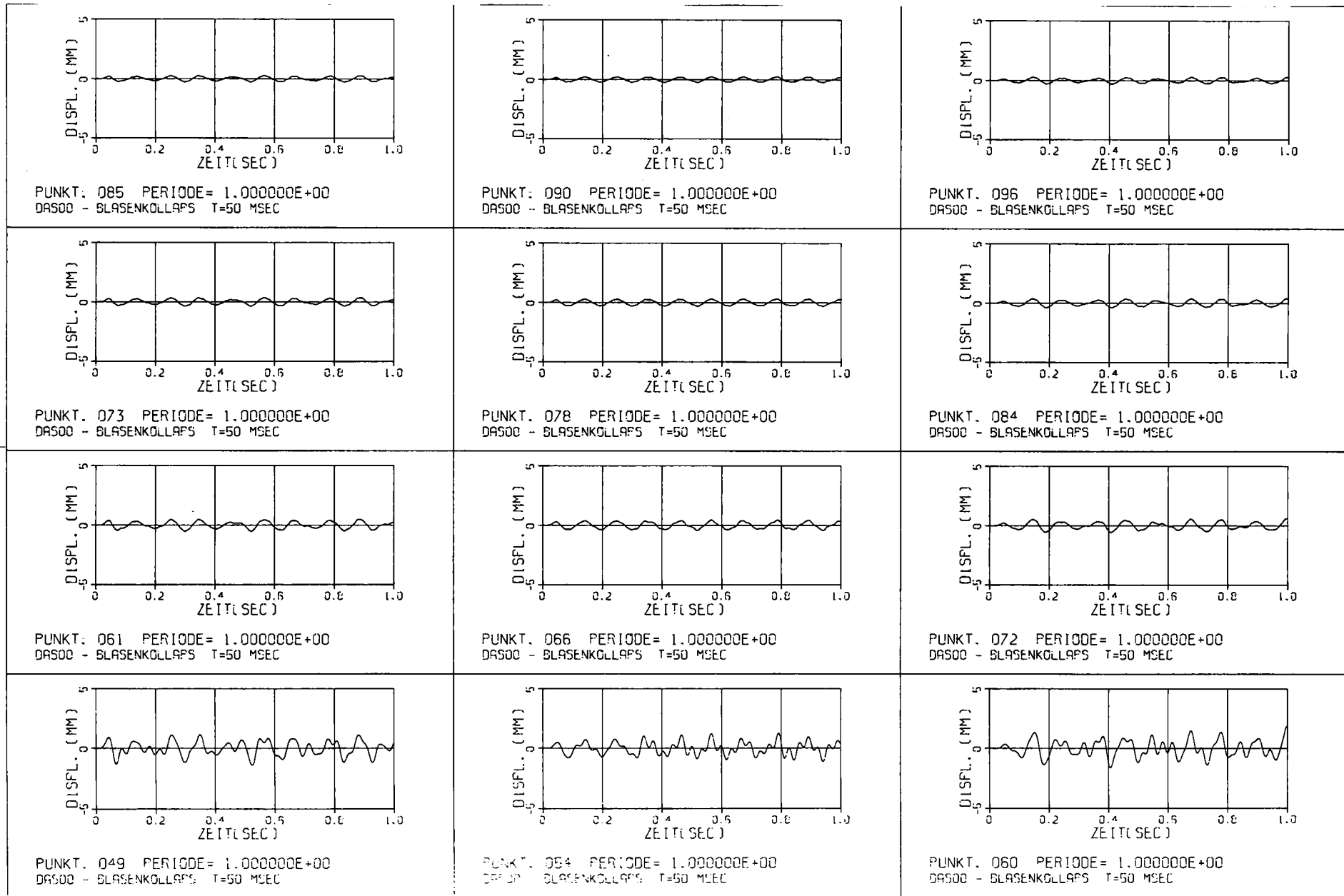
Radialauslenkung, DAS00, Blasenkolllaps 1



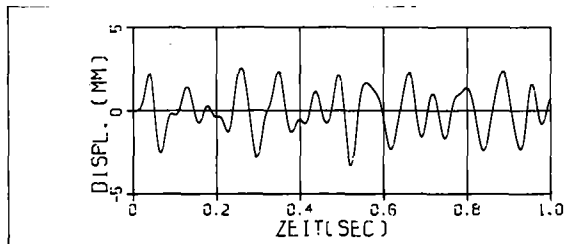
Radialauslenkung, DAS00, Blasen kollaps 2



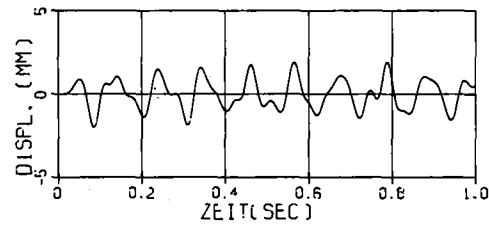
radialauslenkung, DAS00, Blasen kollaps 2



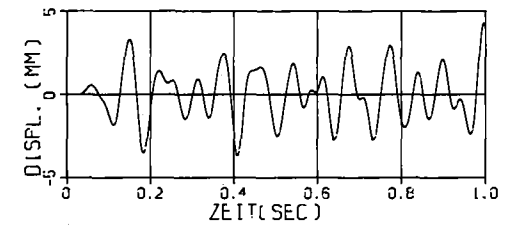
Radialauslenkung, DAS00, Blasenkolllaps 5



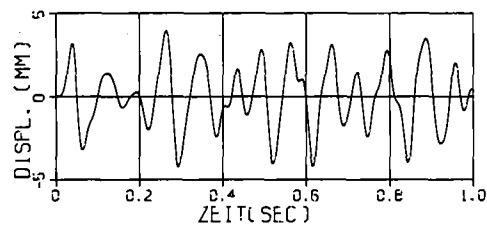
PUNKT. 037 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



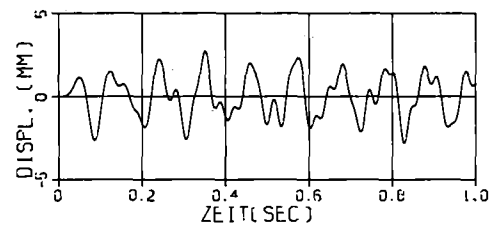
PUNKT. 042 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



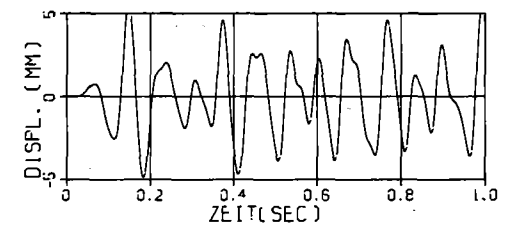
PUNKT. 048 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



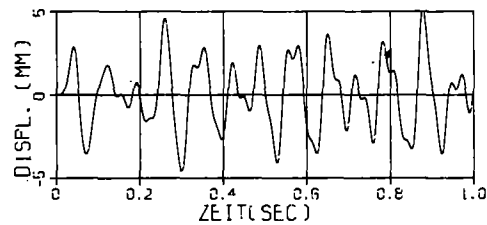
PUNKT. 025 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



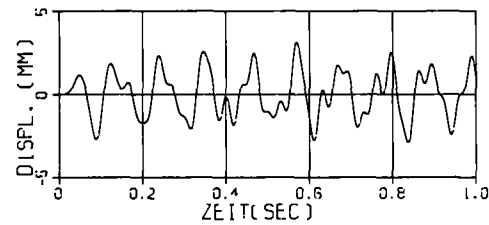
PUNKT. 030 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



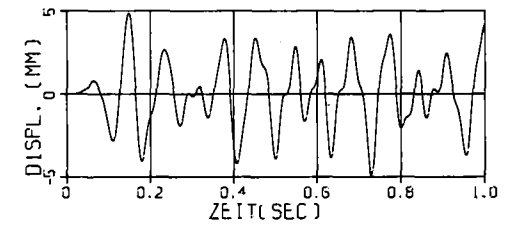
PUNKT. 036 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



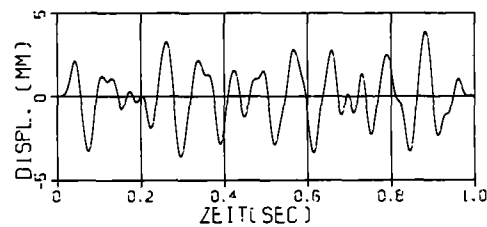
PUNKT. 013 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



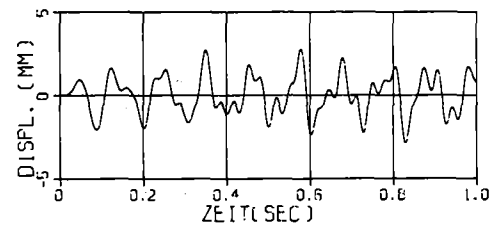
PUNKT. 018 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



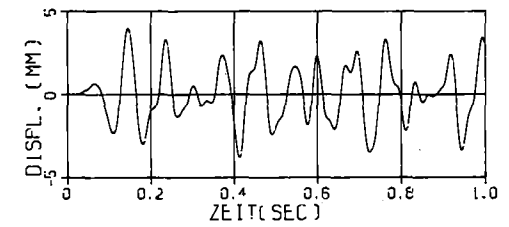
PUNKT. 024 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



PUNKT. 001 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC

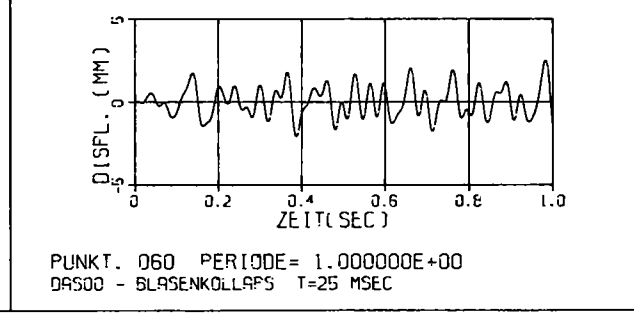
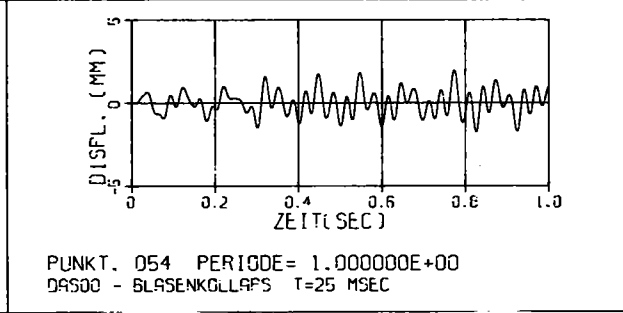
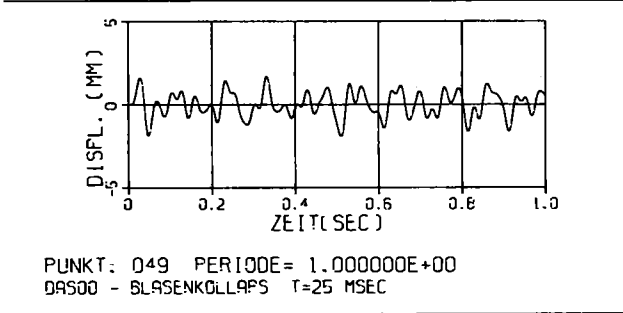
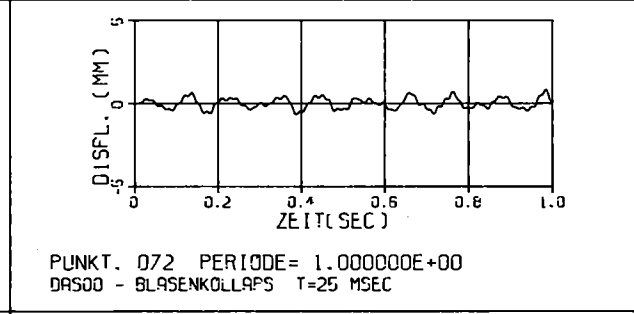
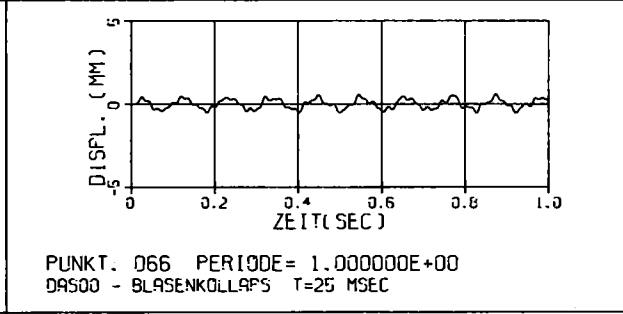
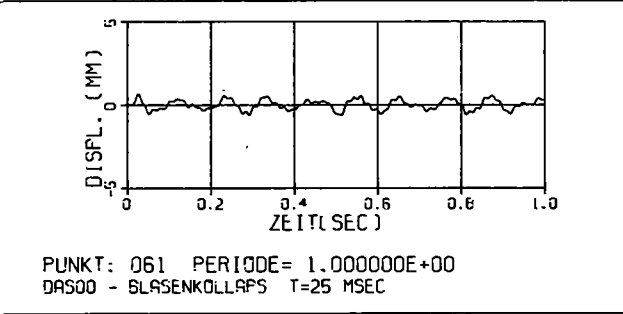
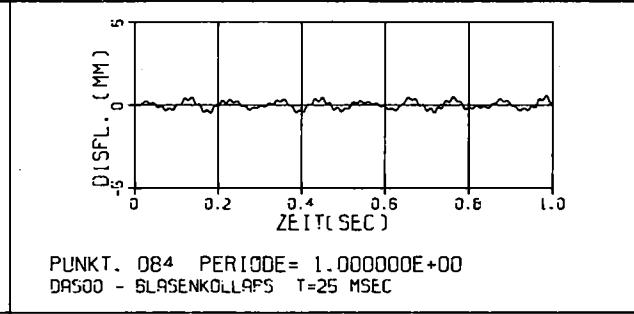
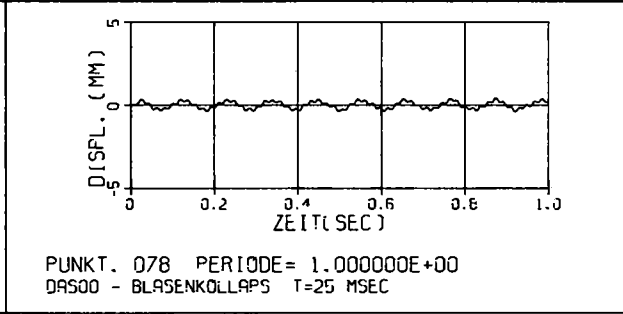
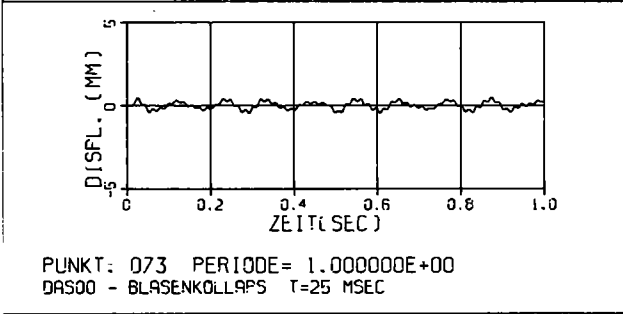
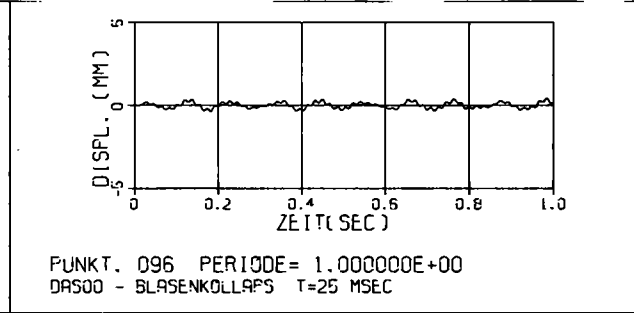
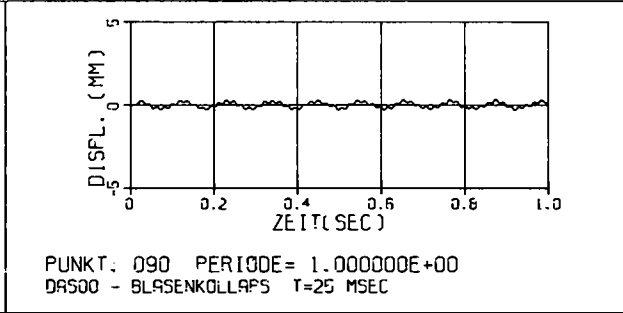
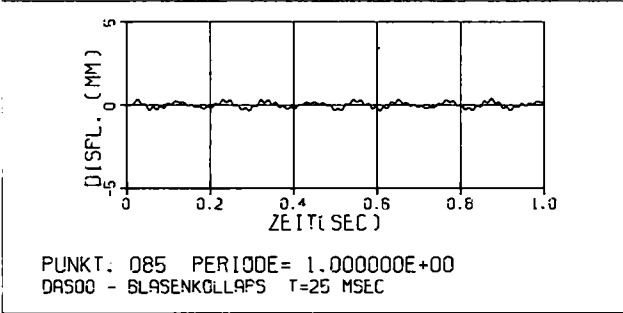


PUNKT. 006 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC

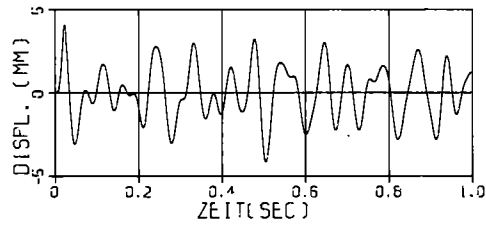


PUNKT. 012 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC

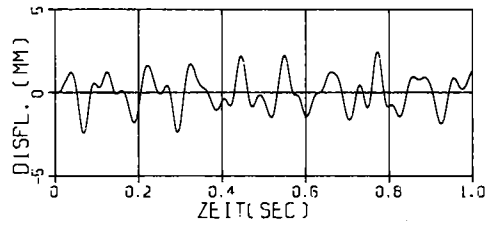
Radialauslenkung, DAS00, Blasenkolllaps 3



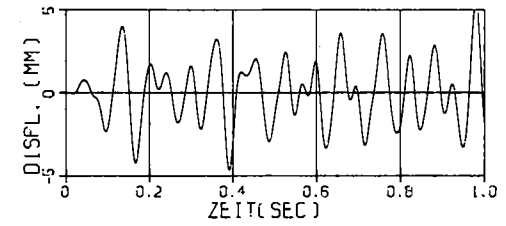
Radialauslenkung, DAS00, Blaskollaps 4



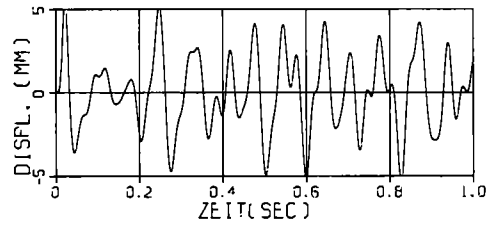
PUNKT. 037 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



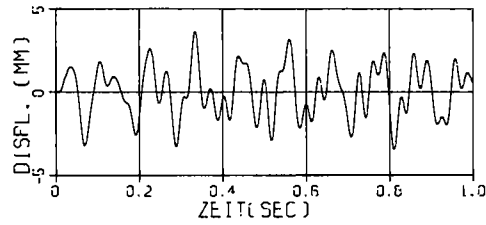
PUNKT. 042 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



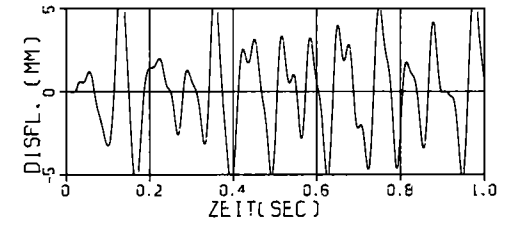
PUNKT. 048 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



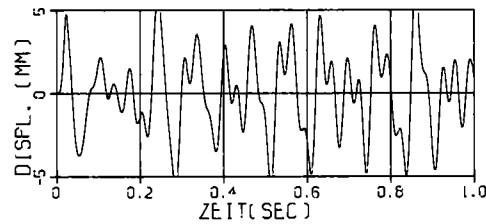
PUNKT. 025 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



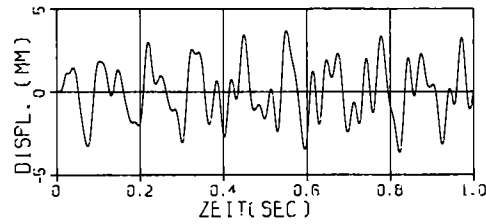
PUNKT. 030 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



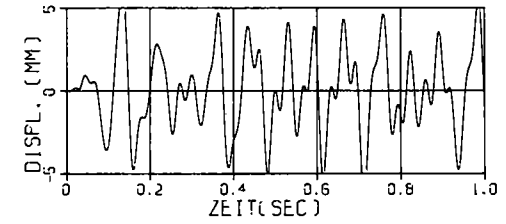
PUNKT. 036 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



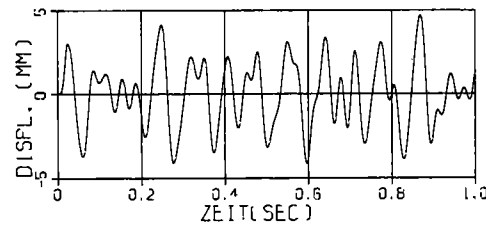
PUNKT. 013 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



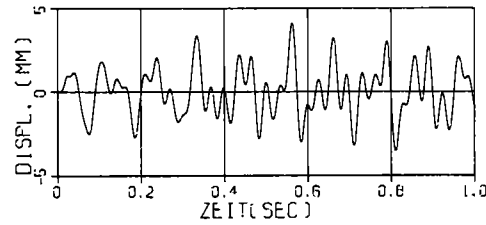
PUNKT. 018 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



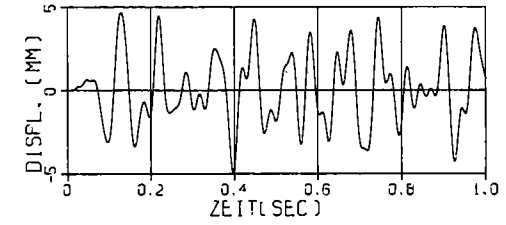
PUNKT. 024 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



PUNKT. 001 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC

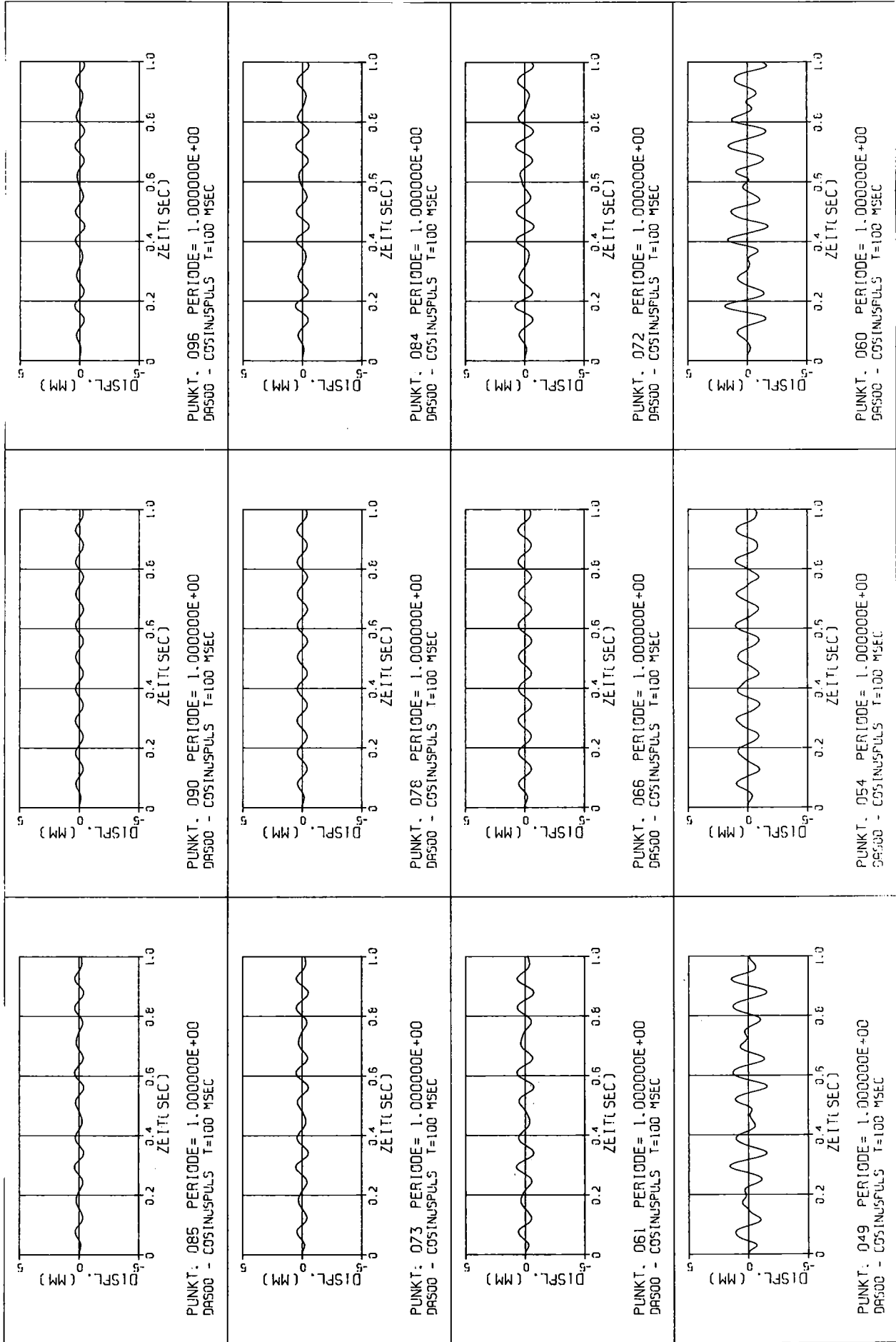


PUNKT. 006 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC

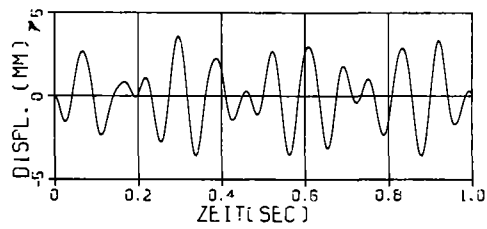


PUNKT. 012 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC

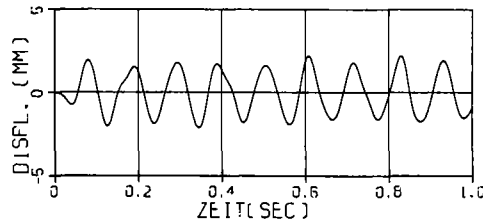
Radialauslenkung, DAS00, Blasen kollaps 4



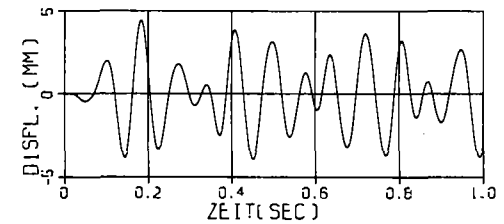
Radialauslenkung, DAS00, Blasenkollaps 5



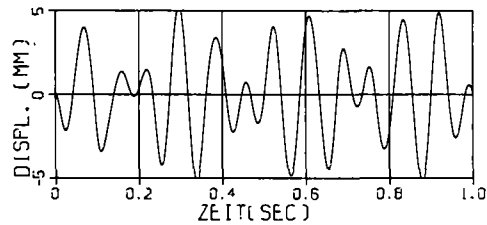
PUNKT: 037 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC



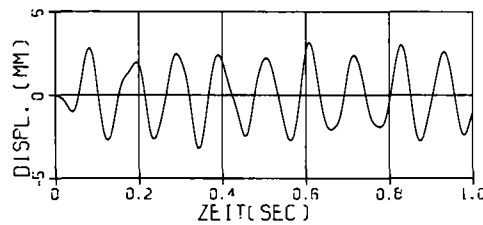
PUNKT: 042 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC



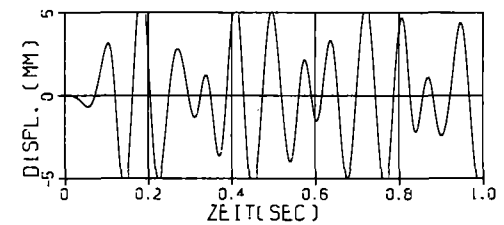
PUNKT: 048 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC



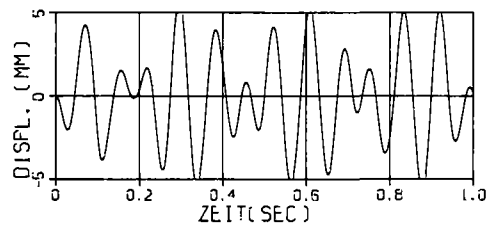
PUNKT: 025 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC



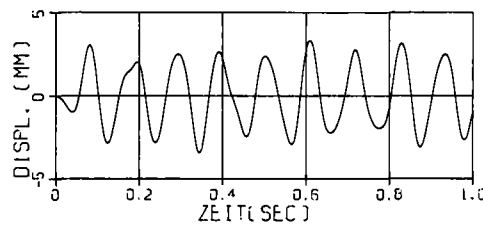
PUNKT: 030 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC



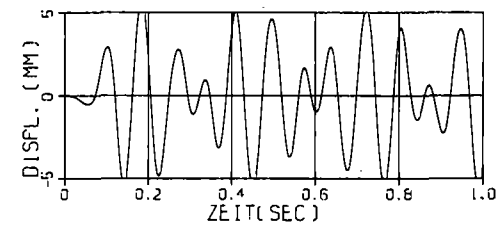
PUNKT: 036 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC



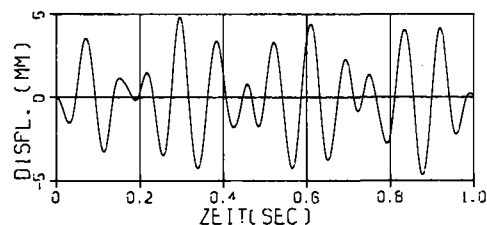
PUNKT: 013 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC



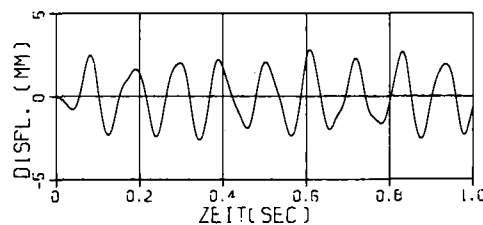
PUNKT: 018 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC



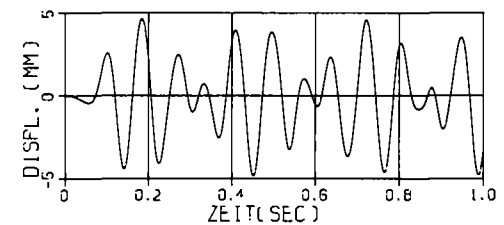
PUNKT: 024 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC



PUNKT: 001 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC

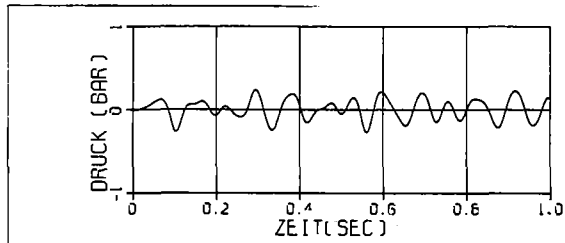


PUNKT: 006 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC

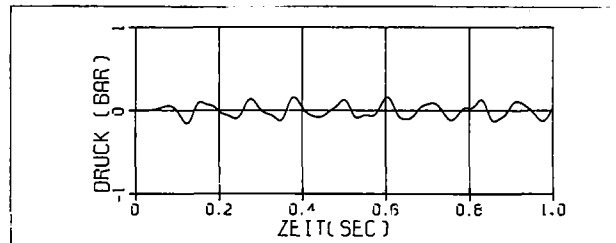


PUNKT: 012 PERIODE= 1.000000E+00
DAS00 - COSINUSPULS T=100 MSEC

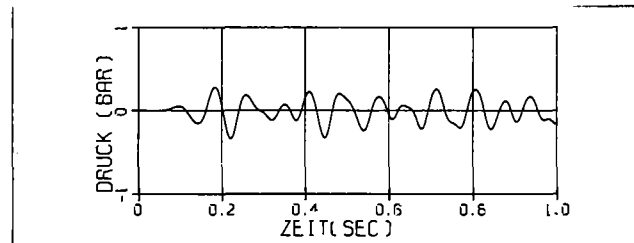
Radialauslenkung, DAS00, Blasenkollaps 5



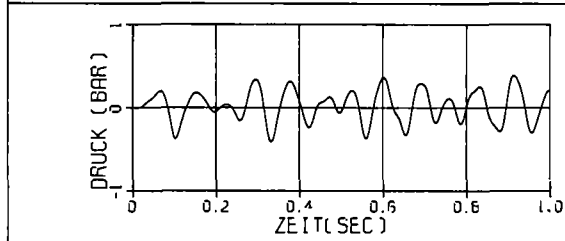
PUNKT: 37 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



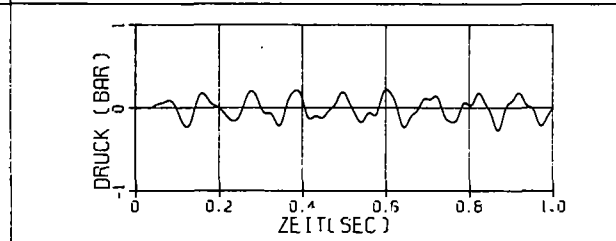
PUNKT: 42 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



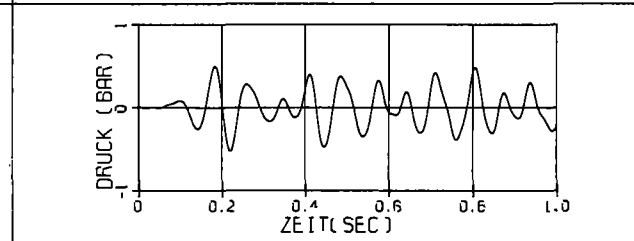
PUNKT: 48 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



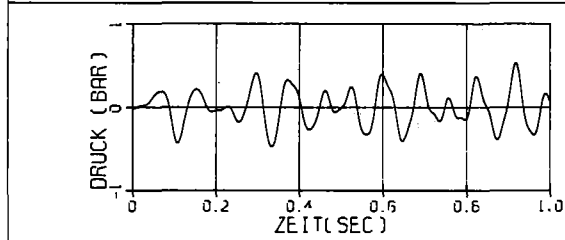
PUNKT: 25 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



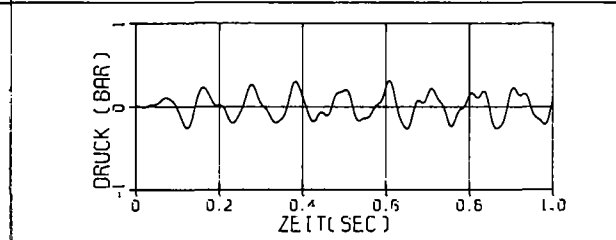
PUNKT: 30 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



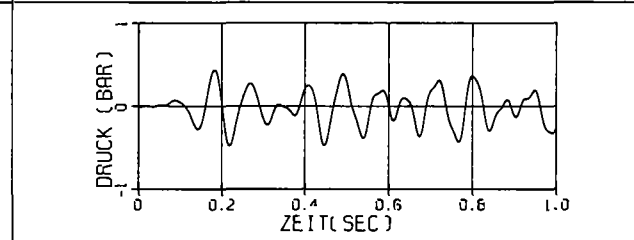
PUNKT: 36 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



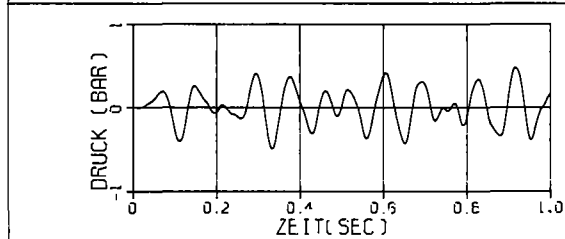
PUNKT: 13 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



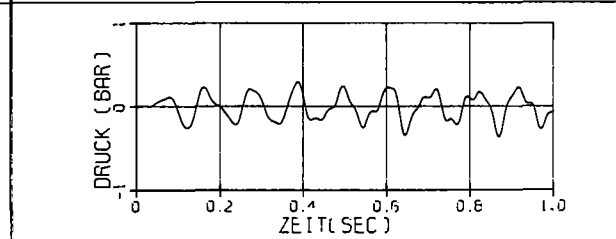
PUNKT: 18 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



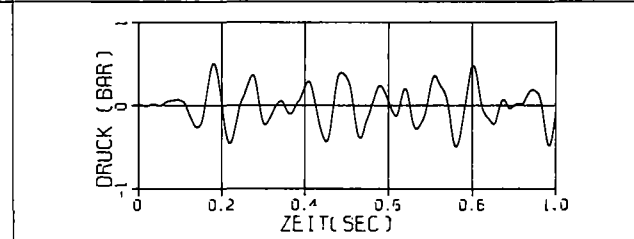
PUNKT: 24 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



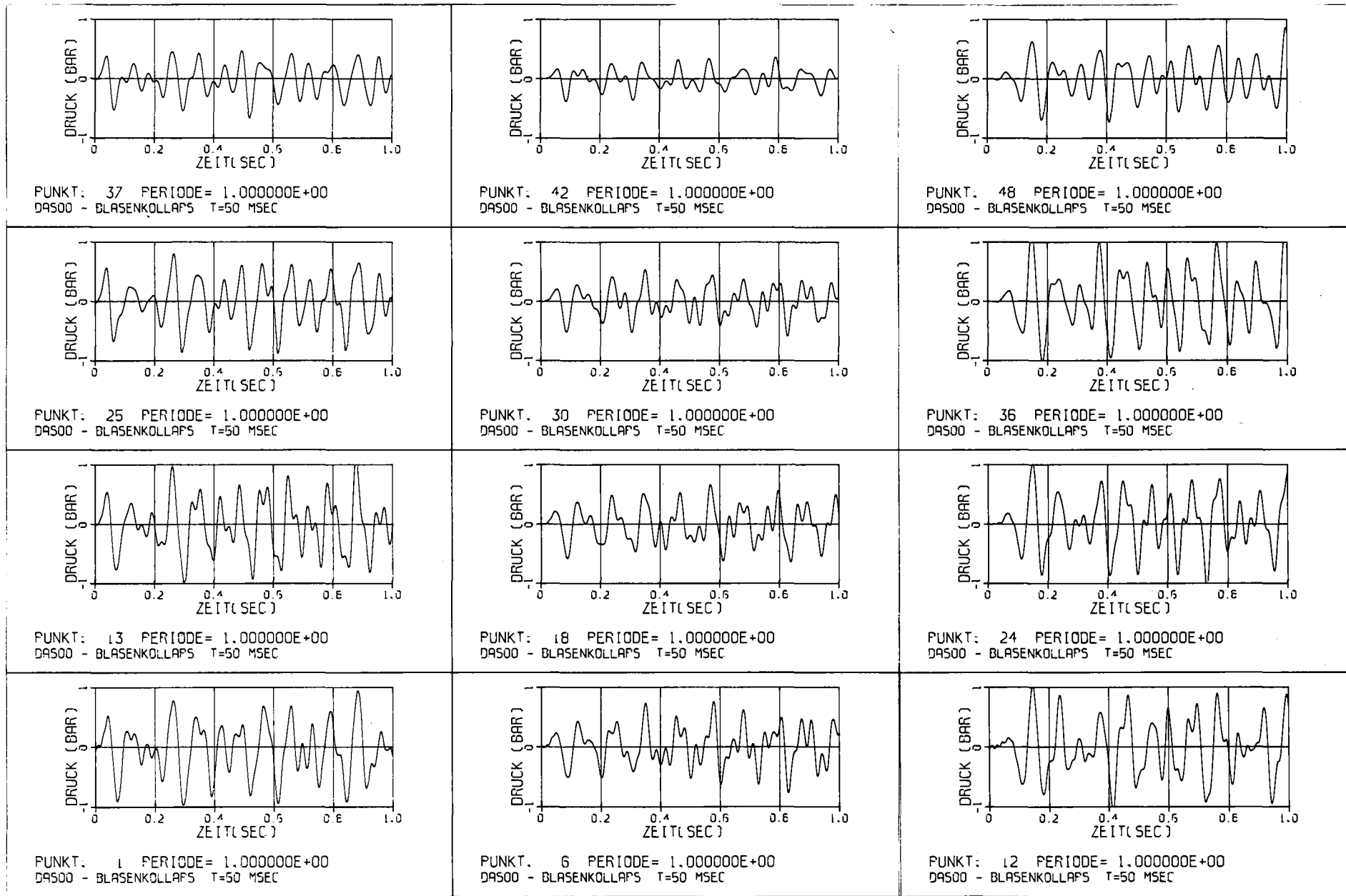
PUNKT: 1 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



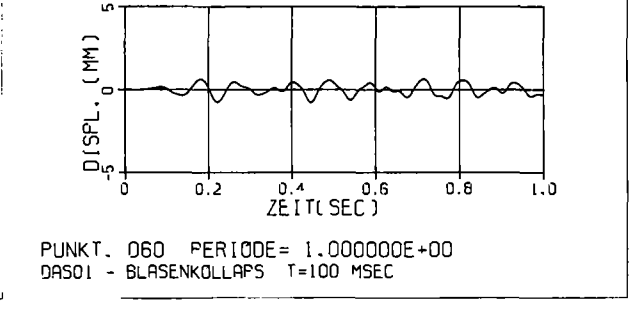
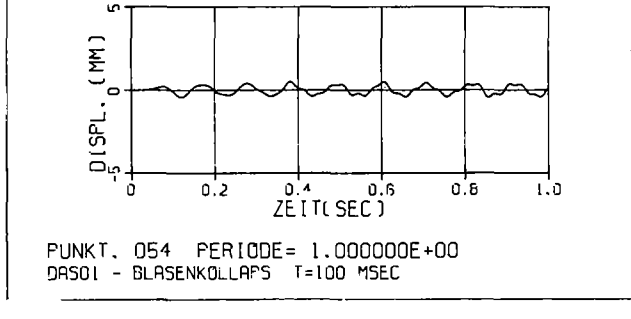
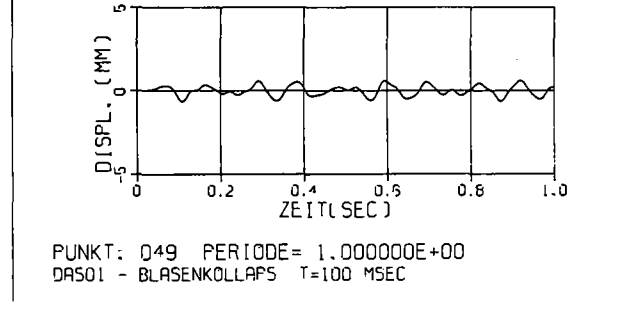
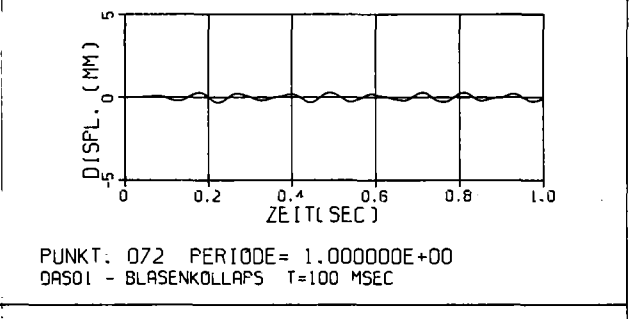
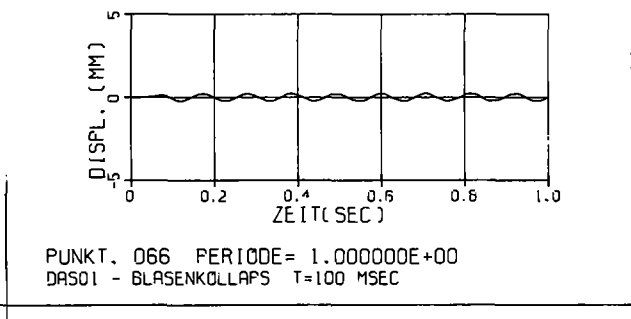
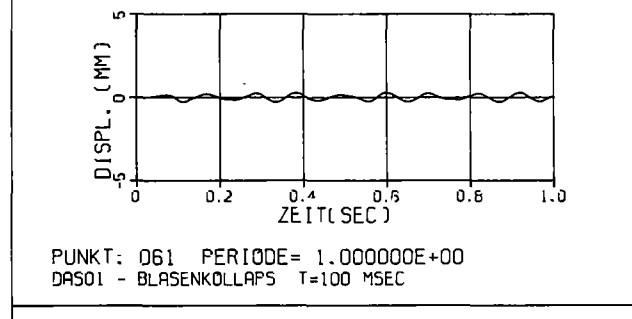
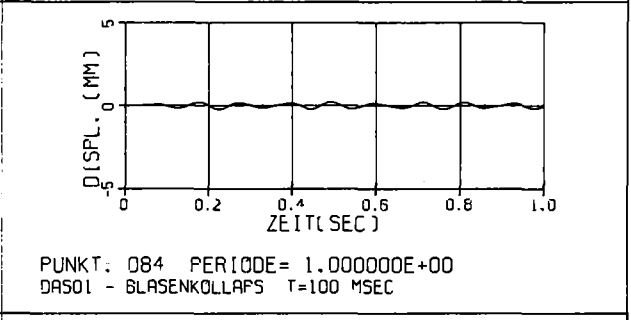
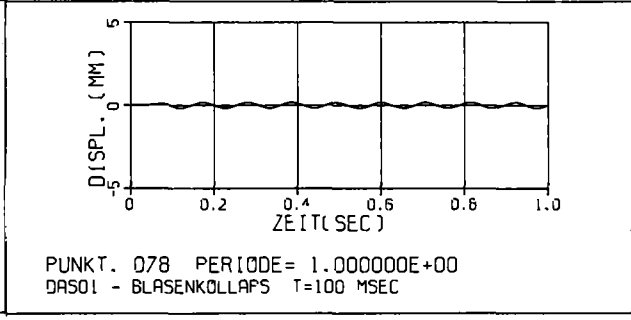
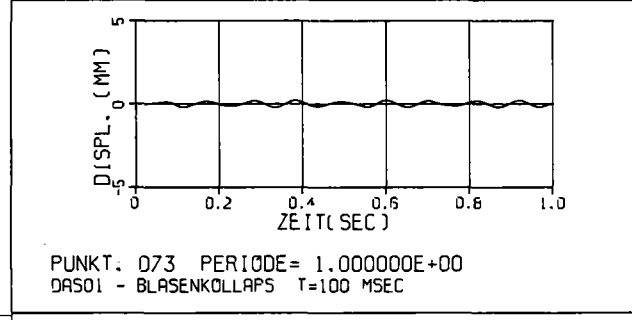
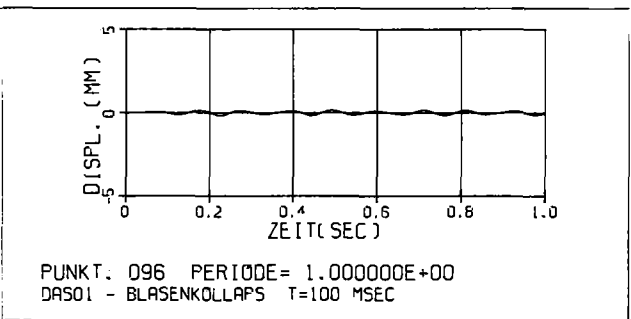
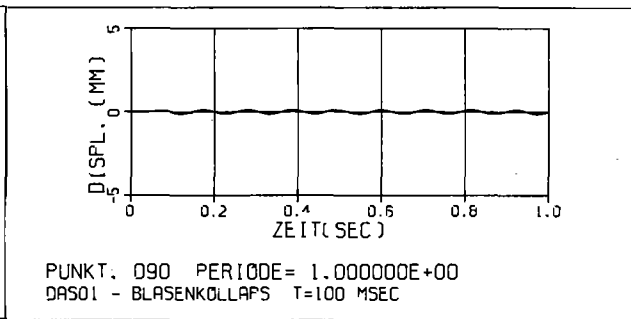
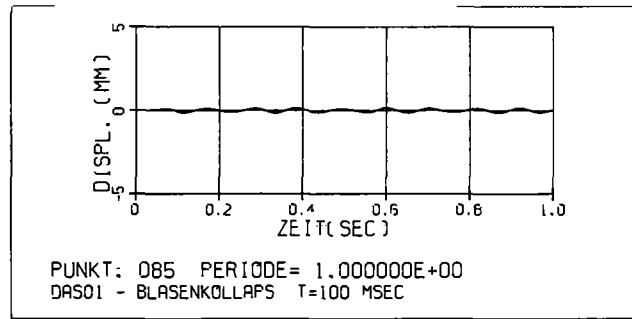
PUNKT: 6 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



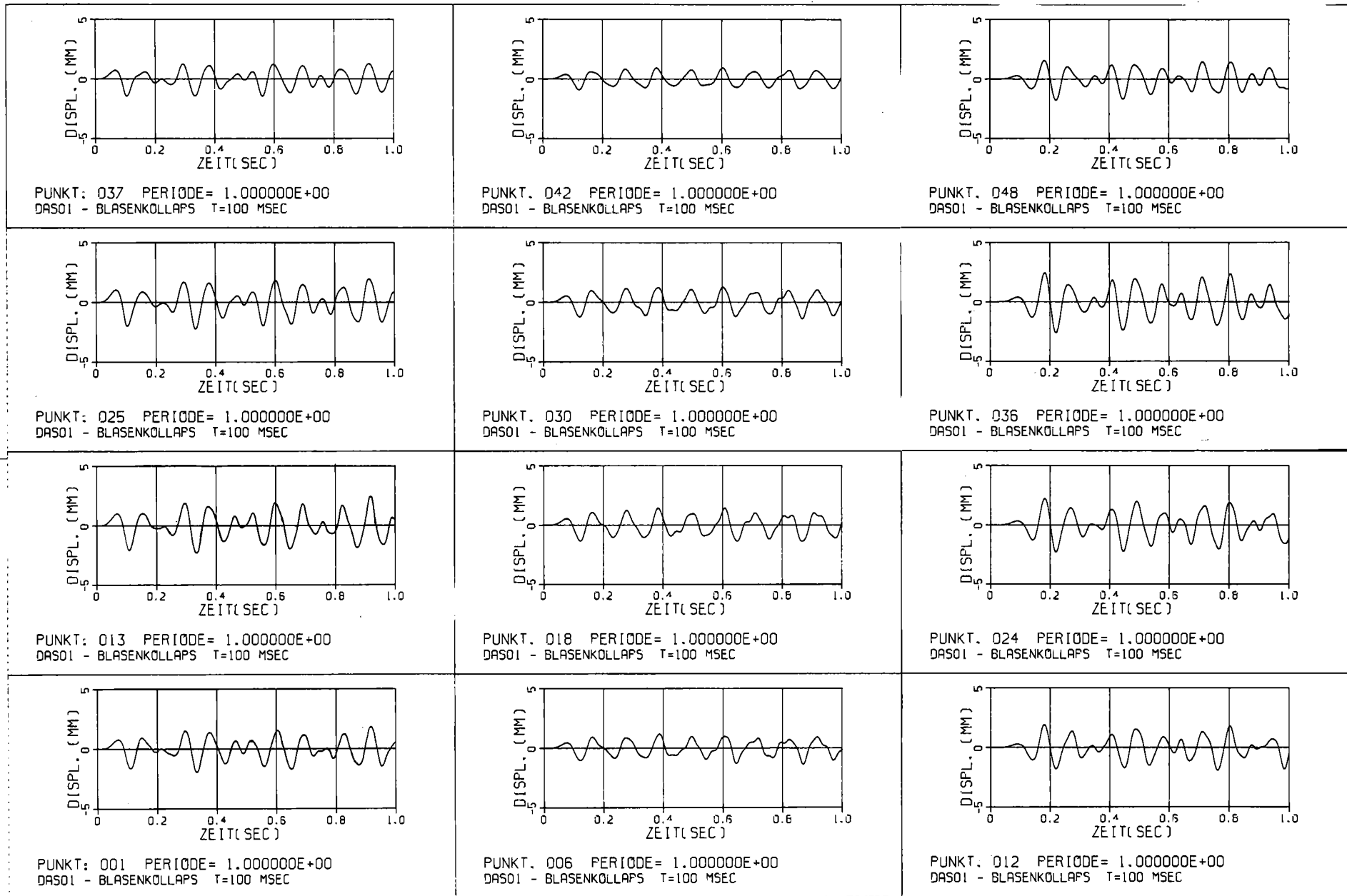
PUNKT: 12 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS00 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



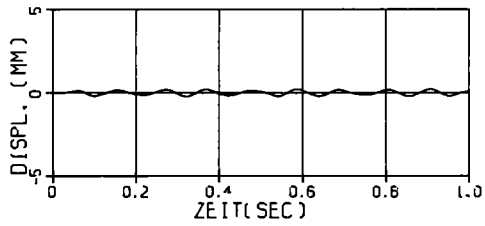
Druck, DAS00, Blasenknollaps 3



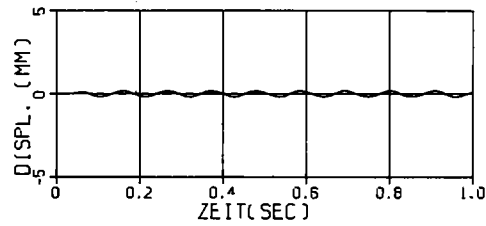
Radialauslenkung, DAS01, Blasen kollaps 1



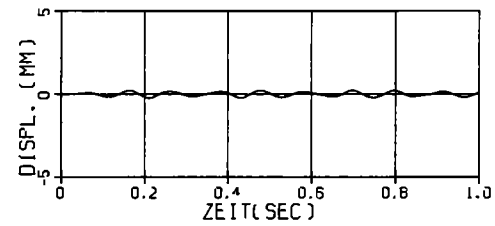
Radialauslenkung, DAS01, Blasen kollaps 1



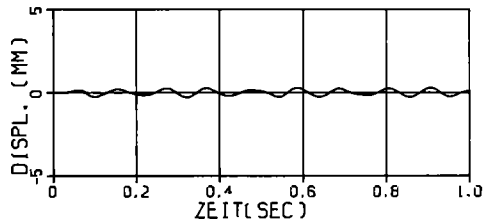
PUNKT: 085 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



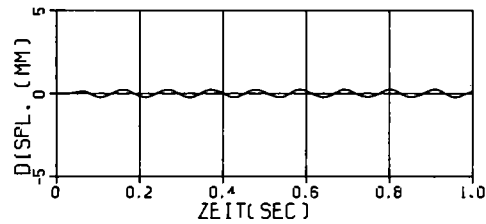
PUNKT: 090 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



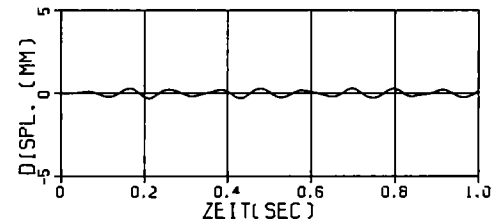
PUNKT: 096 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



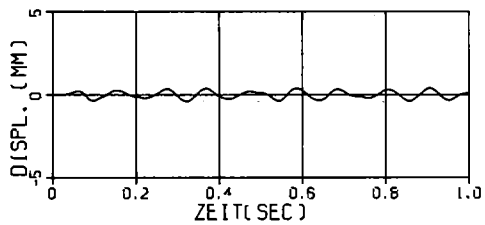
PUNKT: 073 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



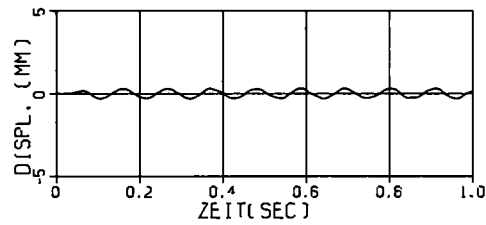
PUNKT: 078 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



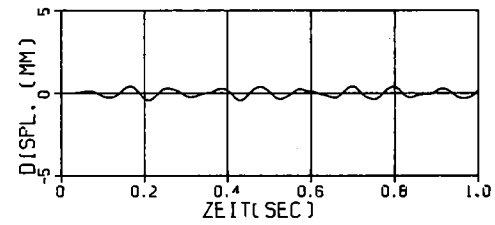
PUNKT: 084 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



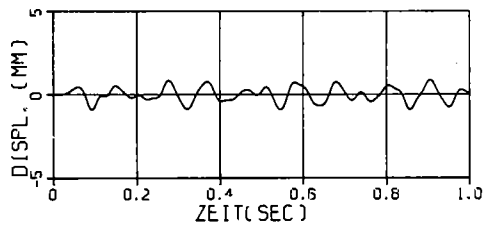
PUNKT: 061 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



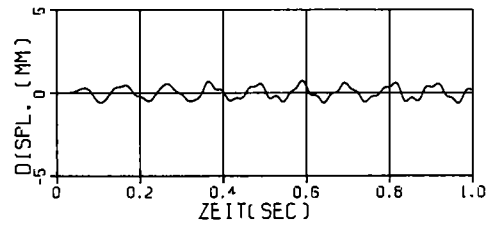
PUNKT: 066 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



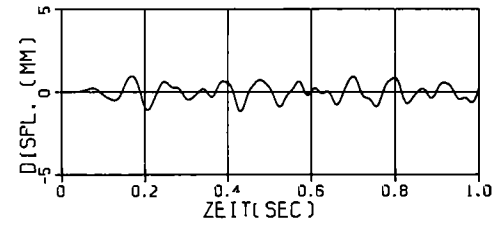
PUNKT: 072 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



PUNKT: 049 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC

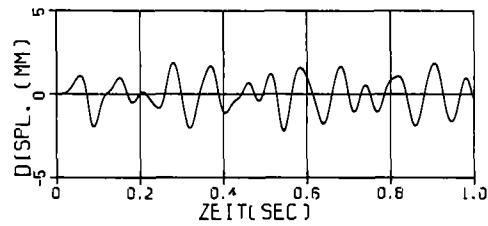


PUNKT: 054 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC

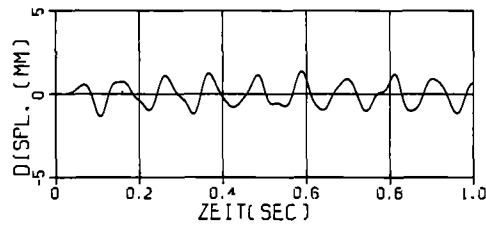


PUNKT: 060 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC

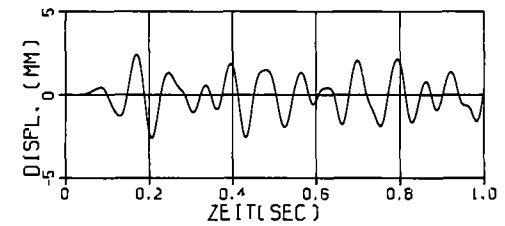
Radialauslenkung, DAS01, Blasen kollaps 2



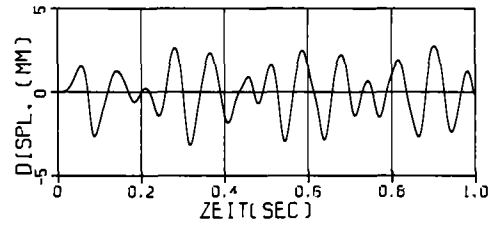
PUNKT: 037 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



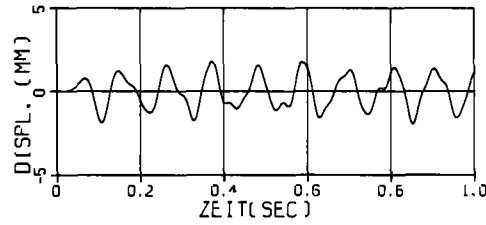
PUNKT: 042 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



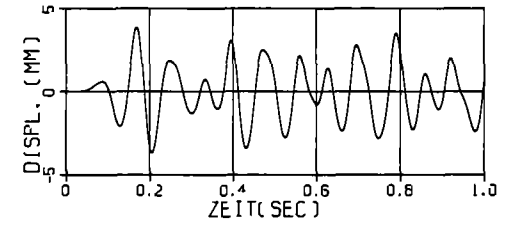
PUNKT: 048 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



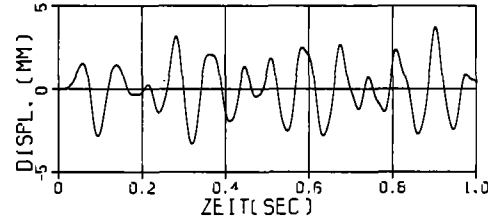
PUNKT: 025 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



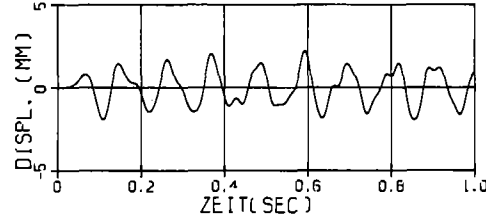
PUNKT: 030 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



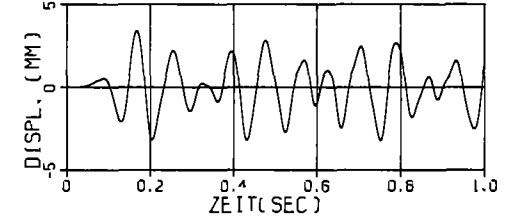
PUNKT: 036 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



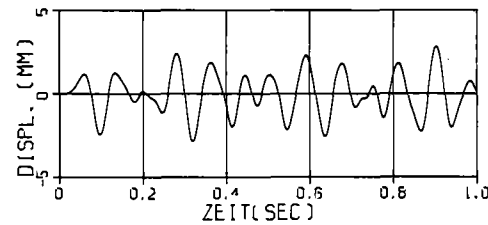
PUNKT: 013 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



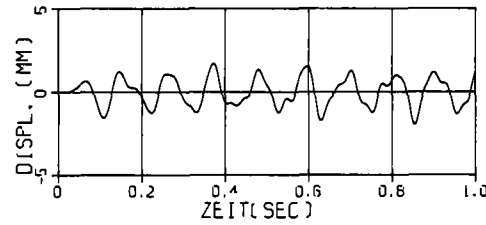
PUNKT: 018 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



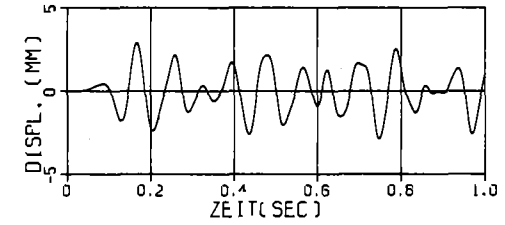
PUNKT: 024 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC



PUNKT: 001 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC

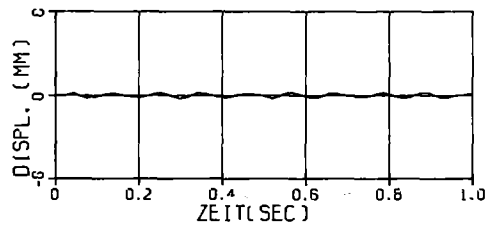


PUNKT: 006 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC

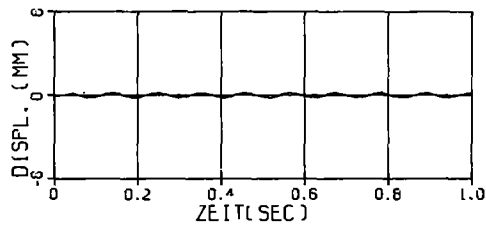


PUNKT: 012 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=80 MSEC

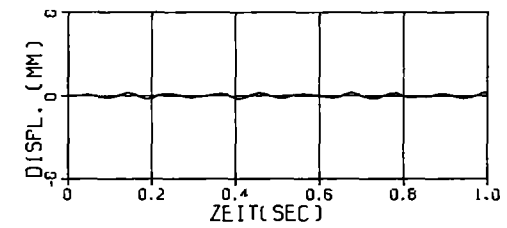
Radialauslenkung, DAS01, Blaskollaps 2



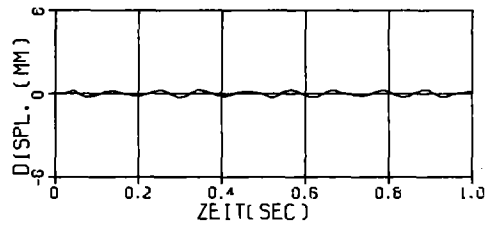
PUNKT: 085 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



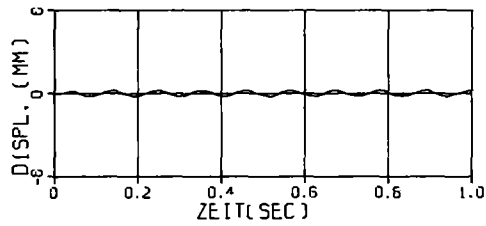
PUNKT: 090 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



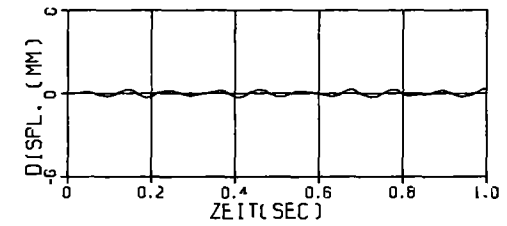
PUNKT: 096 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



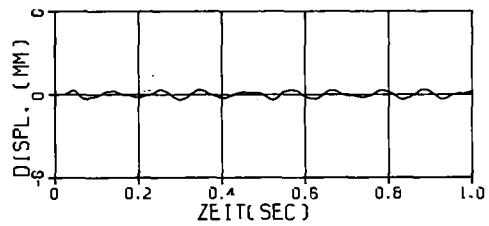
PUNKT: 073 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



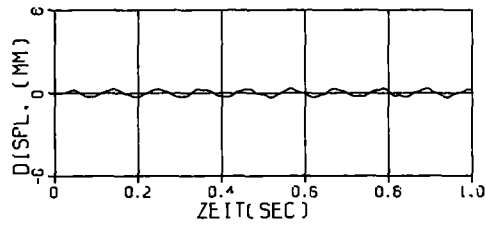
PUNKT: 078 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



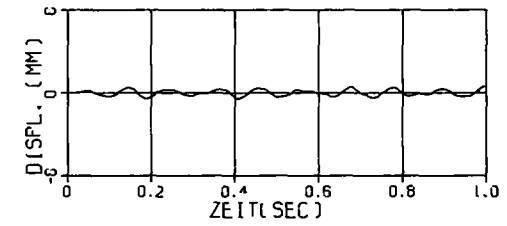
PUNKT: 084 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



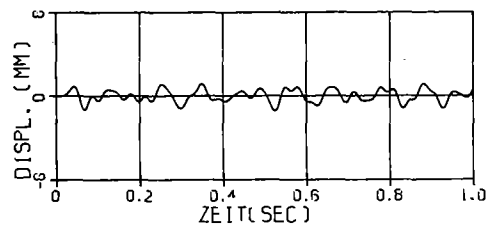
PUNKT: 061 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



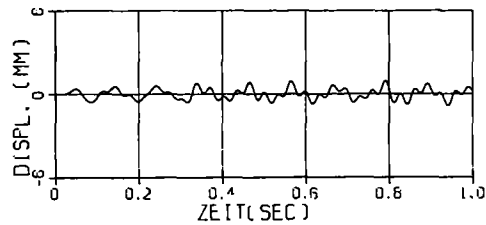
PUNKT: 066 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



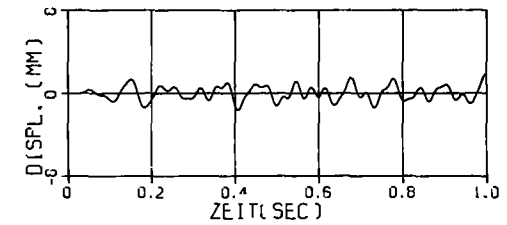
PUNKT: 072 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



PUNKT: 049 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC

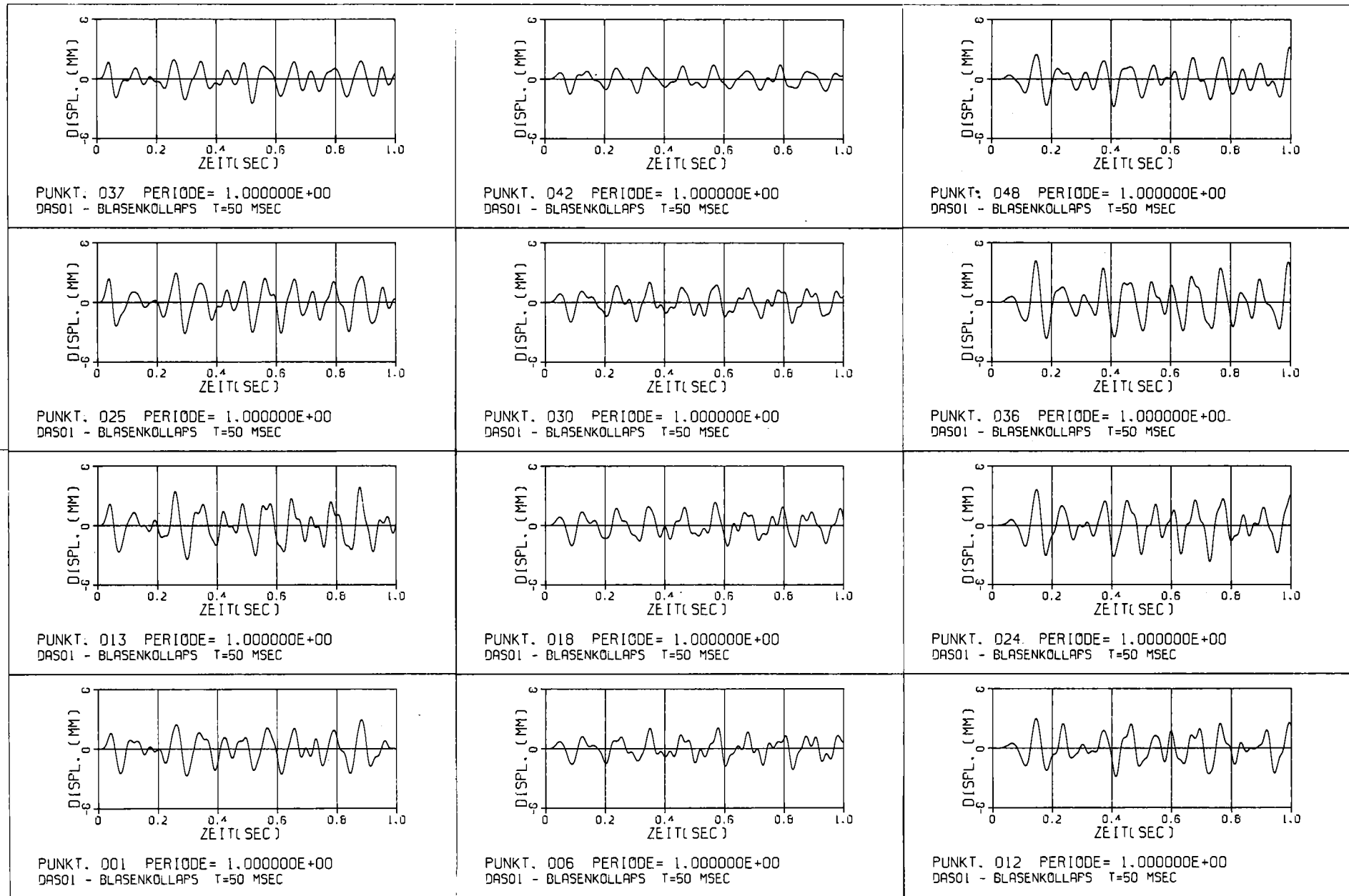


PUNKT: 054 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC

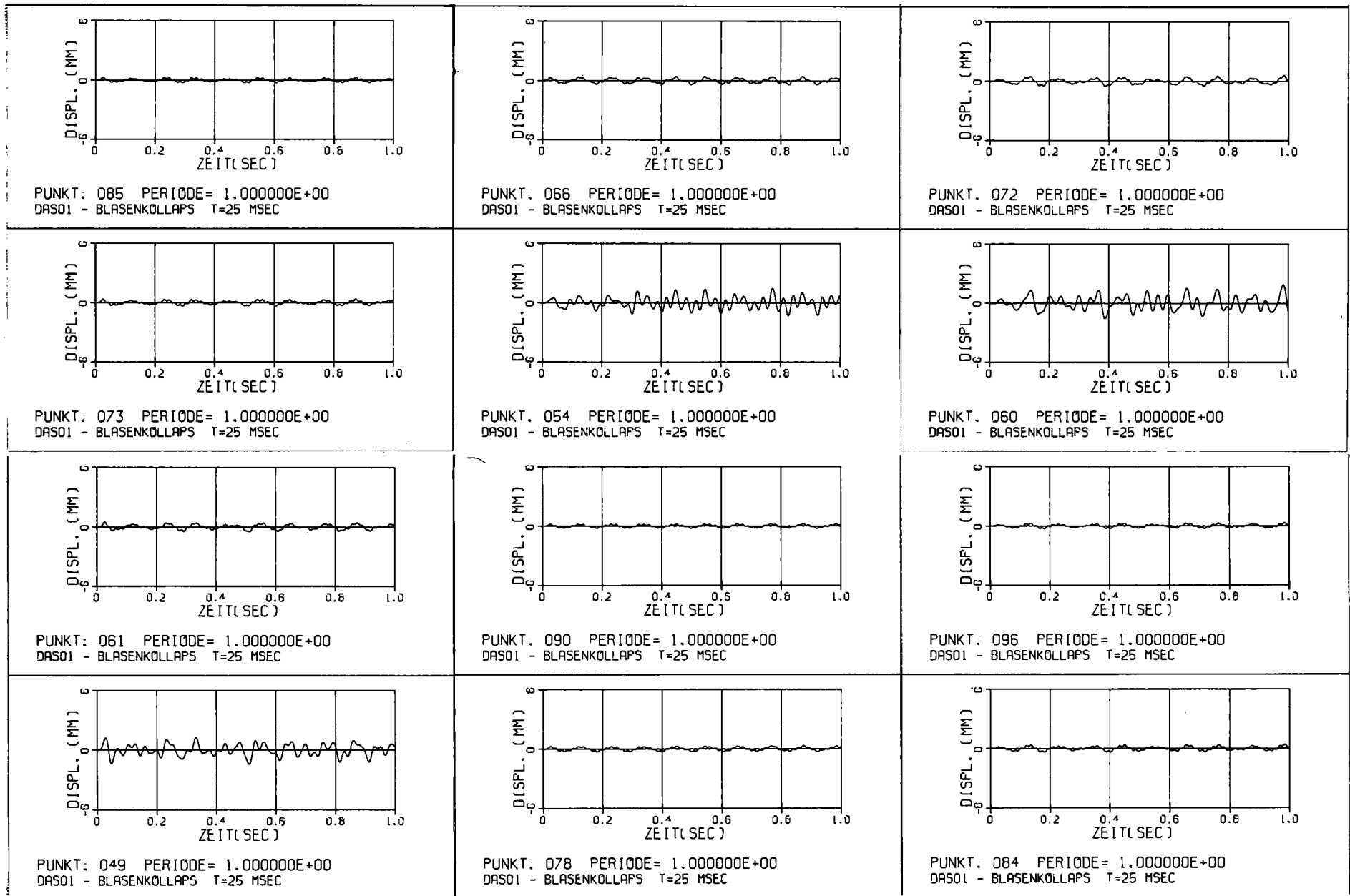


PUNKT: 060 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS01 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC

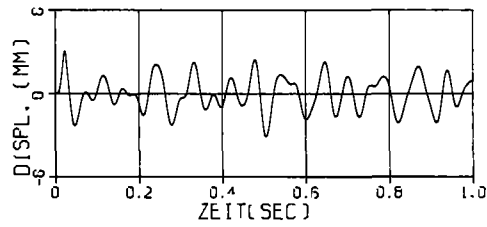
Radialauslenkung, DAS01, Blaskollaps 3



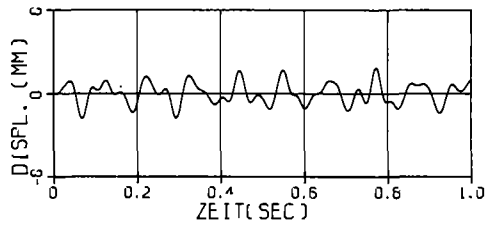
Radialauslenkung, DAS01, Blasen kollaps 3



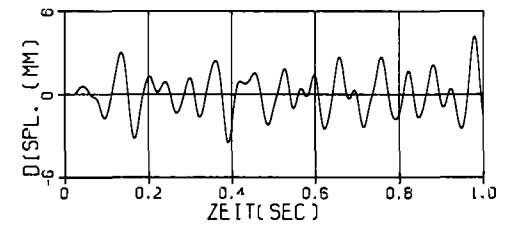
Radialauslenkung, DAS01, Blaskollaps 4



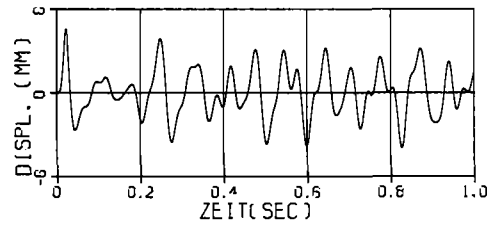
PUNKT: 037 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



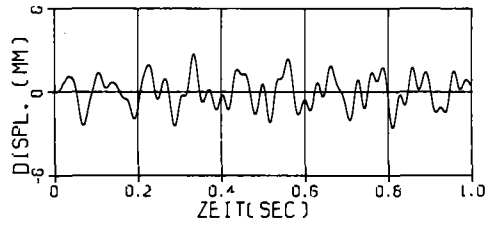
PUNKT: 042 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



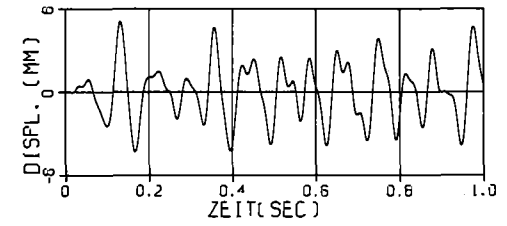
PUNKT: 048 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



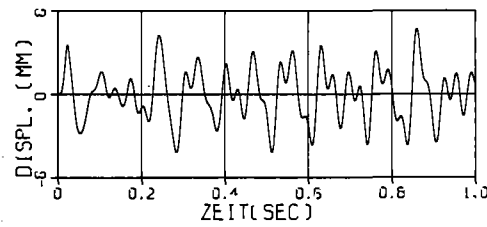
PUNKT: 025 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



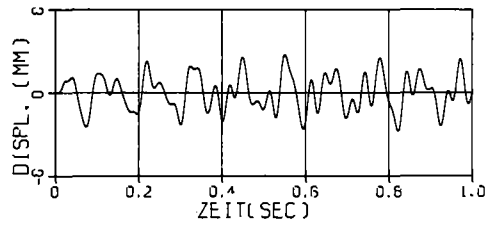
PUNKT: 030 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



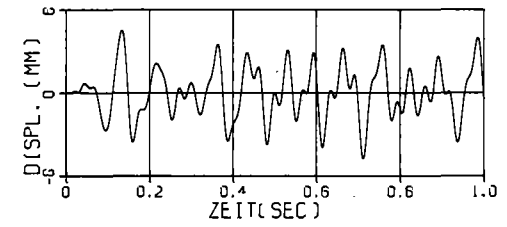
PUNKT: 036 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



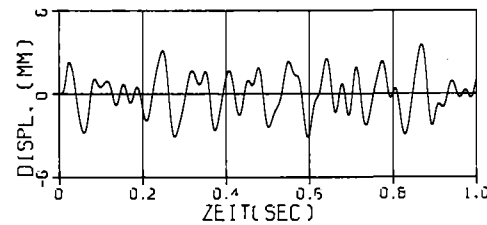
PUNKT: 013 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



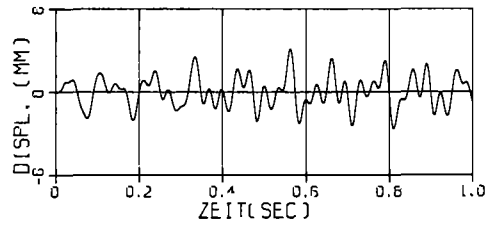
PUNKT: 018 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



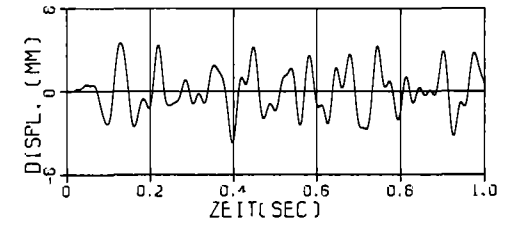
PUNKT: 024 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



PUNKT: 001 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC

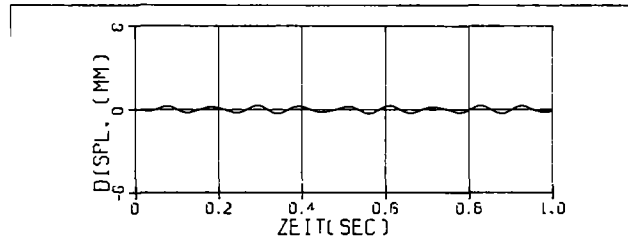


PUNKT: 006 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC

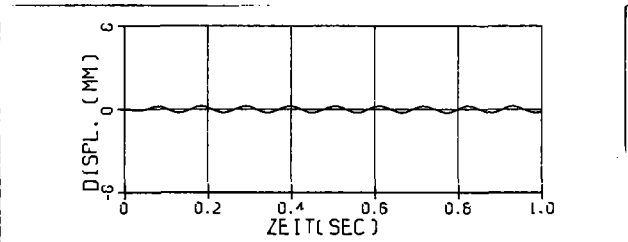


PUNKT: 012 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC

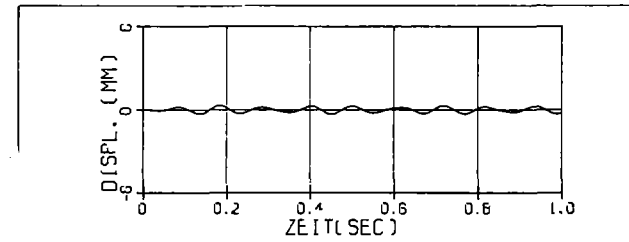
Radialauslenkung, DAS01, Blasenkolllaps 4



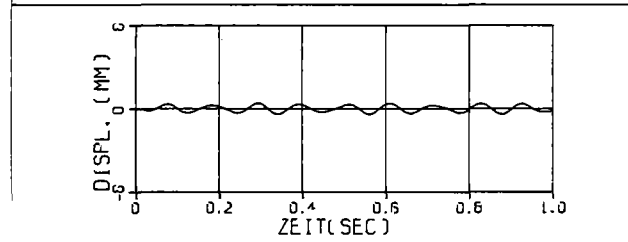
PUNKT: 085 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



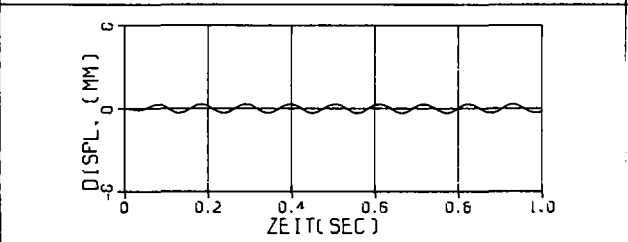
PUNKT: 090 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



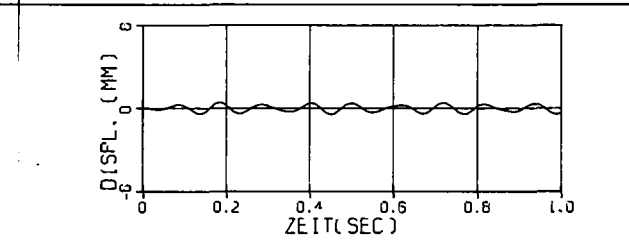
PUNKT: 096 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



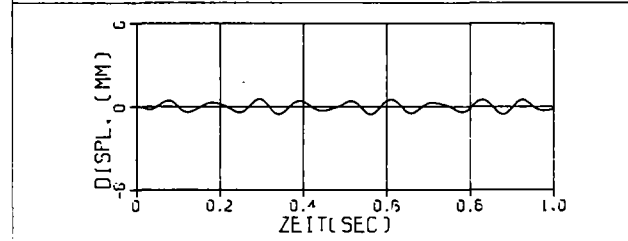
PUNKT: 073 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



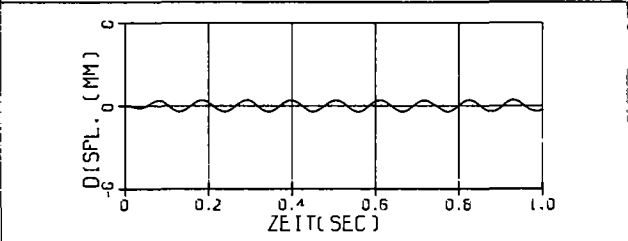
PUNKT: 078 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



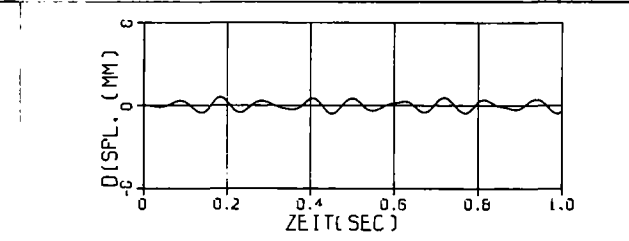
PUNKT: 084 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



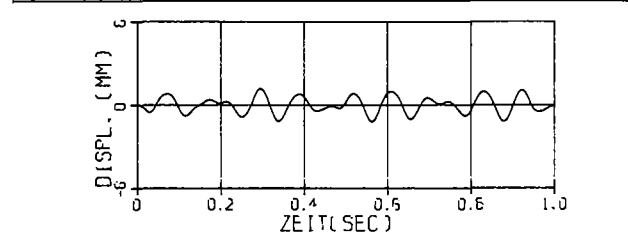
PUNKT: 061 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



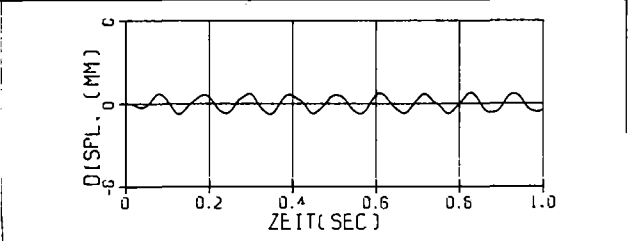
PUNKT: 066 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



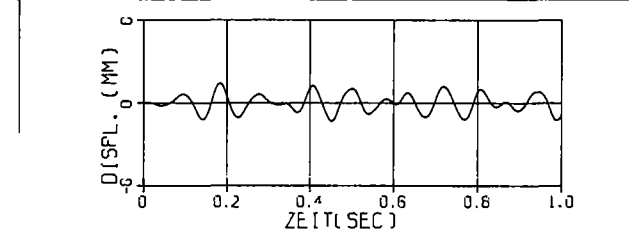
PUNKT: 072 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



PUNKT: 049 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC

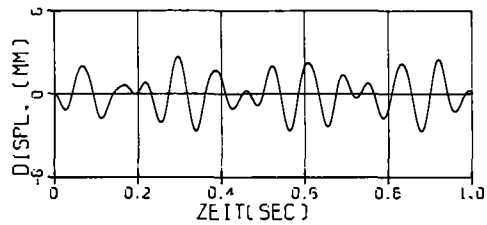


PUNKT: 054 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC

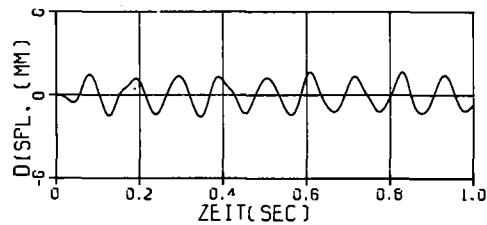


PUNKT: 060 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC

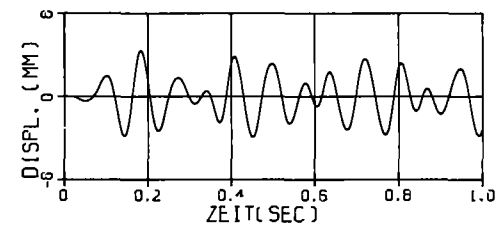
Radialauslenkung, DAS01, Blasenkolllaps 5



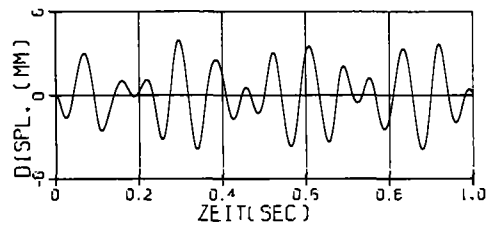
PUNKT: 037 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



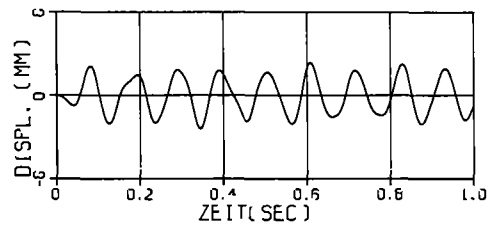
PUNKT: 042 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



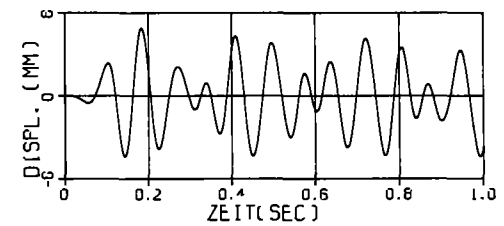
PUNKT: 048 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



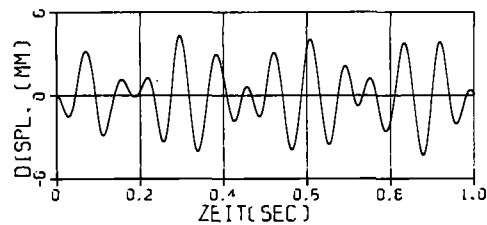
PUNKT: 025 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



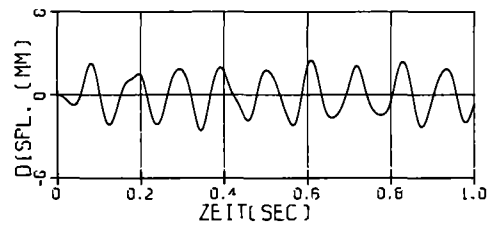
PUNKT: 030 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



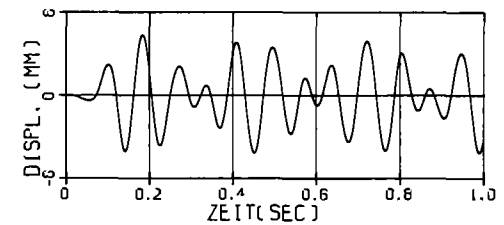
PUNKT: 036 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



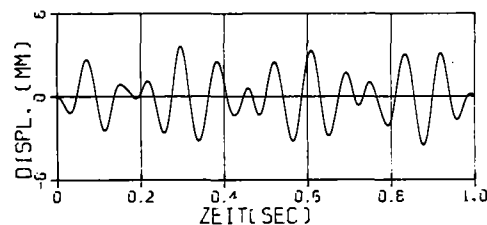
PUNKT: 013 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



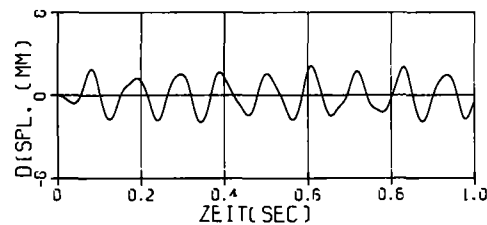
PUNKT: 018 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



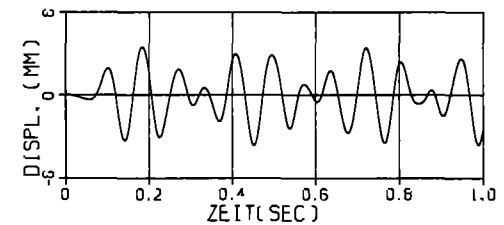
PUNKT: 024 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



PUNKT: 001 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



PUNKT: 006 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC



PUNKT: 012 PERIODE= 1.000000E+00
DAS01 - COSINUSPULS T=100 MSEC

Radialauslenkung, DAS01, Blaskollaps 5

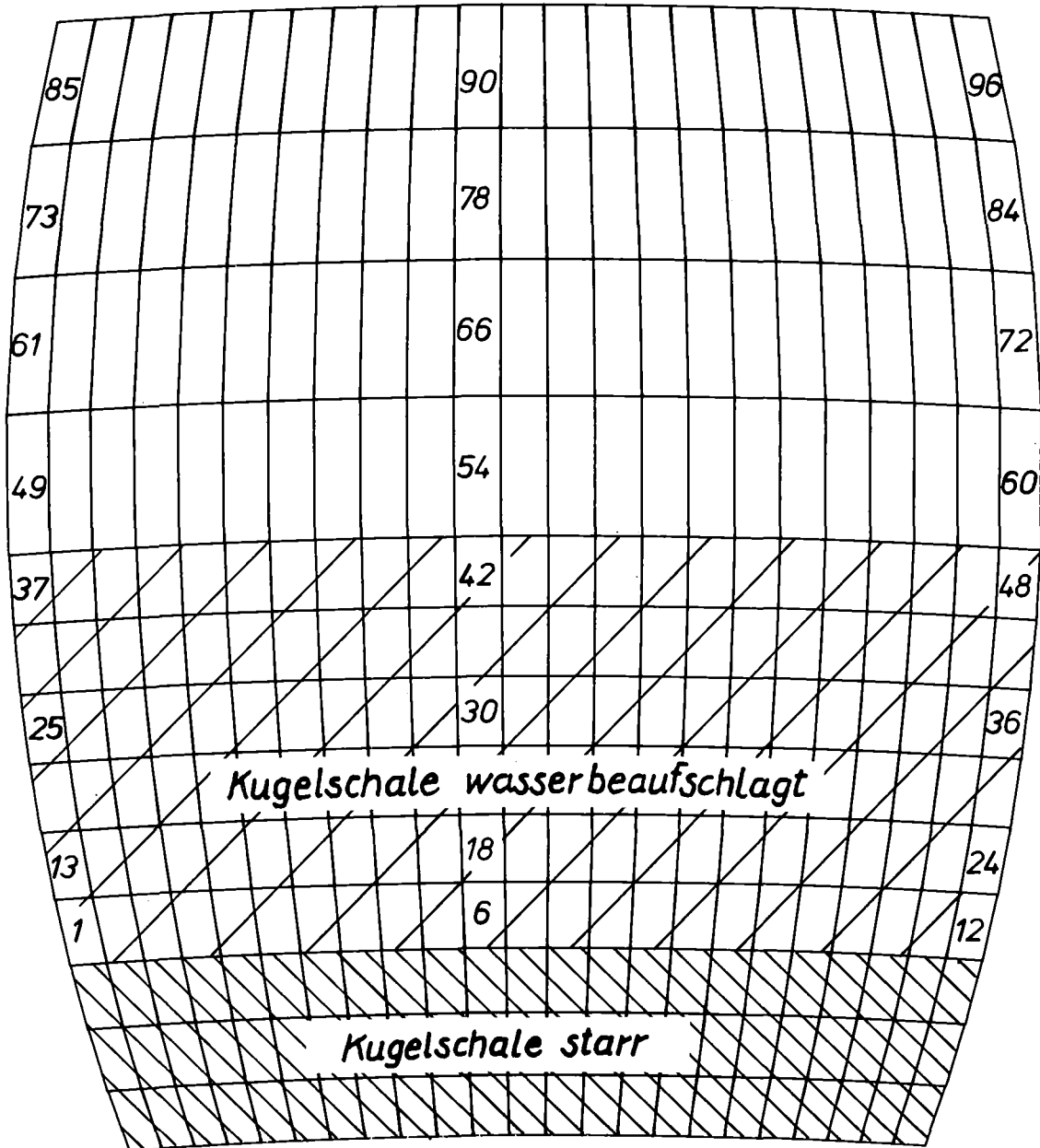
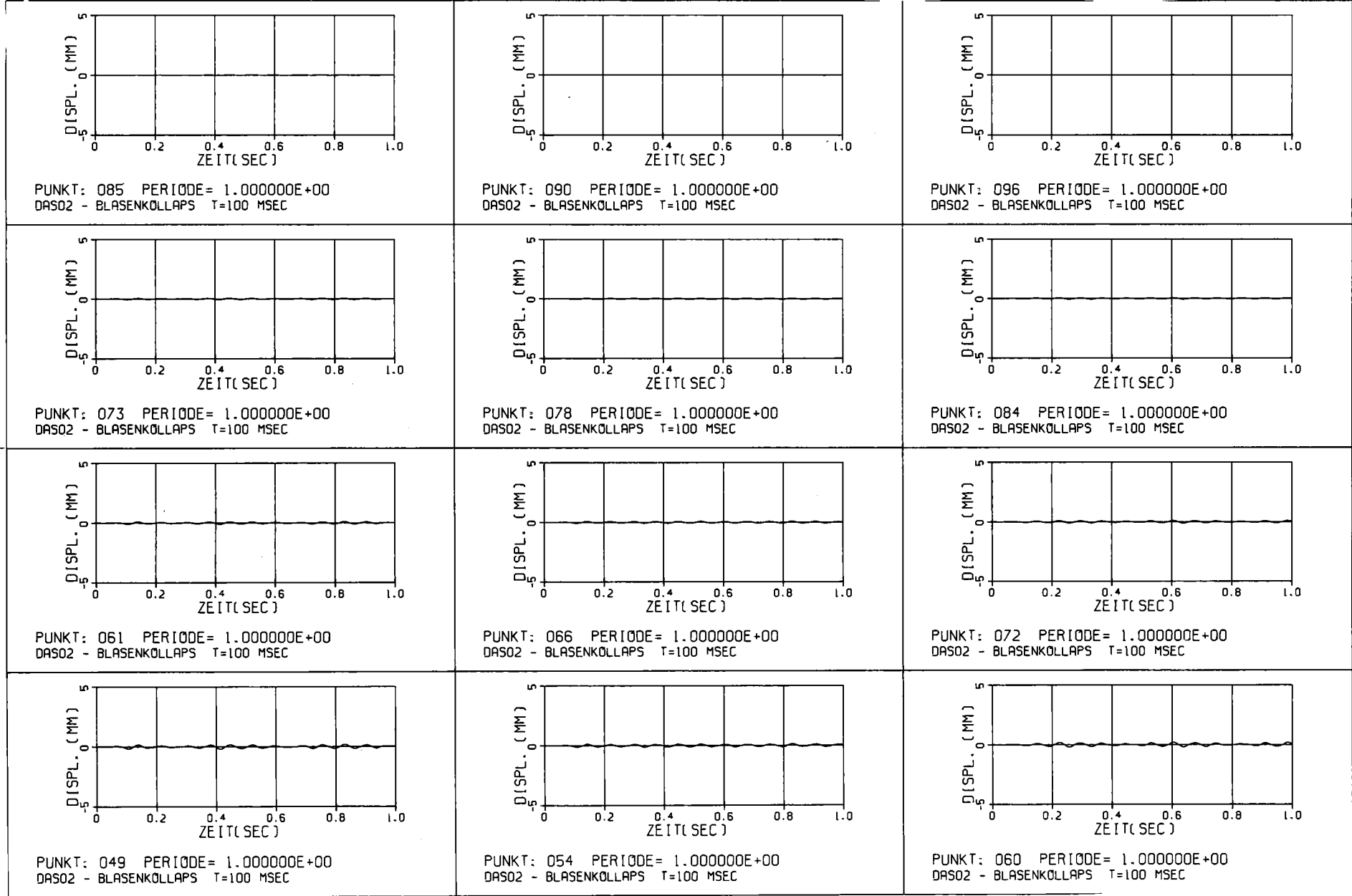
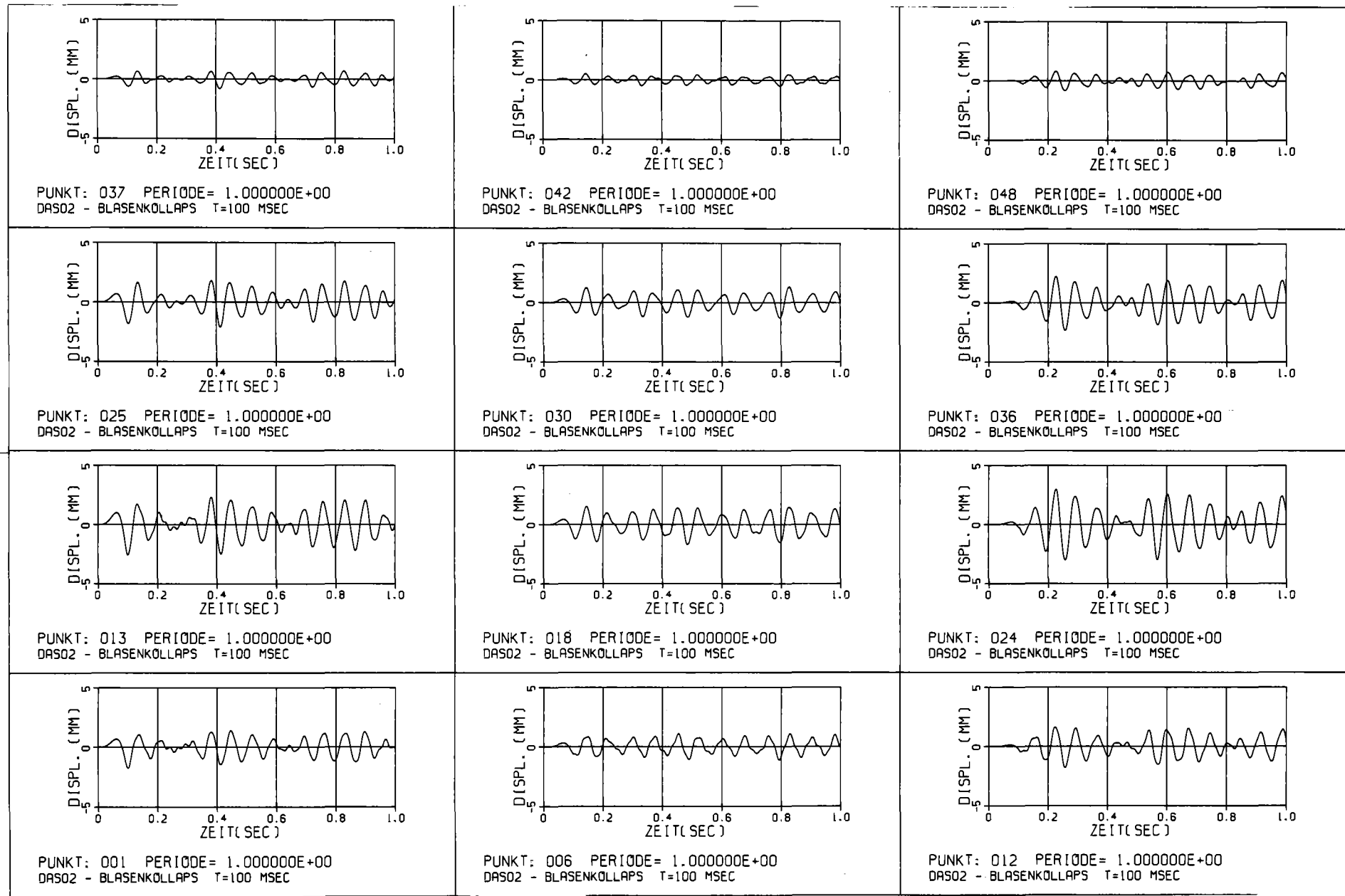


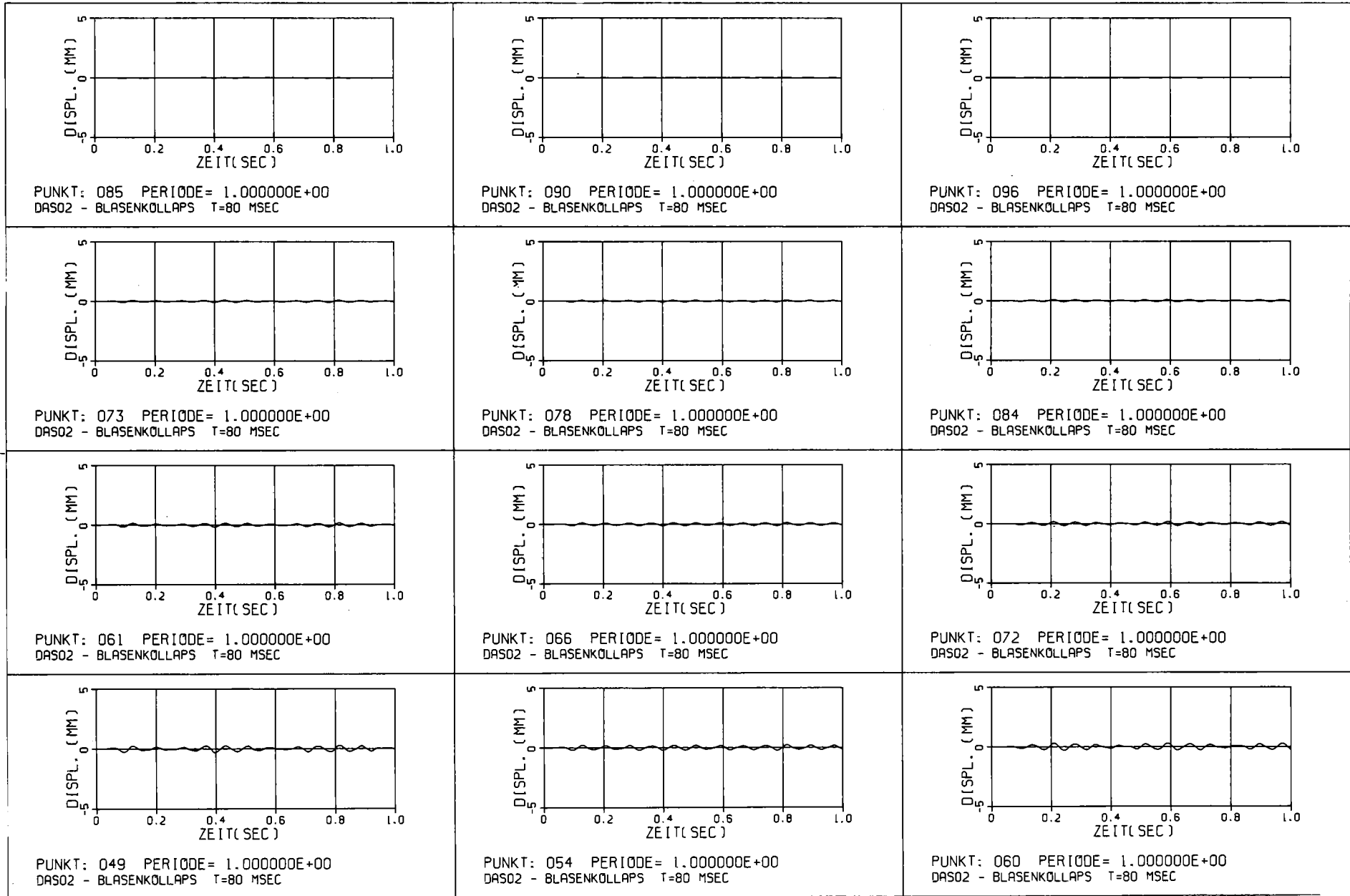
Abb. 10: Punkte in denen die Schalenauslenkung für DAS02 dargestellt sind



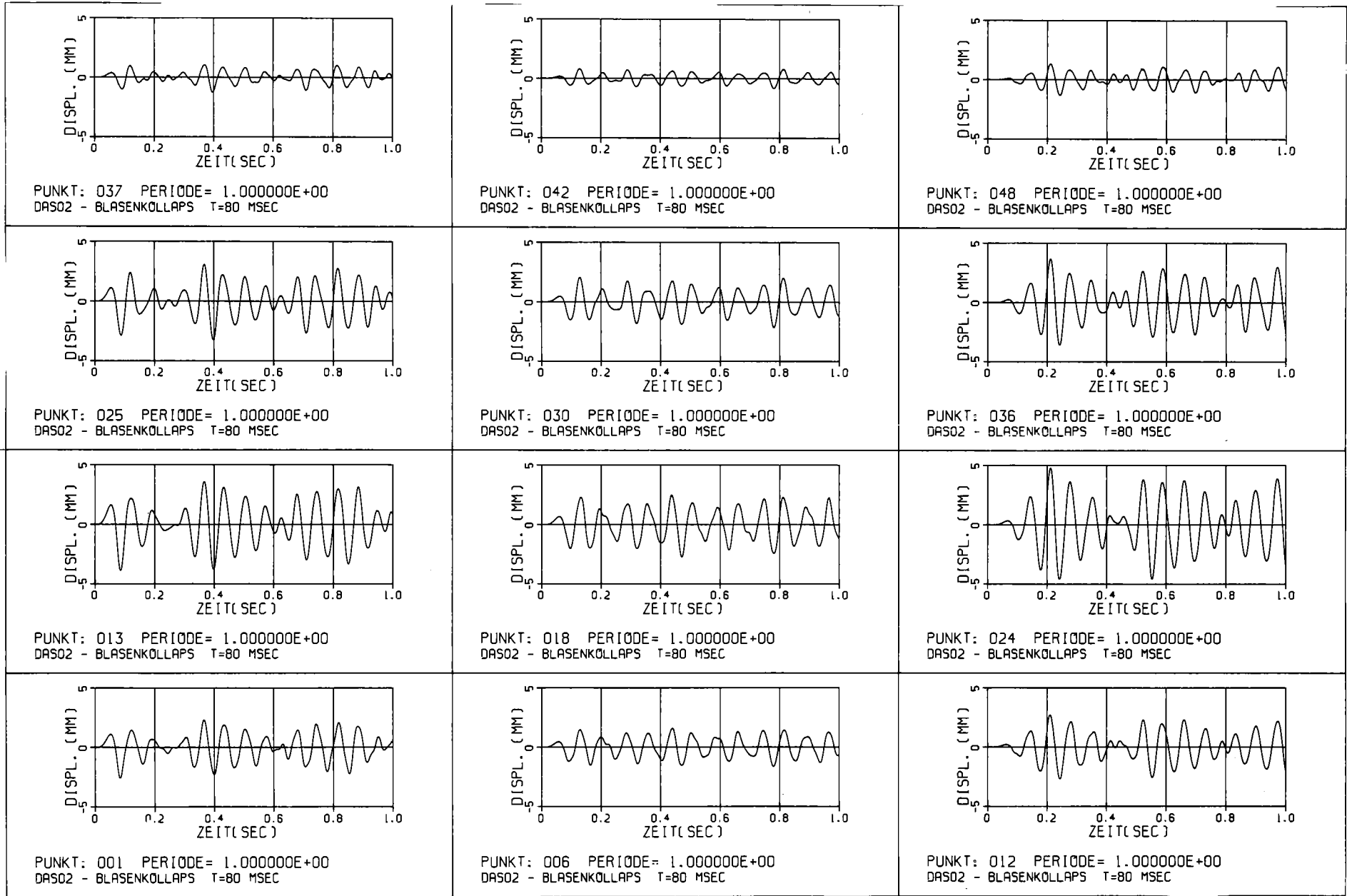
Radialauslenkung, DAS02, Blasen kollaps 1



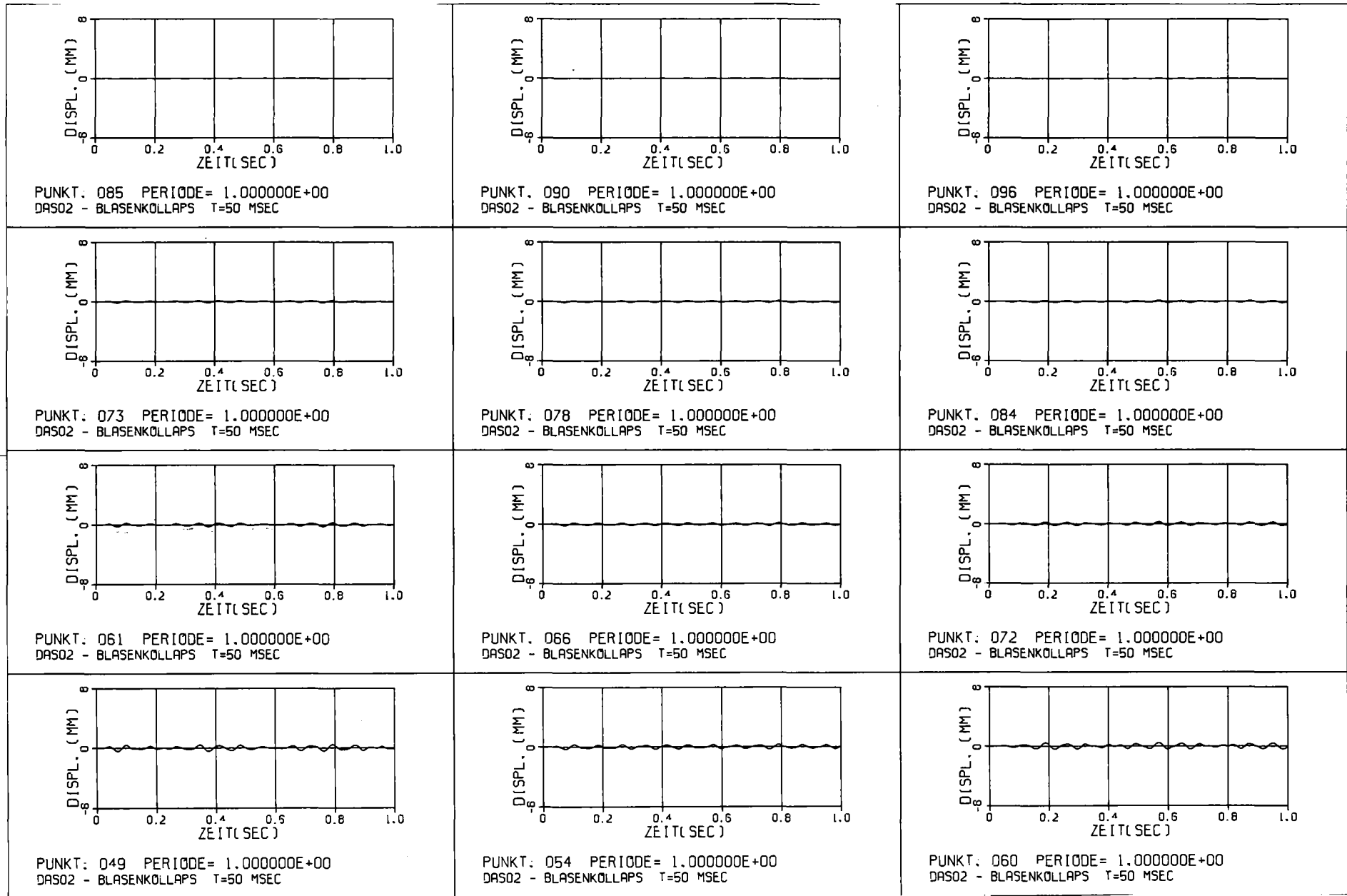
Radialauslenkung, DAS02, Blaskenkollaps 1



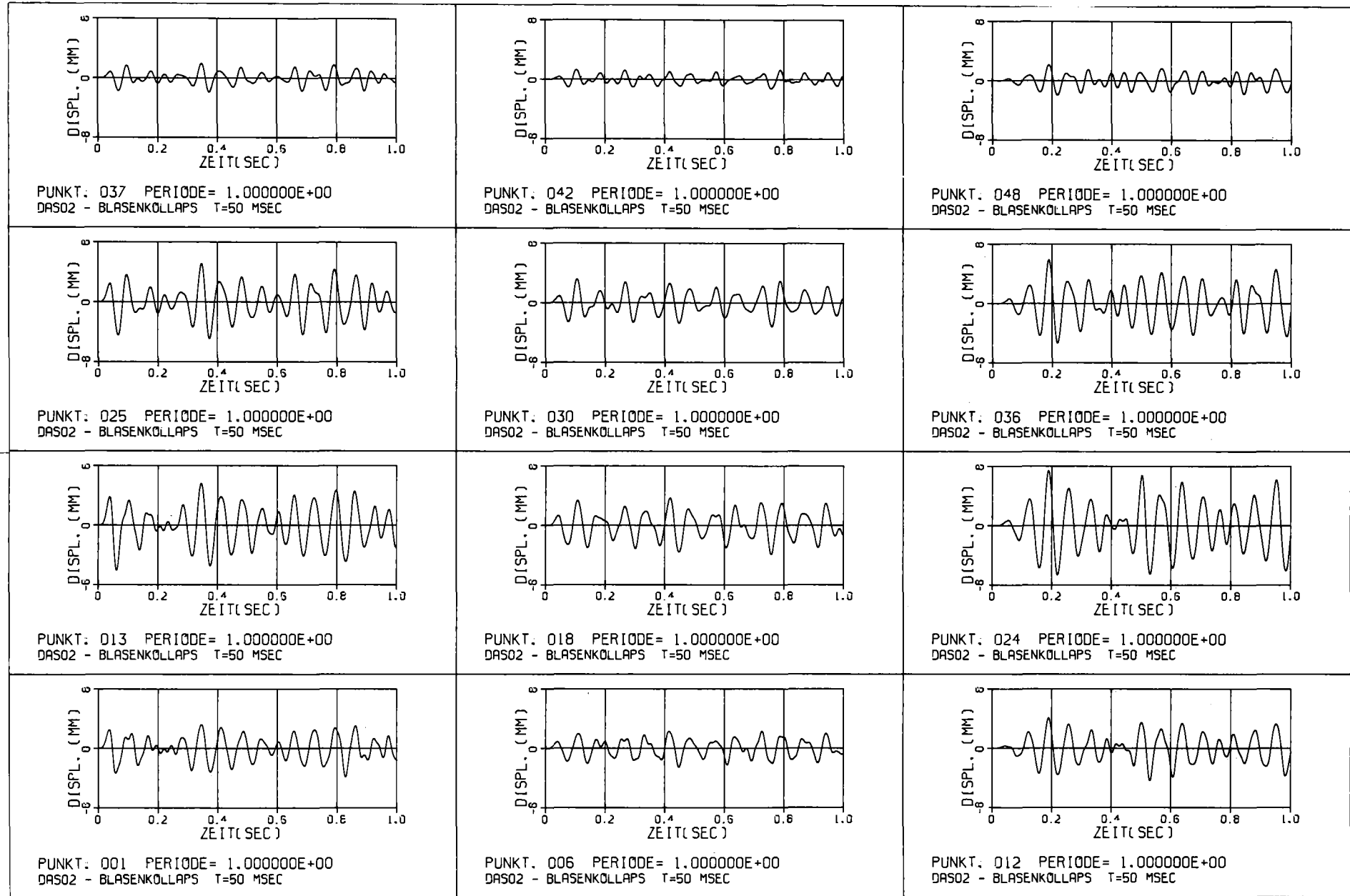
Radialauslenkung, DAS02, Blaskollaps 2



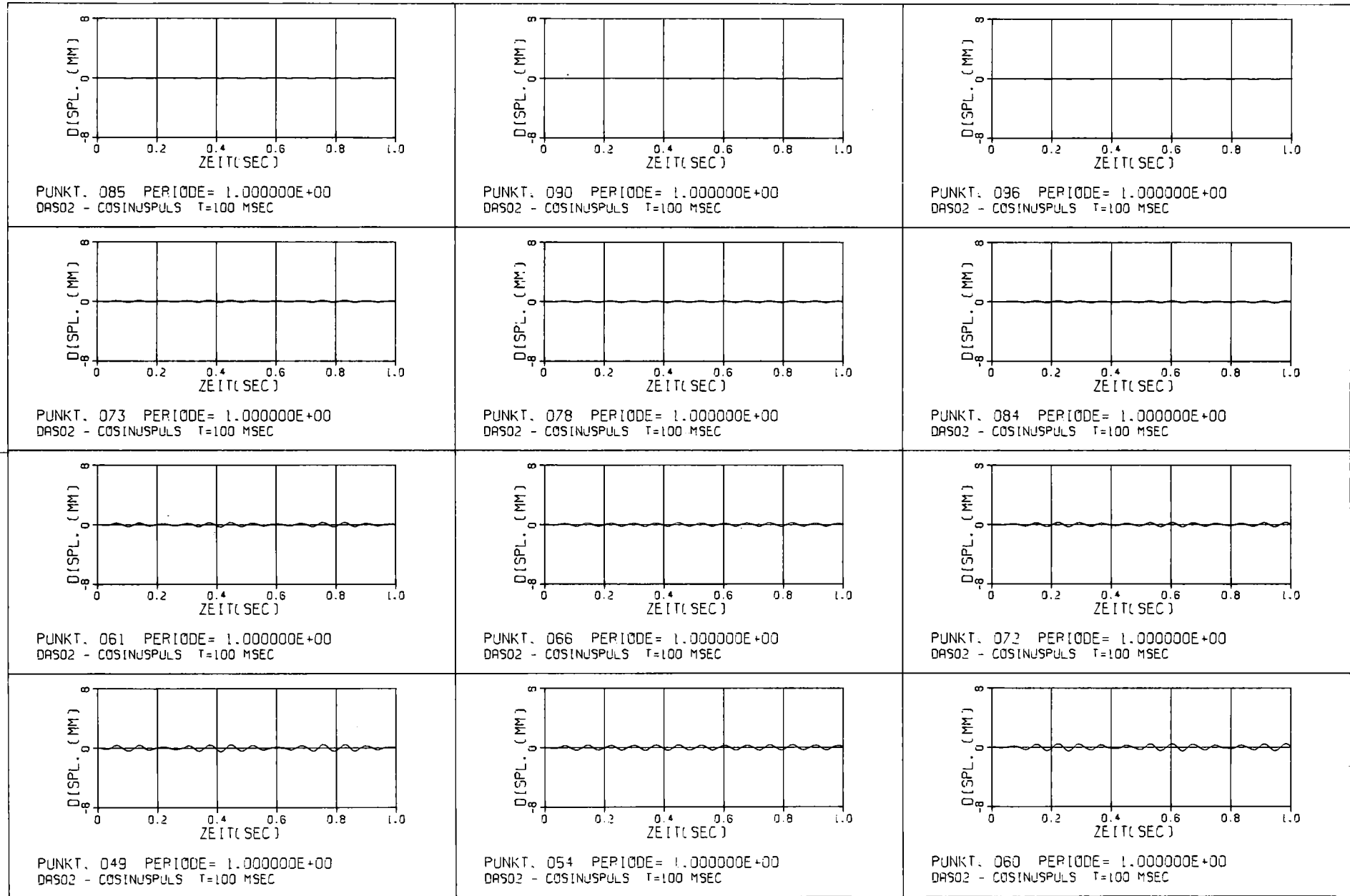
Radialauslenkung, DAS02, Blaskollaps 2



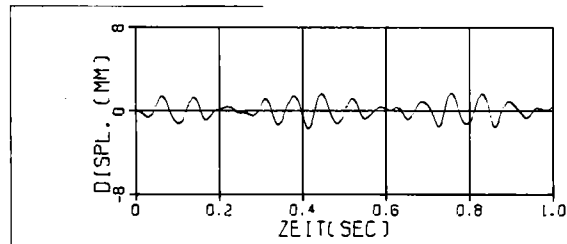
Radialauslenkung, DAS02, Blasenkolllaps 3



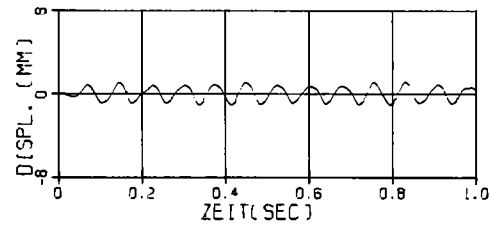
Radialauslenkung, DAS02, Blaskollaps 3



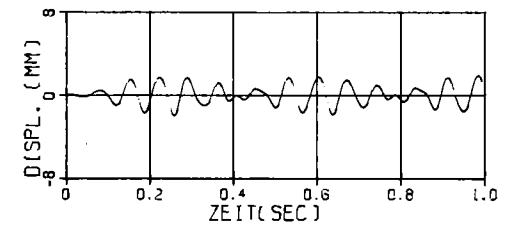
Radialauslenkung, DAS02, Blasenkollaps 5



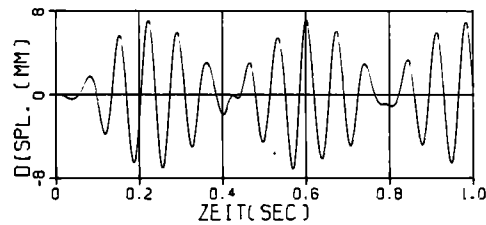
PUNKT. 037 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



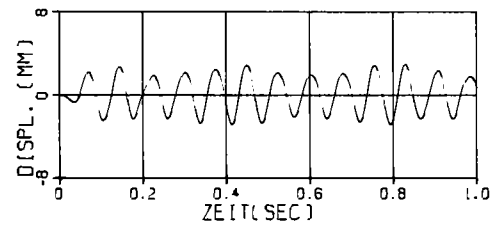
PUNKT. 042 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



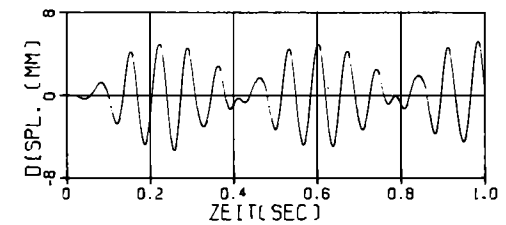
PUNKT. 048 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



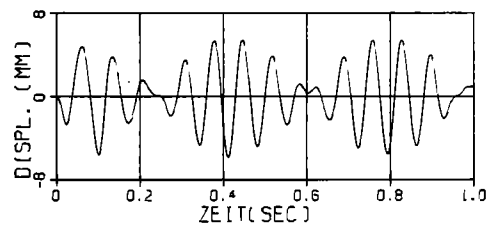
PUNKT. 024 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



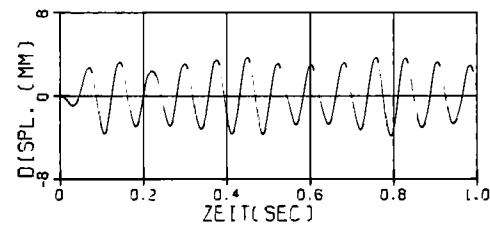
PUNKT. 030 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



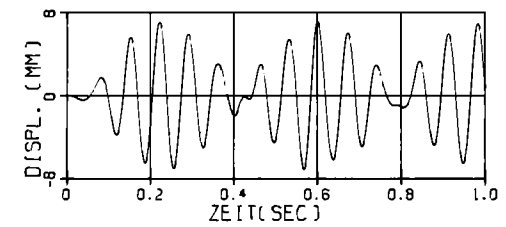
PUNKT. 036 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



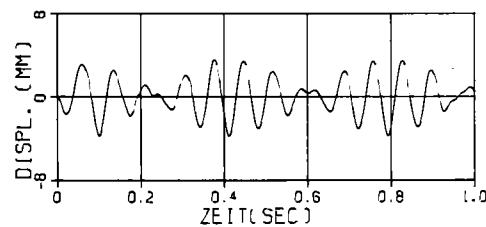
PUNKT. 013 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



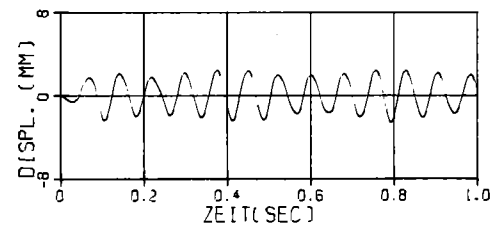
PUNKT. 018 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



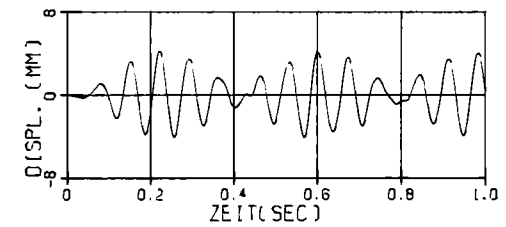
PUNKT. 024 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



PUNKT. 001 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



PUNKT. 006 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC



PUNKT. 012 PERIODE= 1.000000E+00
DAS02 - COSINUSPULS T=100 MSEC

Radialauslenkung, DAS02, Blaskollaps 5

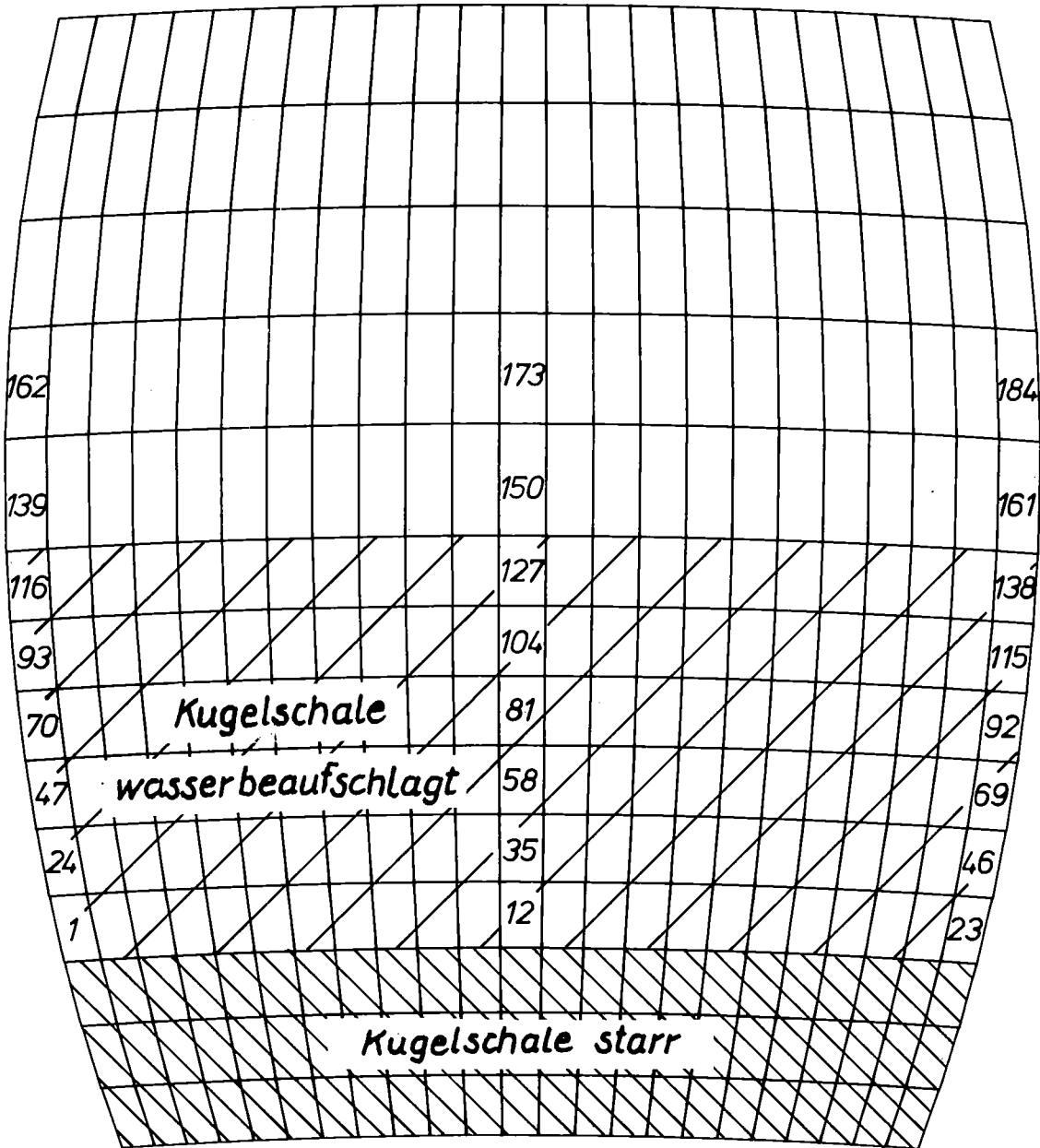
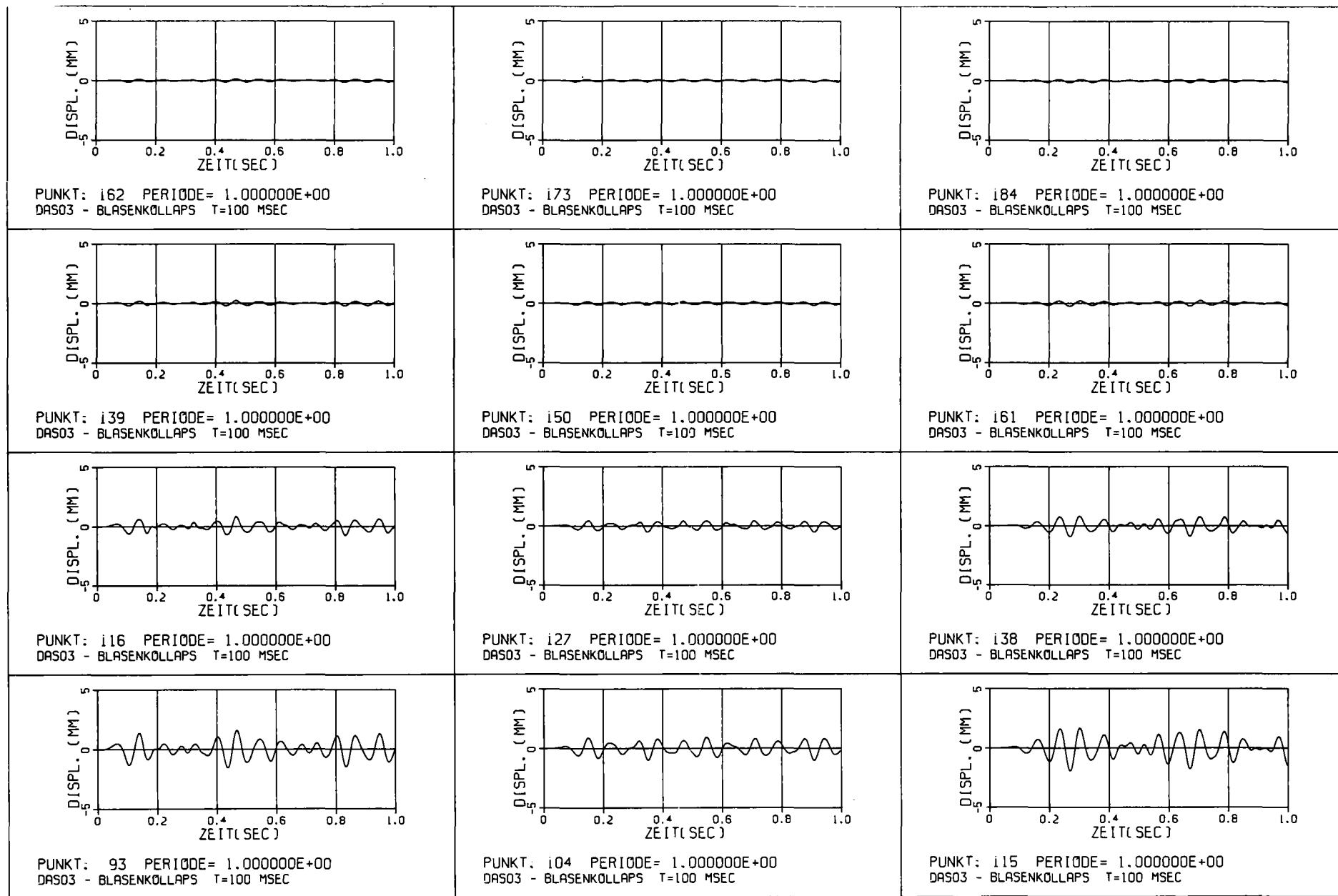
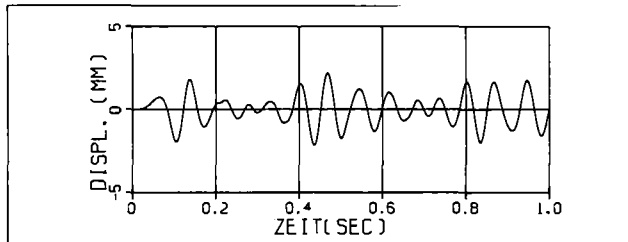


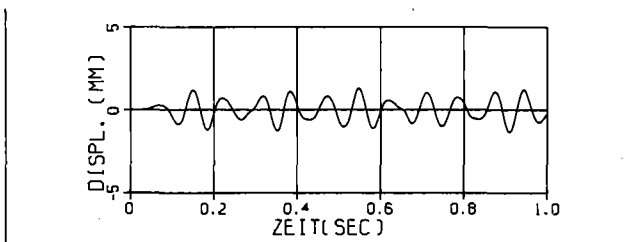
Abb. 11: Punkte in denen die Schalenauslenkung für DAS03/DAS04/DAS05 dargestellt sind



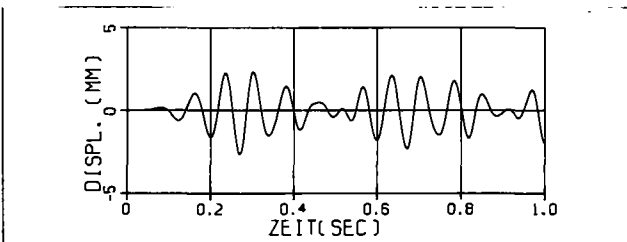
Radialauslenkung, DAS03, Blaskollaps 1



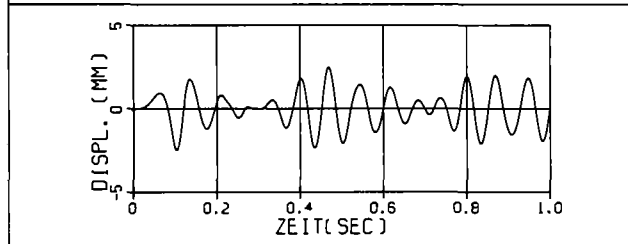
PUNKT: 70 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



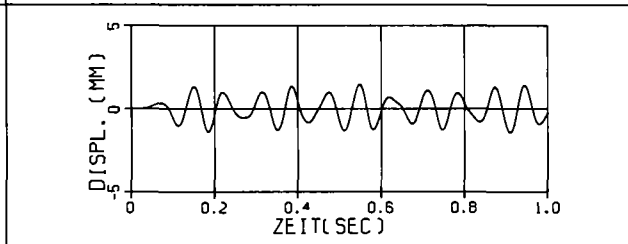
PUNKT: 81 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



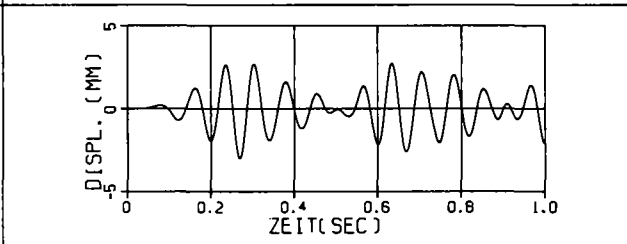
PUNKT: 92 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



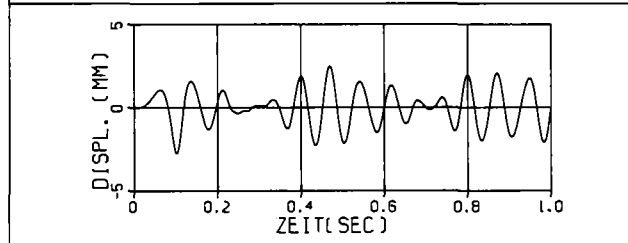
PUNKT: 47 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



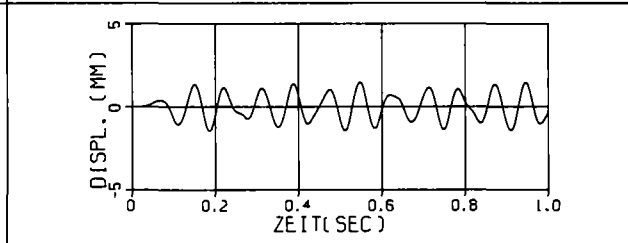
PUNKT: 58 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



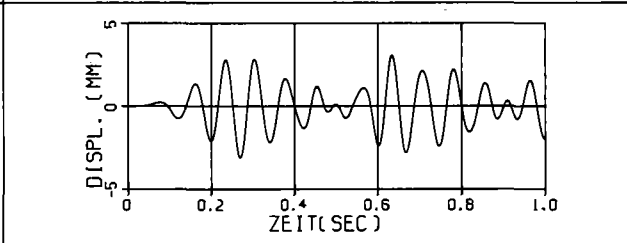
PUNKT: 69 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



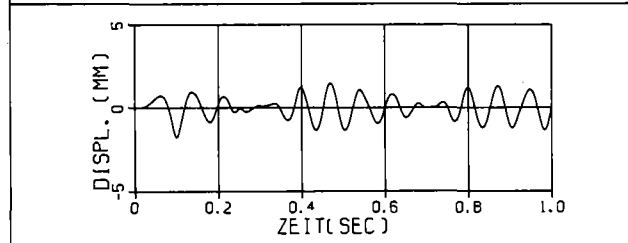
PUNKT: 24 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



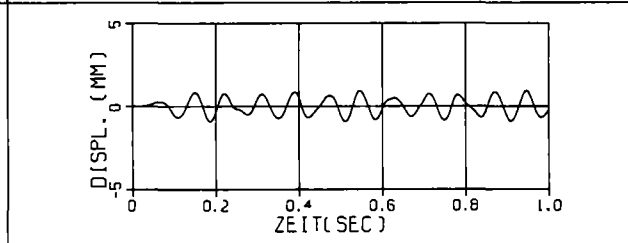
PUNKT: 35 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



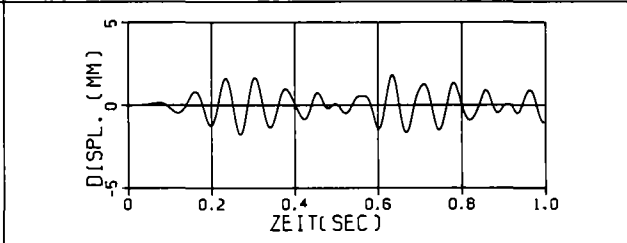
PUNKT: 46 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC



PUNKT: 1 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC

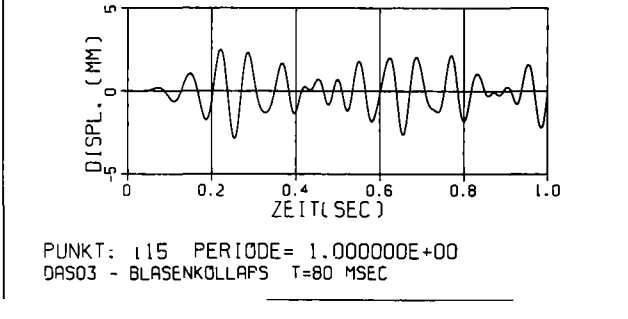
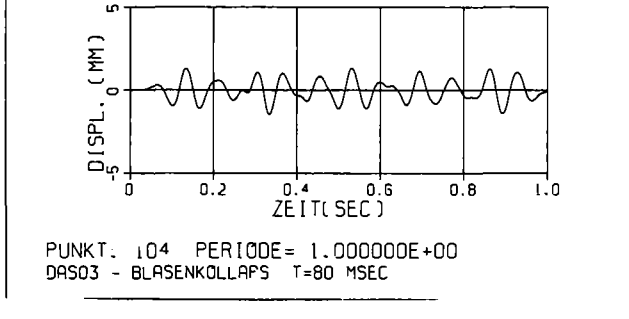
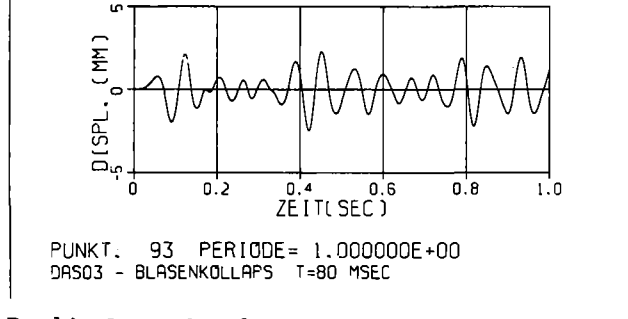
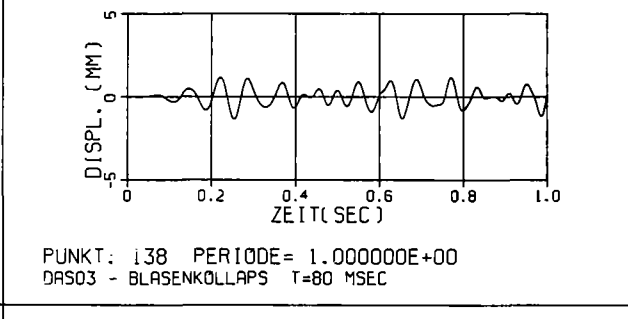
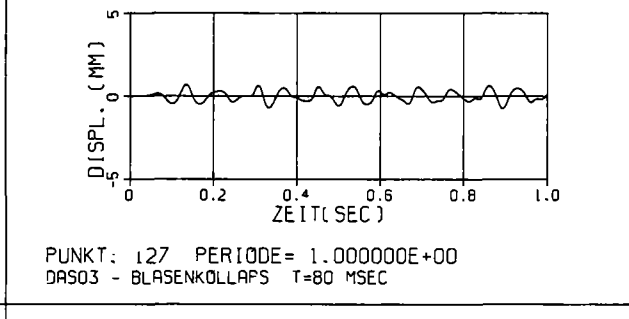
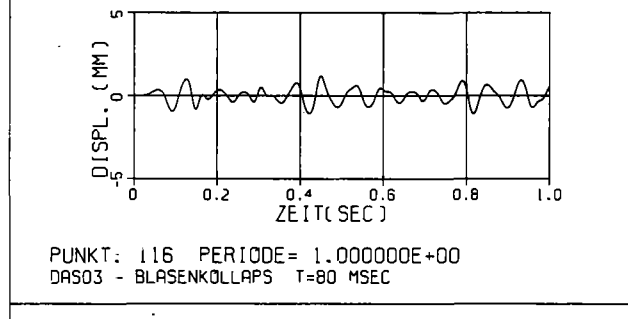
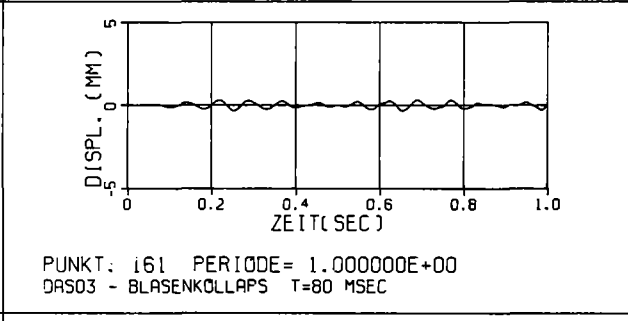
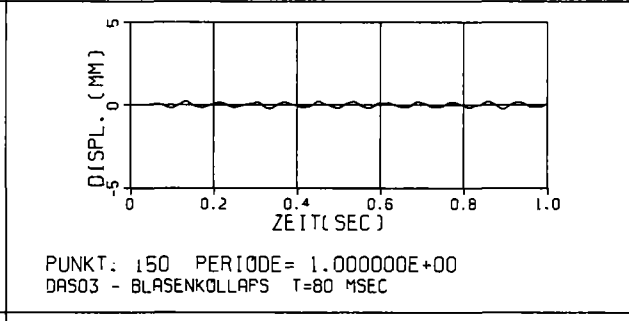
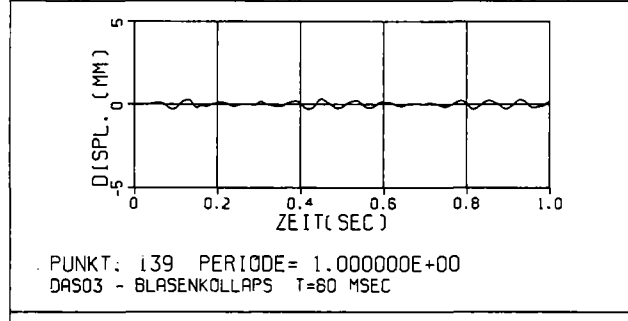
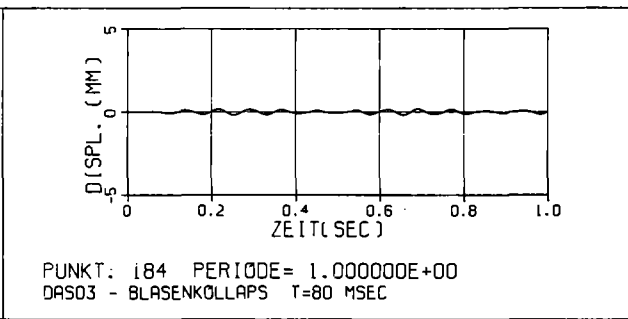
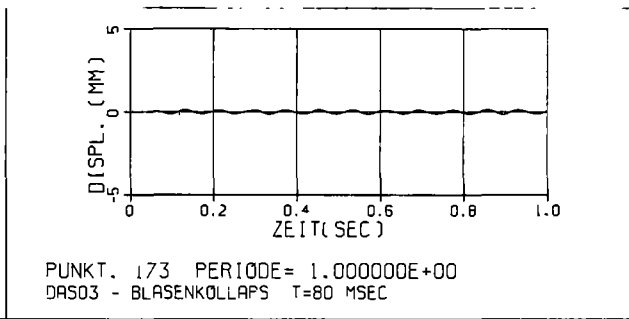
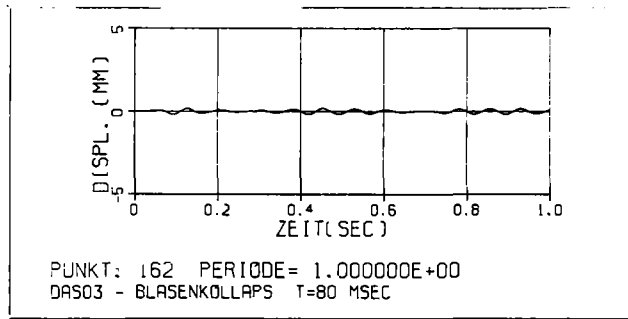


PUNKT: 12 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC

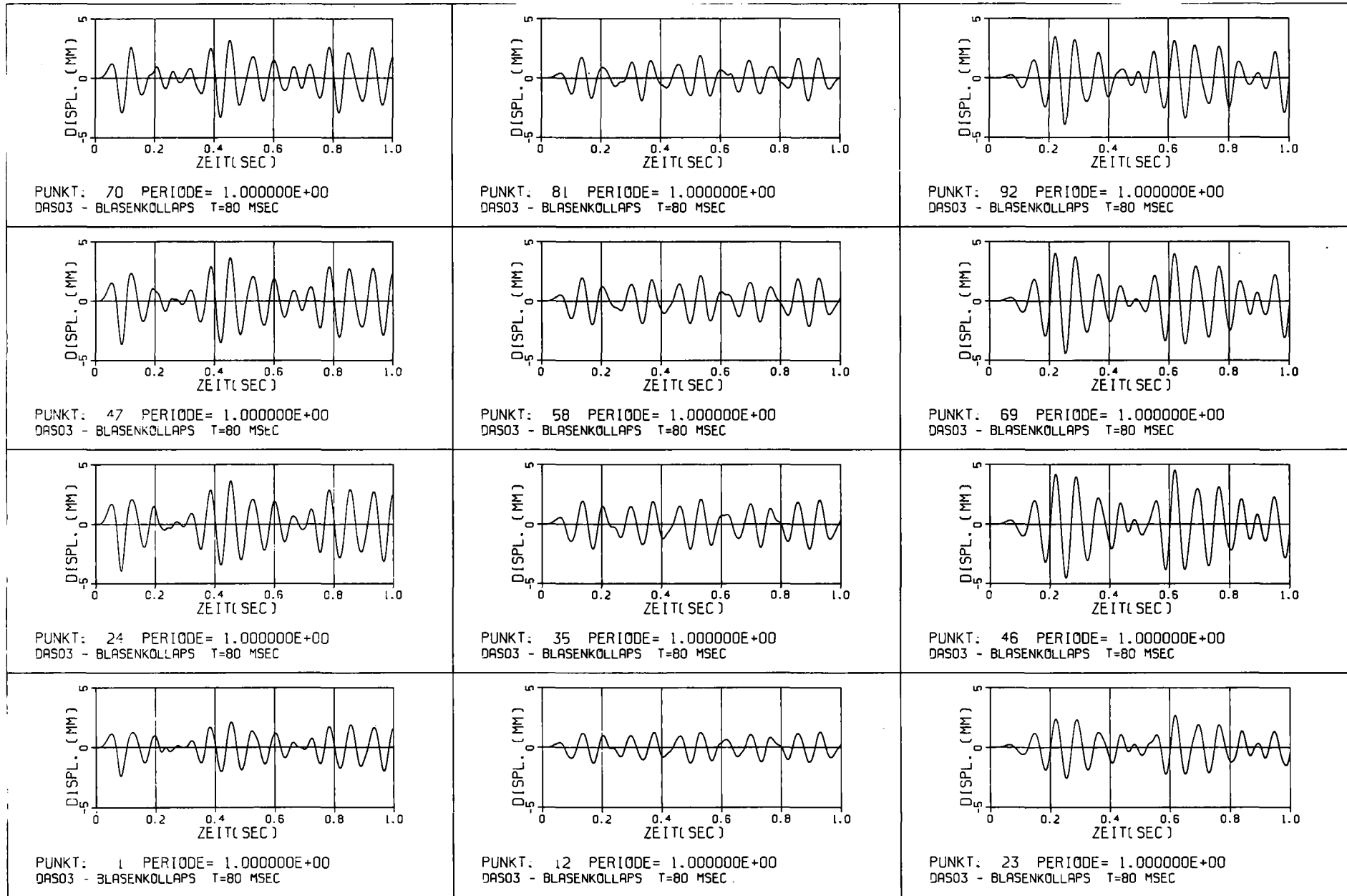


PUNKT: 23 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS03 - BLASENKOLLAPS T=100 MSEC

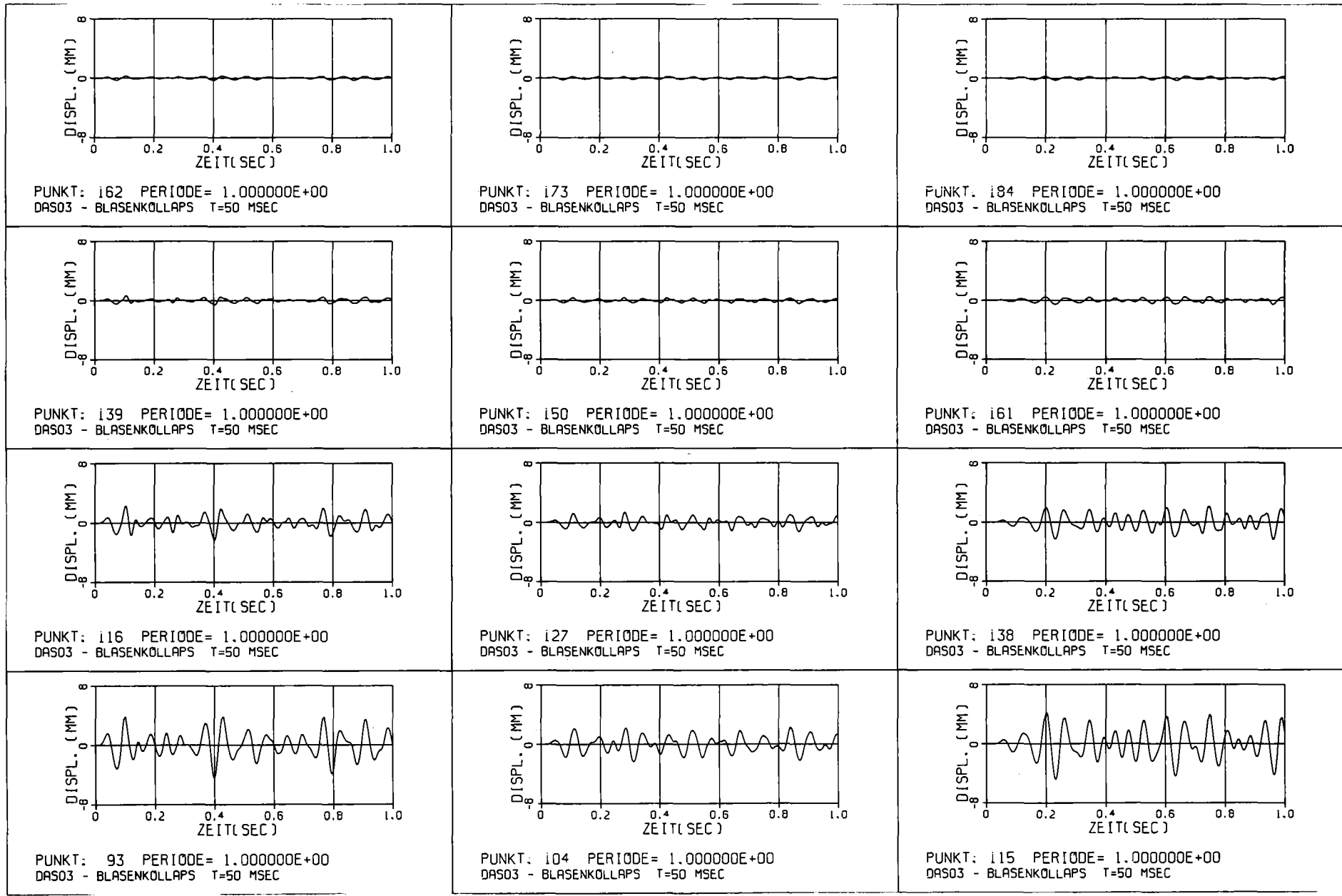
Radialauslenkung, DAS03, Blasenknollaps 1



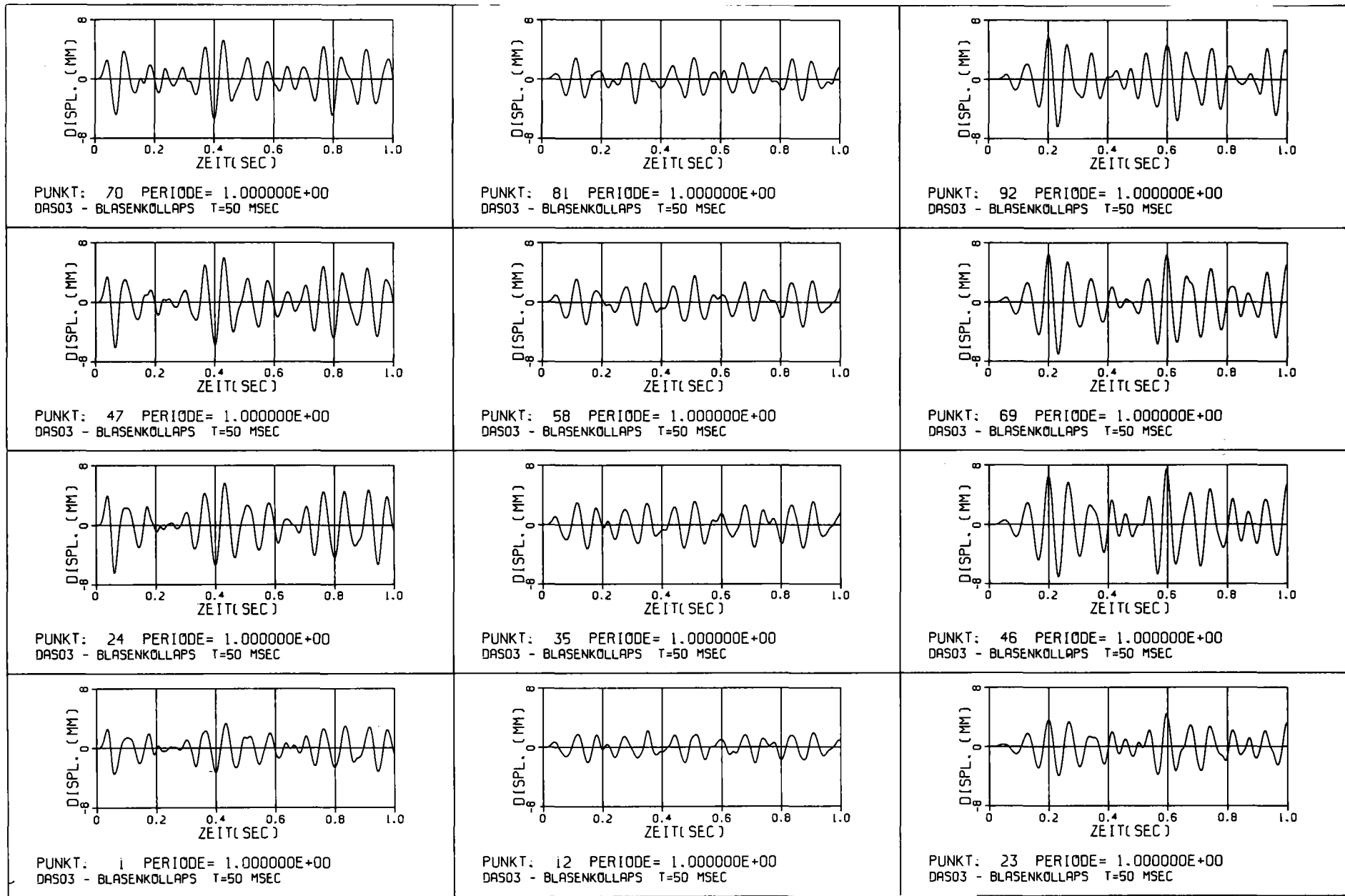
Radialauslenkung, DAS03, Blaskollaps 2



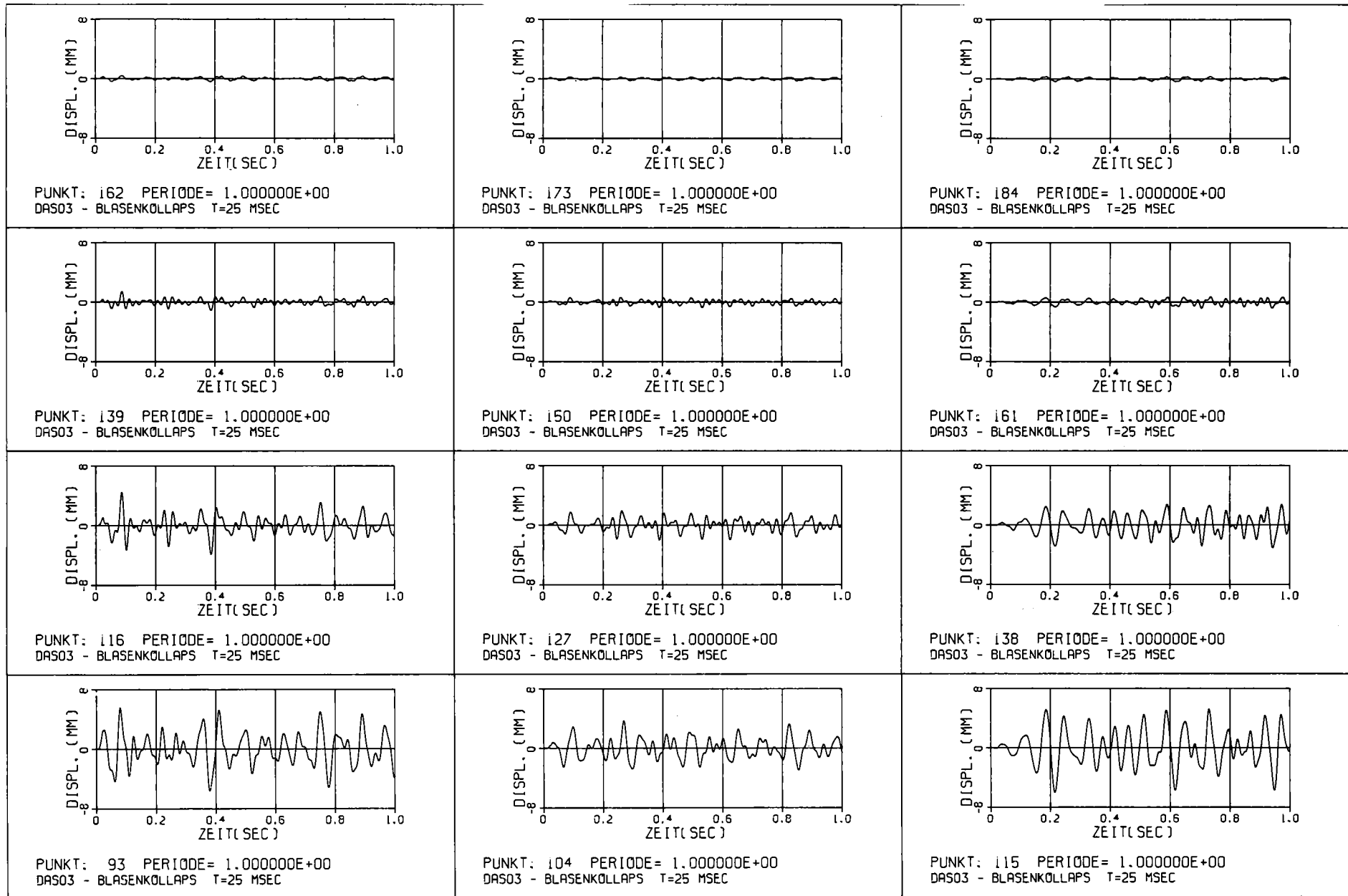
Radialauslenkung, DAS03, Blaskenkollaps 2



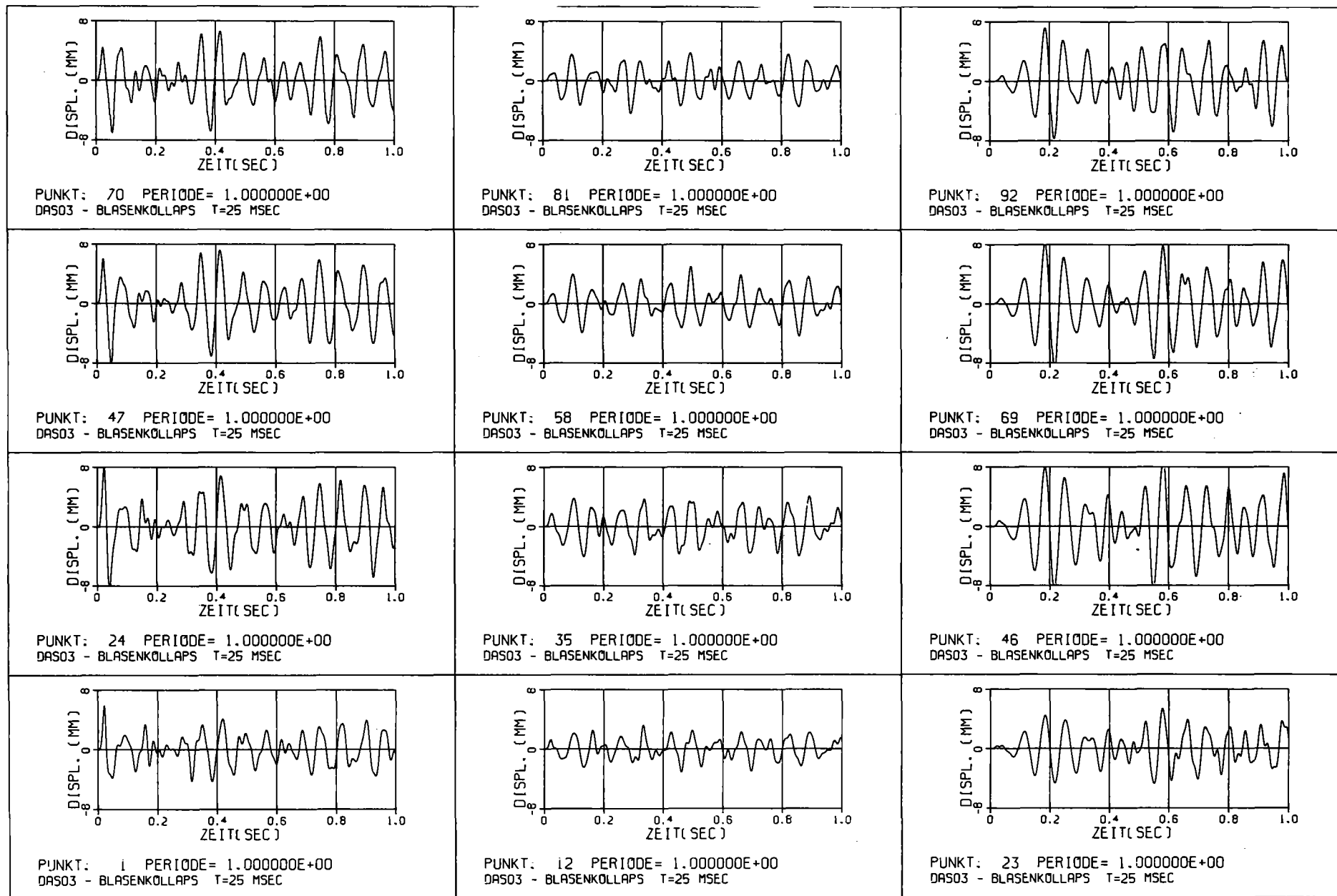
Radialauslenkung, DAS03, Blasenkolllaps 3



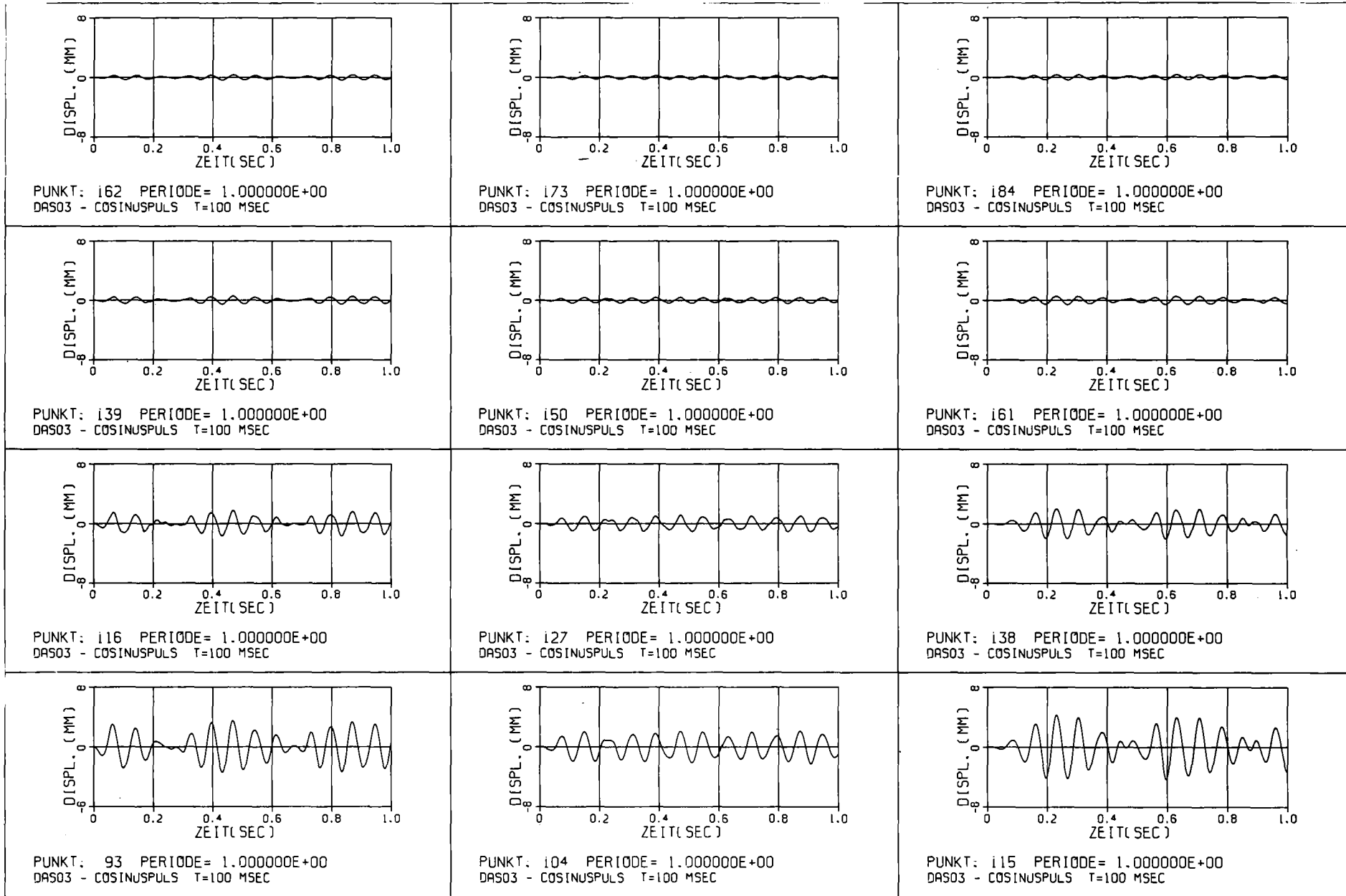
Radialauslenkung, DAS03, Blaskollaps 3



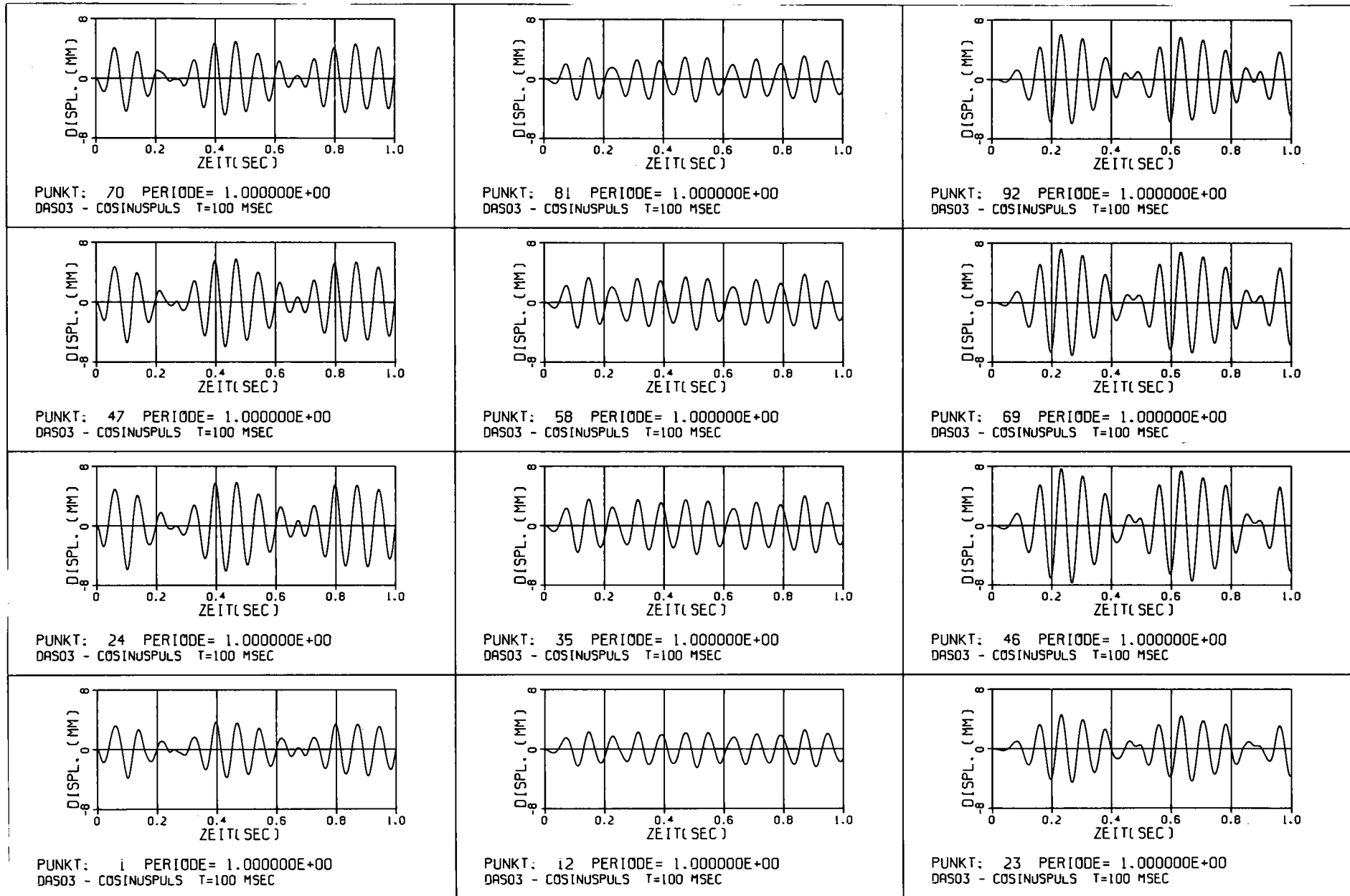
Radialauslenkung, DAS03, Blaskollaps 4



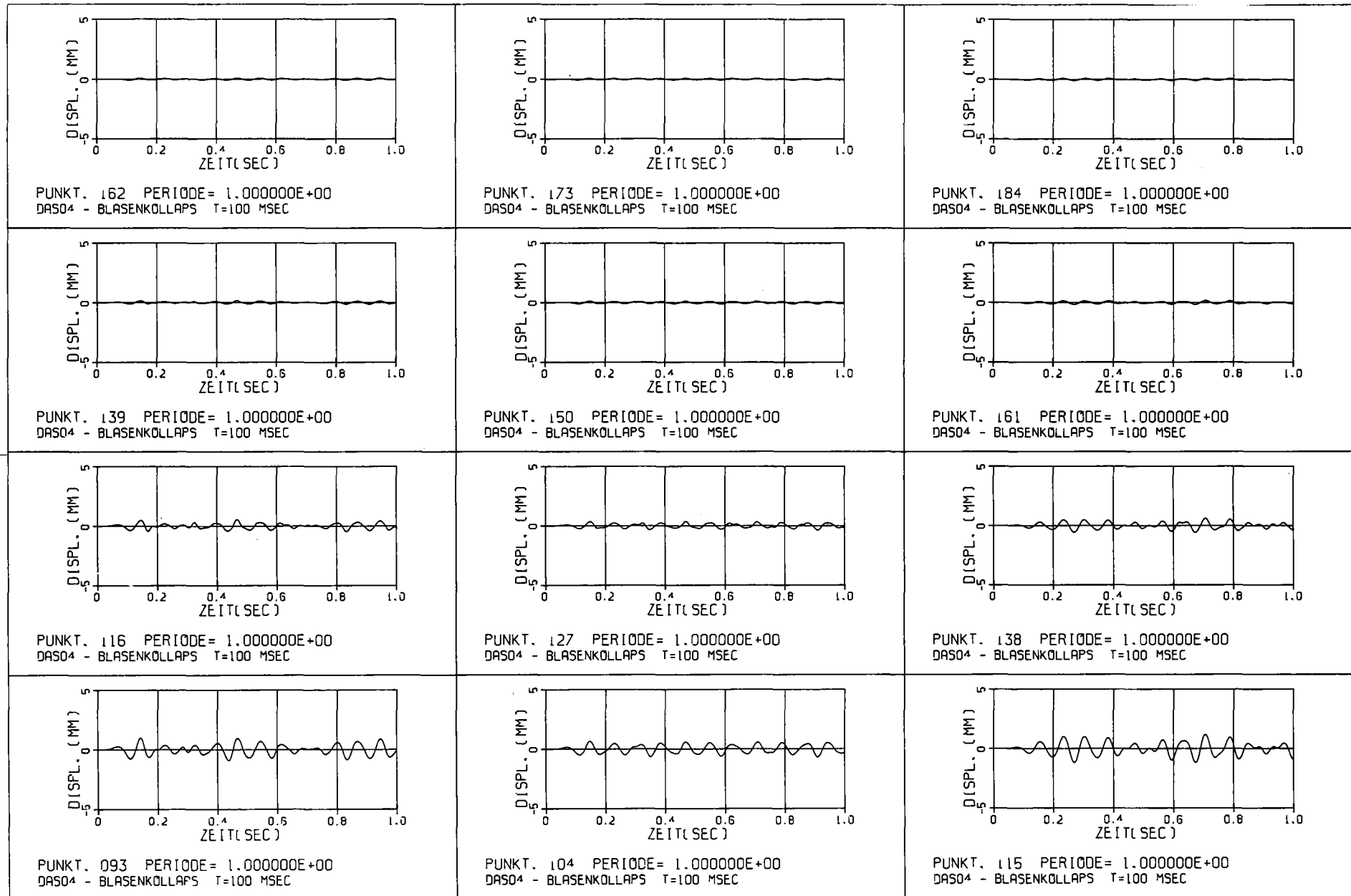
Radialauslenkung, DAS03, Blaskenkollaps 4



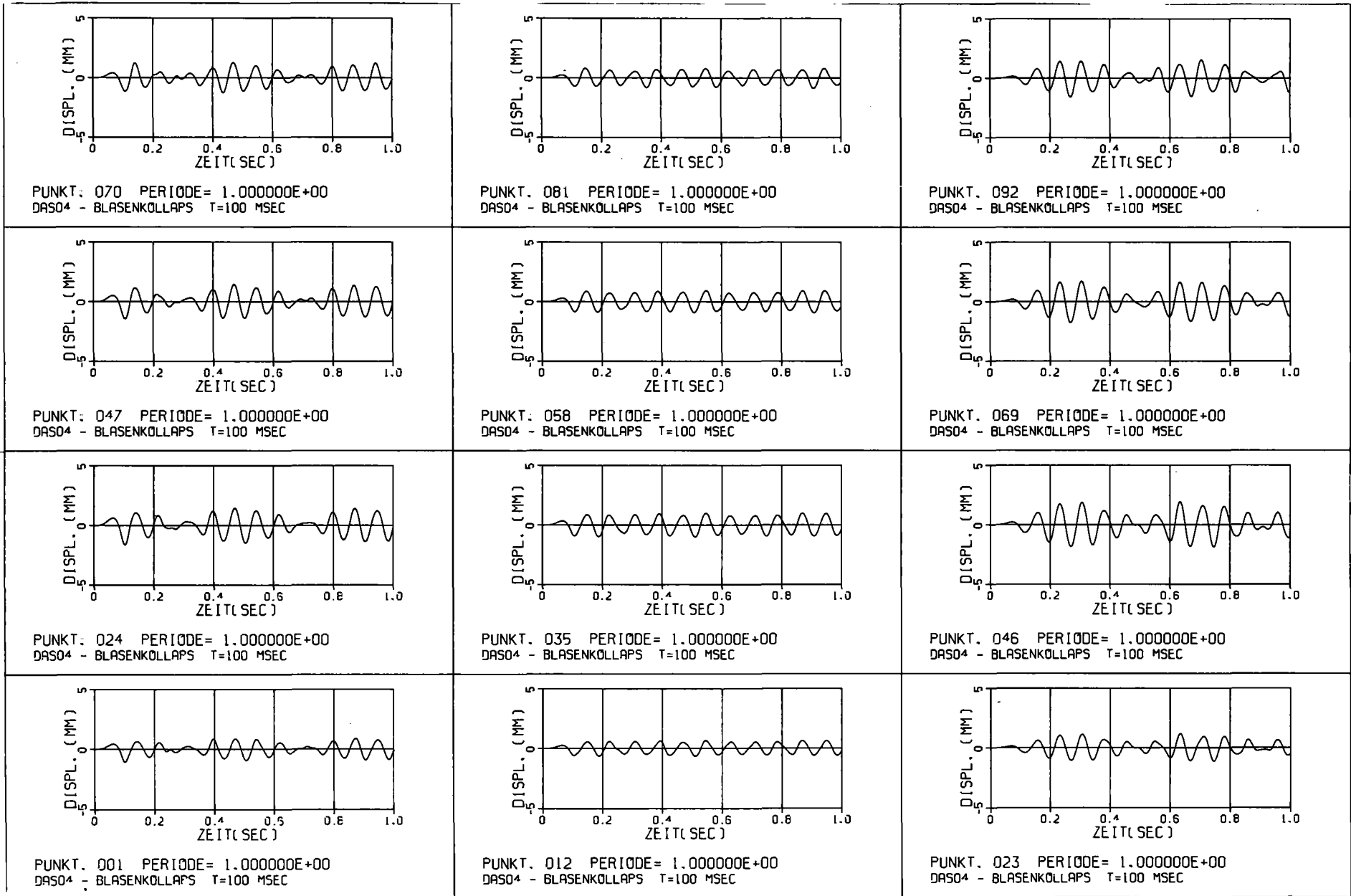
Radialauslenkung, DAS03, Blasenkolllaps 5



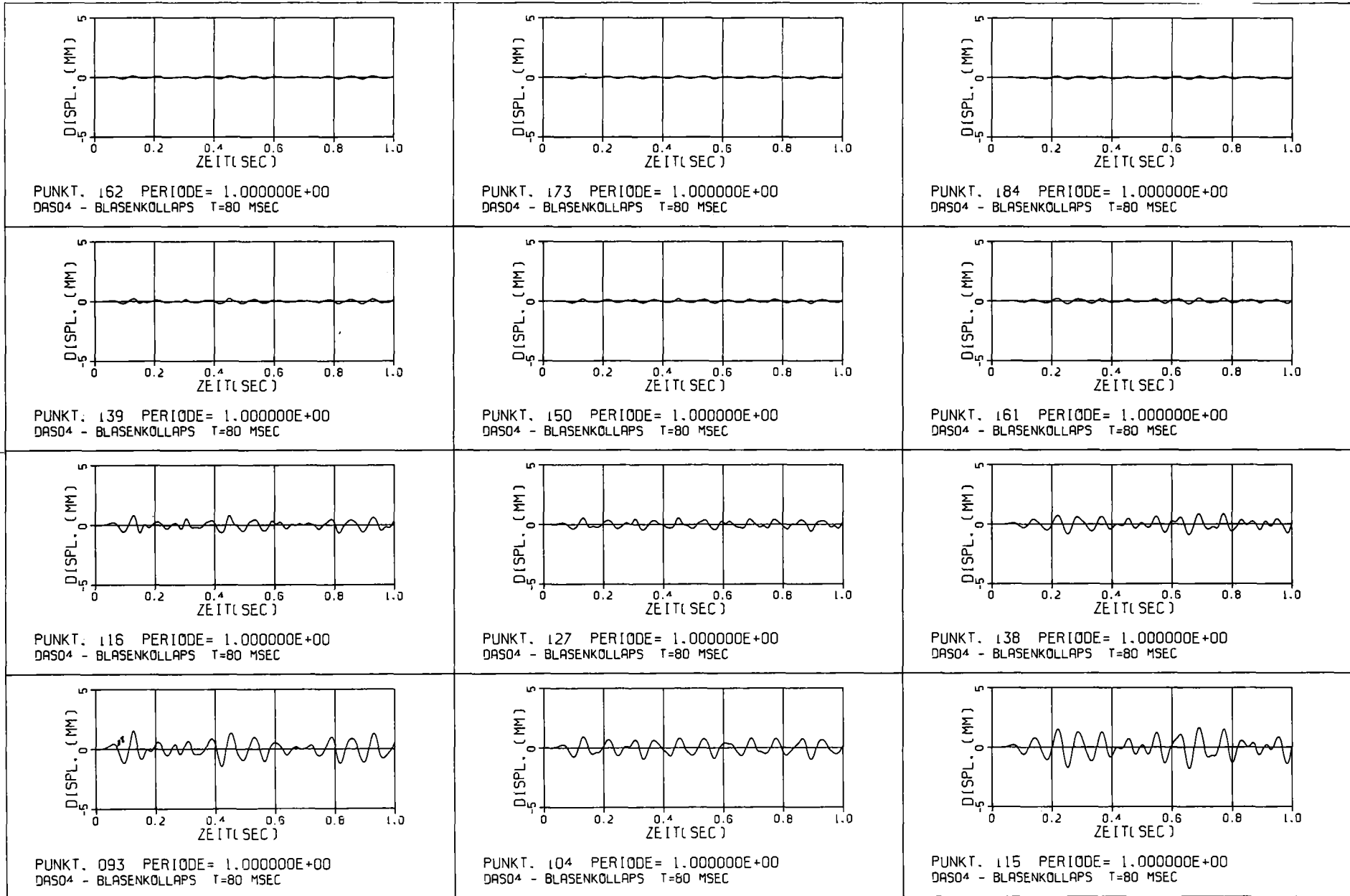
Radialauslenkung, DAS03, Blaskollaps 5



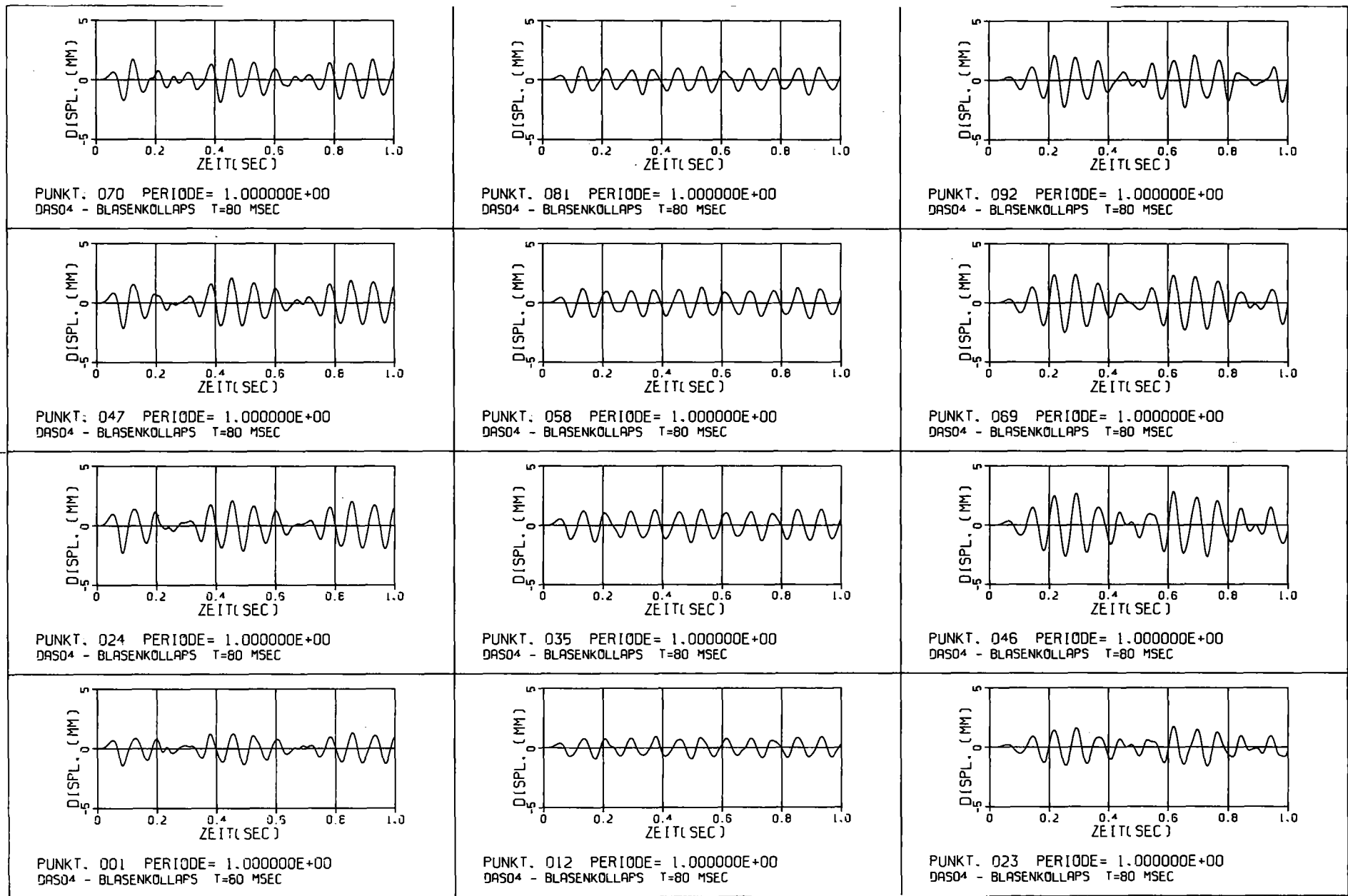
Radialauslenkung, DAS04, Blasen kollaps 1



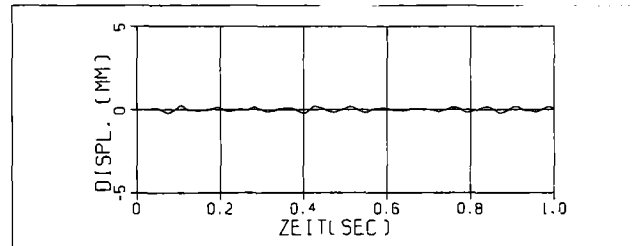
Radialauslenkung, DAS04, Blasenkolllaps 1



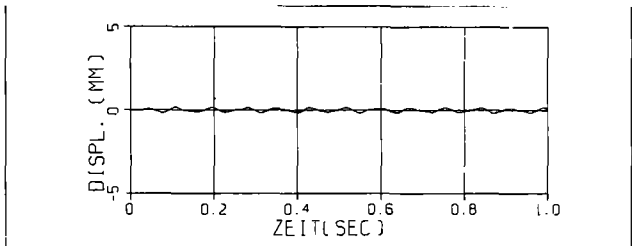
Radialauslenkung, DAS04, Blasenknollaps 2



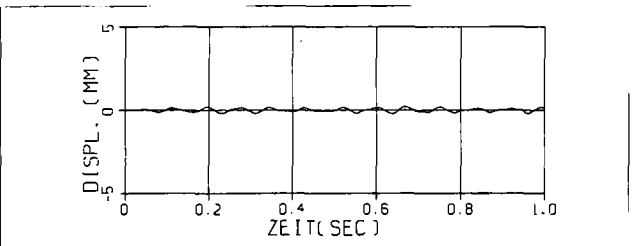
Radialauslenkung, DAS04, Blasenkolllaps 2



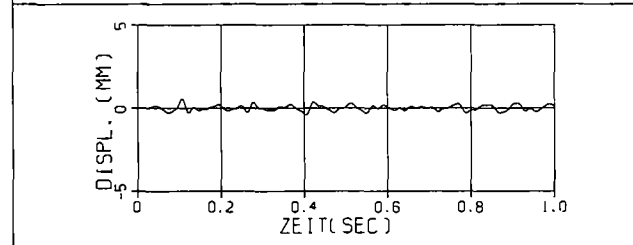
PUNKT: 162 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



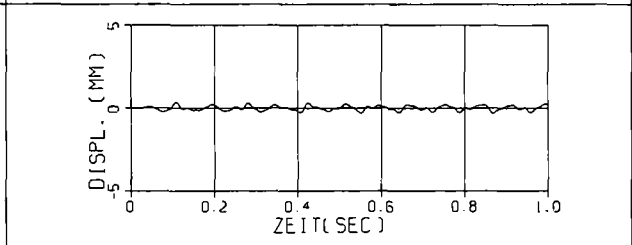
PUNKT: 173 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



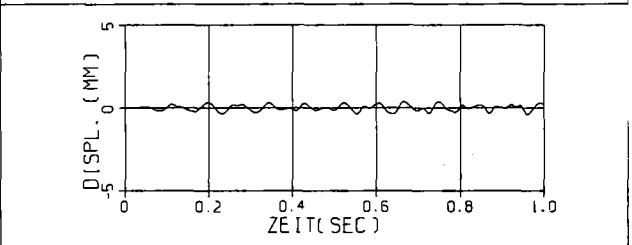
PUNKT: 184 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



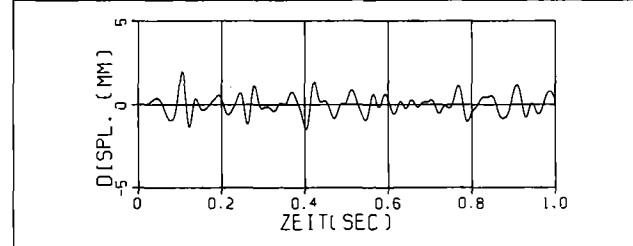
PUNKT: 139 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



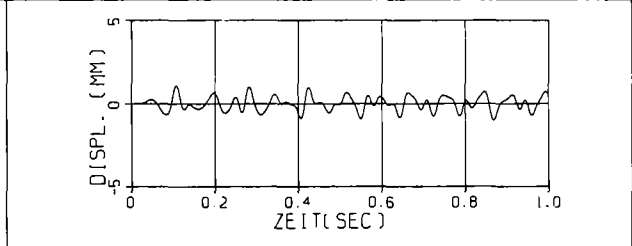
PUNKT: 150 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



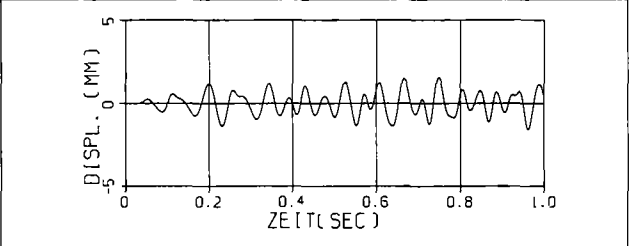
PUNKT: 161 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



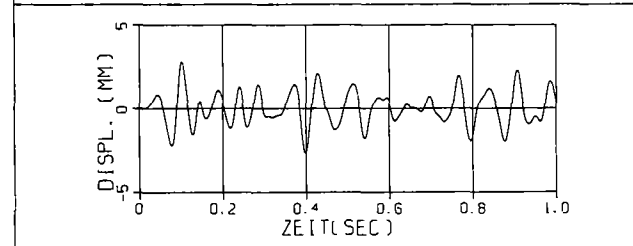
PUNKT: 116 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



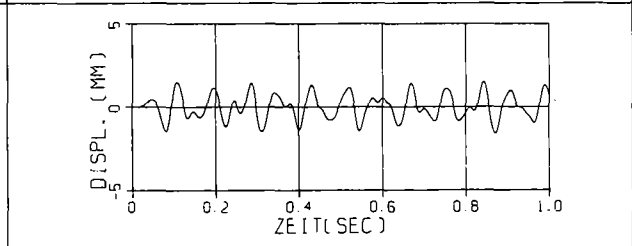
PUNKT: 127 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



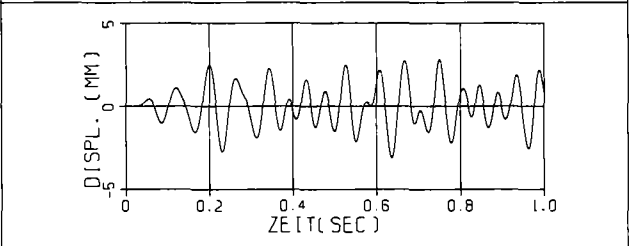
PUNKT: 138 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC



PUNKT: 093 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC

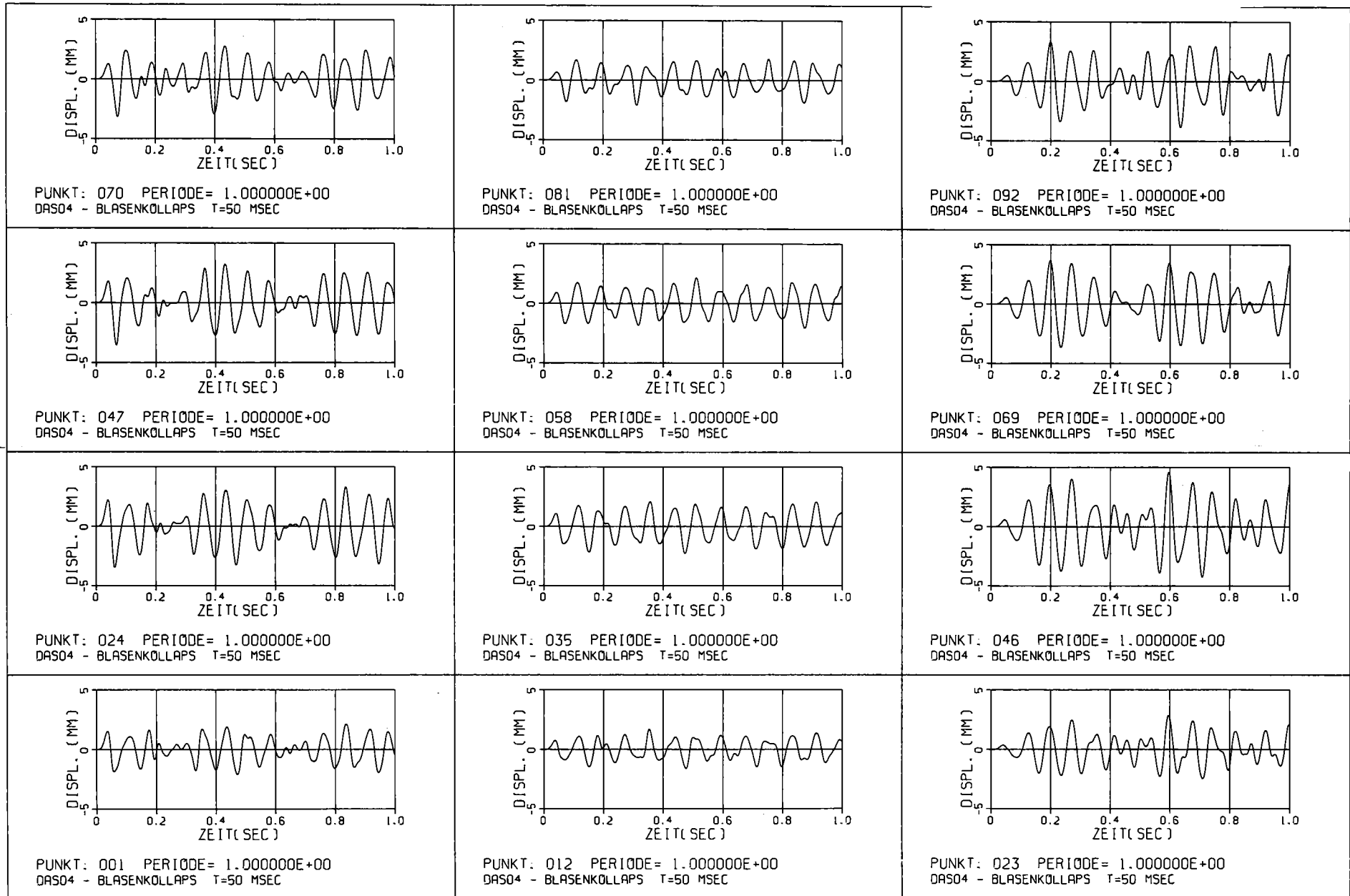


PUNKT: 104 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC

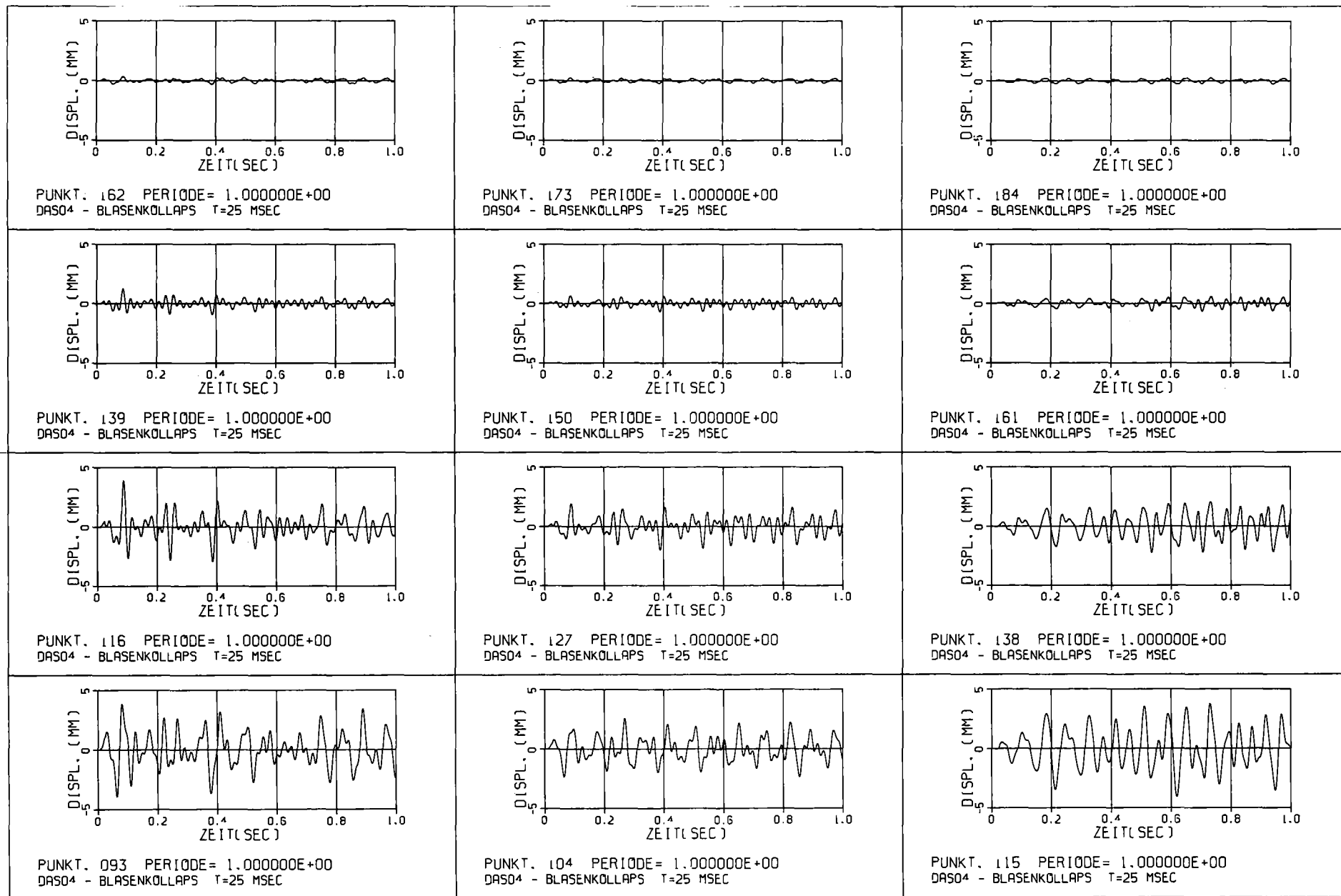


PUNKT: 115 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=50 MSEC

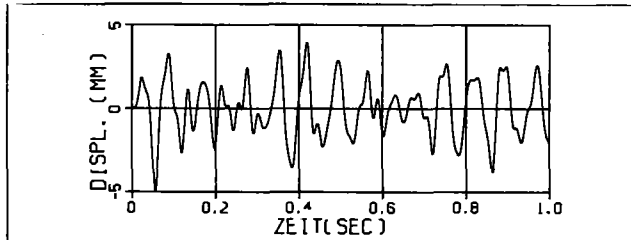
Radialauslenkung, DAS04, Blasenkolllaps 3



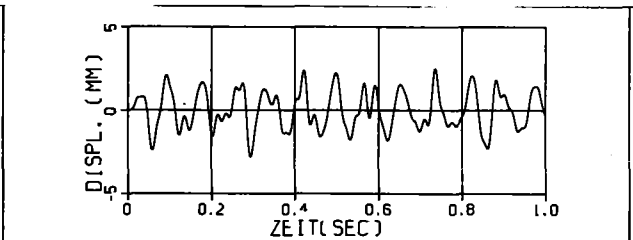
Radialauslenkung, DAS04, Blaskollaps 3



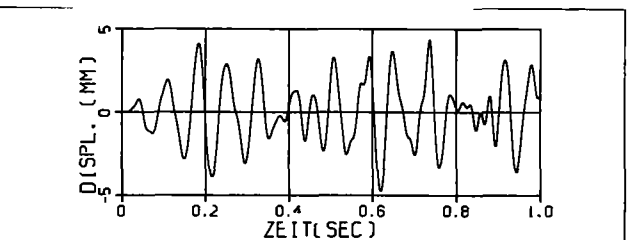
Radialauslenkung, DAS04, Blaskollaps 4



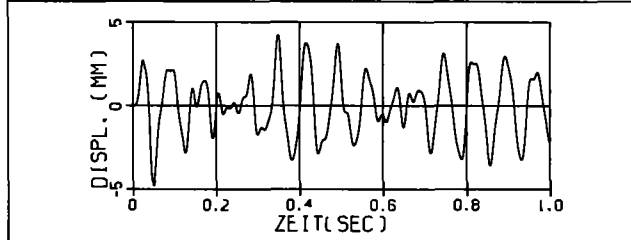
PUNKT: 070 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



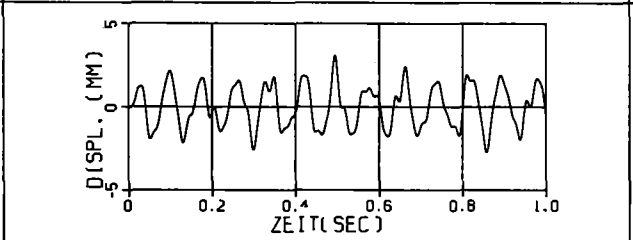
PUNKT: 081 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



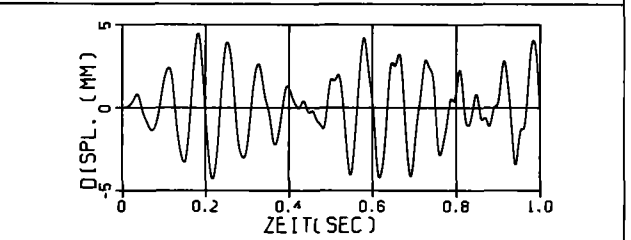
PUNKT: 092 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



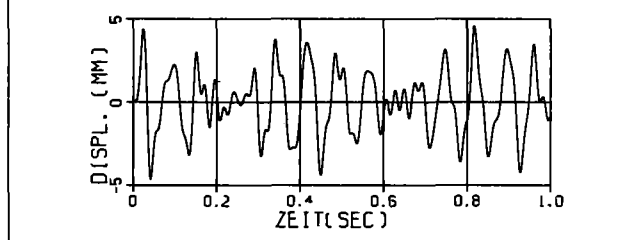
PUNKT: 047 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



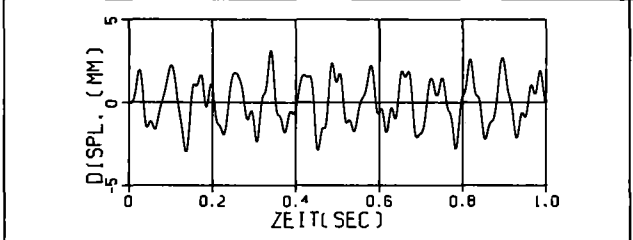
PUNKT: 058 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



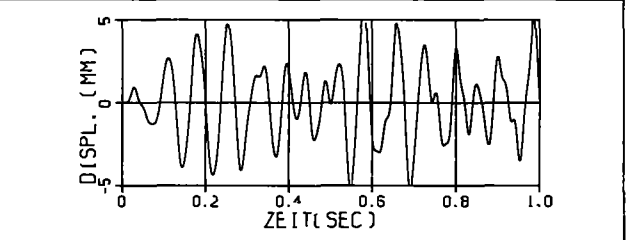
PUNKT: 069 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



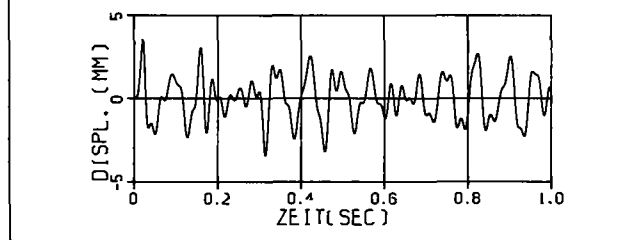
PUNKT: 024 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



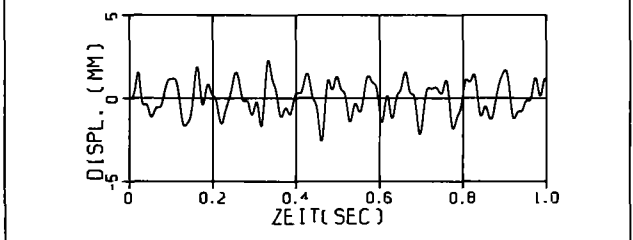
PUNKT: 035 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



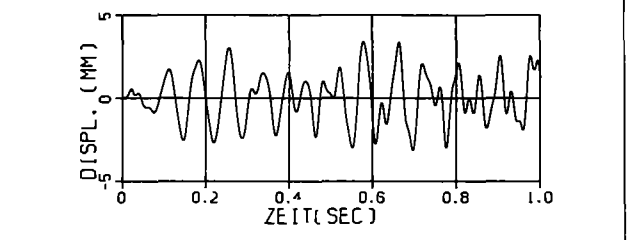
PUNKT: 046 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC



PUNKT: 001 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC

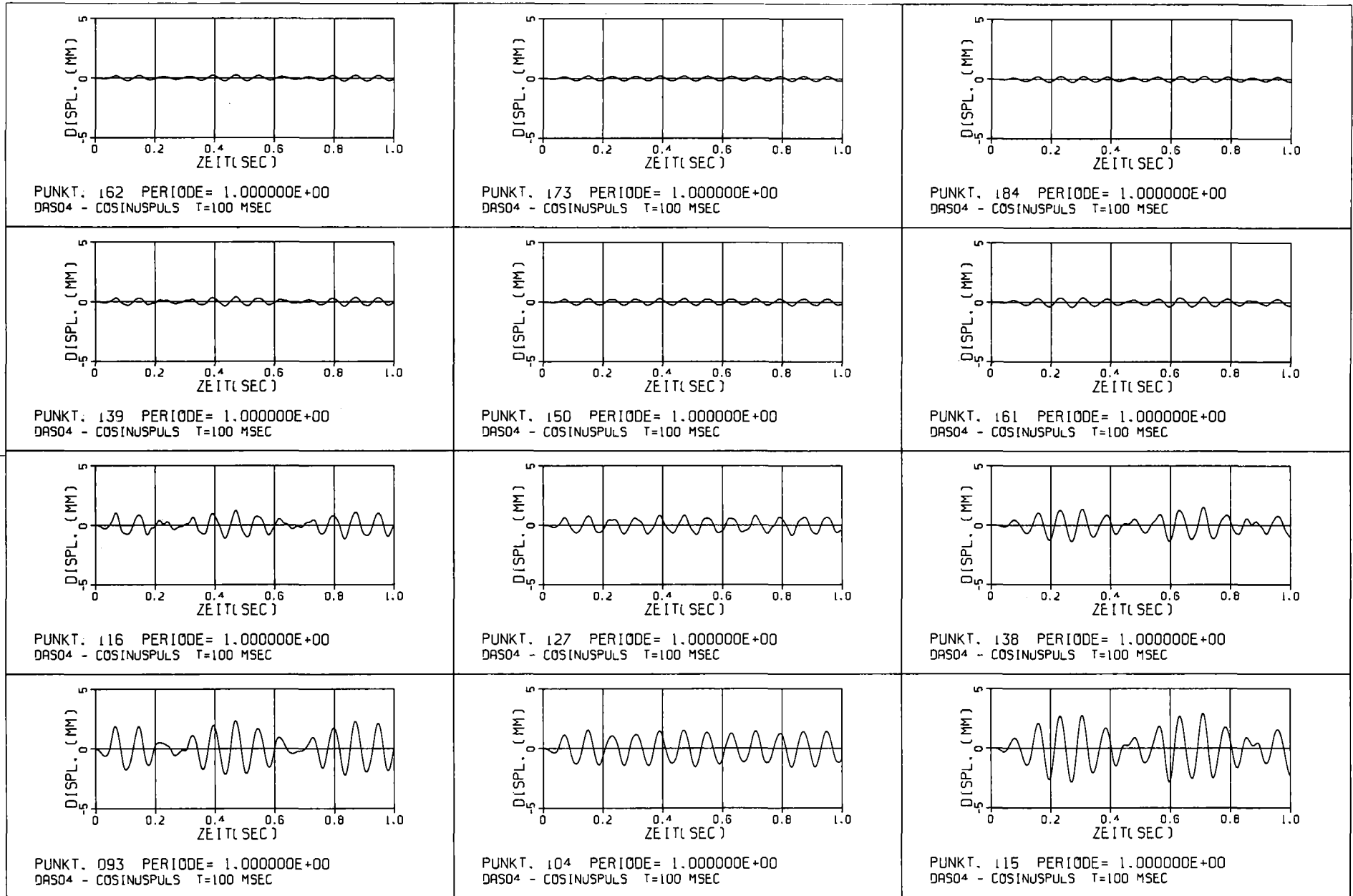


PUNKT: 012 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC

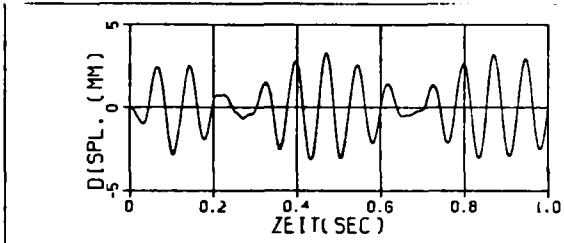


PUNKT: 023 PERIODE= 1.000000E+00
 DAS04 - BLASENKOLLAPS T=25 MSEC

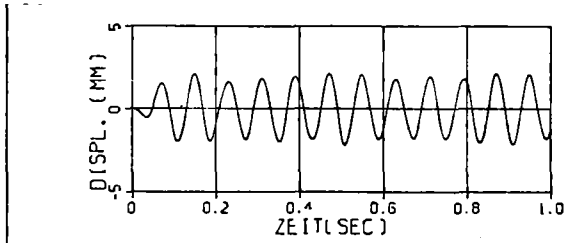
Radialauslenkung, DAS04, Blasenkolllaps 4



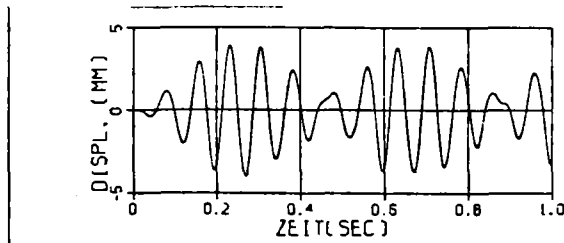
Radialauslenkung, DAS04, Blasen kollaps 5



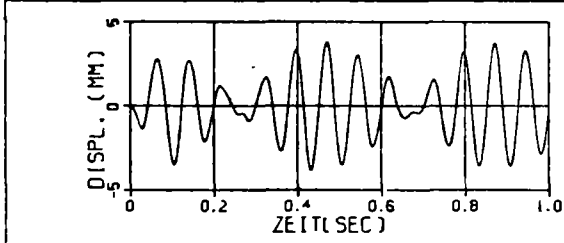
PUNKT. 070 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC



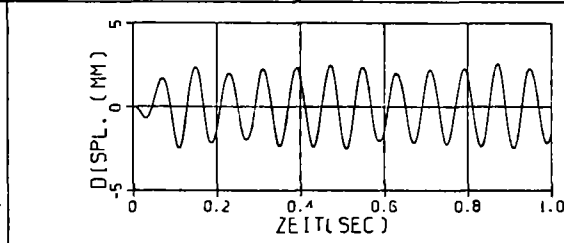
PUNKT. 081 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC



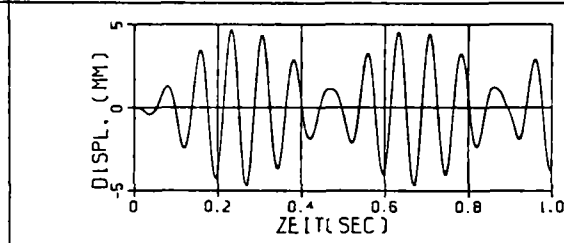
PUNKT. 092 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC



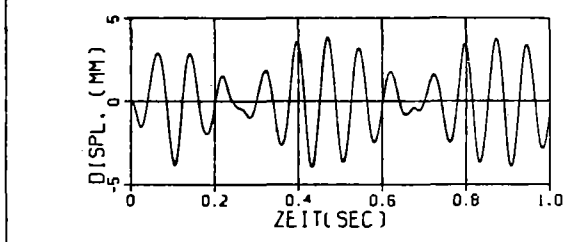
PUNKT. 047 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC



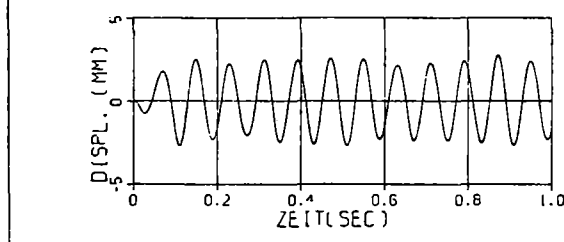
PUNKT. 058 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC



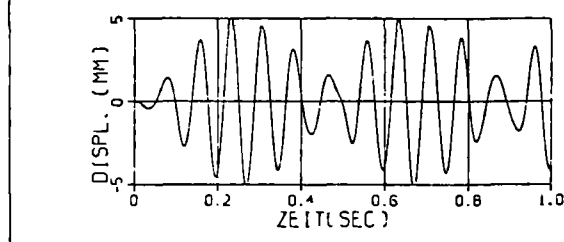
PUNKT. 069 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC



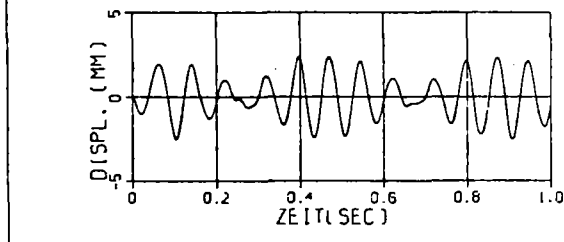
PUNKT. 024 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC



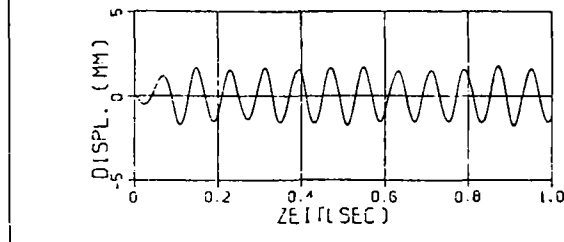
PUNKT. 035 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC



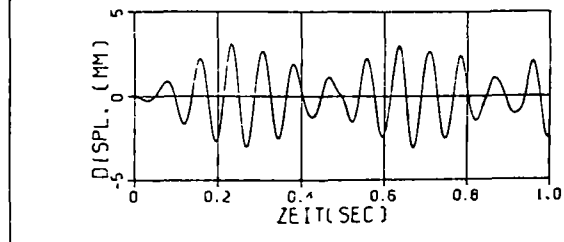
PUNKT. 046 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC



PUNKT. 001 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC

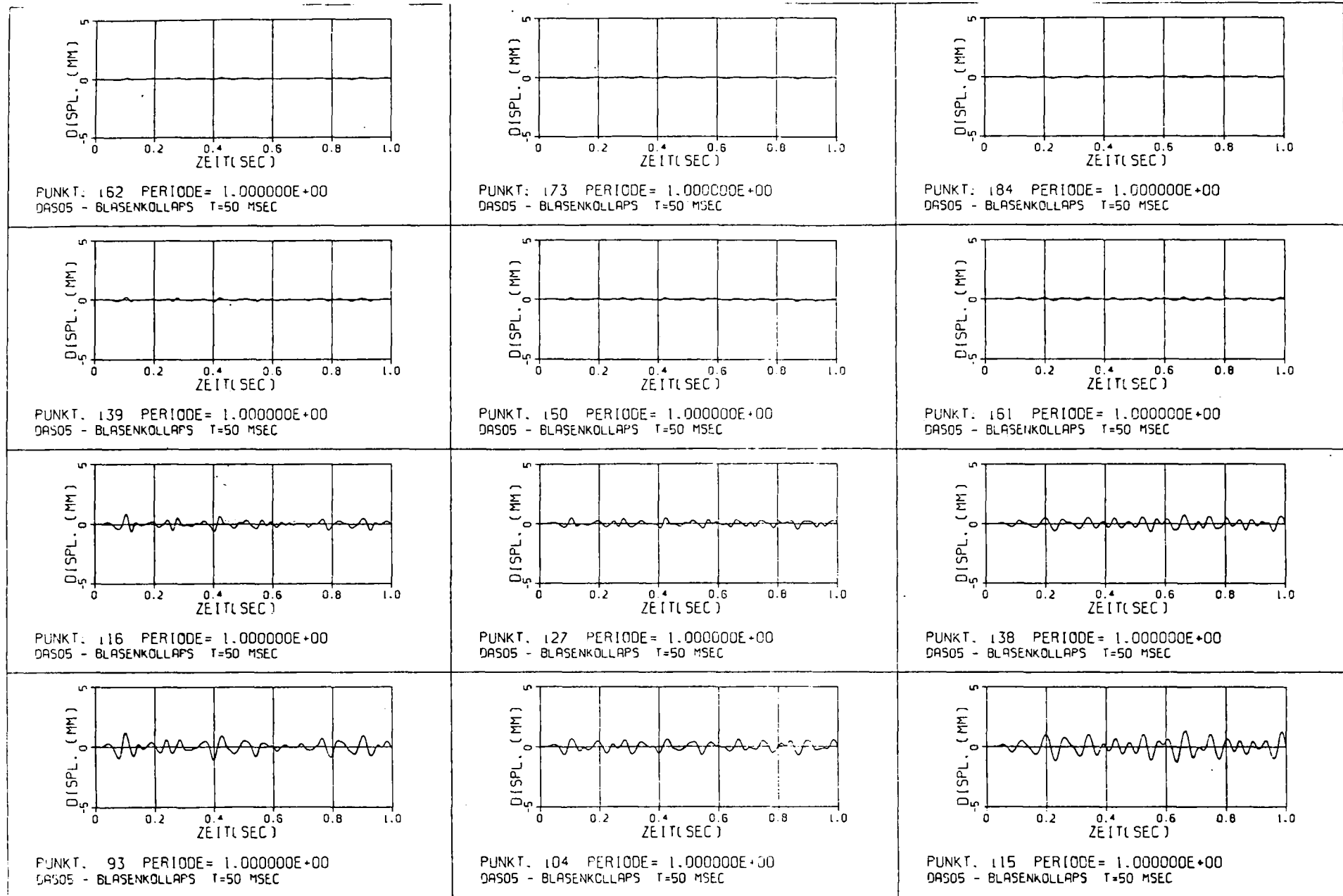


PUNKT. 012 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC

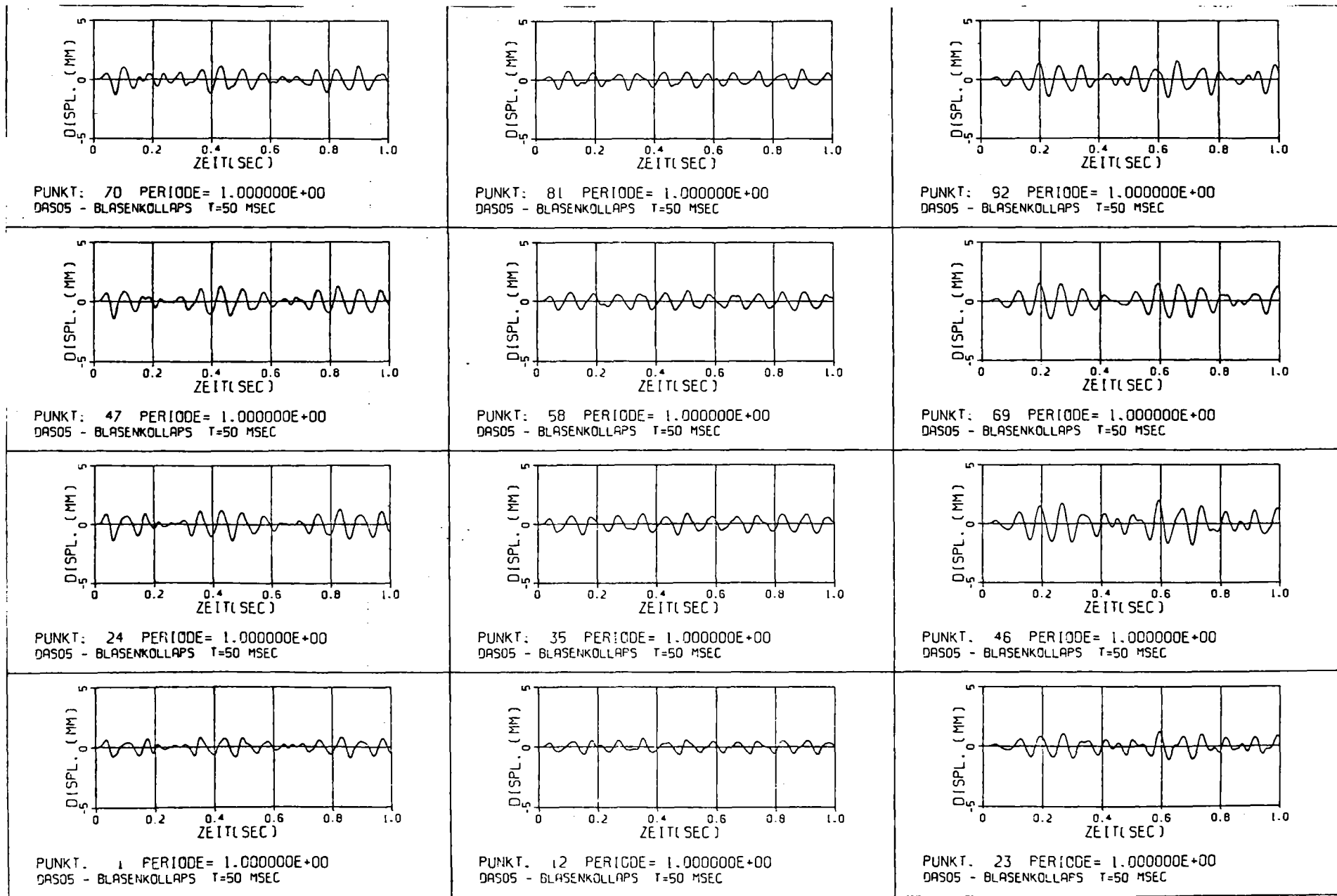


PUNKT. 023 PERIODE= 1.000000E+00
DAS04 - COSINUSPULS T=100 MSEC

Radialauslenkung, DAS04, Blaskollaps 5



Radialauslenkung, DAS05, Blasen kollaps 3



Radialauslenkung, DAS05, Blasenkolllaps 3