

BAM Bundesanstalt
für Materialprüfung
Berlin

Forschungsbericht 119

**Kinetische Grenztragfähigkeit von
stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I**

**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively
Loaded Reinforced Concrete Members
Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I**

von / by Dipl.-Ing. Jürgen Herter
Dr.-Ing. Klaus Brandes
Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Forschungsbericht 119

Bundesanstalt für
Materialprüfung (BAM)
Berlin

**Kinetische Grenztragfähigkeit von
stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**

Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I

**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively
Loaded Reinforced Concrete Members**

Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I

von / by Dipl.-Ing. Jürgen Herter
Dr.-Ing. Klaus Brandes
Dipl.-Ing. Ernst Limberger

58 Seiten, 58 Abbildungen

4. Technischer Fachbericht zum Forschungsvorhaben 1500 121 (RS 121)

Titel des Forschungsprogramms: Forschung zur Sicherheit von Leichtwasserreaktoren des Bundesministers für Forschung und Technologie, Projekt „Äußere Einwirkungen“

Titel des Forschungsvorhabens: Das Tragverhalten quergestoßener Stahlbetonbauteile bei geregelter Stoßkraft-Zeit-Verlauf

Fourth Technical Report of R & D-Project 1500 121 (RS 121)

Research Program on the Safety of Light Water Reactors by the Federal Minister for Research and Technology, Project: "External Events"

Project Title: Experimental Studies Concerning Energy Absorption of Reinforced Concrete Members subjected to Impact Load (Closed Loop Testing)

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie, Förderkennzeichen 1500 121 (RS 121), gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren.

Herausgegeben von der
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
Telefon (030) 8104-1 Telex 183 261 bamb d Telefax (030) 8 112 029

Copyright © 1985 by Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1
Telefon (0471) 46093-95

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht ist der 4. Technische Fachbericht im Rahmen des Vorhabens 1500 121 (RS 121), das von 1977 bis 1984 in der BAM bearbeitet wurde.

Das Vorhaben hat den Titel:

Das Tragverhalten quergestoßener Stahlbetonbauteile bei geregelter Stoßkraft-Zeit-Verlauf

Die Arbeiten im Rahmen des Vorhabens und die Ergebnisse sind außerdem in den folgenden Berichten dokumentiert:

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
KONZEPTION FÜR GEREGLTE VERSUCHE, VERSUCHSEINRICHTUNG, VORVERSUCHE AN STAHLBETONBALKEN

1. Technischer Fachbericht, BAM Forschungsbericht 90, April 1983

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
VERSUCHE AN STAHLBETONBALKEN MIT BIEGEBEWehrUNG AUS BETONSTAHL
BST 420/500 RK und BST 1080/1320

2. Technischer Fachbericht, BAM Forschungsbericht 99, Dezember 1983

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
VERSUCHE AN STAHLBETONBALKEN, TEIL I

3. Technischer Fachbericht

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
VERSUCHE AN STAHLBETONBALKEN, TEIL II

5. Technischer Fachbericht

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
ERGEBNISSE VON VERSUCHEN AN STAHLBETONBALKEN UND STAHLBETONPLATTEN
Abschlußbericht

Zusätzliche Arbeiten zu dem Sachgebiet wurden im Rahmen des Vorhabens 150 460 mit dem Titel "Energieaufnahmevermögen von Stahlbetonbauteilen unter Stoßeinwirkung" in der BAM durchgeführt.

Dieses Vorhaben beinhaltete unter anderem weitere Versuche an Stahlbetonplatten mit Bügelbewehrung und mit veränderten Randbedingungen.

Folgende Berichte sind vorgesehen:

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
ZUGVERSUCHE AN BETONSTAHL MIT ERHÖHTER DEHNGESCHWINDIGKEIT

1. Technischer Fachbericht zum Vorhaben Nr. 150 460

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
VERSUCHE AN STAHLBETONPLATTEN, TEIL II

2. Technischer Fachbericht zum Vorhaben Nr. 150 460

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
THEORETISCH-NUMERISCHE ANALYSE DES MECHANISCHEN VERHALTENS VON STAHLBETONBAUTEILEN BEI STOSSBELASTUNG

3. Technischer Fachbericht zum Vorhaben Nr. 150 460

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
EXPERIMENTELLE UND NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUM TRAG- UND VERFORMUNGSVERHALTEN VON STAHLBETONBAUTEILEN BEI STOSSBELASTUNG

Abschlußbericht zum Vorhaben Nr. 150 460

Die Vorhaben 1500 121 (RS 121) und 150 460 wurden vom Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung gefördert und sind Teil eines umfangreichen Forschungsprogramms zu Problemen der äußeren Einwirkungen auf Kernkraftwerke.

Gliederung dieses Berichtes

In den Hauptteil sind nur diejenigen Darstellungen aufgenommen worden, die zum Verständnis unbedingt erforderlich sind. Weitere Bilder, wie z.B. Versuchsschriebe und Fotos von den einzelnen Versuchen, sind in einem Anlagenteil enthalten, der vor allem der Dokumentation dient. Die Bild-Nummern sind dort durch ein A gekennzeichnet.

Es werden von jedem einzelnen Versuch alle wesentlichen Informationen mitgeteilt, so daß eine eigene Beurteilung des Versuchsablaufs durch den Leser erfolgen kann.

Da in diesem Bericht nur über einen Teil der im Rahmen des Forschungsvorhabens 1500 121 (RS 121) durchgeführten Arbeiten berichtet wird, ist es unvermeidbar, in einigen Punkten auf Darstellungen in früheren Berichten zu verweisen. Damit dieser Bericht für sich verständlich wird, werden einige wichtige Punkte zusammenfassend wiederholt.

An den Arbeiten Beteiligte

An der Vorbereitung und Durchführung der in diesem Bericht beschriebenen Arbeiten sind die nachfolgend genannten Mitarbeiter beteiligt gewesen:

Klaus Brandes	Ernst Limberger
Werner Falkowski	Jürgen Preuß
Jürgen Herter	Joachim Riedel
Manfred Kruck	Werner Struck
Gerhard Lohmann	Axel Wietzorrek

Zusammenfassung

Berichtet wird über 6 Versuche an quadratischen Stahlbetonplatten ohne Bügelbewehrung, die durch eine Einzellast in Plattenmitte statisch oder stoßartig bis zum vollständigen Versagen beansprucht worden sind. Ziel der Versuche war die Ermittlung der kinetischen Grenztragfähigkeit und des Energieaufnahmevermögens bei stoßartiger im Vergleich zu statischer Belastung sowie der Nachweis der Durchführbarkeit von weggeregelten Versuchen an Stahlbetonplatten mit einer in der BAM für diesen Zweck konzipierten servohydraulischen Versuchseinrichtung /1/. Die Stahlbetonplatten hatten eine Kantenlänge von 3,00 m x 3,00 m und eine Dicke von 16 cm oder 22 cm. Sie waren an vier Punkten auf Kugeln gelenkig und verschieblich gelagert. Die Stützweite betrug in jeder Richtung 2,56 m. Zur Herstellung der Probekörper wurde Normalbeton und handelsüblicher Bewehrungsstahl (BSt 420/500 RK) verwendet. Jeweils drei Versuche erfolgten an gleichartigen Probekörpern, alternativ unter statischer Beanspruchung (1 Versuch) und stoßartiger Beanspruchung (Stoßdauer 78 bis 83 ms, 2 Versuche).

In allen statischen und dynamischen Versuchen versagten die Stahlbetonplatten, nach elastischen und plastischen Biegeverformungen in den sich ausbildenden Gelenklinien, durch Durchstanzen ("sekundäres Durchstanzen"). Prinzipielle Unterschiede in der Art des Trag- und Verformungsverhaltens konnten nicht festgestellt werden, jedoch zeigten Stahlbetonplatten unter stoßartiger Beanspruchung gegenüber statischer Beanspruchung ein Ansteigen des Energieaufnahmevermögens. Diese Feststellung stimmt überein mit den bei Versuchen an Stahlbetonbalken zu beobachtenden Effekten /2/ /3/ /4/.

Der Nachweis der Durchführbarkeit von Plattenversuchen mit der in der BAM installierten, servohydraulischen Versuchseinrichtung und der angewendeten Versuchstechnik konnte in vollem Umfange erbracht werden. Damit wurden die Voraussetzungen zur Planung weiterer Versuchsreihen geschaffen.

Aussagen über den Einfluß einzelner Probekörperparameter, wie z.B. Betonfestigkeit, Bewehrungsgrad, Lasteinleitungsfläche und Plattendicke, sind wegen der geringen Anzahl von Versuchen noch nicht möglich. Insbesondere die Klärung der Frage der Wirkung von Bügelbewehrung mußte späteren Versuchen vorbehalten werden.

Summary

This report presents results of tests performed on 6 reinforced concrete square slabs without shear reinforcement under static and under impact loads. The slabs were simply supported on four steel balls and centrally loaded up to failure by a single load. The aim of the investigation was first to evaluate the kinetic load bearing capacity and the energy absorption capacity of R.C.-slabs due to static and impact loads and secondly to prove the practicability of the existing servohydraulic testing set-up. The dimensions of the R.C.-slabs were 3.00 m to 3.00 m and 16 cm respectively 22 cm thickness.

In each test series 3 specimens of the same type were loaded under static load (1 test) and under impact load (2 tests, impact time 78 to 83 milliseconds).

In static tests as well as in impact tests the R.C.-slabs failed in shear with considerable elastic and plastic bending deformations in the developed yield lines (secondary punching failure). Comparing static and impact tests no different failure mechanism can be stated in principle, but R.C.-slabs under impact load show an increase of the energy absorption capacity. This observation is in good agreement with effects found in tests on R.C.-beams /2/.

It could be shown by the tests that the testing set-up installed at BAM and the method of testing is suitable. By that, the requirements for the planning of further slab-tests could be established.

The number of tests was too small to make statements about the influence of special parameters like concrete strength, percentage of reinforcement, dimensions of the loading area and the thickness of the slab. Especially the effectiveness of shear reinforcement like stirrups is planned to be investigated in further tests.

Stahlbetonplatten, Platten ohne Schubbewehrung, vierpunktgelagerte Platten Versuche, Grenztragfähigkeit, Energieaufnahmevermögen, Stoßbeanspruchung, Biegeversagen, Durchstanzen, servohydraulische Versuchseinrichtung

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Zielsetzung	1
1.1 Übergeordnete Zielsetzung	1
1.2 Zielsetzung des Forschungsvorhabens 1500 121 (RS 121)	1
1.3 Zielsetzung und Konzeption der Versuche an Stahlbetonplatten ohne Schubbewehrung	1
2. Versuchsprogramm	2
3. Versuchseinrichtung und Versuchsablauf	3
3.1 Versuchsanordnung	3
3.2 Meßwerterfassungs- und -Verarbeitungsanlage (MEVA)	5
3.3 Versuchsablauf	6
3.3.1 Allgemeines	6
3.3.2 Dynamische Versuche	6
3.3.3 Statische Versuche	6
4. Probekörper	7
4.1 Allgemeines, Herstellung	7
4.2 Dimensionierung	7
4.3 Bewehrungsstahl	8
4.4 Beton	8
4.4.1 Frischbeton	8
4.4.2 Probewürfel und Bohrkerne	9
5. Meßwerte	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Wege und Beschleunigungen	11
5.3 Kräfte	11
5.4 Dehnungen an der Zugfessel	12
6. Dokumentation und Auswertung	12
6.1 Darstellung einzelner Meßgrößen	12
6.2 Untersuchungen am zerstörten Probekörper	12
6.3 Film- und Fotodokumentation	13
6.4 Auswertung mit Masse-Feder-Modell	13
7. Beschreibung der einzelnen Versuche	13
7.1 Allgemeines	13
7.2 Versuch 301 (dynamisch)	14
7.3 Versuch 302 (dynamisch)	16
7.4 Versuch 303 (statisch)	17
7.5 Versuch 304 (dynamisch)	18
7.6 Versuch 305 (dynamisch)	18
7.7 Versuch 306 (statisch)	19
8. Beschreibung des Bruchverhaltens	19
9. Diskussion der Versuchsergebnisse	23
9.1 Allgemeines	23
9.2 Zur Zielsetzung und Konzeption der Versuche	23
9.3 Trag- und Verformungsverhalten bei statischen Versuchen (Versuche 303 und 306)	24
9.4 Trag- und Verformungsverhalten bei Versuchen mit stoßartiger Beanspruchung, verglichen mit statischen Versuchen	26
9.5 Vergleich der Stoßversuche 301 und 302, Einfluß der Lasteinleitungsfläche	29
9.6 Tragverhalten bis zum Schubbruch	30
10. Zusammenfassung und Ergebnisse	30
Literatur	31
Anlagen	

1. Zielsetzungen

1.1 Übergeordnete Zielsetzung

Die übergeordnete Zielsetzung der Untersuchungen ist im 1. Technischen Fachbericht /1/ ausführlich dargestellt worden und wird hier nur kurz zusammengefaßt.

In den Jahren 1971/72 wurde von der Bundesregierung ein Forschungsprogramm initiiert, mit dem Ziel, Kenntnislücken bei der ingenieurmäßigen Auslegung von Stahlbeton-Sicherheitsumschließungen im "Lastfall Flugzeugabsturz" zu schließen. Innerhalb dieses Forschungsprogramms waren einerseits Großversuche (Mep-pener Versuche) /7-11/ vorgesehen, bei denen deformierbare Projektile auf große Stahlbetonplatten geschossen werden und andererseits zur Bestimmung einzelner Parameter Versuchsreihen an kleineren Probekörpern (Universität Karlsruhe /12/, BAM /1-5/). Neben den experimentellen Untersuchungen gilt ein Teil der Arbeiten im gesamten Forschungsprogramm der theoretisch-numerischen Analyse und Synthese, die ebenfalls innerhalb verschiedener Projekte an mehreren Stellen durchgeführt wird.

1.2 Zielsetzung des Forschungsvorhabens 1500 121 (RS 121)

Die Zielsetzung und Konzeption der Arbeiten im Projekt 1500 121 (RS 121) sind bereits in /1/ umfassend beschrieben worden und werden hier nur kurz dargestellt.

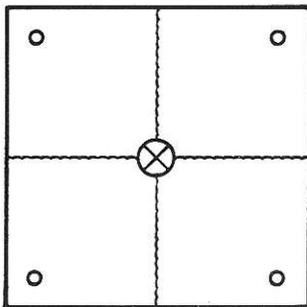
Bei einmaligen stoßartigen Belastungen (Lastfall Flugzeugabsturz oder Gaswolkenexplosion) ist es sinnvoll, das plastische Formänderungsvermögen der direkt getroffenen Bauteile weitgehend auszunutzen. Im Rahmen des Vorhabens 1500 121 (RS 121) soll durch Versuche an Stahlbetonbalken und Stahlbetonplatten das Grenztragverhalten von Stahlbetonbauteilen experimentell untersucht werden. Zur Bestimmung der im Lastfall Flugzeugabsturz maßgeblichen Stoffkennwerte sind Versuche im Bereich der Dehnungsgeschwindigkeiten notwendig, die beim Stoßvorgang in dem gestoßenen Bauteil auftreten können.

1.3 Zielsetzung und Konzeption der Versuche an Stahlbetonplatten ohne Schubbewehrung

Hauptziel der in diesem Bericht beschriebenen Versuche an vierpunktgestützten Stahlbetonplatten unter zentrischer Einzellast war der Nachweis, daß mit der in der BAM installierten servohydraulischen Versuchseinrichtung /1/ Stahlbetonplatten stoßartig belastet werden können. Die Versuchseinrichtung ist hinsichtlich der Stützweite des Kraftrahmens sowie der Kräfte des hydraulischen Zylinders für Versuche an relativ weitgespannten Platten ausgelegt worden. Die bei der Durchführung der in diesem Bericht beschriebenen Versuche gewonnenen Erfahrungen sollten Grundlage der Planung weiterer Versuche an Stahlbetonplatten sein, die dann mit Bügelbewehrung versehen werden sollen.

Ein weiteres Ziel der Versuche war die Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens der Stahlbetonplatten bis zum endgültigen Bruch, wobei, wie schon bei den Balkenversuchen, die Ergebnisse aus Versuchen mit statischer und mit stoßartiger Beanspruchung miteinander verglichen werden sollten.

Im Gegensatz zu den Versuchen zum Biegetragverhalten von Stahlbetonbalken /2-4/ gilt es, bei Versuchen an Stahlbetonplatten sowohl das Durchstanz- als auch das Biegeversagen zu untersuchen. Die Probekörper wurden so konzipiert, daß vor Eintritt des Durchstanzens die Ausbildung von Fließgelenklinien und damit verbunden große Biegeverformungen möglich sein sollten. Erwartet werden unter diesen Bedingungen Fließgelenklinien entsprechend Bild 1.3/1, wie sie bei Anwendung der Fließgelenklinientheorie /6/ für frei drehbare, vierpunktgelagerte Stahlbetonplatten unter statischer Einzellast angenommen werden.



○ Auflagerpunkt

⊗ Lastangriffspunkt

— Fließgelenklinie

Bild 1.3/1:

Annahme der Fließgelenklinien einer auf vier Punkten drehbar gelagerten Stahlbetonplatte unter statischer Einzellast

Falls das Durchstanzversagen wirkungsvoll verhindert oder hinausgezögert werden kann, sind in den Fließgelenklinien große plastische Verformungen möglich, die viel Energie absorbieren. Die Kenntnis der Grenze zwischen Biegeversagen und Durchstanzens ist somit für die Beurteilung des Formänderungsvermögens einer lokal stoßartig belasteten Konstruktion von großer Wichtigkeit. Anzustreben ist im Versuch eine Beanspruchung der Stahlbetonplatten bis zur Grenztragfähigkeit, die hier als das Absinken des Bauteilwiderstandes auf einen sehr geringen Wert ohne Rücksicht auf die Größe der Verformungen zu verstehen ist.

Die Auflagerbedingungen sollten möglichst eindeutig und versuchstechnisch einfach zu realisieren sein. Gewählt wurde deshalb eine Vierpunktlagerung mit freier Verschiebungs- und Drehmöglichkeit an den Auflagerpunkten. Die Probekörper hatten Abmessungen von 3,00 m x 3,00 m bei 16 cm und 22 cm Dicke. Sie wurden aus Normalbeton (B 25) und handelsüblichem Betonstahl gefertigt.

Die während eines Versuches zu messenden mechanischen Größen sind derart festgelegt worden, daß zu jedem Zeitpunkt eine im Rahmen der Modellvorstellungen der Technischen Mechanik (Grenztragfähigkeitstheorie der Platten) ausreichende Beschreibung des Verformungszustandes und der Beanspruchung gegeben werden kann (Verschiebungs- bzw. Geschwindigkeitsfeld). Spezifische mechanische Modelle für die Auswertung, die eine bestimmte Anordnung von Meßwertaufnehmern erfordert hätten, wurden nicht vorausgesetzt.

2. Versuchsprogramm

Insgesamt wurden 6 Versuche an Stahlbetonplatten ohne Schubbewehrung durchgeführt. Jeweils 3 Probekörper hatten gleiche Abmessungen und Bewehrung. Der Durchmesser der Lasteinleitungsplatte betrug im Versuch Nr. 301 16 cm, bei

Versuche Nr. 301 bis 303

Probekörperabmessungen: 3,00 m x 3,00 m x 0,16 m

Nr. 301 und Nr. 302 stoßartig belastet

Nr. 303 statisch belastet

Versuche Nr. 304 bis 306

Probekörperabmessungen: 3,00 m x 3,00 m x 0,22 m

Nr. 304 und Nr. 305 stoßartig belastet

Nr. 306 statisch belastet

3. Versuchseinrichtung und Versuchsablauf

3.1 Versuchsanordnung

Alle Versuche wurden in der in Bild 3.1/1 abgebildeten servohydraulischen Versuchseinrichtung durchgeführt, die in /1/ ausführlich beschrieben worden ist. Eine schematische Darstellung der Versuchsanordnung zeigt Bild 3.1/2.

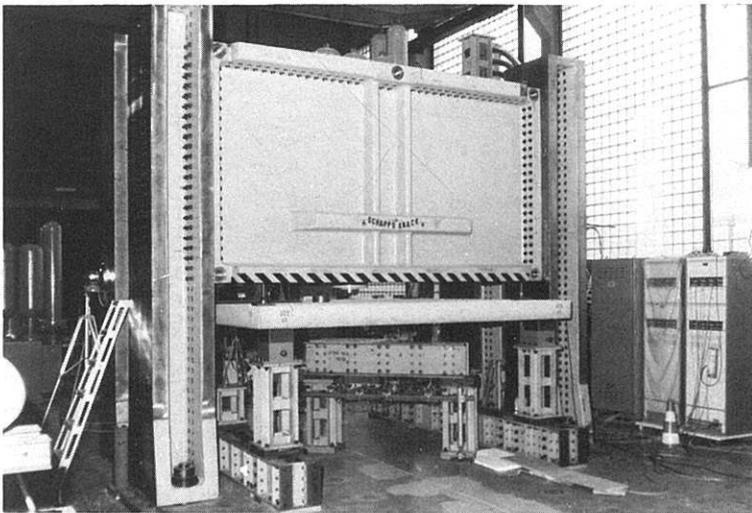


Bild 3.1/1:

Servohydraulische Versuchseinrichtung zur Erzeugung statischer und stoßartiger Belastungen mit eingebauter Stahlbetonplatte als Probekörper

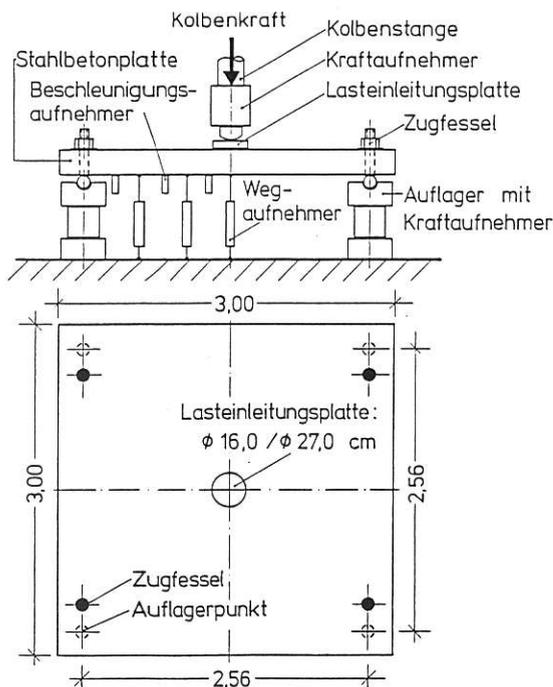


Bild 3.1/2:

Versuchsanordnung bei Versuchen an Stahlbetonplatten, Belastung durch Einzellast in Plattenmitte, Vierpunktlagerung

Alle Platten wurden an den vier Eckpunkten auf Kugeln gelagert. Bei dynamischen Versuchen wurden sie mit Zugfesseln gegen Abheben von den Auflagern gesichert (Bild 3.1/3). Die Stützweite der quadratischen Platten betrug in jeder Richtung 2,56 m. Durch die Kugellagerung konnten eine horizontale Verschieblichkeit und eine Verdrehung der Platte am Auflagerpunkt um beliebige horizontale Achsen gewährleistet werden. An der Zugfessel wurden zur Messung der Zugkräfte Dehnungsmeßstreifen angebracht. Die Dehnungsmessung während des Stoßversuchs (Bild A 7.2/5) hat ergeben, daß nur zu Beginn des Stoßes für 3-4 ms Zugkräfte auftreten. Danach wurde die Zugfessel durch die zunehmende Durchbiegung der Platte frei und behinderte durch ein relativ großes Spiel zwischen der Zugstange und dem Loch in der Stahlbetonplatte, durch die diese geführt wurde, die Verformungen der Platte nicht.

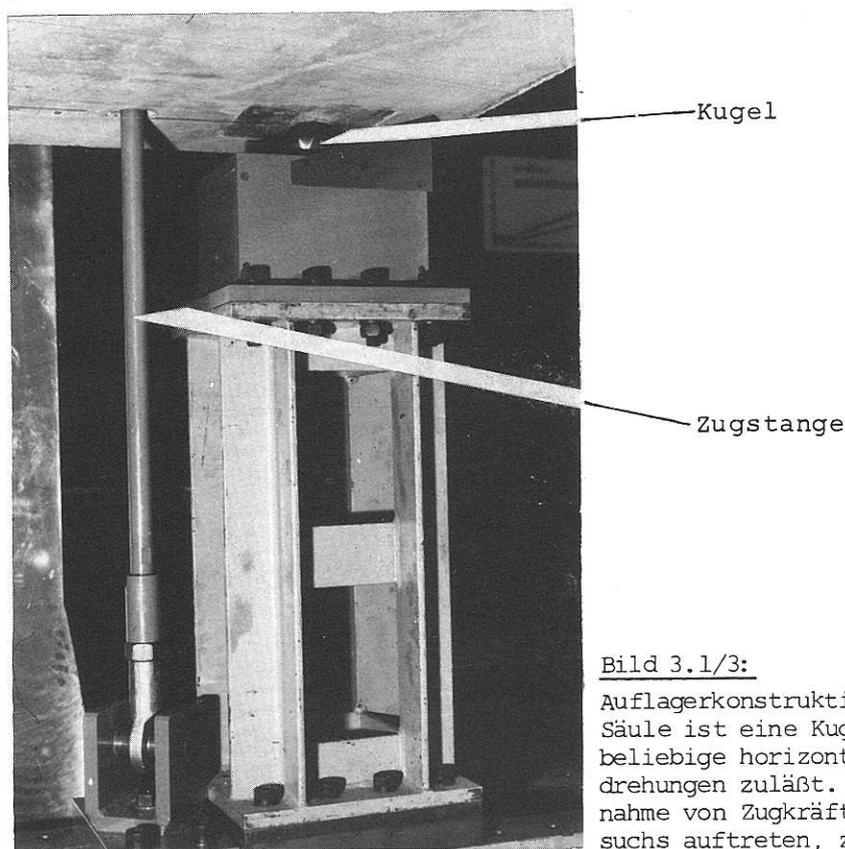


Bild 3.1/3:

Auflagerkonstruktion für Stahlbetonplatten. Auf einer Säule ist eine Kugel als Element angeordnet, die beliebige horizontale Verschiebungen sowie Verdrehungen zuläßt. Daneben ist die Zugstange zur Aufnahme von Zugkräften, die zu Beginn eines Stoßversuchs auftreten, zu erkennen.

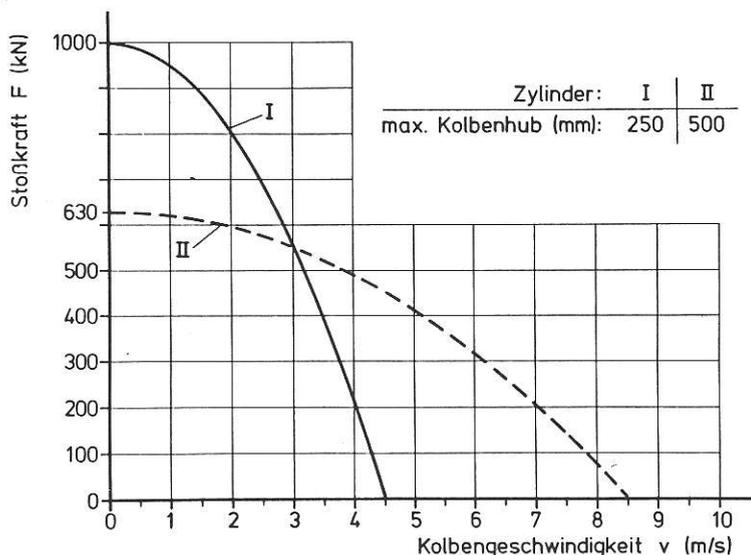


Bild 3.1/4:

Servohydraulische Stoßeinheit. Darstellung der Leistungsfähigkeit von zwei in der BAM vorhandenen hydraulischen Zylindern. Für die Versuche an Stahlbetonplatten wurde Zylinder I verwendet.

Im Bereich des Auflagerpunktes ist in der Stahlbetonplatte eine Stahlplatte einbetoniert, die der Lastverteilung dient und die Reibung zwischen Kugel und Probekörper gering hält. Die Höhenlage der Kugeln konnte stufenlos verstellt werden, so daß eine gleichmäßige Auflagerung der Probekörper auf allen vier Auflagern eingestellt werden konnte.

Die Belastung der Stahlbetonplatten bestand aus einer Einzelkraft in Plattenmitte, die durch einen servohydraulischen Zylinder erzeugt wurde. In Bild 3.1/4 ist die Leistungsfähigkeit des eingesetzten Zylinders dargestellt.

3.2 Meßwerterfassungs- und Verarbeitungsanlage (MEVA)

Für die Erfassung der in analoger Form anstehenden Meßwerte während eines Versuchs wurde ein computergestütztes Meßsystem (Fa. DIETZ-Computer-Systeme) verwendet. In Bild 3.2/1 ist ein Funktionsschaubild dieses Systems dargestellt. Für den Ausbauzustand von 32 Meßkanälen steht je Kanal ein Trägerfrequenzmeßverstärker zur Verfügung. Die analogen Ausgangssignale der Meßverstärker werden über einen schnellen Meßstellenumschalter zu einem Analog-Digitalwandler durchgeschaltet und anschließend im Hauptspeicher des Rechners abgelegt. Die in dieser Betriebsart mögliche und für Stoßversuche notwendige Datenrate beträgt 60 000 Messungen je Sekunde oder ca. 2000 Messungen je Kanal pro Sekunde. Dies bedeutet eine Grenzfrequenz von ca. 400 Hz je Signal. Eine höhere zeitliche Auflösung kann bei einer Verringerung der gemessenen Kanäle erfolgen. Die Meßsignale werden mit einer Auflösung von 12 bit digitalisiert, d.h. der Meßbereich wird in 4096 Teile aufgelöst. Für die weiteren Aufwertungen ist entsprechende Software entwickelt worden, die eine grafische Darstellung der Ergebnisse ermöglicht. Weitere Einzelheiten sind in /1/ beschrieben.

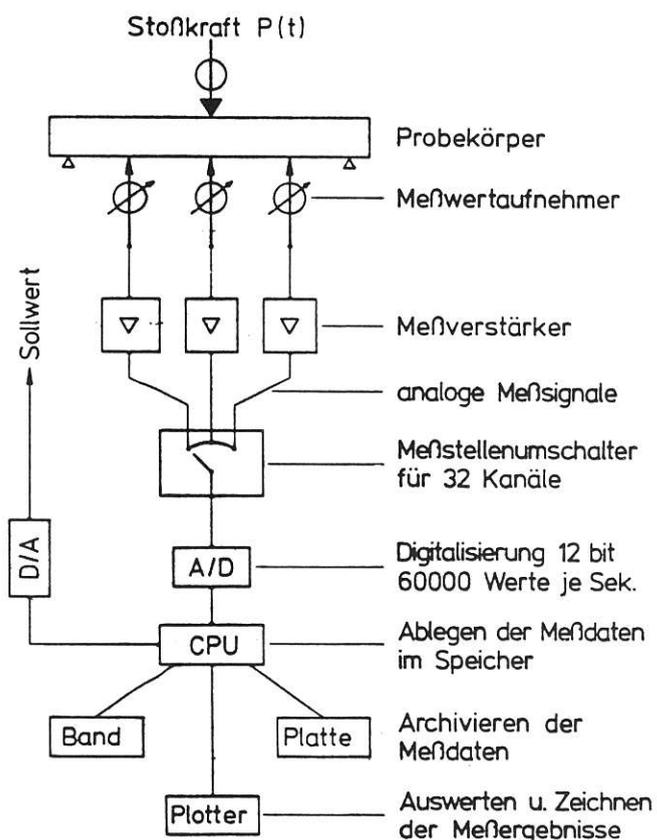


Bild 3.2/1:
Funktionsschaubild zum Einsatz der rechnergesteuerten Meßwerterfassungs- und Verarbeitungsanlage (MEVA)

3.3 Versuchsablauf

3.3.1 Allgemeines

Zum Zeitpunkt der einzelnen Versuche waren die Stahlbetonplatten zwischen 34 und 68 Tage alt. Ein bestimmter Prüfzeitpunkt der Stahlbetonplatte wurde nicht angestrebt. Die Betonfestigkeit ist kurze Zeit nach dem Versuch an Bohrkernen festgestellt worden, die den Platten entnommen worden waren.

In der Mitte der Stahlbetonplatte wurde ein Lasteinleitungsplatte aus Stahl angeordnet, deren Durchmesser variiert werden konnte (Bild 3.1/2). Diese Platte von etwa 55 mm Dicke kann als nahezu starr angesehen werden.

Vor dem eigentlichen Beginn eines Versuchs wurde ein schwacher Kontakt zwischen dem Kraftaufnehmer an der Kolbenstange und dem Probekörper über die Lasteinleitungsplatte hergestellt (ca. 5 kN Vorlast). Der Start des Versuchs und des Analogmeßsystems erfolgte programmgesteuert vom Prozeßrechner. Die Sollwertfunktion wurde von einem Funktionsgenerator über einen Analogausgang erzeugt und dem Regelkreis des Prüfzylinders zugeführt. Der servohydraulische Prüfzylinder ist in allen Fällen durch eine Wegregelung gesteuert worden.

3.3.2 Dynamische Versuche

Unter dynamischen Versuchen sind in dem vorliegenden Zusammenhang Versuche gemeint, bei denen stoßartige Belastungen auf die Stahlbetonplatten aufgebracht werden. Dabei wird in aller Regel eine bestimmte Einwirkungszeit (Stoßzeit) durch entsprechende Wahl der Parameter der Sollwertfunktion für die Regelung angestrebt. Um die Anzahl der Versuchsparameter überschaubar zu halten, ist in den Versuchen eine lineare Wegrampe als Zeitfunktion vorgegeben worden, bei der der eingestellte Sollwert so groß gewählt wurde, daß in jedem Falle ein Versagenszustand der Platte zu erreichen war. Nach Erreichen des Wegmaximums wurde der Kolben mit maximal möglicher Geschwindigkeit in die Ausgangslage zurückgefahren, wobei sich der Kontakt zwischen Kolben und Probekörper löste. Der Stoßvorgang ist nach Lösen des Kontaktes beendet und der Probekörper schwingt ohne äußere Krafteinwirkung aus. Im Rahmen der Regelgenauigkeit und der hydraulischen Leistungsfähigkeit (siehe Bild 3.1/4) folgte der Kolben der vorgegebenen Sollwertfunktion.

In den Versuchen betrug der maximal erreichte Kolbenweg (entspricht der Verschiebung der Stahlbetonplatte an der Kraftangriffsstelle) 157 mm bis 168 mm und wurde etwa nach 62 ms bis 72 ms erreicht. Die mittlere Kolbengeschwindigkeit lag damit zwischen 2,3 m/s und 2,5 m/s.

Der als Sollwert vorgegebene maximale Kolbenweg wird als Istwert nicht erreicht. Diese Differenz ist desto größer, je mehr die hydraulische Leistungsfähigkeit überschritten ist.

3.3.3 Statische Versuche

Auch die statischen Versuche (303, 306) wurden weggeregelt durchgeführt. Vor-

gegeben wurde eine Wegrampe für den Kolbenweg mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 10^{-4} m/s. Die Probekörper sind bis zum endgültigen Versagen, d.h. bis zum Absinken der Traglast auf nahezu Null, beansprucht worden, um eine möglichst vollständige Last-Verformungslinie zu erhalten.

4. Probekörper

4.1 Allgemeines, Herstellung

Alle Stahlbetonplatten wurden entsprechend den von der BAM gezeichneten Plänen (Bilder A 4.1/1 und A 4.1/2 in der Anlage) im Berliner Fertigteilwerk der Firma Dyckerhoff & Widmann AG hergestellt.

Die Einbauteile zur Befestigung der Weg- und Beschleunigungsaufnehmer sowie die Stahlplatten im Auflagerbereich sind von der BAM gefertigt und angeliefert worden.

Zur Fertigung der Stahlbetonplatten wurde handelsüblicher Betonstahl und Normalbeton der Festigkeitsklasse B 25 verwendet. Die angestrebte Betonfestigkeit der Stahlbetonplatten lag mit $\beta_{WS} = 30 \text{ MN/m}^2$ im Bereich der in der Baupraxis üblichen Werte. Wegen der geringen Plattendicke von 16 cm und der engliegenden Bewehrung wurde gefordert, daß das Größtkorn der Zuschlagstoffe einen Durchmesser von 8 mm nicht überschreitet.

4.2 Dimensionierung

Die Leistungsfähigkeit des hydraulischen Zylinders setzte Grenzen in der Wahl der Plattendicke und des Bewehrungsgrades der Probekörper. Es wurden 2 verschiedene Probekörpertypen mit unterschiedlicher Plattendicke und unterschiedlichem Bewehrungsgrad konzipiert (Bilder A 4.1/1 und A 4.1/2 in der Anlage). Bügel sind nicht eingebaut worden. Die Bewehrung konnte so gewählt werden, daß die für eine statische Last überschläglich ermittelte Biegebruchlast in etwa gleich der für den gleichen Lastfall ermittelten Schubbruchlast war. Die so ermittelte Kolbenkraft, zuzüglich eines Zuschlages für die im dynamischen Versuch auftretenden Massenkräfte, durfte die Grenzkurve der Leistungsfähigkeit des hydraulischen Zylinders I (Bild 3.1/4) nicht überschreiten. Bedingung war außerdem eine mögliche Verformungsgeschwindigkeit in Plattenmitte von mindestens 2,0 m/s, woraus eine maximal aufbringbare Kraft von 800 kN folgte. Die übrigen äußeren Abmessungen wurden begrenzt durch den zwischen den Stützen des Kraftrahmens der Versuchseinrichtung zur Verfügung stehenden Raum.

Das Bewehrungsnetz bestand aus Betonstahl BSt 420/500 RK, der kreuzweise oben und unten mit einer Maschenweite von 5,0 cm verlegt wurde. Die untere Bewehrung war an den Plattenrändern durch Haken, die bis in die Plattenoberseite gezogen wurden, verankert. An den Plattenecken (Auflagerbereich) ergab sich durch die hochgezogenen Endhaken aus den senkrecht zueinanderstehenden Plattenrändern eine starke Bewehrung, die das Abbrechen der Ecken verhindern sollte. Festgelegt wurden folgende zwei Probekörpertypen:

1.) Typ PP01 für die Versuche 301 bis 303:

Abmessungen: 3,00 m x 3,00 m x 0,16 m

Bewehrung: BSt 420/500 RK

$$\mu_x = \mu_x' = 1,55 \%$$

$$\mu_y = \mu_y' = 1,71 \%$$

Gewählt je Lage und Richtung: 59 \emptyset 12 mm bzw. 57 \emptyset 12 mm

$$e = 5,0 \text{ cm} \hat{=} 22,6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

(siehe Zeichnung Nr. RS 121-PP01, Bild A 4.1/1 in der Anlage)

Zur Abschätzung der Biegebruchlast wurde davon ausgegangen, daß in den sich ausbildenden Gelenklinien das Fließmoment M_0 auftritt. Nach /6/ beträgt die Bruchlast für eine vierpunktgelagerte isotrope Platte unter statischer Einzellast $4 M_0$.

Ermittelt wurde das Fließmoment M_0 vereinfacht aus dem Abstand zwischen oberer und unterer Bewehrung in der jeweiligen Richtung, multipliziert mit der Stahlzugkraft bei Erreichen der Zugfestigkeit.

Da der innere Hebelarm in den orthogonal zueinanderstehenden Bewehrungsrichtungen bei gleicher Bewehrung unterschiedlich groß ist, ergeben sich unterschiedliche Biegebruchlasten für die beiden Plattenrichtungen (leicht orthotrope Platte).

In den sich orthogonal kreuzenden Bewehrungsrichtungen ergibt sich ein Verhältnis der Biegebruchlasten für die x-Richtung (F_x) und die y-Richtung (F_y) von

$$\frac{F_x}{F_y} = \frac{602,2 \text{ kN}}{489,3 \text{ kN}} = 1,23 \quad \text{für Probekörper PP01}$$

und

$$\frac{F_x}{F_y} = \frac{620,4 \text{ kN}}{555,1 \text{ kN}} = 1,12 \quad \text{für Probekörper PP02.}$$

Auf eine Angleichung der aufnehmbaren Momente, z.B. durch Anpassung der Bewehrungsmenge, wurde in Hinblick auf die gegebenen Herstellungsmöglichkeiten verzichtet, zumal eine derartige Forderung im Rahmen von ersten Versuchen nicht zwingend erschien.

4.3 Bewehrungsstahl

Zur Herstellung der Stahlbetonplatten wurde handelsüblicher Betonstahl BSt 420/500 RK aus den Beständen des Fertigteilwerkes verwendet. Das Bewehrungsnetz ist im Fertigteilwerk hergestellt worden.

4.4 Beton

4.4.1 Frischbeton

Die Betonzusammensetzung sollte den Anforderungen der DIN 1045 entsprechen. Anzustreben waren eine Würfeldruckfestigkeit von $B_{WS} = 30 \text{ MN/m}^2$ und möglichst konstante Betoneigenschaften. Für 1 m^3 Beton werden verwendet:

Aus allen Stahlbetonplatten wurden kurz nach dem Versuch von der BAM je 4 Bohrkerne \varnothing 10 cm aus einem möglichst ungestörten Bereich entnommen und geprüft. Das Ergebnis der Druckfestigkeitsprüfungen ist in Bild 4.4.2/1 dargestellt. Eine Schädigung einiger Bohrkerne durch Haarrisse läßt sich nicht ausschließen, wodurch die teilweise vorhandenen Unterschiede zur Würfeldruckfestigkeit zu erklären sein könnten (Versuche Nr. 304 und 306).

Ver- such Nr.	Probe- körper Typ	Versuchs- datum	Alter des Probe- körpers (Tage)	Mittelwert/Standard- abweichung	Zeitspanne zwischen Ver- such und Bohrkernprüfung (Tage)
				$\bar{f}_{Bc} \pm s_{Bc}$ (MN/M ²) n = 4	
301	PP01	14.12.78	34	33,4 ± 3,1 *)	14
302	PP01	17.01.79	68	24,5 ± 2,5	6
303	PP01	02.02.79	44	32,8 ± 2,8	7
304	PP02	13.02.79	36	25,0 ± 3,6	8
305	PP02	16.02.79	35	24,4 ± 0,9	6
306	PP02	27.02.79	47	20,1 ± 1,7	3

*) n = 3

Bild 4.4.2/1: Zylinderdruckfestigkeiten von Bohrkerne (d = 10 cm, h = 10,0 cm) aus den Stahlbetonplatten

5. Meßwerte

5.1 Allgemeines

Mit der Meßwerterfassungs- und Verarbeitungsanlage konnten zum Zeitpunkt der Versuche bei Stoßversuchen max. 16 Meßsignale parallel erfaßt werden. In den statischen Versuchen Nr. 303 und 306 wurde zusätzlich auf einem x-y-Schreiber die Kolbenkraft über dem Kolbenweg aufgezeichnet. Welche Meßgrößen in den einzelnen Versuchen erfaßt wurden, ist aus Bild 5.1/1 ersichtlich.

		Versuch Nr.					
Meßgrößen (s. Bild 5.2/1)		301	302	303	304	305	306
Kolbenkraft		X	X	X	X	X	X
Kolbenweg		X	X	X	X	X	X
Wege	W 1 bis W 5	X	X	X	X	X	X
	W 6			X			X
	W 7			X			X
	W 8			X	X	X	X
	W 9			X	X	X	X
Beschleunigungen	B 1	X	X		X	X	
	B 2		X		X	X	
	B 3		X		X	X	
	B 4		X		X	X	
	B 5	X	X		X	X	
Dehnung an der Zugfessel		X	X		X	X	
Sollwert-Aufzeichnung			X		X	X	
Anzahl der Meßgrößen		10	14 + 1 *)	11	16	16	11

Bild 5.1/1:

Mit der Meßwerterfassungs- und Verarbeitungsanlage (MEVA) erfaßte Meßwerte
*) Beschleunigung am Kraftrahmen

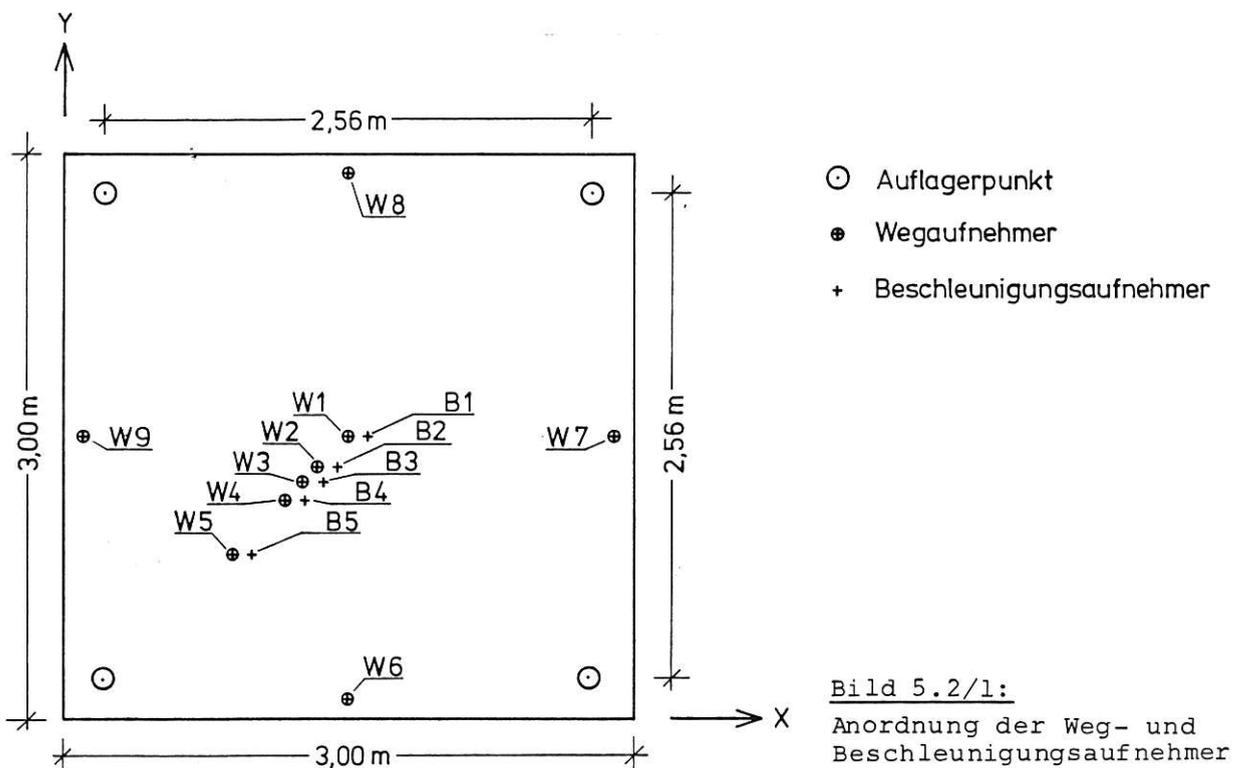
Alle eingesetzten Meßwertaufnehmer für Kräfte, Dehnungen, Beschleunigungen und Wege wurden mit einem eigenen Trägerfrequenzmeßverstärker je Aufnehmer bei einer Trägerfrequenz von 5 kHz betrieben, wodurch sich eine mögliche Grenzfrequenz von 1,5 kHz ergab. Die Grenzfrequenz des gesamten Meßsystems wurde jedoch durch die mechanischen Eigenschaften der Meßwertaufnehmer bestimmt und liegt noch unter der Grenzfrequenz des Meßwerterschließungssystems von 400 Hz (siehe 3.2).

5.2 Wege und Beschleunigungen

Bild 5.2/1 zeigt die Anordnung der Weg- und Beschleunigungsaufnehmer. Die Koordinatenwerte für die Aufnehmerbefestigungspunkte sind in Bild A 5.2/1 in der Anlage angegeben.

Zur Messung der Verformungen der Probekörper wurden induktive Wegaufnehmer (Typ W 100 bzw. W 200, Fa. Hottinger) verwendet, die an der Unterseite der Platten an einbetonierten Halterungen befestigt waren. Die Aufnehmerankopplung ist in /1/ beschrieben, ebenso eine Abschätzung des Meßfehlers.

Bei Stoßversuchen wurden Beschleunigungsaufnehmer Typ B 12/500 der Firma Hottinger an der Unterseite der Platte angebracht.



5.3 Kräfte

Die Einzelkraft an der Krafteinleitungsstelle wurde über einen an der Kolbenstange des hydraulischen Zylinders befestigten 1000 kN Druck-Zug-Kraftaufnehmer (Ringtorsionsprinzip, Bauart Schenck) gemessen. Auf die Messung der Auflagerkräfte wurde im Rahmen dieser Erprobungsversuche verzichtet.

5.4 Dehnungen an der Zugfessel

An einer der Zugfesseln sind Dehnungsmeßstreifen aufgeklebt worden, um von den gemessenen Dehnungen auf die Zugkräfte schließen zu können (Bild A 7.2/5 in der Anlage).

6. Dokumentation und Auswertung

6.1 Darstellung einzelner Meßgrößen

Da die Versuchsdaten "on line" im Prozeßrechner gespeichert sind, kann unmittelbar nach Versuchsende die Umrechnung der Meßwerte in physikalische Größen unter Einbeziehung der - im allgemeinen leicht nicht-linearen - Kennlinien der Meßwertaufnehmer vorgenommen werden. Zunächst werden die Zeitfunktionen der einzelnen Meßgrößen dargestellt, anschließend können die auf ein mechanisches Auswertemodell bezogenen Berechnungen vorgenommen werden. Die eigens entwickelten Programme ermöglichen auf dem angeschlossenen Plotter die grafische Darstellung aller Meß- und Auswertgrößen in beliebiger Kombination.

6.2 Untersuchungen am zerstörten Probekörper

Riß-Aufnahme

Nach jedem Versuch wurde der Zerstörungsgrad der Stahlbetonplatten in Handskizzen aufgezeichnet, auf deren Mitteilung im Rahmen dieses Berichtes verzichtet wird.

Plastische Durchbiegungen am Plattenrand

Parallel zu jedem Plattenrand wurde nach dem Versuch eine Meßlatte über die Plattenecken gelegt und an einigen Punkten der Abstand zwischen Meßlatte und Plattenoberseite gemessen. Der Abstand entspricht der bleibenden Durchbiegung am Plattenrand. Damit kann ein Eindruck von der verformten Platte nach dem Versuch vermittelt werden. (Die gemessenen Verformungen sind in Bild 8/5, Abschn. 8, aufgezeichnet.)

Ausbruchkegelstumpf

Bei den in den Versuchen Nr. 301, 302, 303 und 304 verwendeten Stahlbetonplatten wurde nach dem Versuch die untenliegende Bewehrung im Mittelbereich entfernt, um die Größe und Form des zerstörten Betonbereiches unterhalb der Lasteinleitungsstelle festzustellen. Das Profil der Bruchfläche wurde an einer Stelle der Platte ermittelt (Bild 8/2). Die Bruchflächen in den Versuchen Nr. 302, 303 und 304 wiesen örtlich stark veränderliche Neigungen auf, so daß eine Protokollierung der Profile wenig sinnvoll erschien. Näherungsweise wurde für einige Versuche der Winkel des Ausbruchkegelstumpfes aus der Messung der oberen und unteren Durchmesser bestimmt (Bild A 8/1 a in der Anlage).

Bohrkernentnahme

Aus allen Stahlbetonplatten wurden kurze Zeit nach dem Versuch 4 Bohrkerne ($d/h = 10$ cm) aus einem möglichst ungestörten Bereich entnommen, um die Druckfestigkeit des Betons zum Zeitpunkt des Versuches festzustellen. Die Ergebnisse zeigt Bild 4.4.2/1.

6.3 Film- und Fotodokumentation

Von allen Versuchsplatten wurden nach dem Versuch fotografische Aufnahmen angefertigt, die den Zerstörungsgrad dokumentieren. Die Plattenversuche mit stoßartiger Beanspruchung (Nr. 301, 302, 304, 305) wurden mit einer schnellaufenden Kamera (~ 700 Bilder/s) aufgenommen. Zusätzlich sind von den Versuchen Nr. 302, 304 und 305 Filmaufnahmen in Originalgeschwindigkeit gemacht worden.

6.4 Auswertung mit Masse-Feder-Modell

Will man die Ergebnisse aus statischen und dynamischen Versuchen miteinander vergleichen, so müssen Effekte, die Änderungen im Materialverhalten zuzuschreiben sind, von solchen getrennt werden, die aus Massenkräften folgen. Der Einfluß der Massenkräfte kann durch ein geeignetes mechanisches Auswertemodell berücksichtigt werden. Näherungsweise wird im vorliegenden Fall das Schwingungsverhalten der Platte durch die Schwingungen eines auf die Wirkungslinie der angreifenden Kraft bezogenen einfachen Masse-Feder-Systems beschrieben. Voraussetzung zur Ermittlung der mitschwingenden Masse im Ersatzsystem sind ein Ansatz für die Form der Biegefläche der Stahlbetonplatte sowie die Annahme der Affinität der Biegeflächen zu allen Zeitpunkten. Die Biegefläche der Platte ist damit reduziert auf die Verformung der Platte an der Stoßstelle. Die mitschwingende Masse ergibt sich aus der Gleichsetzung der kinetischen Energie für die Platte und für das vereinfachte Ersatzsystem. Für die Auswertung wurde die mitschwingende Masse als das 0,2fache der Plattenmasse angenommen ($\mu = 0,2$). Für den dynamischen Versuch läßt sich damit bei Auswertung der Schwingungsgleichung des Ersatzsystems für verschiedene Zeitpunkte

$$R(t) = f(t) - \mu \cdot m \cdot \frac{d^2f}{dt^2}$$

eine Widerstands(R)-Mittenverformungs(f)-Linie, die "Kennlinie", ermitteln, die unmittelbar mit einer im statischen Versuch gewonnenen Kraft-Mittenverformungs-Linie vergleichbar ist und aus der die von Masseneffekten unabhängigen Unterschiede im Tragverhalten deutlich werden (Bild A 7.2/6 in der Anlage, Bilder 9.4/1, 9.4/2, 9.5/1).

7. Beschreibung der einzelnen Versuche

7.1 Allgemeines

Im folgenden Abschnitt werden Zielsetzung und Verlauf aller Versuche kurz erläutert und wesentliche Meßergebnisse mitgeteilt. In den Abschnitten 8 und 9 werden die Versuchsergebnisse interpretiert. In den Anlagen zum Abschnitt 7 sind einige besondere Zeitpunkte im Versuchsablauf markiert, die zur Beschreibung und Interpretation (siehe Abschnitt 9) gekennzeichnet werden müssen.

Es bedeutet:

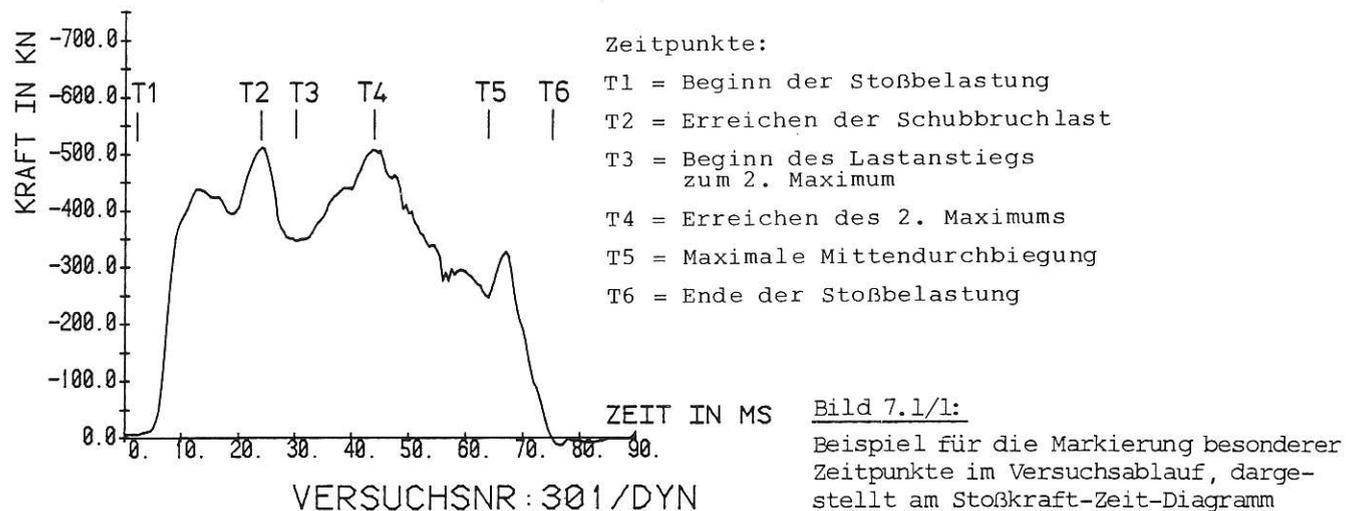
- T 1 = Beginn der Stoßbelastung
- T 2 = Erreichen der Schubbruchlast (1. Maximum) (Stanzkegel)
- T 3 = Beginn des Lastanstiegs zum 2. Maximum
- T 4 = Erreichen des 2. Maximums

T 5 = Erreichen der maximalen Mittendurchbiegung

T 6 = Ende der Stoßbelastung und des Kontaktes zwischen Kolben und Probekörper

Die markierten Zeitpunkte T 2 bis T 5 beziehen sich auf das Erreichen bestimmter Trag- oder Verformungszustände des Probekörpers, die in den Abschnitten 9.3 und 9.4 näher erläutert werden. Es sei hier nur kurz darauf hingewiesen, daß die Platte nach Eintritt des Schubbruches (T 2) durch die Netztragwirkung der Bewehrung in einen neuen Tragzustand übergeht, der die Last erneut ansteigen läßt (T 4).

Bild 7.1/1 zeigt beispielhaft die markanten Zeitpunkte, die in das Diagramm der gemessenen Kolbenkraft über der Zeit eingetragen sind.



In Bild A 7.1/1 in der Anlage sind einige Meßergebnisse aus allen Versuchen zusammengestellt.

Für die mittlere Durchbiegungsgeschwindigkeit in Plattenmitte gilt

$$\bar{v} = \frac{\max W_1}{T_5 - T_1} ,$$

wobei W_1 die in Plattenmitte gemessene Durchbiegung ist.

7.2 Versuch 301 (dynamisch)

Versuchsziel:

Eine Stahlbetonplatte 3,00 m x 3,00 m x 0,16 m (Stützweite $l_1 = l_2 = 2,56$ m) sollte, belastet durch eine Einzellast in Plattenmitte, weggeregelt mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit in Plattenmitte von ca. 3,6 m/s bis zum Bruch beansprucht werden. Der vorgegebene Sollweg wurde mit Rücksicht auf den maximalen Meßweg der Wegaufnehmer auf 18 cm begrenzt. Die errechnete Stoßdauer betrug 50 ms. Die rechnerische Biegebruch- und Schubbruchlasten der Stahlbetonplatte lagen dicht zusammen.

Dieser erste dynamische Versuch an Stahlbetonplatten mit der servohydraulischen Versuchseinrichtung diente in erster Linie der Erprobung der Versuchs- und Meßtechnik. Geklärt werden sollte weiterhin, ob die sich maximal ergebenden Stoß-

kräfte in etwa den Vorausberechnungen entsprechen und ob die konstruktive Ausbildung der Eckbewehrung der Probekörper ausreichend war. Die Auslegung der Probekörperbewehrung der geplanten Versuche Nr. 304 bis 306 wurde vom Ergebnis dieses Versuches abhängig gemacht.

Verlauf des Versuches:

Während der stoßartigen Beanspruchung der Stahlbetonplatte wurde eine maximale Mittenverformung von 157 mm in 62 ms (T 1 bis T 5) erreicht. Die mittlere Durchbiegungsgeschwindigkeit betrug $\bar{v} = 2,53$ m/s. Wie sich herausstellte, war mit den vorgegebenen Werten die Leistungsfähigkeit der Versuchseinrichtung überschritten, so daß die angestrebte Geschwindigkeit und auch die vorgegebene größte Verformung nicht erreicht werden konnten.

Bei Vorgabe eines größeren Sollweges wäre eine noch größere Mittenverformung möglich gewesen. Allerdings wird die Platte mit zunehmender Verformung derart geschädigt, daß der Bauteilwiderstand erheblich absinkt. Der Zusammenhang zwischen Kolbenkraft bzw. Widerstandskraft und Mittenverformung (Bild A 7.2/6 in der Anlage) läßt sich aus diesem Versuch und den folgenden Versuchen bis in den Bereich großer Zerstörungen, aber nicht ganz bis zum vollständigen Verlust der Tragfähigkeit der Platte ermitteln. Das restliche Energieaufnahmevermögen kann jedoch gegenüber dem untersuchten Bereich als gering angesehen werden.

Nach dem Zeitpunkt T 5 ist der Kolben zurückgezogen worden. Der Probekörper federte aufgrund seiner Elastizität zurück und blieb noch einige Zeit mit dem Kolben in Kontakt (bis T 6), bevor er um eine verformte Gleichgewichtslage ausschwang (Bild A 7.2/2 in der Anlage). Der Wegaufnehmer W1 lieferte ab ca. 50 ms keine zuverlässigen Meßwerte mehr, denn eigentlich hätte wegen des Kontaktes zwischen Balken und Kolbenstange bis T 6 kein Unterschied zwischen Kolbenweg und W1 bestehen dürfen. Die Ursache könnte in einer Schiefstellung der Geberhalterung im zerstörten Beton gelegen haben, ist aber nicht geklärt worden. Der Probekörper wurde nicht weiter statisch belastet. Die Aufzeichnungen einiger Meßwerte sind in den Bildern A 7.2/1 bis A 7.2/5 in der Anlage dargestellt. Bild A 7.2/6 in der Anlage zeigt einen Vergleich der gemessenen Stoßkraft, aufgetragen über dem Kolbenweg und der entsprechend Abschnitt 6.4 ermittelten Kennlinie.

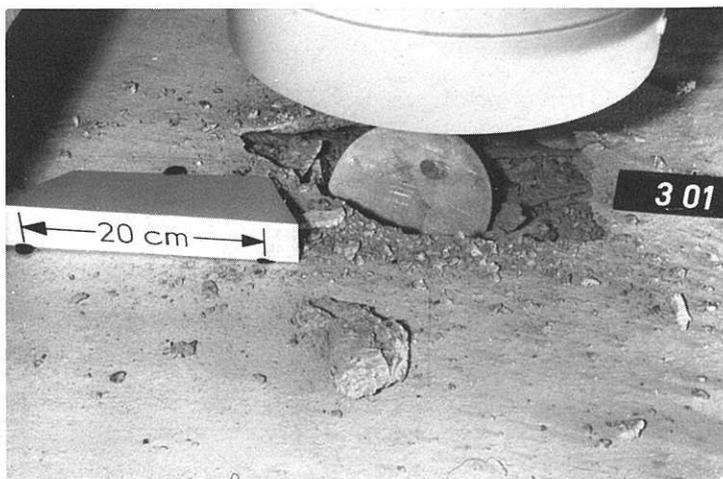


Bild 7.2/1:

Oberseite der Stahlbetonplatte im Bereich der Lasteinleitung. Die Lasteinleitungsplatte bleibt nach der stoßartigen Beanspruchung im Probekörper stecken.

Unmittelbar nach der Stoßbelastung wurde die Zerstörung des Probekörpers protokolliert. Die Lasteinleitungsplatte blieb nach dem Versuch Nr. 301 schief in der Stahlbetonplatte stecken (Bild 7.2/1). Gerissen waren direkt unter der Lasteinleitungsplatte 3 Stäbe der obenliegenden oberen Bewehrung und 1 Stab der untenliegenden oberen Bewehrung. Die Bruchstelle lag im Bereich des Randes der Lasteinleitungsplatte. Die Eindringtiefe der Lasteinleitungsplatte, gemessen als Differenz von Oberseite Probekörper im nichtzerstörten Betonbereich zur Unterseite der Lasteinleitungsplatte, betrug ungefähr 14,0 cm. Nach dem Heraustrennen der unteren Bewehrung im Mittelbereich der Stahlbetonplatte stellte sich heraus, daß der Beton im Bereich eines Kegelstumpfes unterhalb der Lasteinleitungsplatte stark zerstört war. Die Bruchfläche, die Kegelstumpf und unzerstörten Plattenbereich trennt, ist jedoch klar zu erkennen (siehe auch Bild 8/2).

7.3 Versuch 302 (dynamisch)

Versuchsziel:

Eine Stahlbetonplatte entsprechend der im Versuch Nr. 301 verwendeten Ausführung sollte stoßartig belastet werden. Dieser Versuch hatte gezeigt, daß die Platte nur geringe Biegeverformungen aufwies und unter der Lasteinleitungsplatte durchgestanzt wurde. Durch Vergrößerung der Lasteinleitungsplatte auf 27 cm Durchmesser sollte die Schubbruchlast infolge des zu erwartenden größeren Ausbruchkegels gegenüber der Biegebruchlast vergrößert werden.

Da nun höhere Stoßkräfte als im Versuch Nr. 301 zu erwarten waren, wurde die geplante konstante Verformungsgeschwindigkeit in Plattenmitte auf 3,0 m/s verringert, um nicht an die Grenze der Leistungsfähigkeit der Versuchsanlage zu gelangen. Der maximale Kolbenweg ist auf 16,0 cm begrenzt worden, wodurch sich eine rechnerische Stoßdauer (T 1 bis T 5) von 53 ms ergab.

Verlauf des Versuches:

Während der stoßartigen Beanspruchung der Stahlbetonplatte wurde eine Mittenerformung von ca. 158 mm (elastischer und plastischer Anteil) in 67 ms (T 1 bis T 5) erreicht, woraus sich eine mittlere Durchbiebungsgeschwindigkeit von $\dot{v} = 2,36$ m/s ergab. Nach dem Zeitpunkt T 5 ist der Kolben zurückgezogen worden, blieb aber wie im Versuch Nr. 301 noch eine Zeitlang (bis T 6) mit der Platte in Kontakt (Bild A 7.3/2 in der Anlage).

Am darauffolgenden Tag wurde die Stahlbetonplatte noch um weitere 106 mm bleibende Mittendurchbiegung statisch mit 0,1 mm/s verformt. Da sich dann die Lastverteilungsplatte sehr stark schief stellte und der Probekörper nach einer Seite über die Auflager wegrutschte, wurde der Versuch abgebrochen. Die Aufzeichnung einiger Meßwerte ist in den Bildern A 7.3/1 bis A 7.3/4 in der Anlage dargestellt.

Nach der Stoßbelastung wurde der Zerstörungsgrad der Stahlbetonplatte protokolliert. Auf der Oberseite war der Beton in Richtung der sich stärker ausbildenden Bruchlinie abgeplatzt oder zerbröselte. Es waren noch keine Stäbe der Beweh-

rung gerissen. Die Lastverteilungsplatte (\varnothing 27 cm) war ca. 5,5 cm in die Platte eingedrückt worden und erfaßte 5 Stäbe der obenliegenden oberen Bewehrung. Die obenliegende untere Bewehrung hatte sich auf einer Breite von ca. 1,0 m, was dem Durchmesser des Ausbruchkegels entspricht, vom Beton gelöst. 6 Stäbe dieser Bewehrung im Bereich direkt unter der Lasteinleitungsplatte hatten sich stärker durchgebogen als die übrigen Stäbe. Dies läßt vermuten, daß innerhalb des eigentlichen Ausbruchkegels, wie schon im Versuch Nr. 301, unterhalb der Lasteinleitungsplatte ein Betonzylinder herausgedrückt wurde.

Nach dem Ende der statischen Belastung wurde, wie im Versuch Nr. 301, die untenliegende Bewehrung entfernt. Die Zerstörungen entsprachen denen, die im Versuch Nr. 301 beobachtet wurden. In Richtung der stärker ausgeprägten Gelenklinie waren an der Unterseite der Platte deutliche Biegerisse sichtbar. Die Bilder A 7.3/5 und A 7.3/6 in der Anlage zeigen die Unterseite der Stahlbetonplatte nach dem Versuch und der Bohrkernentnahme.

7.4 Versuch 303 (statisch)

Versuchsziel:

Eine Stahlbetonplatte entsprechend der in den Versuchen Nr. 301 und 302 verwendeten Ausführung sollte statisch mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit in Plattenmitte von ca. 0,1 mm/s bis zum Bruch beansprucht werden. Untersucht werden sollte, ob das Verformungs- und Bruchverhalten bei gleichen Probekörpern im statischen Versuch gegenüber dem im dynamischen Versuch verändert ist. Als Lasteinleitungsplatte wurde die im Versuch Nr. 302 verwendete Stahlplatte mit einem Durchmesser von 27,0 cm benutzt, so daß die Versuche Nr. 302 und 303 verglichen werden können.

Verlauf des Versuches:

Mit einer vorgegebenen Verformungsgeschwindigkeit in Plattenmitte von 0,1 mm/s ist der Probekörper bis zu einer Mittenverformung von 237 mm statisch beansprucht worden. Die Aufzeichnung einiger Meßwerte geben die Bilder A 7.4/1 bis A 7.4/3 in der Anlage wieder. Nach Beendigung der statischen Belastung wurde der Zerstörungsgrad der Platte protokolliert.

Von den Bewehrungsstäben waren gerissen:

- 5 Stäbe der obenliegenden oberen Bewehrungslage am Rande der Lasteinleitungsfläche
- 5 Stäbe der untenliegenden oberen Bewehrungslage in der Nähe des Randes der Lasteinleitungsplatte
- 5 Stäbe der obenliegenden unteren Bewehrung

Für die genauere Ermittlung des Zerstörungsbildes wurden wieder die untenliegenden Bewehrungslagen entfernt (Bilder 8/3 und 8/4). Im Gegensatz zum dynamischen Versuch Nr. 302 waren größere zusammenhängende Betonteile erhalten geblieben. Biegerisse in Richtung der Gelenklinien waren mit bloßem Auge nicht zu erkennen.

7.5 Versuch 304 (dynamisch)

Versuchsziel

Die Versuche Nr. 304 bis 306 wurden mit einem Probekörpertyp entsprechend der Zeichnung Bild A 4.1/2 in der Anlage durchgeführt. Gegenüber den in den Versuchen Nr. 301 bis 303 verwendeten Stahlbetonplatten ist die Probekörperdicke von 16 cm auf 22 cm erhöht und der Bewehrungsprozentsatz der Biegebewehrung halbiert worden. Es wurden höhere Stoßkräfte als in den vorangegangenen Versuchen erwartet.

Im ersten dieser Versuche sollte die Stahlbetonplatte mit einer konstanten Belastungsgeschwindigkeit von $v = 3,0$ m/s bis maximal 17,0 cm verformt werden, woraus sich eine Stoßdauer von 57 ms ergab. Es wurde, wie in den Versuchen Nr. 302 und 303, eine Lasteinleitungsplatte von $d = 27,0$ cm verwendet. Eine rechnerische Abschätzung des Verhältnisses der Biegebruch- zur Schubbruchlast ergab einen Wert von ca. 0,7, so daß mit anfänglichem Biegeversagen der Platte gerechnet werden konnte.

Verlauf des Versuches:

Die Stahlbetonplatte wurde stoßartig beansprucht. Die mittlere Durchbiebungsgeschwindigkeit in Plattenmitte ergab sich bei einer dort gemessenen maximalen Verformung von 168 mm und einer Zeit von 72 ms (T 1 bis T 5) zu $\dot{v} = 2,33$ m/s. Wie schon in den Versuchen Nr. 301 und 302, blieben Probekörper und Zylinderkolben nach dem Auftreten der maximalen Verformung während des Zurückziehens des Kolbens noch eine Zeitlang in Kontakt, bis das noch vorhandene elastische Verformungsvermögen erschöpft war und die Stahlbetonplatte um eine verformte Gleichgewichtslage ausschwang (Bild A 7.5/2 in der Anlage).

Die Aufzeichnung einiger Meßwerte ist in den Bildern A 7.5/1 bis A 7.5/4 in der Anlage dargestellt.

7.6 Versuch 305 (dynamisch)

Versuchsziel:

Der Versuch sollte an einem gleichen Probekörper wie im Versuch Nr. 304 und unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden, um die Reproduzierbarkeit von Versuchsergebnissen zu zeigen.

Verlauf des Versuches:

Die mittlere Durchbiebungsgeschwindigkeit in Plattenmitte ergab sich bei der dort gemessenen maximalen Verformung von 165 mm und einer Zeit von 71,5 ms (T 1 bis T 5) zu $\dot{v} = 2,31$ m/s. Wie schon in den vorangegangenen Versuchen mit stoßartiger Belastung, blieben Probekörper und Zylinderkolben nach dem Auftreten der maximalen Verformung während des Zurückziehens des Kolbens noch eine Zeitlang in Kontakt.

Vier Tage nach der stoßartigen Belastung ist die Stahlbetonplatte statisch weiterbelastet worden. Es wurden noch einmal ca. 120 mm Verformung in Plattenmitte

eingeprägt, bevor der Versuch abgebrochen werden mußte, da die Stahlbetonplatte sich seitlich auf den Auflagern verschob.

Die Aufzeichnung einiger Meßwerte ist in den Bildern A 7.6/1 bis A 7.6/4 in der Anlage dargestellt.

Die Bilder A 7.6/5 bis A 7.6/8 in der Anlage zeigen die Ober- bzw. Unterseite sowie Details der Stahlbetonplatte nach dem Versuch. (Die Löcher außerhalb der Mitte stammen von der Bohrkernentnahme.)

7.7 Versuch 306 (statisch)

Versuchsziel:

Eine Stahlbetonplatte entsprechend der in den Versuchen Nr. 304 und 305 verwendeten Ausführung sollte statisch mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit in Plattenmitte von ca. 0,1 mm/s bis zum Bruch beansprucht werden. Untersucht werden sollte, ob das Verformungs- und Bruchverhalten bei gleichem Probekörper im statischen Versuch gegenüber dem im dynamischen Versuch geändert ist.

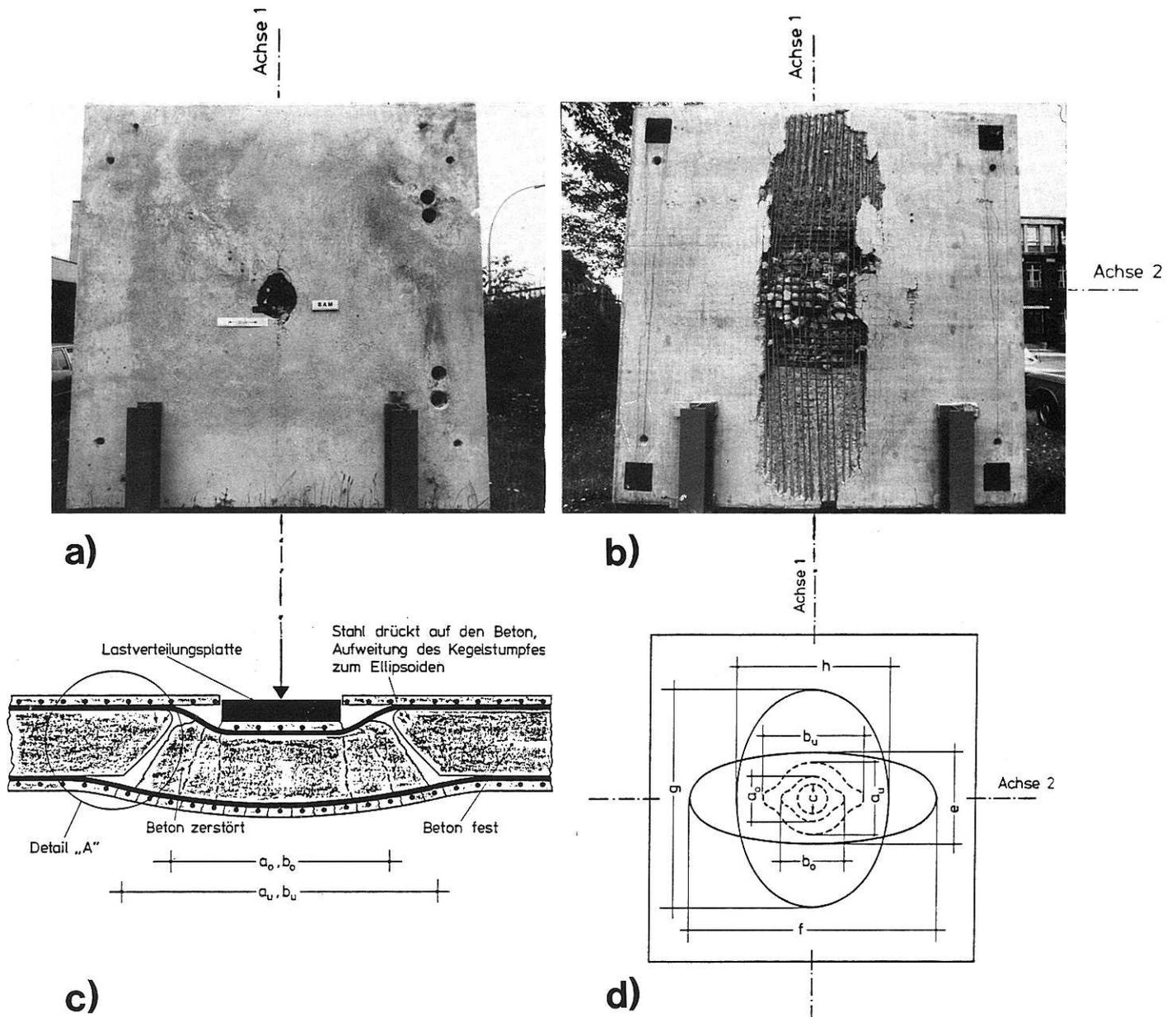
Verlauf des Versuches:

Mit einer vorgegebenen Verformungsgeschwindigkeit in Plattenmitte von 0,1 mm/s ist der Probekörper bis zu einer Mittenverformung von 290 mm beansprucht worden. Bei einer Mittenverformung von 190 mm wurde die Stahlbetonplatte entlastet, um einige Meßwertaufnehmer zu entfernen. Bei 290 mm Mittenverformung versagte die Platte durch Reißen einiger Stäbe der untenliegenden unteren Bewehrung vollständig. Die Aufzeichnung einiger Meßwerte ist in den Bildern A 7.7/1 bis A 7.7/3 in der Anlage dargestellt. Die Bilder A 7.7/4 und A 7.7/5 in der Anlage zeigen die Ober- und Unterseite der Stahlbetonplatte nach dem Versuch und der Bohrkernentnahme.

8. Beschreibung des Bruchverhaltens

Die fotografischen Aufnahmen, Bilder 8/1 a und 8/1 b, zeigen das für alle Versuche typische Zerstörungsbild der Stahlbetonplatten im Versuch Nr. 305 nach der Beanspruchung bis zum vollständigen Verlust der Tragfähigkeit. An der Oberseite der Platte sind bei einigen Versuchen Zerstörungen an der Betondruckzone entlang der schwächer bewehrten Gelenklinie sichtbar (Achse 1). Die untere Bewehrung hat sich in den Bereichen, die durch die Maße h,g und e,f entsprechend Bild 8/1 d gekennzeichnet sind, von dem übrigen Bereich der Platte gelöst.

Unterhalb der Lasteinleitungsfläche ist die Platte in einem kegelstumpfförmigen Bereich stark zerstört. Der Beton innerhalb des Kegelstumpfes weist senkrecht zur Plattenebene stehende, radial vom Kraftangriffspunkt verlaufende Rißflächen auf, die von der orthogonal verlaufenden Bewehrung nicht beeinflußt werden. Die Bruchfläche, die den Kegelstumpf und den unzerstörten Plattenbereich voneinander trennt, ist klar zu erkennen. Bild 8/2 zeigt ein Profil dieser Bruchfläche, ermittelt am Probekörper aus Versuch Nr. 301, aus dem annähernd die Neigung des Bruchkegels ermittelt werden kann. Allerdings kann das Profil ent-



Achse 1: Bewehrung in dieser Achsrichtung liegt außen (Pos. Nr. 1 in A 4.1/1)
 Achse 2: Bewehrung in dieser Achsrichtung liegt innen (Pos. Nr. 4 in A 4.1/1)

- a_o, b_o = Durchmesser des Ausbruchkegelstumpfes in Höhe der oberen Bewehrung
- a_u, b_u = Durchmesser des Ausbruchkegelstumpfes in Höhe der unteren Bewehrung
- c = Durchmesser der Lasteinleitungsplatte
- e, f = Bereich, in dem sich die obenliegende untere Bewehrung von der Stahlbetonplatte gelöst hat
- g, h = Bereich, in dem sich die untenliegende untere Bewehrung von der Stahlbetonplatte gelöst hat

Bild 8/1:

- a) Oberseite einer vierpunktgelagerten Stahlbetonplatte nach Beanspruchung durch Einzellast in Plattenmitte bis zum vollständigen Versagen (Versuch 305), Druckzone in der Gelenklinie in Achse 1 weist Zerstörungen auf.
- b) Unterseite der Stahlbetonplatte (Versuch 305)
- c) Mittelbereich, Detail A siehe Bild 8.2
- d) Prinzipskizze zur Beschreibung der Zerstörung.

lang der Bruchfläche örtlich stark unterschiedlich ausgebildet sein, so daß zur Ermittlung des Neigungswinkels eine möglichst repräsentative Stelle ausgewählt werden muß. Die Ermittlung des Neigungswinkels aus den nur im Mittel zu erfassenden Werten a_u, a_o und s in Bild A 8/1 in der Anlage ist ebenfalls

nur eine grobe Näherung. In Richtung der in Bild 8/2 dargestellten Bruchfläche ist der Beton in mehreren Schichten gebrochen. Unmittelbar unter der Lastangriffsstelle ist ein Betonzylinder mit geringerem Zerstörungsgrad erhalten geblieben.

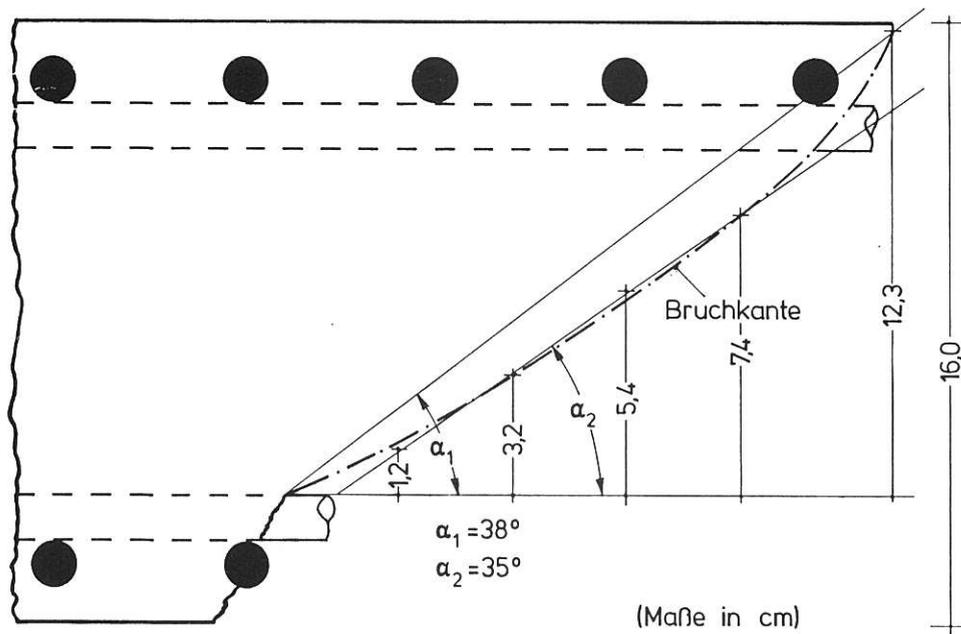


Bild 8/2:
 Profil der Bruchfläche des Ausbruchkegelstumpfes (Versuch 301).
 Detail A in Bild 8/1 c

Zur Ermittlung der die Bruchfigur kennzeichnenden Werte entsprechend Bild 8/1 d wurde die untere Bewehrung teilweise entfernt. Die Bilder 8/3 und 8/4 zeigen den Mittelbereich der Platte aus dem Versuch Nr. 303 nach dem Heraustrennen.

In Bild A 8/1 in der Anlage sind die in den Versuchen Nr. 301 bis 304 gemessenen Werte entsprechend Bild 8/1 d zusammengestellt. Zu erkennen ist, daß der zerstörte Mittelbereich in der Draufsicht elliptisch geformt ist. Dies ist durch die Art der Bewehrung und den Ablauf des Bruches zu erklären. Nach Eintritt des Schubbruches wirkt die Lasteinleitungsplatte zunächst auf die innerhalb ihres Durchmessers liegenden Stähle der obenliegenden oberen Bewehrung, die wiederum durch die senkrecht zu ihnen liegende untere Lage der oberen Bewehrung gestützt werden. Wenn die obenliegenden Stähle reißen, werden Kräfte auf

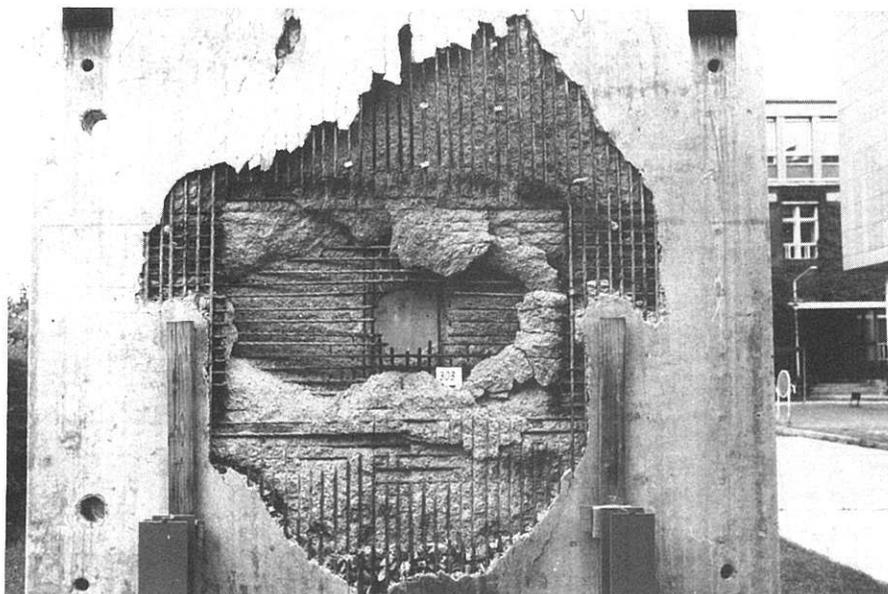


Bild 8/3:
 Unterseite einer statisch geprüften Stahlbetonplatte nach Heraustrennen der untenliegenden Bewehrung im Mittelbereich (Versuch 303)



Bild 8/4:

Detail von Bild 8/3. Zu erkennen ist der kegelstumpfförmig zerstörte Betonbereich unter der kreisförmigen Lasteinleitungsplatte

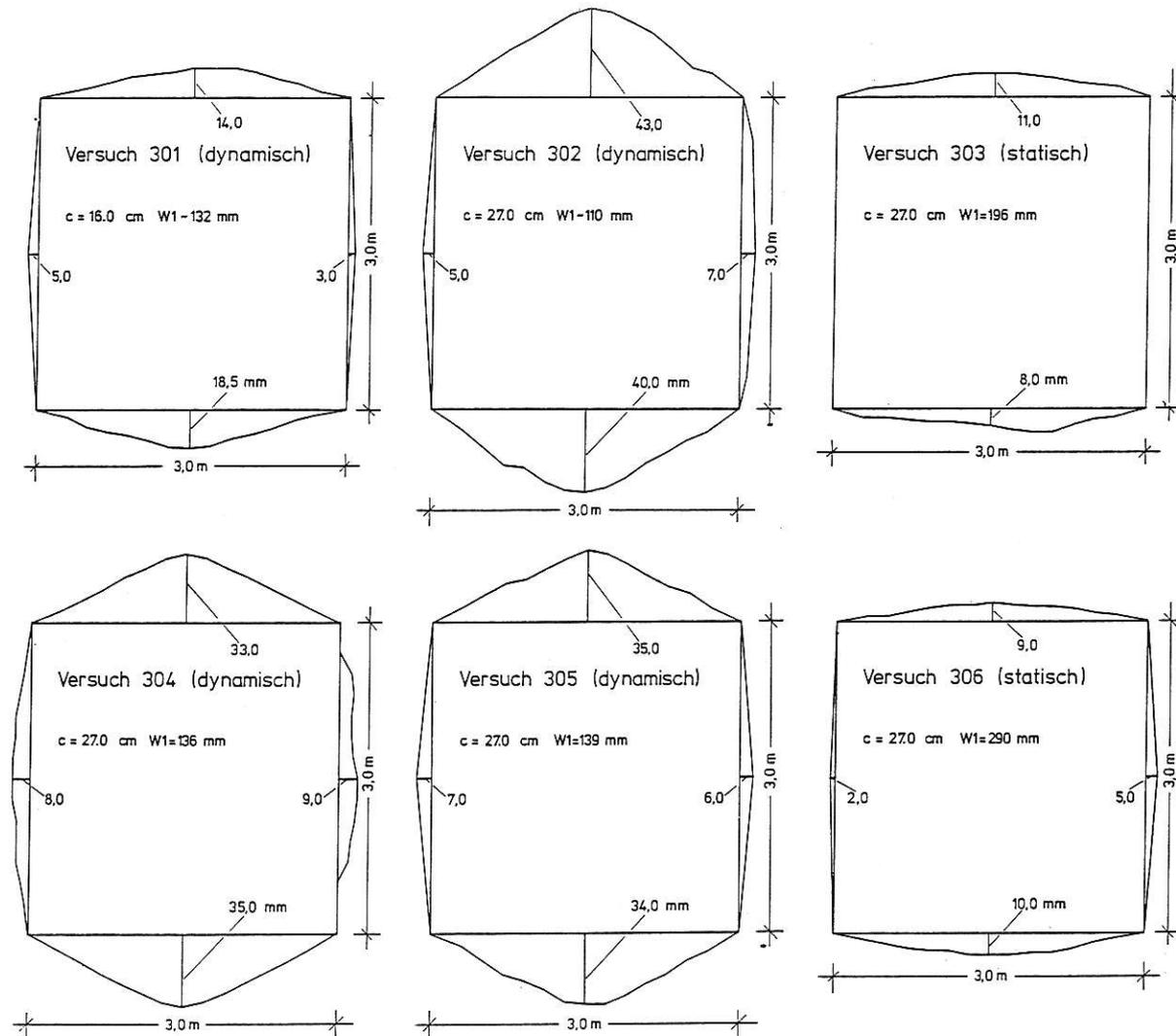


Bild 8/5:

Bleibende Verformung an den Rändern der Stahlbetonplatte

Versuche 301 und 302 : Nach Aufbringen der Stoßbeanspruchung

Versuch 303 (statisch): Am Ende des Versuches

Versuche 304 und 305 : Nach Aufbringen der Stoßbeanspruchung

Versuch 306 (statisch): Am Ende des Versuches

c = Durchmesser der Lasteinleitungsplatte

Wl = Bleibende Mittenerformung zum Zeitpunkt der Messung nach Entlastung der Platte

die innerhalb des Durchmessers der Lasteinleitungsplatte liegenden Stähle der untenliegenden oberen Bewehrung umgelagert. Diese Stähle haben keine weitere Möglichkeit der Querverteilung von Lasten und weiten den anfänglich kegelstumpfförmigen Bruchbereich durch Druck auf den Beton ellipsenförmig auf (Bild 8/1 c).

Die Werte a_0 , a_u , b_0 und b_u sind der maximalen Verformung am Ende des Versuches zuzuordnen. Es ist anzunehmen, daß a und b zum Zeitpunkt des Schubbruches noch gleiche Werte haben. Die Werte von b_0 und b_u hängen von der nach dem Eintreten des Schubbruches eingprägten Verformung ab.

Die obenliegende obere Bewehrung und die Betondeckung bleiben zum größten Teil bis auf den direkt unter der Lasteinleitungsplatte befindlichen Bereich unzerstört und verdecken das eigentliche Ausmaß der Zerstörung bei Betrachtung der Fotos von der Plattenoberseite.

Aus den beobachteten Rissen und der gemessenen Plattenverformungen ist festzustellen, daß sich die entsprechend Bild 1.3/1 angenommenen Fließgelenklinien bei statischen und dynamischen Versuchen einstellen. Die in Bild 8/5 aufgetragenen bleibenden Verformungen am Rand der Stahlbetonplatte machen die Verdrehung der orthogonalen Gelenklinien am Ende des Versuches deutlich. Entsprechend dem unterschiedlichen Bewehrungsgrad der Platten in orthogonaler Richtung ergeben sich in der schwächer bewehrten Gelenklinie größere Verdrehungen.

9. Diskussion der Versuchsergebnisse

9.1 Allgemeines

Im Kapitel 7 sind der Versuchsablauf beschrieben und alle wichtigen Resultate der einzelnen Versuche dargestellt worden. Notwendig ist es nun, die Versuche in Hinblick auf die anfangs beschriebene Zielsetzung zu werten.

9.2 Zur Zielsetzung und Konzeption der Versuche

Die Versuche Nr. 301, 302, 304 und 305, bei denen stoßartige Belastung erzeugt wurde, haben gezeigt, daß mit der vorhandenen servohydraulischen Versuchsanlage gezielte Versuche an Stahlbetonplatten unter diesen Bedingungen durchgeführt werden können. Damit wurde das unter 1.3 angegebene Hauptziel der Versuchsreihe erreicht. Die Versuche Nr. 304 und 305 zeigen die gute Reproduzierbarkeit von Versuchen in servohydraulischen Versuchseinrichtungen bei gleicher Versuchsdurchführung und gleichen Probekörpern (Bild 9.2/1). Auflagerkonstruktionen, Meßwerterfassung und Versuchskonzeption haben sich in allen Versuchen bewährt. Eingesetzt werden sollte bei Plattenversuchen in jedem Falle der Zylinder I (Bild 3.1/4), um mit maximal 1000 kN (statisch) ausreichend große Kräfte aufbringen zu können. Wie aufgrund der Auslegung der Probekörper zu erwarten war, trat das Durchstanzen erst nach der Ausbildung von Fließgelenklinien auf, so daß größere Biegeverformungen erreicht wurden. Wie nachfolgend erörtert wird, konnten einige Fragen zum prinzipiellen Trag- und Verformungs-

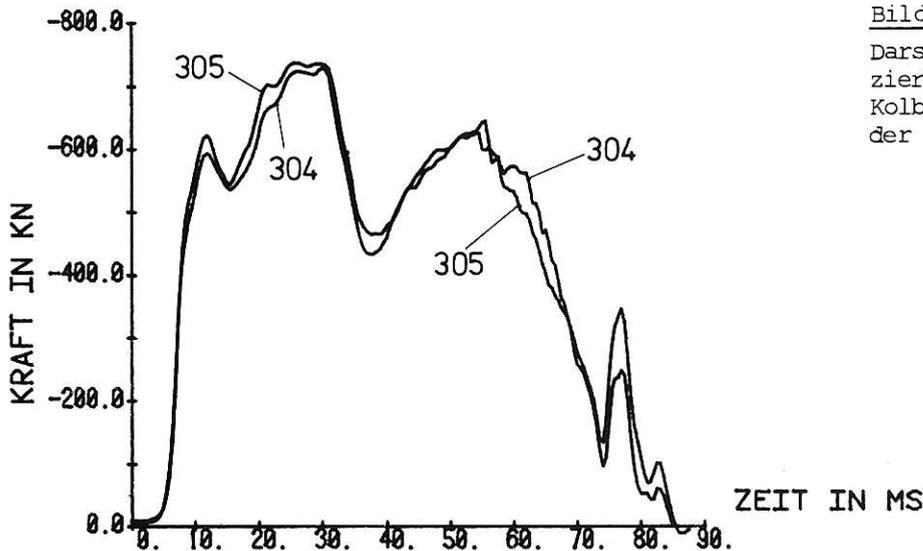


Bild 9.2/1:

Darstellung der Reproduzierbarkeit von Versuchen, Kolbenkraft-Zeit-Diagramme der Versuche 304 und 305

verhalten von statisch und dynamisch belasteten Stahlbetonplatten ohne Bügelbewehrung geklärt werden. Für eine Parameterstudie ist die Anzahl der durchgeführten Versuche allerdings zu gering.

9.3 Trag- und Verformungsverhalten bei statischen Versuchen (Versuche 303 und 306)

Anhand der Aufzeichnung der Kolbenkraft über der Zeit (Bilder A 7.4/1 und A 7.7/1 in der Anlage) lassen sich Aussagen über das Trag- und Verformungsverhalten der Stahlbetonplatte bei statischer Beanspruchung machen. Je nach Zerstörungsgrad der Platte sind bei zunehmender Verformung verschiedene Tragzustände zu erkennen. Zunächst werden das Stadium I (Beton in der Zugzone noch nicht gerissen) und das Stadium II (Betonzugzone gerissen) durchlaufen. Aus dem zeitlichen Verlauf der Durchbiegungen in der Mitte der Plattenränder (Aufnehmer W 8 und W 9, Bilder A 7.4/1 und A 7.7/1 in der Anlage) erkennt man die unterschiedlichen Steifigkeiten des Probekörpers in den orthogonal zueinander stehenden Bewehrungsrichtungen infolge des unterschiedlichen Hebelarms der inneren Kräfte.

Das Stadium III (Stahl in der Zugzone plastiziert) beginnt, wenn die Steifigkeit in einer der Gelenklinien abnimmt und dort plastische Verformungen einsetzen. Anhand der gemessenen Verformungen an den Plattenrändern wird deutlich, daß von diesem Zeitpunkt an die Drehungen um die stärker bewehrte Achse im Vergleich zur nun "weicheren" Gelenklinie wesentlich geringer anwachsen (siehe Bild A 7.7/1 in der Anlage, W 8 = Mittendurchbiegung am "schwächeren Rand", W 9 = Mittendurchbiegung am "stärkeren Rand"). Die Verformungen konzentrieren sich weitgehend in der schwächeren Gelenklinie, und die Steifigkeit der gesamten Platte nimmt ab. Danach tritt Durchstanzen ein (Zeitpunkt T 2). Die gemessene Kraft fällt schlagartig ab, bevor sich ein neuer Tragzustand einstellt. Die Lasteinleitungsplatte dringt sichtbar in den Probekörper ein. Es bildet sich ein Stanzkegel aus. Die außerhalb des Stanzkegels liegenden Bereiche werden entlastet und reagieren mit zurückgehenden Verformungen (siehe Bild

A 7.4/1 in der Anlage, Wegaufnehmer W 4, W 5, W 8, W 9 zum Zeitpunkt T 2). Der Stanzkegel wird von der starken oberen und unteren Bewehrung gehalten. Dabei beginnt die untere Bewehrung sich teilweise von der Stahlbetonplatte abzulösen.

Werden weitere Verformungen eingepreßt, nimmt der Probekörper durch Netztragwirkung der Bewehrung wieder Last auf und erreicht im Versuch Nr. 303 (Bild A 7.4/1 in der Anlage) sogar noch eine höhere Traglast als bei Eintritt des Stanzens. Die Steifigkeit des Probekörpers hat jedoch weiter abgenommen. Nach Auftreten des Stanzens bleiben große Verformungen auf den Mittelbereich der Platte beschränkt, wie die Darstellung der Biegelinie zu verschiedenen Zeitpunkten deutlich zeigt (Bild A 7.4/3 in der Anlage).

Bis zum Erreichen des zweiten Maximums der Kraft-Zeit-Kurve (Zeitpunkt T 4) sind wahrscheinlich noch alle Bewehrungsstäbe ungerissen. Bei weiterer Verformung beginnen einzelne Stäbe der oberen Bewehrung nacheinander zu reißen. Die Kraft fällt vorübergehend ab und erreicht bei weiterem Steifigkeitsverlust ein erneutes Maximum. Der Ausbruchkegel stützt sich nun nur auf der unteren Bewehrung der Platte ab, die bei ausreichender Verankerung umliegende Bereiche zum Mittragen aktiviert.

Weitere Verformungen sind, wie der Versuch Nr. 306 zeigt, bis zum endgültigen Bruch der untenliegenden unteren Bewehrung durchaus noch möglich (Bild A 7.7/2 in der Anlage), bevor die Last fast auf Null absinkt.

Ein Vergleich der Traglasten zum Zeitpunkt T 2 und T 4 (Bilder A 7.4/1 und A 7.7/1 in der Anlage) in den mit verschiedenen Probekörpern durchgeführten Versuchen Nr. 303 und 306 zeigt, daß im Versuch Nr. 303 im Gegensatz zu Nr. 306 die Traglast zum Zeitpunkt T 4 größer ist als die Biegebruchlast im Stadium III, die etwa zum Zeitpunkt T 2 als erreicht angesehen werden kann. Die für den Versuch Nr. 303 rechnerisch ermittelte Biegebruchlast und Schubbruchlast ist wegen der gegenüber Versuch Nr. 306 geringeren Plattendicke niedriger (Versuch Nr. 303: Plattendicke 16 cm; Versuch Nr. 306: Plattendicke 22 cm). Die im Versuch Nr. 303 vorhandene starke obere und untere Netzbewehrung ($\mu = 1,5 \%$, kreuzweise) bewirkt die große Netztraglast in diesem Versuch. In absoluten Werten ist die obere und untere Biegebewehrung im Versuch Nr. 303 mit $22 \text{ cm}^2/\text{m}$ je Richtung stärker ausgelegt als im Versuch Nr. 306 mit $15,7 \text{ cm}^2/\text{m}$ je Richtung.

Eine genaue Aussage über den Einfluß einzelner Parameter, wie Betonfestigkeit, Biegebewehrung und Plattendicke, ist nur bei einer wesentlich größeren Anzahl von Versuchen möglich. Die Versuche Nr. 303 und 306 können zunächst nur Tendenzen aufzeigen. Einige Anmerkungen zu dem aus den Bildern A 7.4/1 und A 7.7/1 in der Anlage erkennbaren Tragverhalten sollen jedoch gemacht werden, da sie für die Planung weiterer Versuche an Stahlbetonplatten nützlich sein können. Bis zum Zeitpunkt T 2 werden Widerstand und Steifigkeit der Platte wesentlich vom Bewehrungsgrad und der statischen Höhe bestimmt. Der Lastabfall zum Zeitpunkt T 2 zeigt, daß bei plötzlichem Ausfall der vom Beton im Bereich des Stanzkegels aufgenommenen Kräfte diese nicht vollständig von dem sich neu einstellenden Tragsystem aufgenommen werden können. Entscheidend für das Tragverhalten

vom Zeitpunkt T 3 bis T 4 sind die untere und obere Bewehrung. Bei T 4 versagt die obere Bewehrung durch Reißen der Bewehrungsstäbe am Rande der Lasteinleitungsfläche, was einen weiteren Verlust an Tragfähigkeit der Stahlbetonplatte zur Folge hat.

Ein weiterer das Trag- und Verformungsverhalten beeinflussender Parameter ist die Bügelbewehrung, deren Einfluß in späteren Versuchen untersucht wurde /5/.

Bei der Beurteilung des Trag- und Verformungsverhaltens von Stahlbetonplatten ist zu bemerken, daß eine Definition des Versagens nur in Zusammenhang mit den Anforderungen aus dem konkreten Anwendungsfall gegeben werden kann. Die Kraft-Verformungs-Diagramme (Bilder A 7.4/2 und A 7.7/2 in der Anlage) zeigen deutlich, daß nach dem Eintreten des Schubbruches noch große Anteile an Energie aufgenommen werden können, wenn große Verformungen und Risse zugelassen werden. Die Frage, inwieweit diese Energieanteile bei einer praktischen Bemessung genutzt werden können, bedarf weiterer Überlegungen und Diskussion an anderer Stelle.

9.4 Trag- und Verformungsverhalten bei Versuchen mit stoßartiger Beanspruchung im Vergleich mit statischen Versuchen

Bei der Beurteilung des dynamischen Verhaltens von örtlich belasteten Platten ist es sinnvoll, eine Trennung von Effekten vorzunehmen, die auf eine Änderung des Materialverhaltens einerseits und auf Wirkung von Trägheitskräften andererseits beruhen. Eine um die Massenbeschleunigungskräfte bereinigte Widerstand-Mittenverformungskurve ermöglicht den unmittelbaren Vergleich mit Kolbenkraft-Mittenverformungs-Diagrammen aus statischen Versuchen und wird im folgenden kurz als "Bauteilwiderstand" oder "Kennlinie" bezeichnet.

Eine Ermittlung des Bauteilwiderstandes der stoßbelasteten Probekörper, wie sie bei der Auswertung von Balkenversuchen durchgeführt wurde /2-4/, und damit verbunden die Ermittlung von Schnittlasten wie Biegemomenten und Querkräften, ist bei Plattenversuchen wegen der inneren statischen Unbestimmtheit des Trag-systems nicht möglich. Näherungsweise kann man die Platte, wie in Abschnitt 6.4, als Einmassenschwinger abbilden und auf diese Weise eine "Kennlinie" ermitteln. Mit einer solcherart bestimmten Kennlinie läßt sich das globale, verformungsgeschwindigkeitsabhängige Verhalten von dynamisch belasteten Platten mit dem Verhalten im statischen Versuch näherungsweise vergleichen. Die Unsicherheit in der Modellabbildung (Größe der mitschwingenden Plattenmasse) wirkt sich in einem großen Zeitbereich des Versuches nur gering aus, da bei allen dynamischen Versuchen eine konstante Verformungsgeschwindigkeit angestrebt wurde, um den Einfluß der Massenbeschleunigungskräfte so gering wie möglich zu halten. Die Ermittlung des lokalen Bauteilverhaltens, z.B. für die Ermittlung der Querkräfte im Bereich des Stanzkegels, läßt sich dagegen am besten anhand der unmittelbar aufgezeichneten Kraft-Verformungskurve vornehmen.

Der Vergleich des Verhaltens von Platten unter statischer und dynamischer Beanspruchung kann anhand der Bilder 9.4/1 und 9.4/2 vorgenommen werden. Darge-

stellt sind die gemessenen Kraft-Mittenweg-Diagramme für die 16 cm dicken Platten (Versuche Nr. 302 und 303) sowie die 22 cm dicken Platten (Versuche Nr. 305 und 306). Für die dynamischen Versuche ist außerdem die entsprechende Kennlinie eingezeichnet. Die Diagramme zeigen, daß bei statischen Versuchen wie auch bei Versuchen mit stoßartiger Beanspruchung nach Eintritt des Schubbruches eine Änderung des Tragsystems eintritt, wobei der Widerstand der Platte teilweise absinkt und dann wieder zu einem zweiten Maximum anwächst. Neben den Meßwerten der Wegaufnehmer zeigen auch die Messungen der Beschleunigungen die Änderung des Tragmechanismus nach Eintritt des Schubbruches an. Dies ist anhand des zeitlichen Verlaufes der Beschleunigungen im Versuch Nr. 302 in Bild A 7.3/3 in der Anlage erkennbar. Die Meßstelle B 1 befindet sich direkt im Mittelbereich des herausgedrückten Betonkegelstumpfes in der Wirkungslinie der Stoßkraft. Dieser Bereich wird entsprechend des vorgegebenen Versuchsablaufes mit möglichst konstanter Geschwindigkeit verformt, woraus theoretisch die Beschleunigung Null folgt. Dies ist versuchstechnisch, vor allem in der Anfangsphase, nicht erreichbar, aber der Meßwert nähert sich im Laufe des Stoßvorganges dem Wert Null. Die Meßstellen B 2 und B 3 liegen im Bereich des Randes des Ausbruchkegels. Bis zum Eintritt des Schubbruches (T 2) entsprechen diese Werte den Werten von B 1. Danach führen lokale Effekte im zerstörten Beton zu der höherfrequenten Zick-Zack-Kurve. Die Aufnehmer geben nicht mehr das globale Beschleunigungsverhalten der Platte wieder. Die Meßstellen B 4 und B 5 sind offensichtlich weit genug von der lokalen Störstelle entfernt und zeigen das globale Verhalten der außerhalb des Ausbruchbereiches liegenden Platte an. Das Zurückfedern dieses Plattenbereiches gegenüber dem Ausbruchbereich nach Eintritt des Schubbruches in der Zeit von T 2 bis T 3 zeigt sich in der negativen Beschleunigung dieser Meßpunkte, worauf auf eine Geschwindigkeitsabnahme geschlossen werden kann.

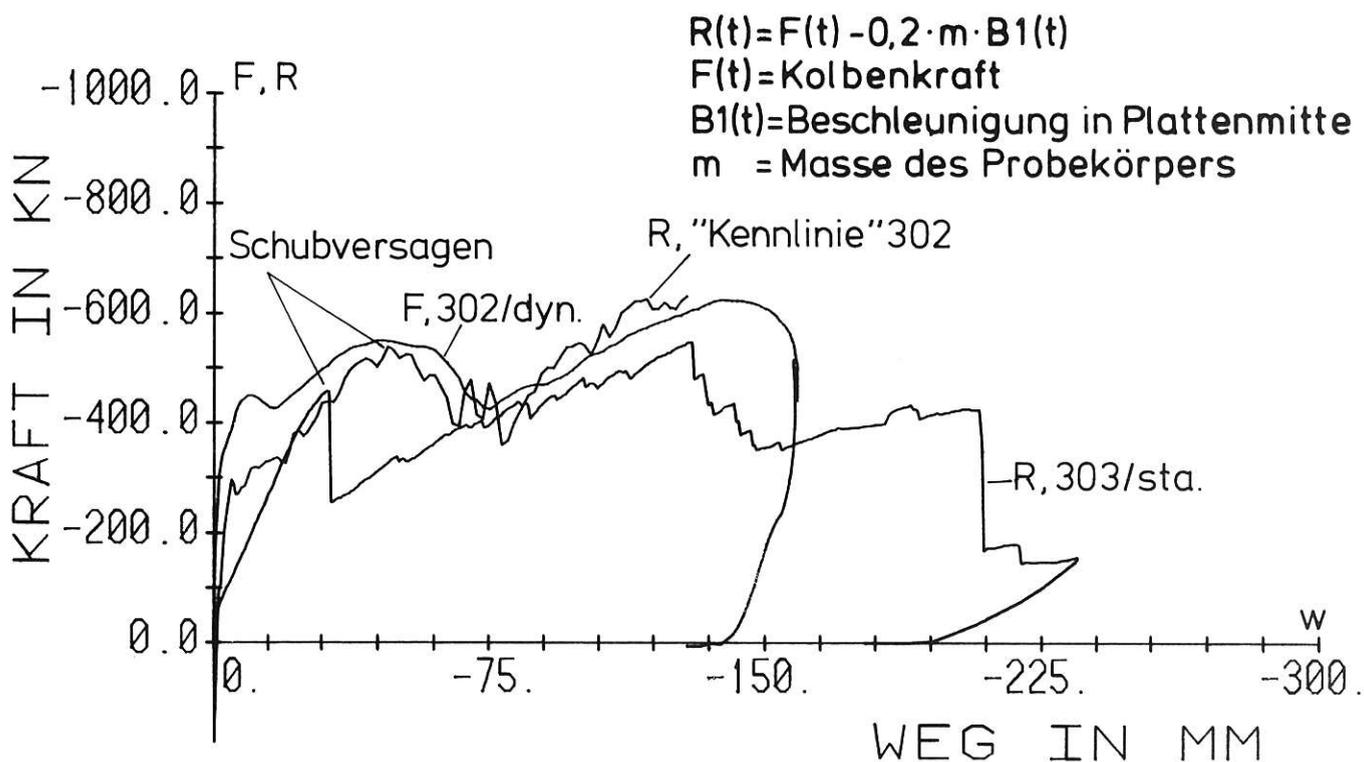


Bild 9.4/1:

Kraft-Kolbenweg-Diagramm (statischer Versuch 303), Kraft-Mittenweg (W1)-Diagramm (dynamischer Versuch 302), "Kennlinie" (dynamischer Versuch 302)

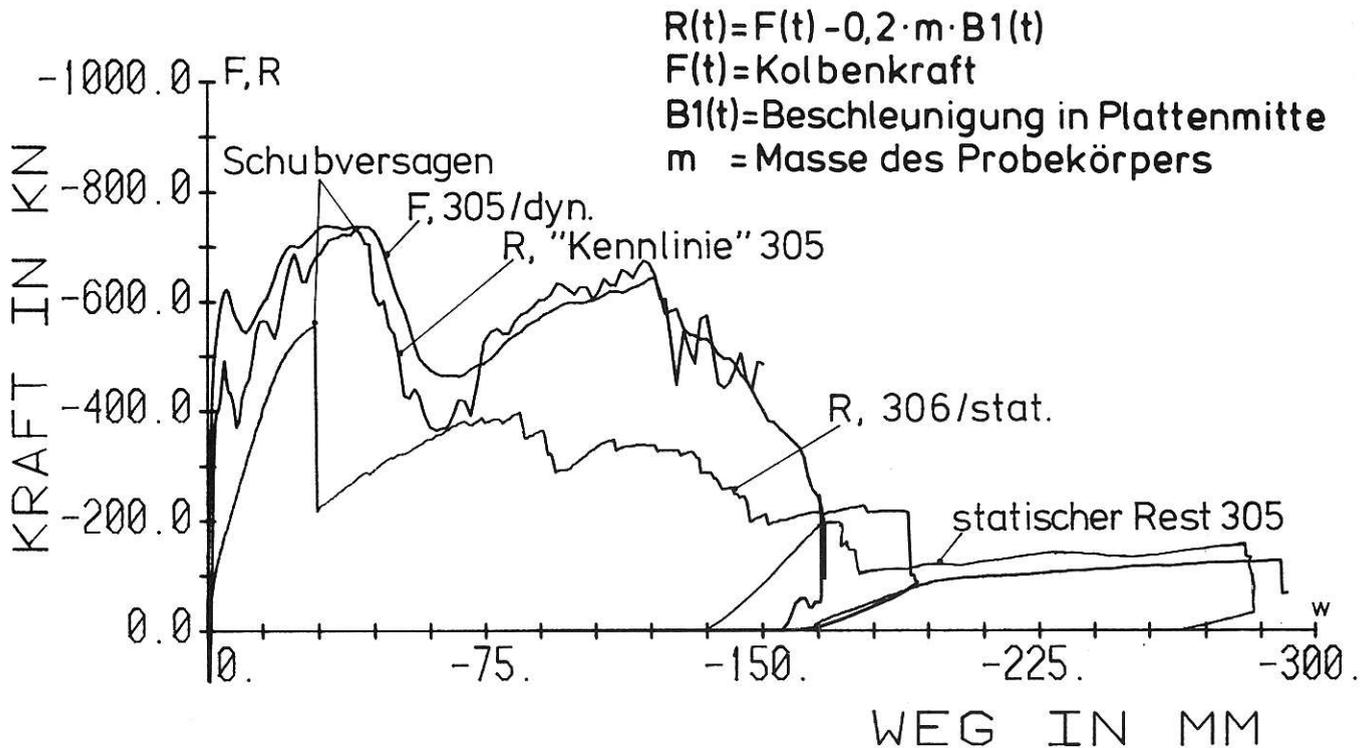


Bild 9.4/2:

Kraft-Kolbenweg-Diagramm (statischer Versuch 306), Kraft-Mittenweg (W1)-Diagramm (dynamischer Versuch 305), "Kennlinie" (dynamischer Versuch 306)

Der Verlauf der "Kennlinie", Bild 9.4/1, ermittelt für den Versuch Nr. 302, zeigt gegenüber dem statischen Versuch Nr. 303 eine Erhöhung der Schubbruchlast von 460 kN auf ca. 540 kN (ca. 17 %) und eine Zunahme der Mittenverformung von 33 mm auf ca. 48 mm (ca. 45 %) bei Eintritt des Schubbruches. Der Verlauf der "Kennlinie", Bild 9.4/2, ermittelt für Versuch Nr. 305, zeigt gegenüber dem statischen Versuch Nr. 306 eine Erhöhung der Schubbruchlast von 555 kN auf ca. 730 kN (ca. 32 %) und eine Zunahme der Mittenverformung von 30 mm auf 42 mm (30 %) im Moment des Eintritts des Schubbruches. Damit zeigt sich bis zu dieser Beanspruchungsphase auch bei Stahlbetonplatten mit Bewehrung aus BSt 420/500 RK die gleiche Tendenz, die schon an Balken /2-4/ festzustellen war, nämlich daß das werkstoffabhängige Energieaufnahmevermögen bei stoßartiger Beanspruchung gegenüber statischer Beanspruchung zunimmt.

Ein Vergleich der Biegeformen von dynamisch und statisch beanspruchten Platten in verschiedenen Bruchphasen zeigt keine wesentlichen Unterschiede im prinzipiellen Verformungsverhalten (z.B. Bilder A 7.6/4 und A 7.7/3 in der Anlage). Ebenso ergab die Rißaufnahme keine wesentlichen Unterschiede im Bruchbild bei den beiden Belastungsarten.

Die jedoch bei Versuchen mit stoßartiger gegenüber statischer Beanspruchung insgesamt größere Verformungsfähigkeit der Stahlbetonplatte ist auch beim Vergleich der an den Plattenrändern gemessenen plastischen Durchbiegungen erkennbar (z.B. Versuche Nr. 305 und 306, Bild 8/5).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß bei stoßartig gegenüber statisch belasteten Stahlbetonplatten keine prinzipiellen Unterschiede im Trag- und Ver-

formungsverhalten gefunden werden konnten. Ein Vergleich der Versuche Nr. 305 und 306 in Bild 9.4/2 zeigt, daß alle Phasen der Traglastumlagerung und das Bruchverhalten im wesentlichen gleich sind. Unterschiede zeigen sich allerdings im Energieaufnahmevermögen.

9.5 Vergleich der Stoßversuche 301 und 302, Einfluß der Lasteinleitungsfläche

Der Parameter Lasteinleitungsfläche wurde in den dynamischen Versuchen Nr. 301 und 302 variiert. Im Versuch Nr. 301 betrug der Durchmesser der runden Lasteinleitungsplatte 16 cm und im Versuch Nr. 302 27 cm. Beide Versuche erfolgten mit annähernd gleichen Probekörpern und annähernd gleicher mittlerer Verformungsgeschwindigkeit. Die größere Lasteinleitungsplatte im Versuch Nr. 302 hatte zur Folge, daß die Stoßkraft und die Verformungen bis zum Zeitpunkt des Schubbruches (T 2) anstiegen (Bild A 7.1/1 in der Anlage).

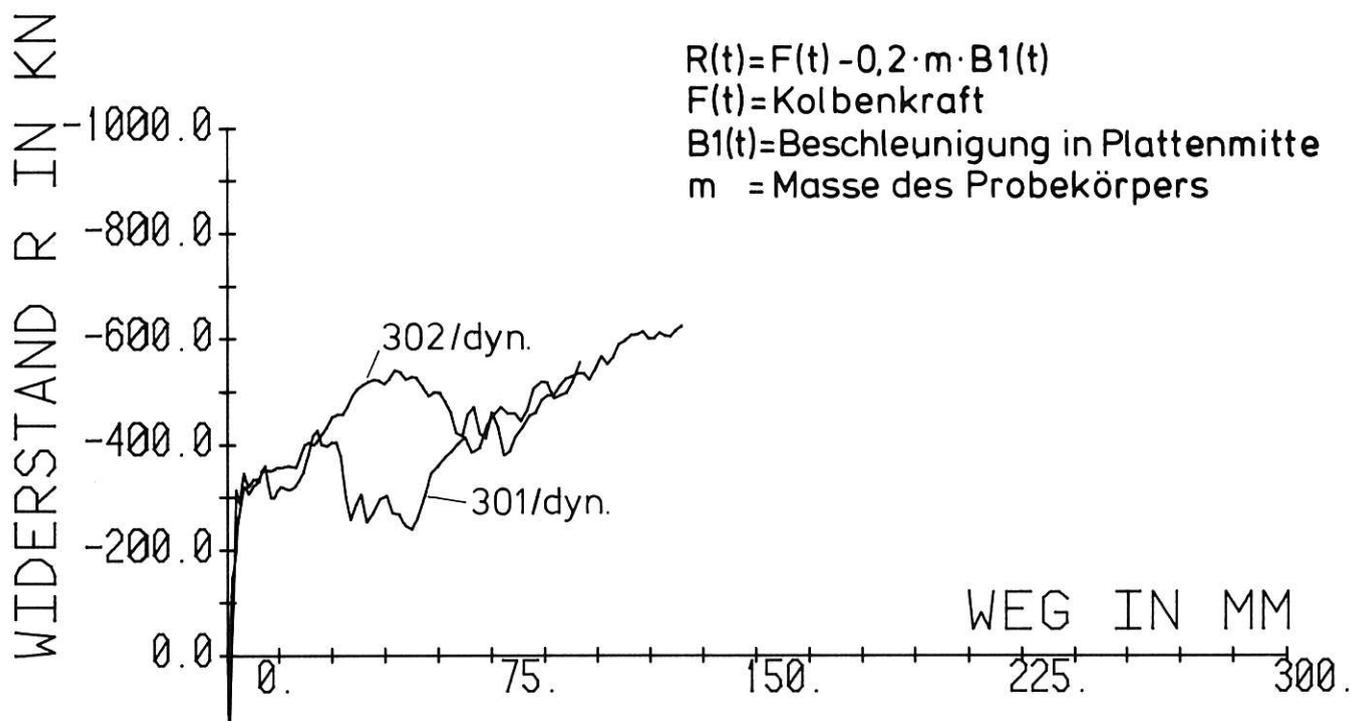


Bild 9.5/1:

Kennlinien im Versuch 301, Lasteinleitungsplatte $\varnothing = 16$ cm und im Versuch 302, Lasteinleitungsplatte $\varnothing = 27$ cm

Die maximale Traglast zum Zeitpunkt T 4 erhöhte sich bei größerer Lasteinleitungsfläche im Versuch Nr. 302 gegenüber Versuch Nr. 301. Sie erreichte im Versuch Nr. 302 noch höhere Werte als die Schubbruchlast zum Zeitpunkt T 2. Auch der mit dem Versuch Nr. 302 vergleichbare statische Versuch Nr. 303 zeigte gleiche Tendenz (Bild A 7.1/1 in der Anlage).

Bild 9.5/1 zeigt den Vergleich der Kennlinien, ermittelt unter Verwendung des in Abschnitt 6.4 erläuterten Masse-Feder-Modells.

Im Versuch Nr. 301 wurden in jeder Bewehrungsrichtung 3 Bewehrungsstäbe der oberen Bewehrung direkt von der Lasteinleitungsplatte getroffen. Vier der ins-

gesamt 6 Stäbe waren nach dem Versuch gerissen. Im Versuch Nr. 302 erfaßte die Lasteinleitungsplatte je 5 Stäbe der oberen Bewehrung in jeder Richtung. Keiner der insgesamt 10 Stäbe war nach dem Versuch gerissen.

Der Durchmesser der Lasteinleitungsplatte bestimmt u.a. die Größe des Ausbruchkegelstumpfes und damit die Größe der Scherfläche im Beton und die Anzahl der innerhalb des Stanzkörpers liegenden Bewehrungsstäbe, die als Verdübelung wirken. Beide Parameter, in Verbindung mit den entsprechenden Materialfestigkeitswerten, haben sicherlich Einfluß auf die erreichbare Schubbruchlast. Zur genaueren Klärung dieser Fragen sind weitere Versuche notwendig.

9.6 Tragverhalten bis zum Schubbruch

Für viele Bemessungsaufgaben ist das Energieaufnahmevermögen einer Stahlbetonkonstruktion nach Eintritt des Schubbruches wegen der großen örtlichen Zerstörung nicht mehr nutzbar. Die Kenntnis der Grenze zwischen Schub- und Biegetraglast und der sie beeinflussenden Parameter ist deshalb von großer Bedeutung.

Alle hier untersuchten Probekörper versagten durch Schubbruch. Ein Biegebruch in Form von Reißen der untenliegenden Bewehrung in den sich ausbildenden Gelenklinien wurde nicht erreicht. Schubbruch trat jedoch erst ein, nachdem in der schwächer bewehrten Gelenklinie die Biegetraglast nahezu erreicht war und starke Biegeverformungen auftraten. Die starken Biegeverformungen könnten den Schubbruch durch die fortschreitende Rißentwicklung hervorgerufen haben, so daß ein "s e k u n d ä r e r S c h u b b r u c h" entstand. Die Schubtragfähigkeit der Stahlbetonplatten wird bestimmt von den Querschnittsabmessungen, vom statischen System und den Parametern Bewehrungsgrad der oberen und unteren Bewehrung, Lasteinleitungsfläche, Betonzugfestigkeit und Bügelbewehrung. Zur genaueren Quantifizierung der Einflüsse sind weitere Versuche notwendig.

10. Zusammenfassung der Ergebnisse

Durchgeführt wurden 6 Versuche an vierpunktgelagerten Stahlbetonplatten ohne Schubbewehrung unter zentrischer statischer und stoßartiger Einzellast. Zwei unterschiedliche Probekörpertypen wurden verwendet. Die quadratischen Platten hatten 3 m Kantenlänge und waren 16 cm bis 22 cm dick. Hauptziel der Untersuchung war die Klärung der Frage, ob die in der BAM installierte Versuchseinrichtung geeignet ist, Versuche mit stoßartiger Beanspruchung von Stahlbetonplatten durchzuführen. Weiterhin sollte das prinzipielle Trag- und Verformungsverhalten der Probekörper bis zum endgültigen Versagen beobachtet werden. Die Versuche sind als Tastversuche zur Planung weiterer Versuchsreihen anzusehen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

- Die in der BAM installierte servohydraulische Versuchseinrichtung ist geeignet, Versuche an Stahlbetonplatten ohne Schubbewehrung bei stoßartiger Beanspruchung (weicher Stoß) durchzuführen. Es lassen sich gut reproduzierbare Versuche durchführen. Neben der hydraulischen Anlage selbst haben sich Auf-

lagerkonstruktion, Meßwerterfassung und Versuchskonzeption bewährt. Zur Durchführung von Versuchen an Stahlbetonplatten mit Schubbewehrung (Bügel) sind weitere Versuche zur Anlagenerprobung notwendig.

- Aussagen über den Einfluß einzelner Probekörperparameter, wie z.B. Betonfestigkeit, Bewehrungsgrad, Lasteinleitungsfläche und Plattendicke, sind wegen der geringen Zahl von Versuchen nicht möglich. Jedoch konnte das prinzipielle Trag- und Verformungsverhalten der Stahlbetonplatten bis zum endgültigen Bruch beobachtet werden.
- Es hat sich gezeigt, daß nach Biegeverformungen der Stahlbetonplatten bis in den Bereich plastischer Verformungen hinein ein Schubbruch (sekundärer Schubbruch) unter Ausbildung eines Stanzkegels eintrat.
- Aussagen über den Einfluß einzelner Probekörperparameter, wie z.B. Betonfestigkeit, Bewehrungsgrad, Lasteinleitungsfläche und Plattendicke, sind wegen der geringen Zahl von Versuchen nicht möglich. Jedoch konnte das prinzipielle Trag- und Verformungsverhalten der Stahlbetonplatten bis zum endgültigen Bruch beobachtet werden.
- Es hat sich gezeigt, daß nach Biegeverformungen der Stahlbetonplatten bis in den Bereich plastischer Verformungen hinein ein Schubbruch (sekundärer Schubbruch) unter Ausbildung eines Stanzkegels eintrat.
- Prinzipielle Unterschiede in der Art des Trag- und Verformungsverhaltens bei statischer und stoßartiger Beanspruchung konnten nicht beobachtet werden, jedoch ergab sich unter stoßartiger gegenüber statischer Beanspruchung ein Ansteigen des Energieaufnahmevermögens. Dies gilt nicht nur für den Bereich bis zum Biegeversagen, wie schon bei Versuchen an Stahlbetonbalken /2-4/ festgestellt wurde, sondern auch für die Beanspruchung bis zum Schubbruch, wo eine Zunahme der Schubbruchlast um 17 % bzw. 32 % und der Verformung bis zu diesem Punkt um 45 % bzw. 30 % zu beobachten war.
- Durch Feststellung der Form des Ausbruchkegels konnten wichtige Hinweise zur Anordnung von Bügelbewehrung in späteren Versuchsreihen gewonnen werden.

Literatur

- / 1/ Brandes, K., Limberger, E., Herter, J.:
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Konzeption für geregelte Versuche, Versuchseinrichtung, Vorversuche an Stahlbetonbalken
1. Technischer Fachbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 1500 121 (RS 121), BAM Forschungsbericht 90, Berlin: Bundesanstalt für Materialprüfung, April 1983
- / 2/ Brandes, K., Limberger, E., Herter, J., Berner, K.:
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonbalken mit Biegebewehrung aus Betonstahl
BSt 420/500 RK und BSt 1080/1320
2. Technischer Fachbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 1500 121 (RS 121), BAM Forschungsbericht 99, Berlin: Bundesanstalt für Materialprüfung, Dezember 1983

- / 3/ Limberger, E., Brandes, K., Herter, J.:
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I.
3. Technischer Fachbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 1500 121 (RS 121),
erscheint als BAM Forschungsbericht

- / 4/ Limberger, E., Brandes, K., Herter, J.:
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II
5. Technischer Fachbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 1500 121 (RS 121),
erscheint als BAM Forschungsbericht

- / 5/ Limberger, E., Brandes, K., Herter, J.:
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II
2. Technischer Fachbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 150 460,
erscheint als BAM Forschungsbericht

- / 6/ Sawczuk, A., Jaeger, T.:
Grenztragfähigkeitstheorie der Platten
Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1963

- / 7/ Jonas, W., Rüdiger, E., Riech, H.:
Kinetische Grenztragfähigkeit
Technischer Bericht I zum BMFT-Forschungsvorhaben RS 165, Dez. 1978

- / 8/ Heine, H., Hoffschult, A., Wösten, B., Jonas, W., Rüdiger, E. und Riech, H.:
Versuchseinrichtung
II. Technischer Bericht zum BMFT-Forschungsvorhaben RS 149/RS 165,
Juni 1980

- / 9/ Jonas, W., Rüdiger, E., Riech, H.:
Stoßlast Deformierbarer Projektile
III. Technischer Bericht zum BMFT-Forschungsvorhaben RS 165/RS 149,
Nov. 1982

- /10/ Jonas, W., Rüdiger, E., Gries, M., Riech, H., Rützel, H.:
Kinetische Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten
IV. Technischer Bericht zum BMFT-Forschungsvorhaben RS 165 (Schlußbericht)

- /11/ Jonas, W., Rüdiger, E., Gries, M., Riech, H., Rützel, H.:
Kinetische Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten
Anhangband zum IV. Technischen Bericht zum BMFT-Forschungsvorhaben
RS 165/RS 149

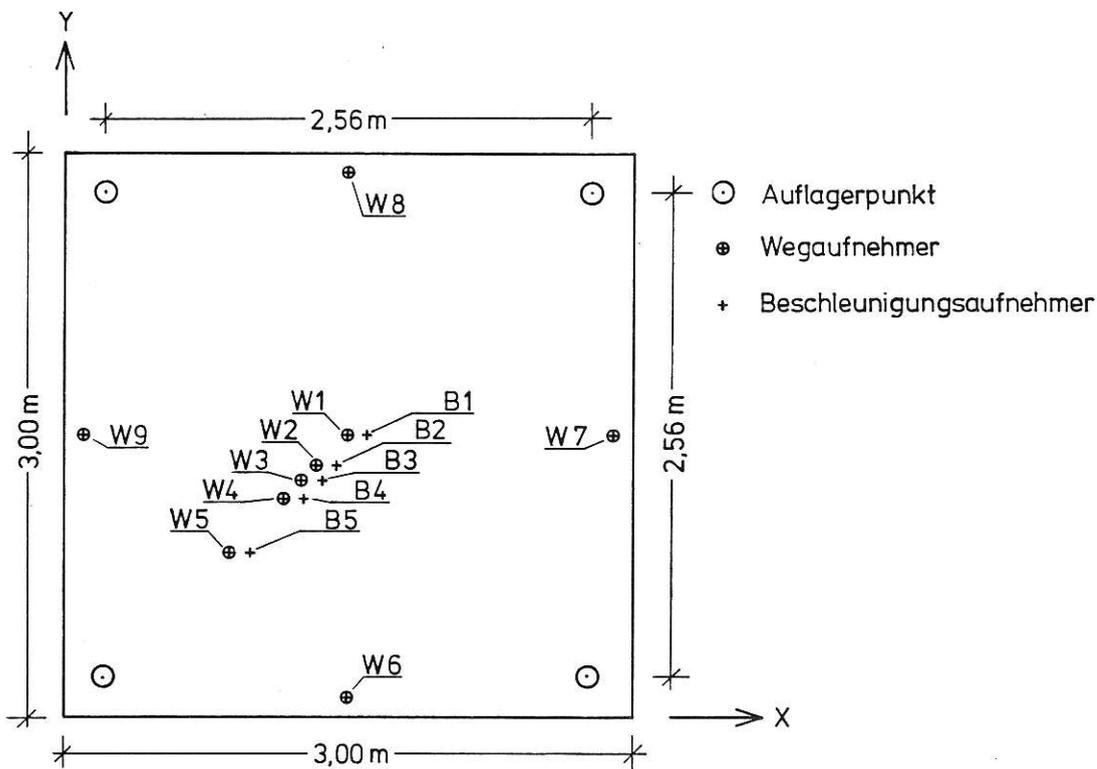
- /12/ Henseleit, O., Hehn, K.-H., Hoch, A.:
Grenztragfähigkeit von Stahlbetonbalken bei großer Belastungsgeschwindigkeit.
Forschungsbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben RS 337, Institut für Beton
und Stahlbeton, Universität Karlsruhe, Januar 1980

A n l a g e -----

In der Anlage sind Bilder und Tabellen zusammengestellt, die nicht direkt zum Verständnis des Textes erforderlich sind.

Sie enthalten aber zusätzliche Informationen und dokumentieren die bisherigen Arbeiten.

Im Textteil ist auf die Anlagen Bezug genommen worden.



	x	y		x	y		x	y
W 1	1,50	1,50	W 6	1,50	0,10	B 1	1,55	1,50
W 2	1,33	1,33	W 7	2,90	1,50	B 2	1,38	1,33
W 3	1,245	1,245	W 8	1,50	2,90	B 3	1,295	1,245
W 4	1,16	1,16	W 9	0,10	1,50	B 4	1,21	1,16
W 5	0,865	0,865				B 5	0,915	0,865

Sollmaße
in m

Bild A 5.2/1:

Anordnung der Weg- und Beschleunigungsaufnehmer, Angabe der Koordinatenwerte

Versuch Nr.		Stoßdauer T1 bis T6	Wl bei Eintritt des Schubbruchs (T2)	Kolbenkraft b. Eintritt des Schubbruchs (T2)	Kolbenkraft bei T4 (2. Maximum)	max. Wl während der Stoßbelastung (elastisch und plastisch)	Zeit bis zum Erreichen von max. Wl (T1 - T5)	Mittlere Durchbiegungsgeschwindigkeit in Plattenmitte max Wl/(T5-T1)
		ms	mm	kN	kN	mm	ms	m/s
301	dyn.	78	29	515	510	157	62,0	2,53
302	dyn.	80	40	550	625	158	67,0	2,36
303	stat.	-	33	460	550	-	-	-
304	dyn.	83	44	730	625	168	72,0	2,33
305	dyn.	82,5	42	735	645	165	71,5	2,31
306	stat.	-	30	555	395	-	-	-

Versuch Nr.		Wl nach der Stoßbelastung (nur plastisch)	Wl am Ende d. Versuchs (plastisch)	Wl am Ende d. Versuchs (elastisch und plastisch)
		mm	mm	mm
301	dyn.	1) 132	-	-
302	dyn.	110	2) 206	2) 243
303	stat.	-	196	237
304	dyn.	136	-	-
305	dyn.	139	2) 265	2) 283
306	stat.	-	290	290

Wl = Durchbiegung in Plattenmitte gegenüber der Ausgangslage zu Beginn des Versuches

- 1) Wert unsicher, da Aufnehmerhalterung verschoben
- 2) Probekörper wurde statisch weiterbelastet

Bild A 7.1/1:

Zusammenstellung wesentlicher Meßergebnisse

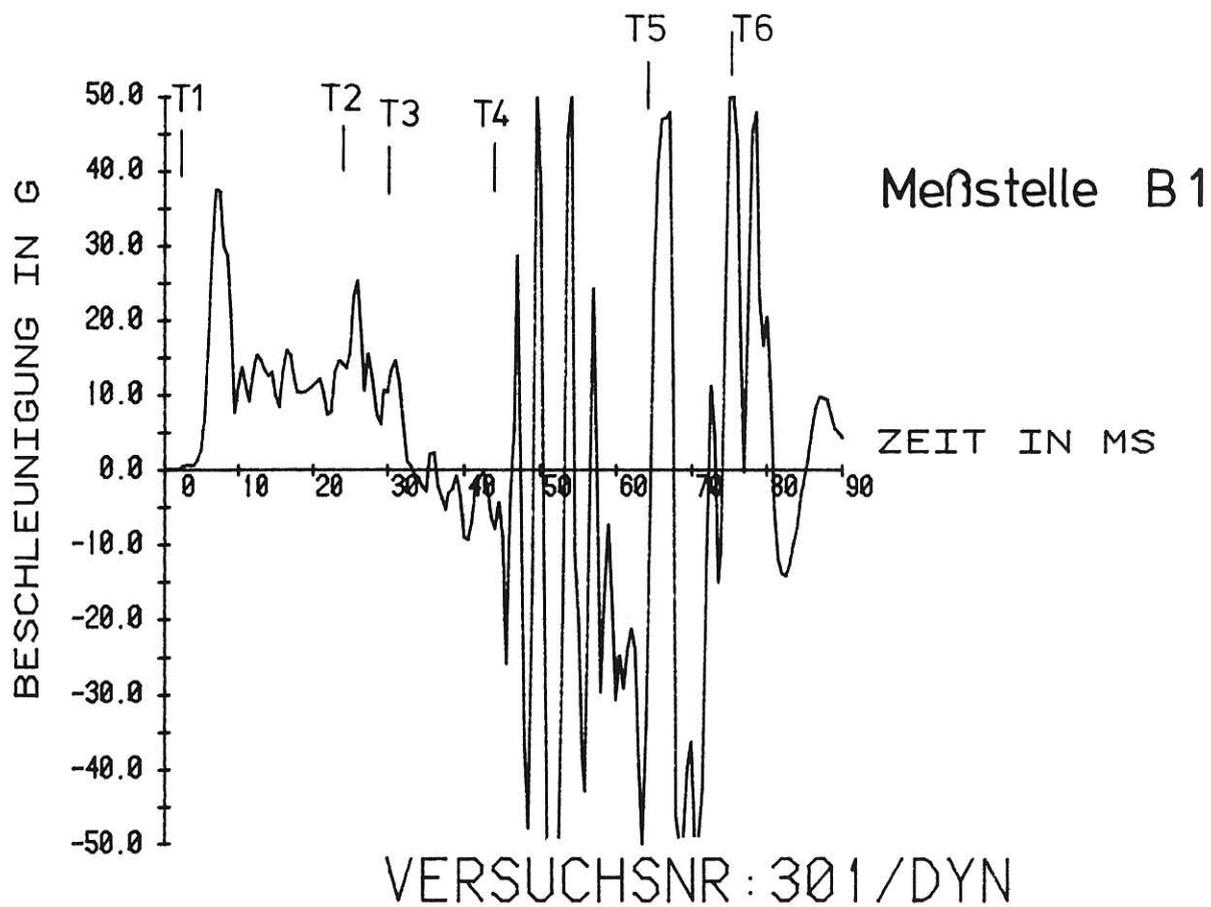
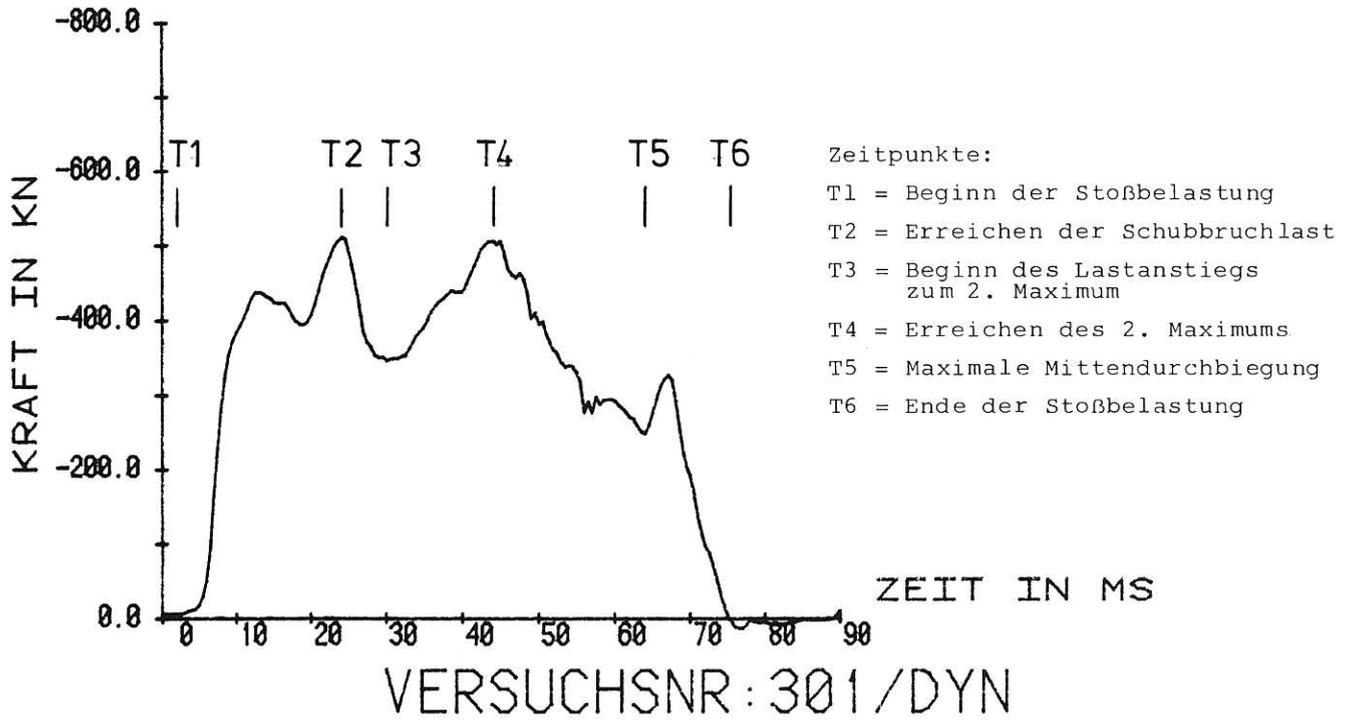
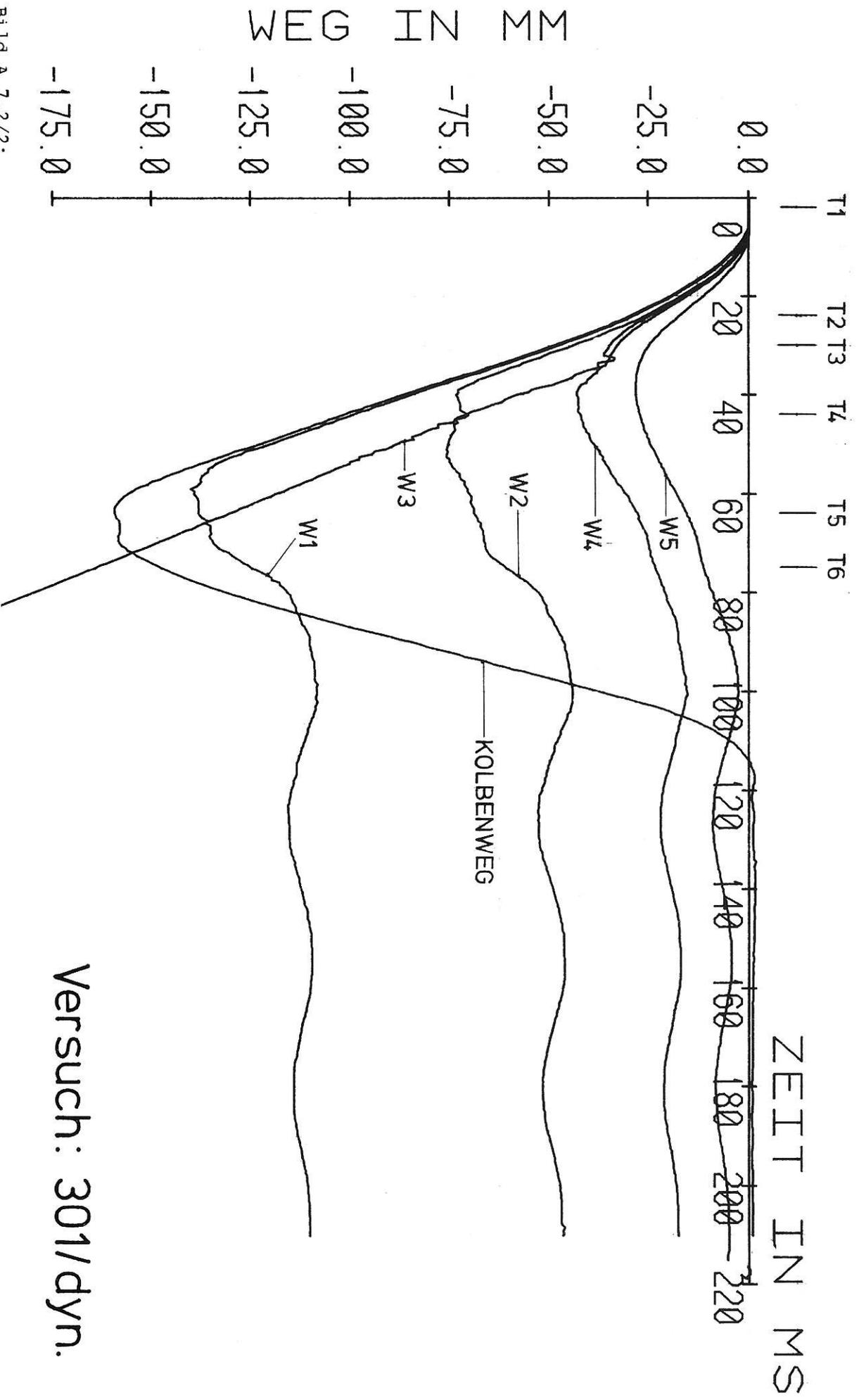


Bild A 7.2/1:
 Versuch 301 (dynamischer Versuch)
 oben: Kolbenkraft-Zeit-Diagramm
 unten: Beschleunigung-Zeit-Diagramm für die Plattenmitte

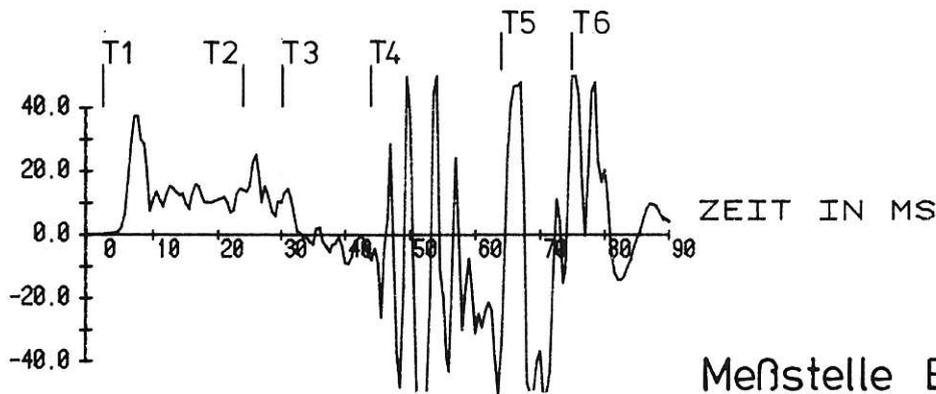


Versuch: 301/dyn.

Bild A 7.2/2:

Durchbiegungen an verschiedenen Stellen der Stahlbetonplatte sowie Kolbenweg über der Zeit (dynamischer Versuch 301)
 W1 bis W5: Wegmeßstellen in der Plattendiagonalen Lage der Wegaufnehmer siehe Bild A 5.2/1
 Der Wegaufnehmer W3 ist nach 32 ms abgerissen
 Der Wegaufnehmer W1 zeigt ab ~ 50 ms nicht mehr korrekt die Durchbiegung in Plattenmitte an

BESCHLEUNIGUNG IN G



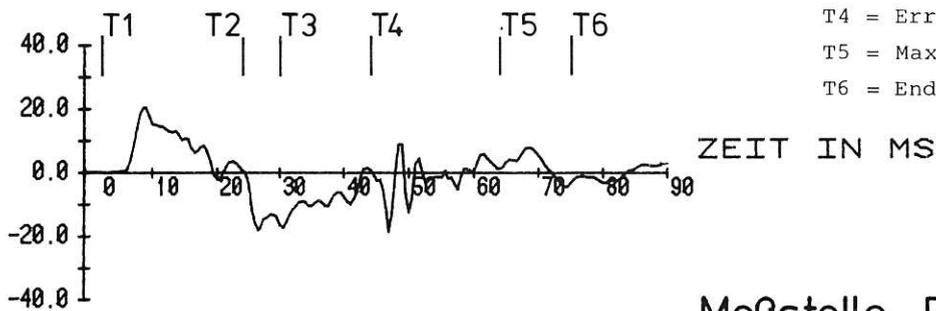
Meßstelle B1

VERSUCHSNR: 301/DYN

Zeitpunkte:

- T1 = Beginn der Stoßbelastung
- T2 = Erreichen der Schubbruchlast
- T3 = Beginn des Lastanstiegs zum 2. Maximum
- T4 = Erreichen des 2. Maximums
- T5 = Maximale Mittendurchbiegung
- T6 = Ende der Stoßbelastung

BESCHLEUNIGUNG IN G



Meßstelle B5

VERSUCHSNR: 301/DYN

Bild A 7.2/3:

Versuch 301 (dynamischer Versuch) Beschleunigungs-Zeit-Diagramme
 Meßstelle B1 in Plattenmitte
 Meßstelle B5 auf der Plattendiagonalen (s. Bild A 5.2/1)

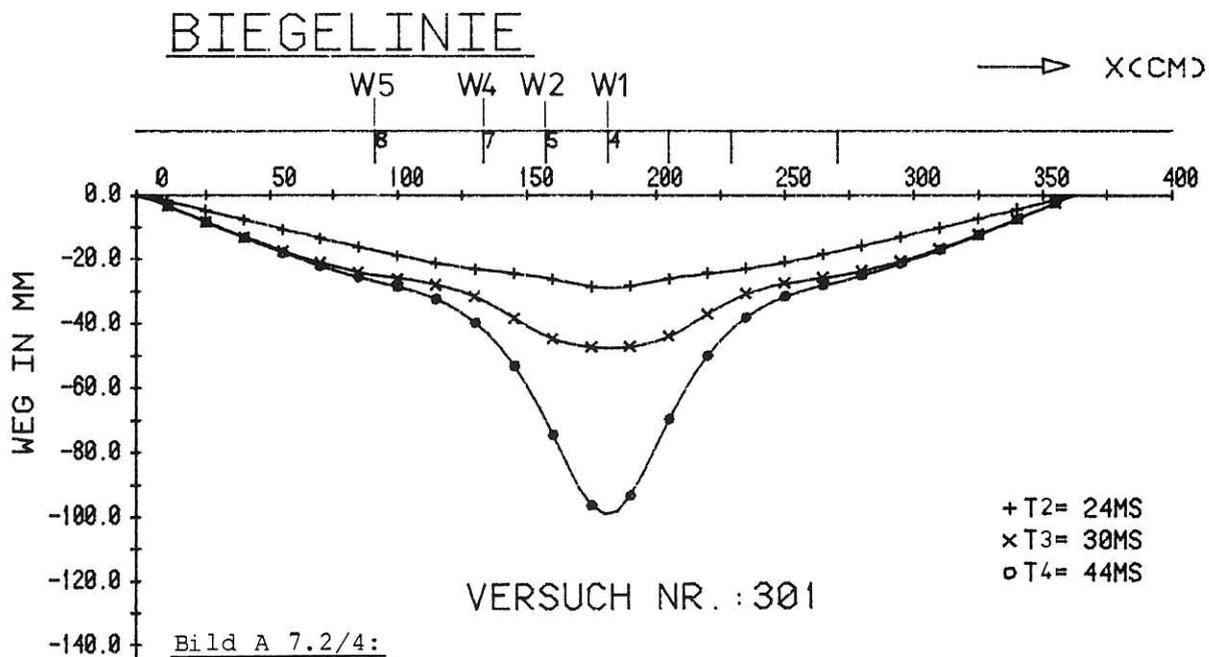


Bild A 7.2/4:

Versuch 301 (dynamischer Versuch)
 Biegelinien entlang der Plattendiagonalen zu verschiedenen Zeitpunkten.
 Die Biegelinien wurden mit Spline-Funktionen geglättet. W1 bis W5 sind
 die als Stützstellen verwendeten Wegmeßstellen.

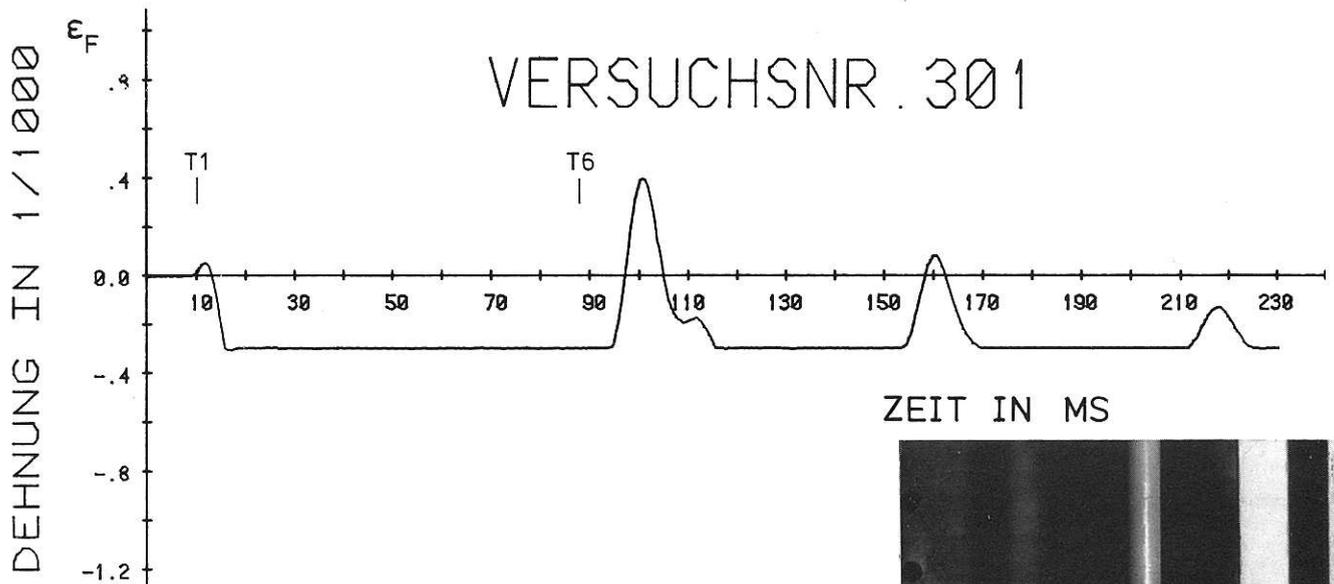
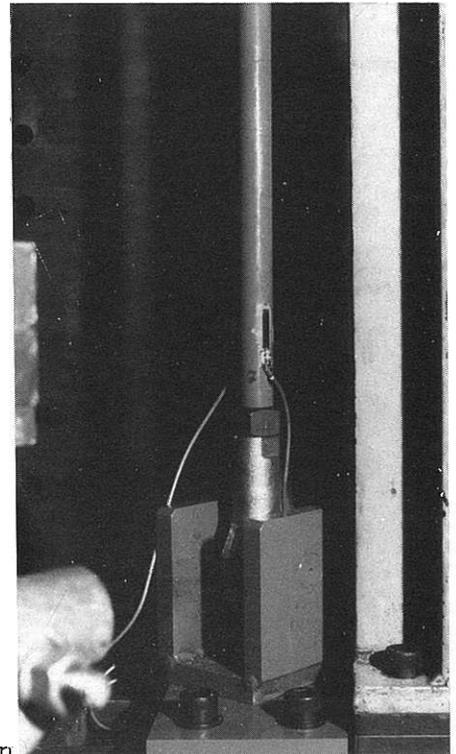


Bild A 7.2/5:

Versuch 301 (dynamischer Versuch)

oben: Dehnung an einer der Zugfesseln als Funktion der Zeit

- $\epsilon_F = 0$ Dehnung in der Zugfessel nach dem Vorspannen gegen den Probekörper (vor dem Versuch)
- $\epsilon_F > 0$ Zugkräfte durch Abheben der Plattenecken
- $\epsilon_F = -0,0003$ Zugfessel ist lose (keine Kraftübertragung)
- T1 = Beginn der Stoßbelastung
- T6 = Ende der Stoßbelastung



rechts: Zugfessel mit Dehnungsmeßstreifen

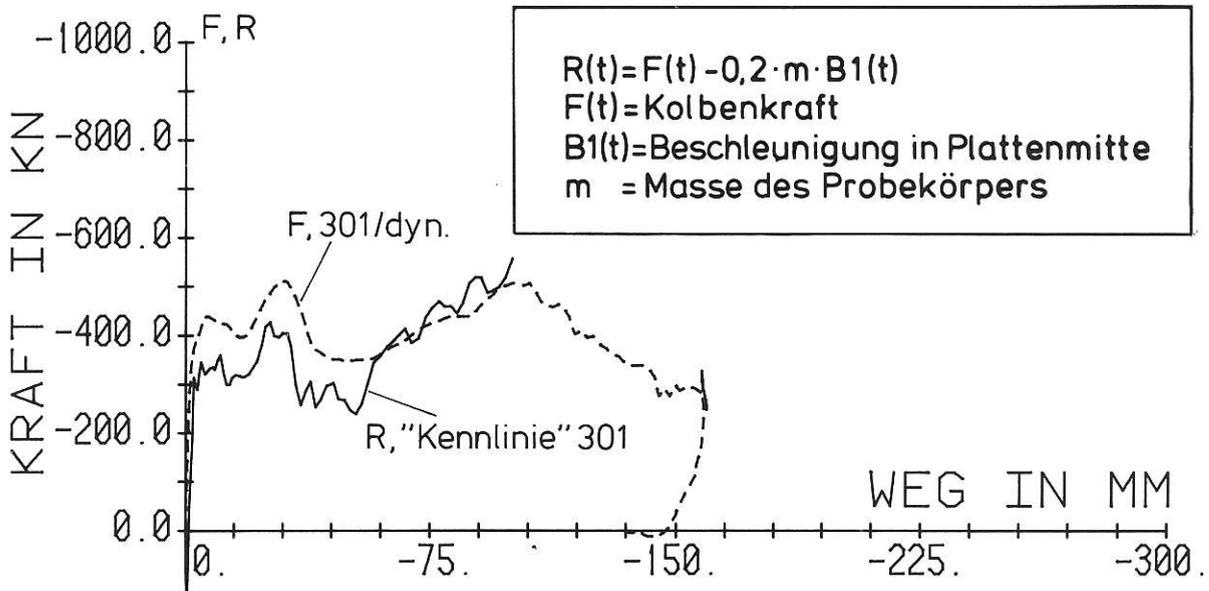


Bild A 7.2/6:

Versuch 301 (dynamischer Versuch)

Darstellung der gemessenen Stoßkraft über dem Kolbenweg sowie des Widerstands der Platte an der Kraftangriffsstelle (Kennlinie) nach näherungsweise Reduzierung um die Masseneffekte

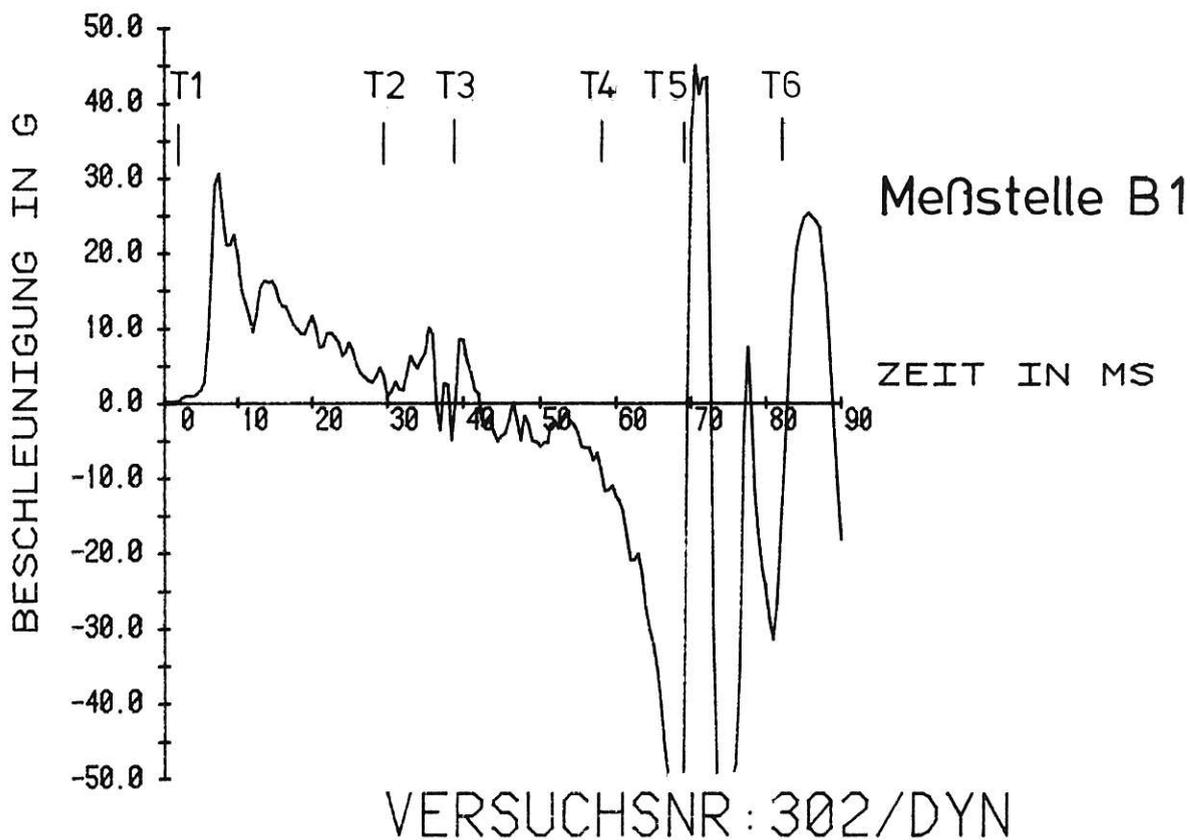
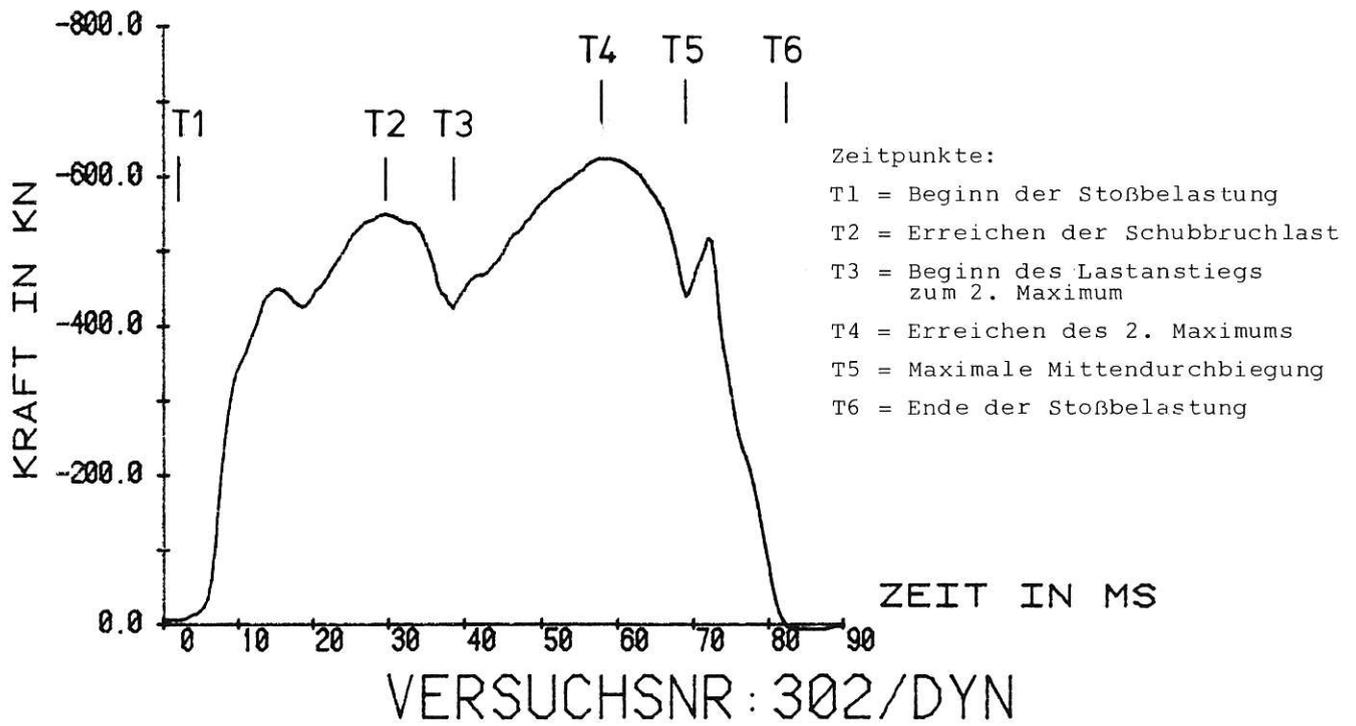


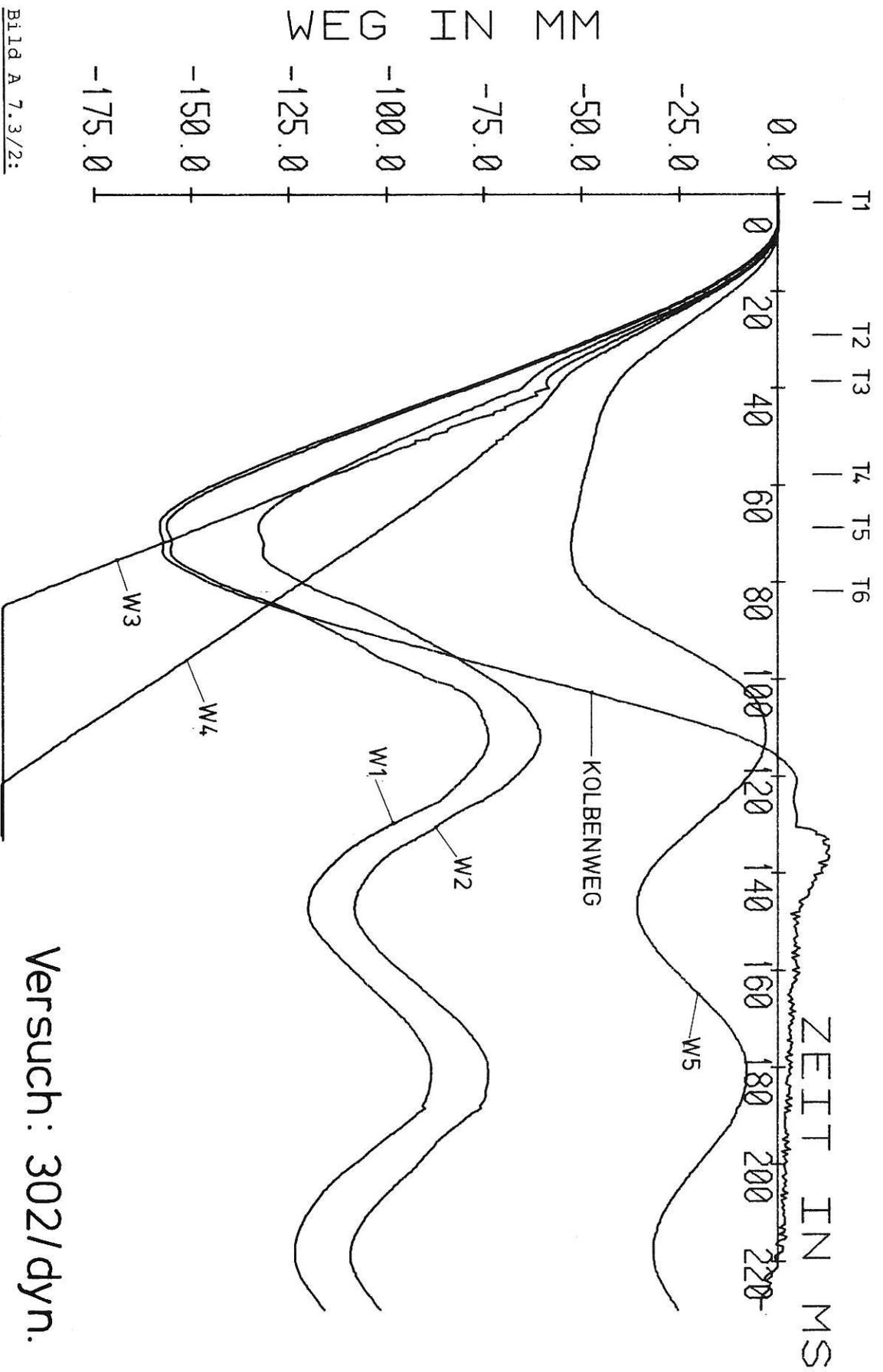
Bild A 7.3/1:

Versuch 302 (dynamischer Versuch)

Darstellung der

a) Kolbenkraft

b) Beschleunigung in Plattenmitte als Funktion der Zeit



Versuch: 302/dyn.

Bild A 7.3/2:

Versuch 302 (dynamischer Versuch)

Durchbiegung an verschiedenen Stellen der Stahlbetonplatte sowie Kolbenweg als Funktion der Zeit

W1 bis W5: Wegmessstellen in der Plattendiagonalen

Die Wegaufnahme an den Punkten W3 und W4 sind zum Zeitpunkt T3 (etwa 40 ms) von der Platte abgerissen, als sich der Schubbruch ausbildete

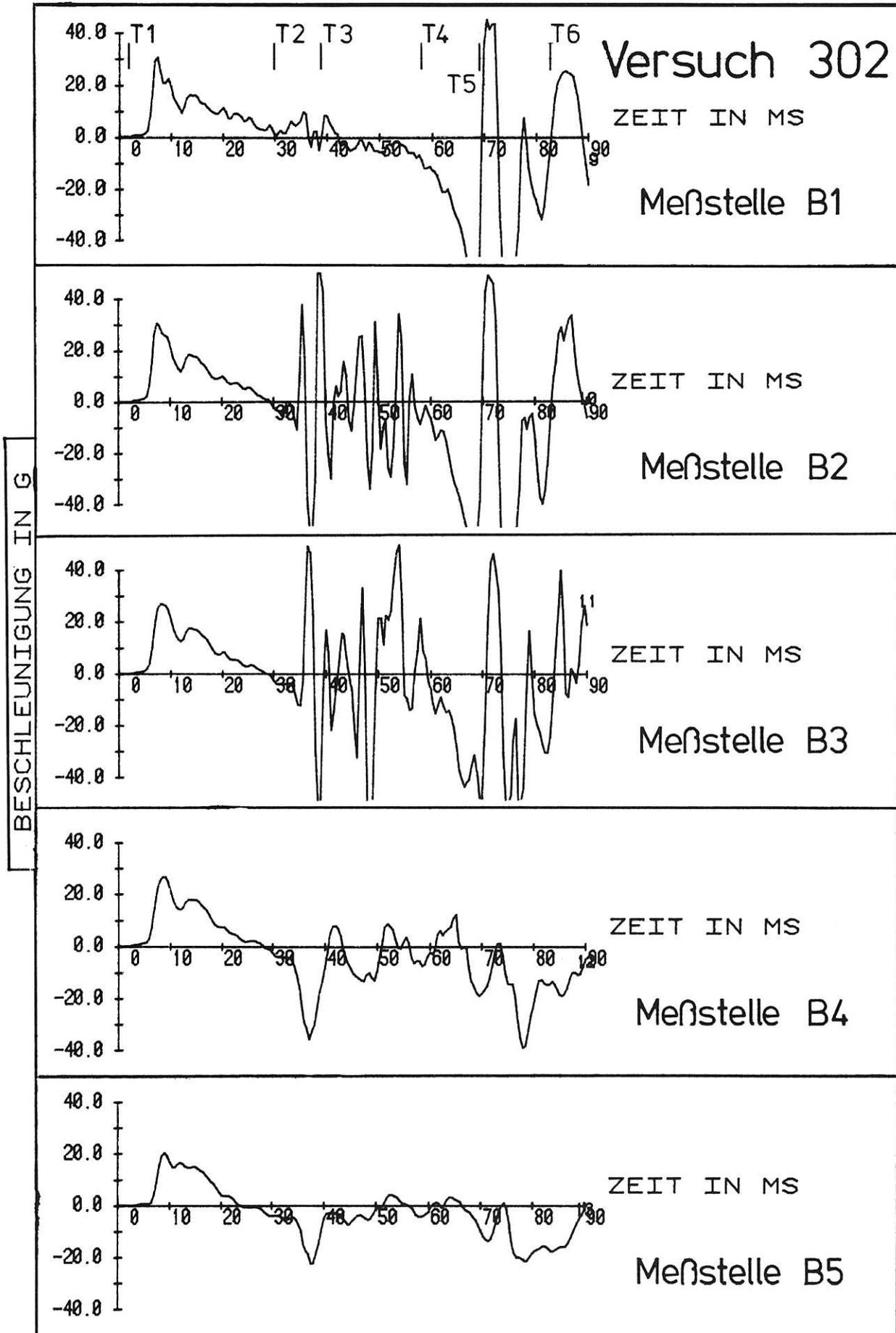


Bild A 7.3/3:

Versuch 302 (dynamischer Versuch)
 Beschleunigungen senkrecht zur Plattenebene an Meßpunkten in der Platten-
 diagonalen als Funktion der Zeit

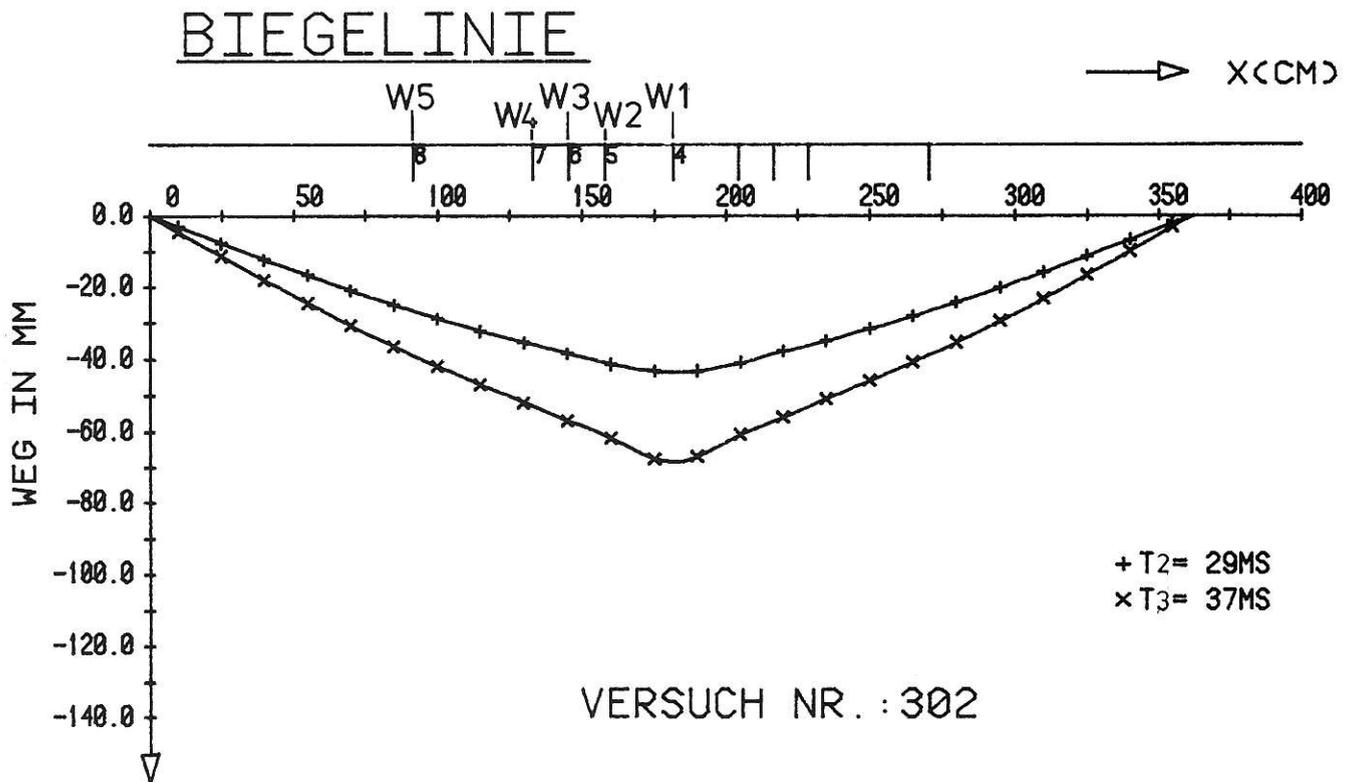


Bild A 7.3/4:

Versuch 302 (dynamischer Versuch)

Biegelinien entlang der Plattendiagonalen zu verschiedenen Zeitpunkten
 Die Biegelinien wurden mit Spline-Funktionen geglättet. W1 bis W5 sind
 die als Stützstellen verwendeten Wegmeßstellen.

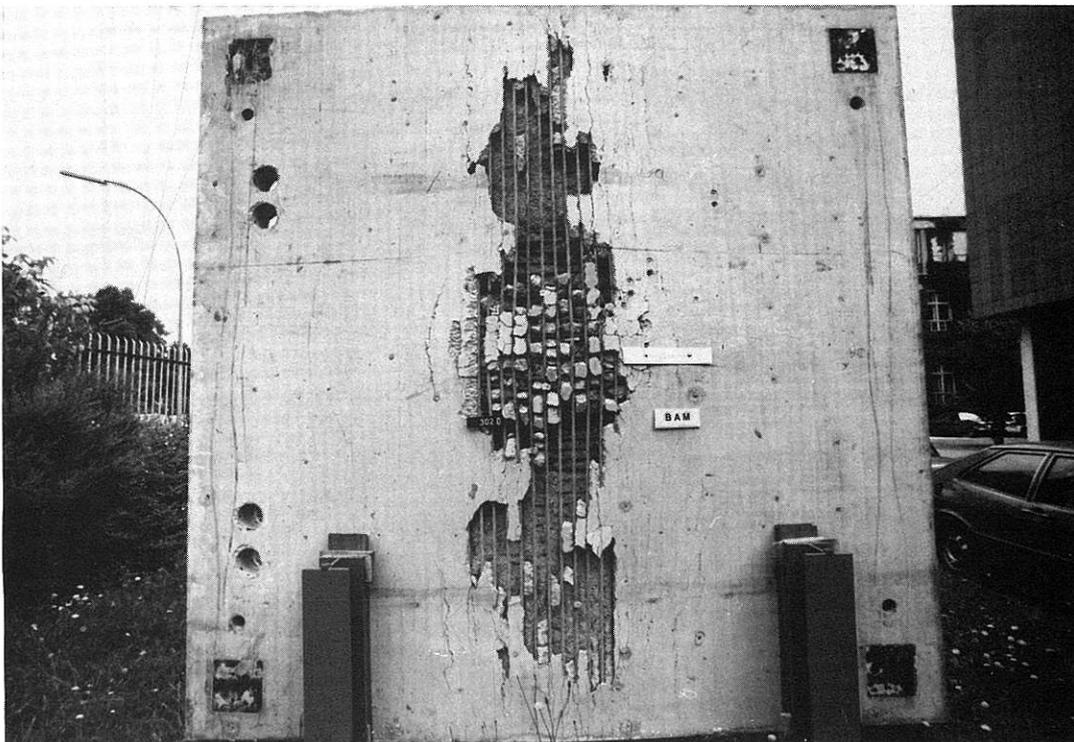


Bild A 7.3/5:

Versuch 302 (dynamischer Versuch)

Unterseite der Stahlbetonplatte nach stoßartiger und nachfolgender
 statischer Beanspruchung

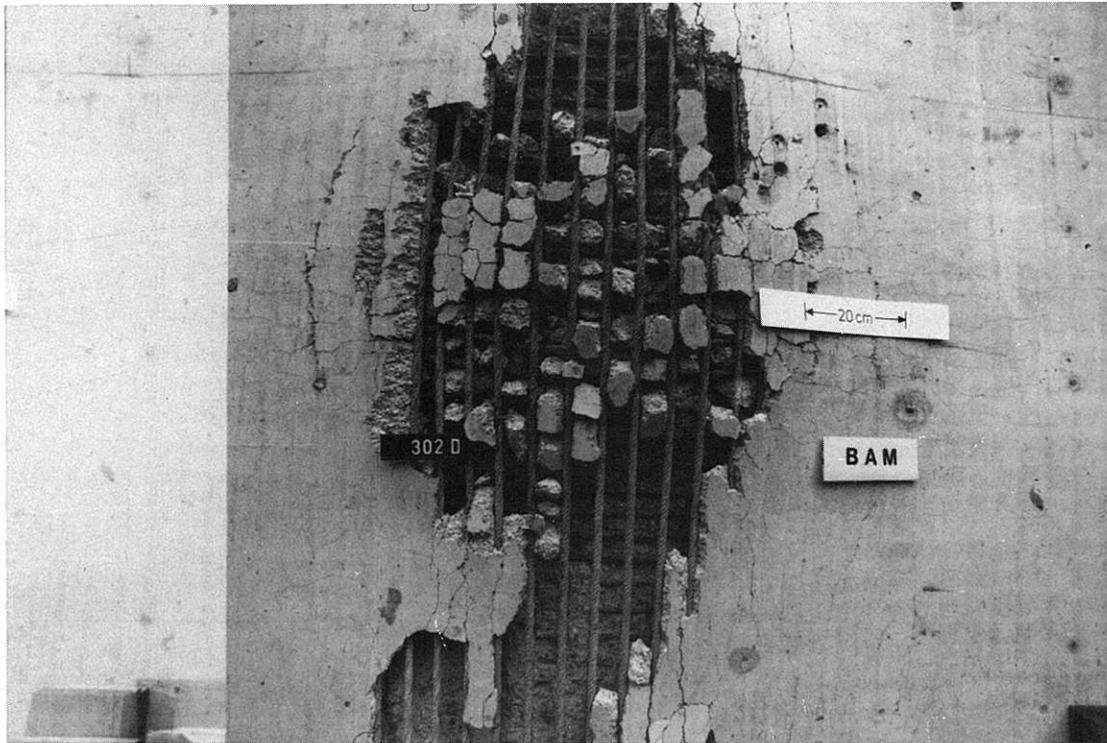


Bild A 7.3/6:

Versuch 302 (dynamischer Versuch)

Detail aus Bild A 7.3/5, Mittelbereich der Unterseite der Stahlbetonplatte

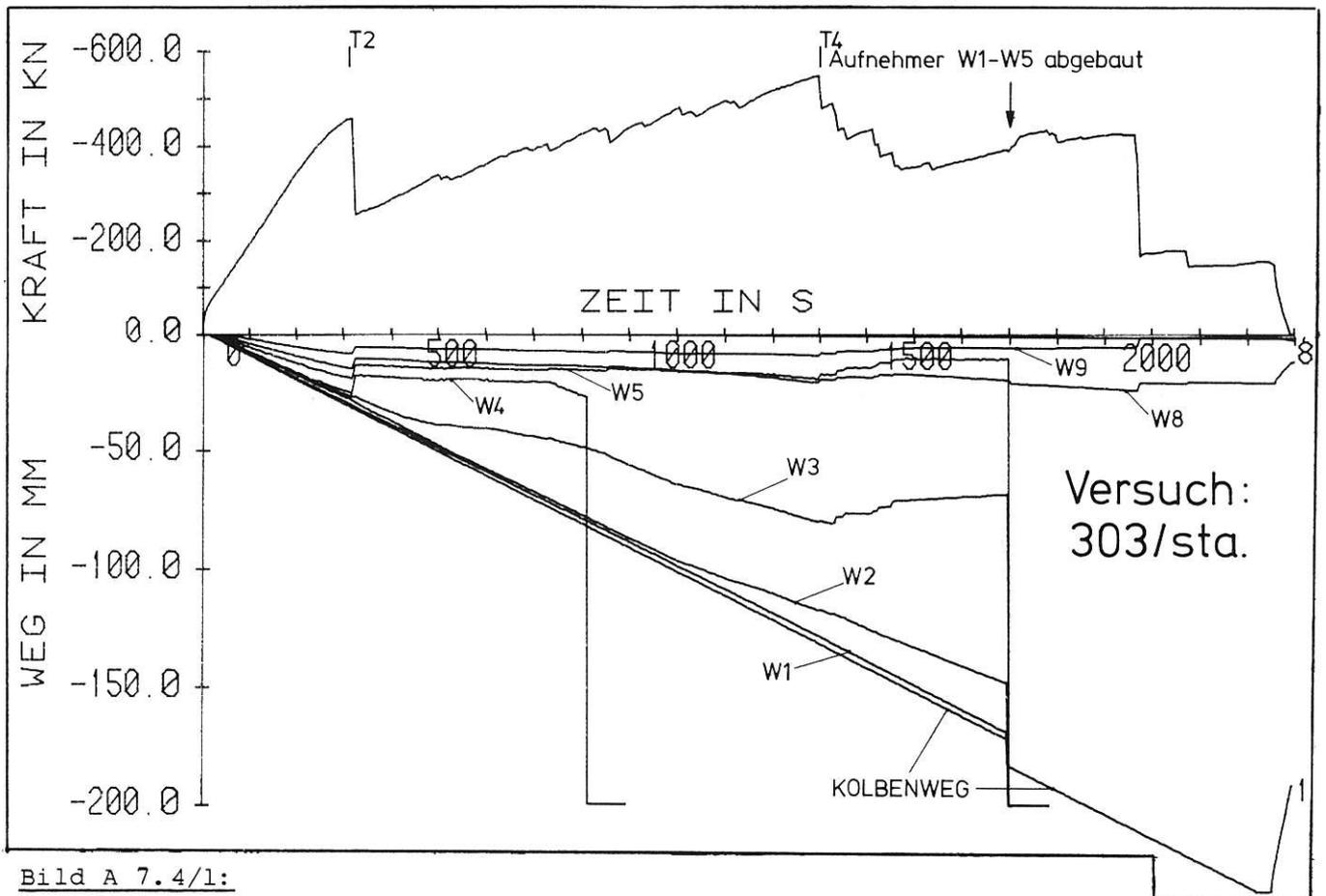


Bild A 7.4/1:

Versuch 303 (statischer Versuch)

Kolbenkraft in Plattenmitte und Durchbiegungen an verschiedenen Stellen der Stahlbetonplatte als Funktion der Zeit

W1 bis W5: Wegmeßstellen in der Plattendiagonalen

W8 und W9: Wegmeßstellen am Plattenrand

Wegaufnehmer bei W4 ist nach etwa 800 s ausgefallen

STATISCHER VERSUCH NR: 303

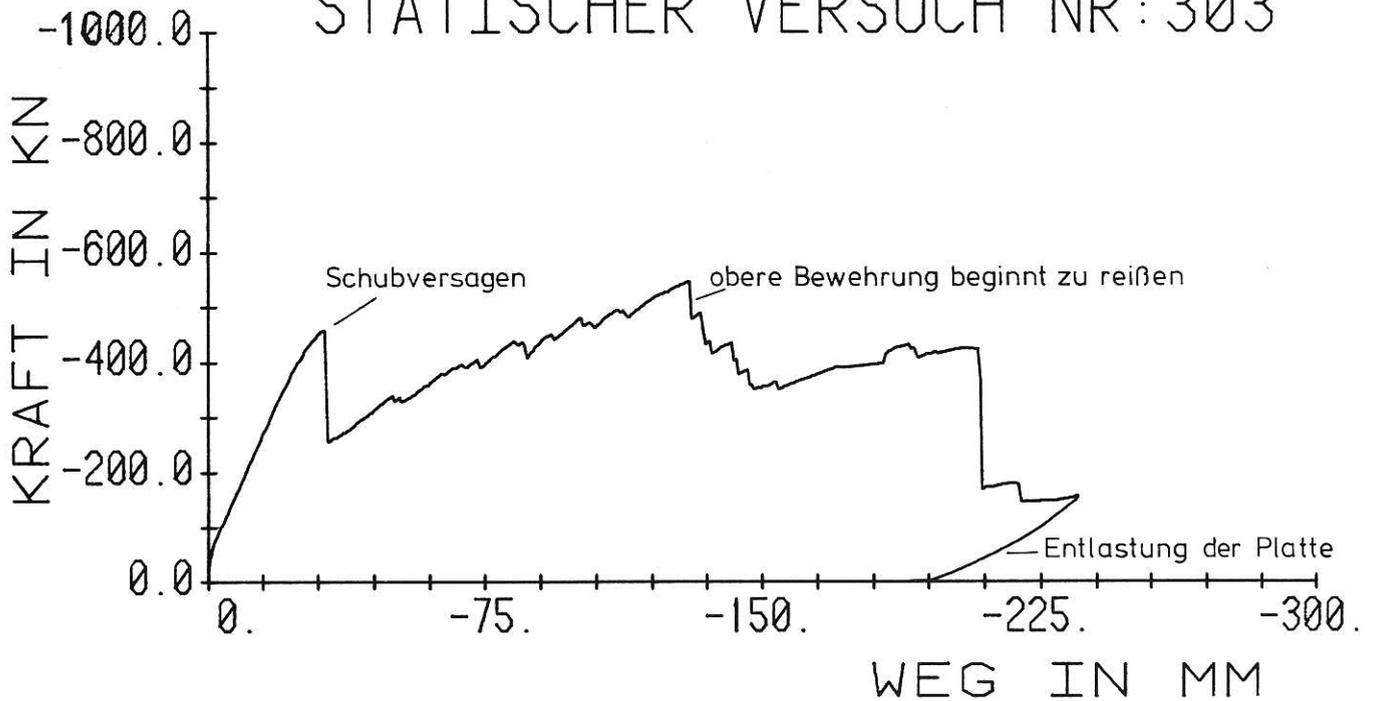


Bild A 7.4/2:

Versuch 303 (statischer Versuch)
Kolbenkraft-Kolbenweg-Diagramm

BIEGELINIE

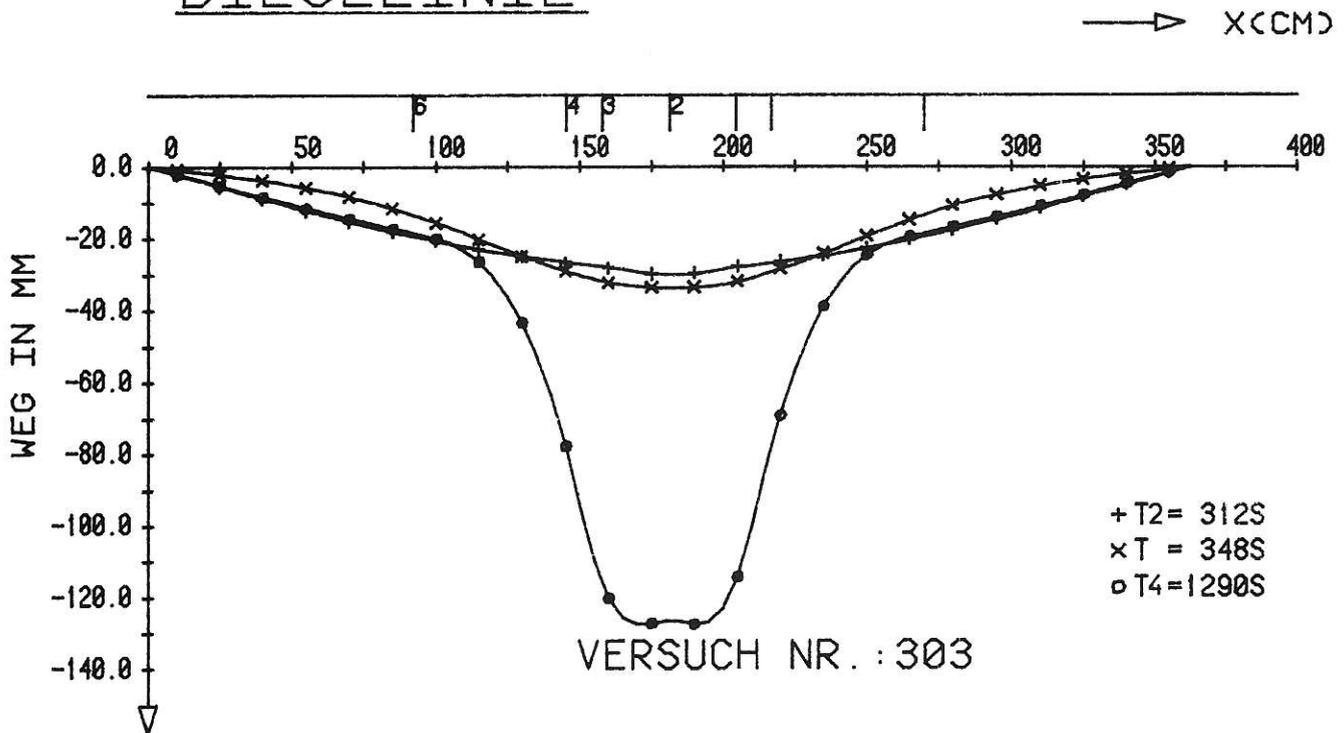


Bild A 7.4/3:

Versuch 303 (statischer Versuch)
Biegelinien entlang der Plattendiagonalen zu verschiedenen Zeitpunkten
Die Biegelinien wurden mit Spline-Funktionen geglättet. W1 bis W5 sind
die als Stützstellen verwendeten Wegmeßstellen.

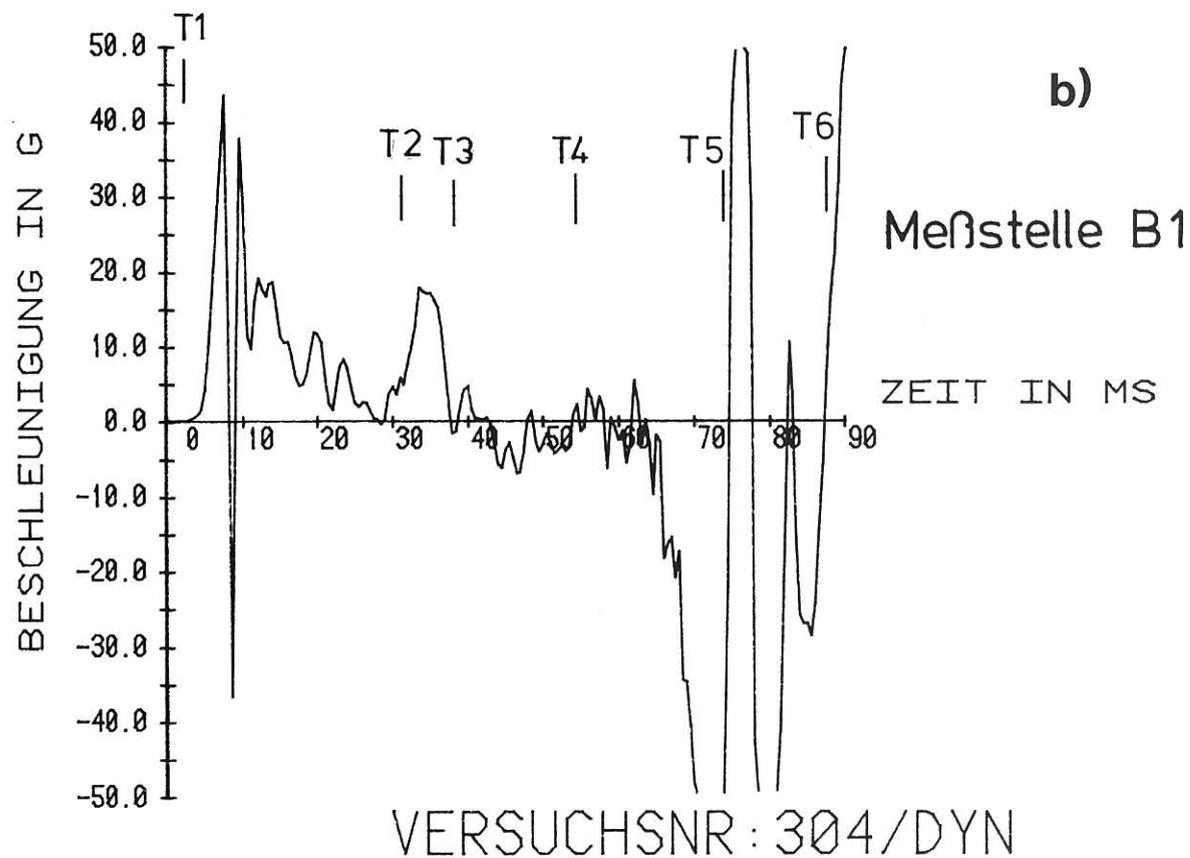
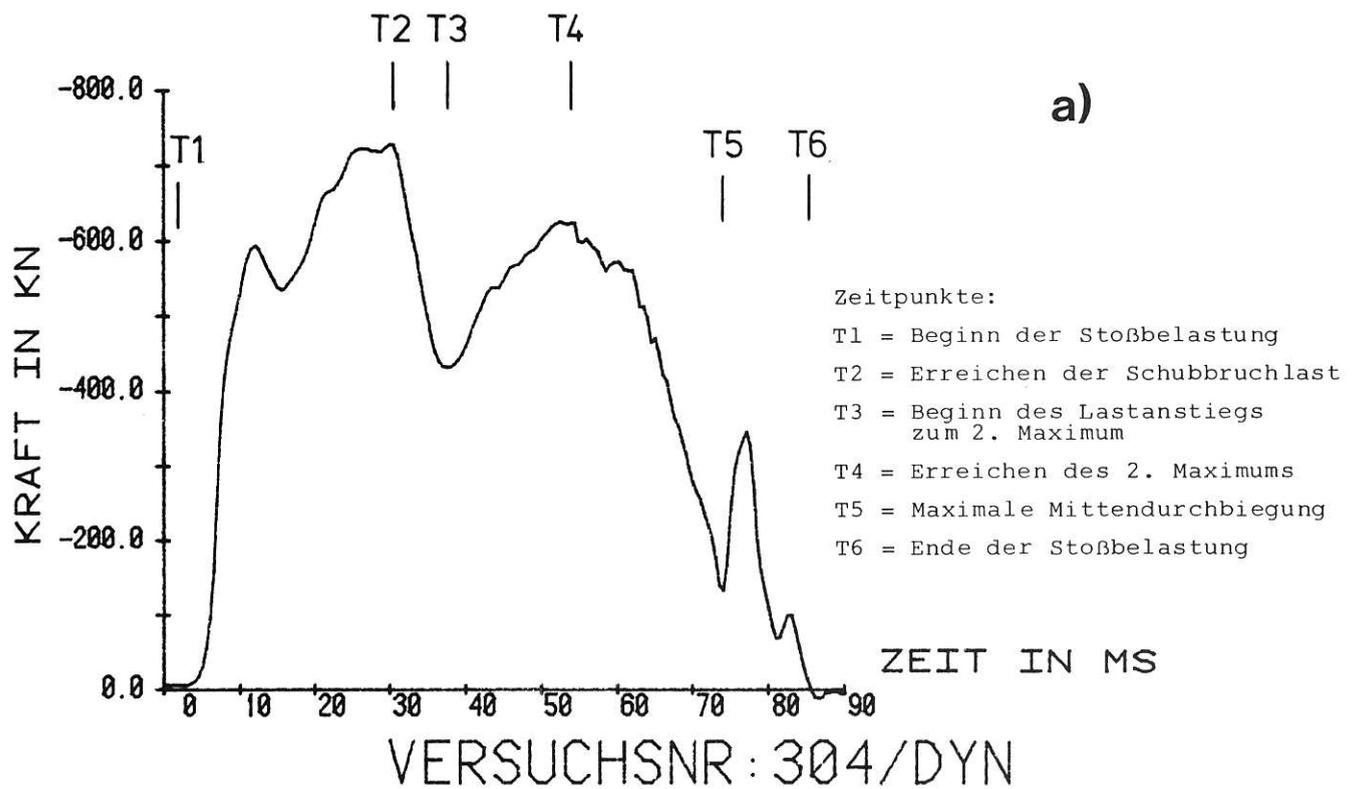


Bild A 7.5/1:

Versuch 304 (dynamischer Versuch)

Darstellung der

a) Stoßkraft (Kolbenkraft)

b) Beschleunigung in Plattenmitte

über der Zeit

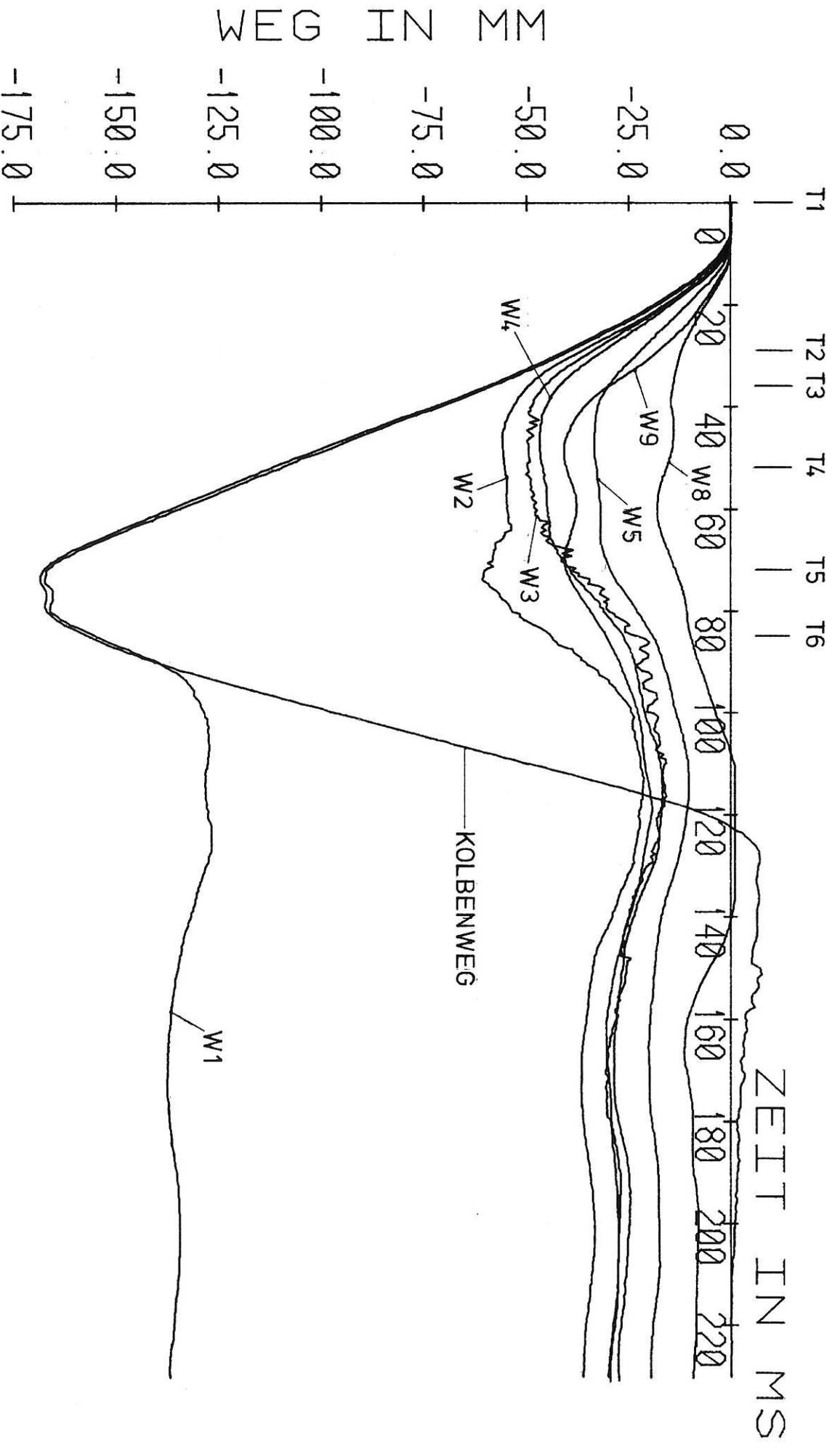


Bild A 7.5/2:

Versuch 304 (dynamischer Versuch)

Durchbiegungen an verschiedenen Stellen der Stahlbetonplatte sowie Kolbenweg als Funktion der Zeit

W1 bis W5: Wegmeßstellen in der Plattendiagonalen

W8 und W9: Wegmeßstellen am Plattenrand

Versuch: 304/dyn.

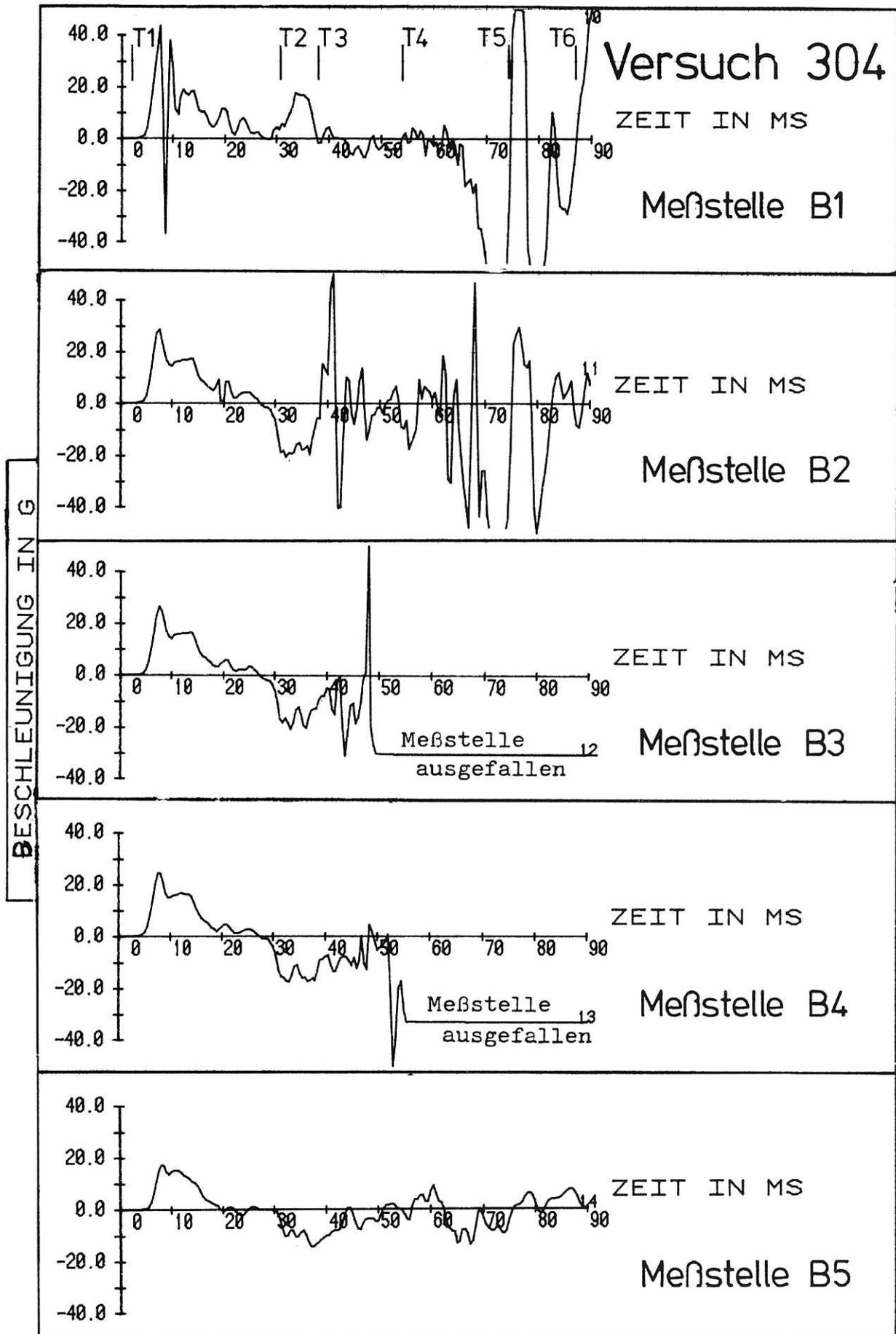


Bild A 7.5/3:

Versuch 304 (dynamischer Versuch)
Beschleunigungen senkrecht zur Plattenebene an Meßstellen in der Platten-
diagonalen als Funktion der Zeit

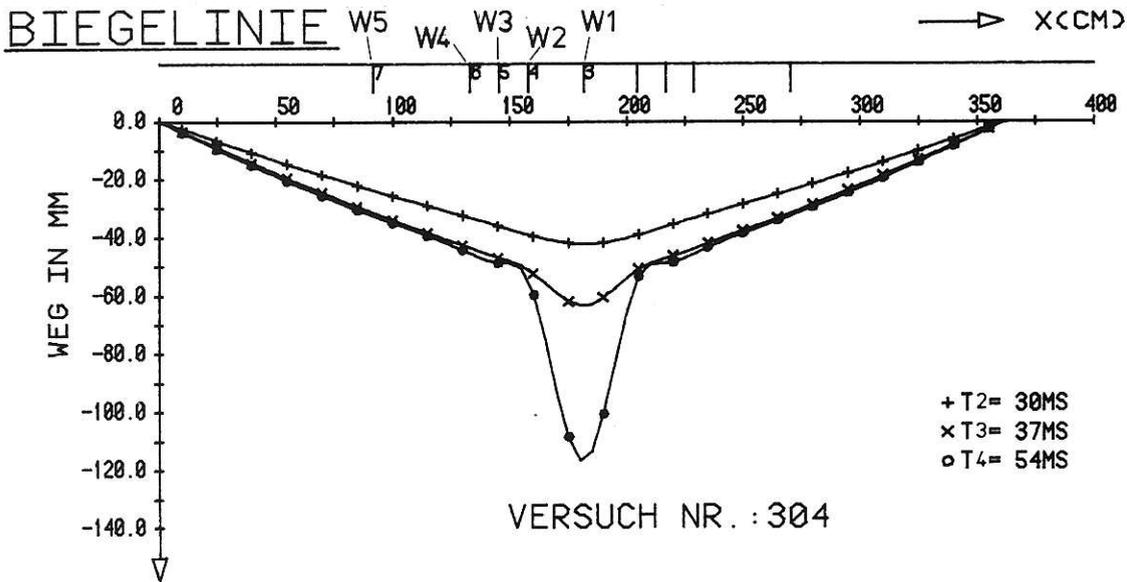
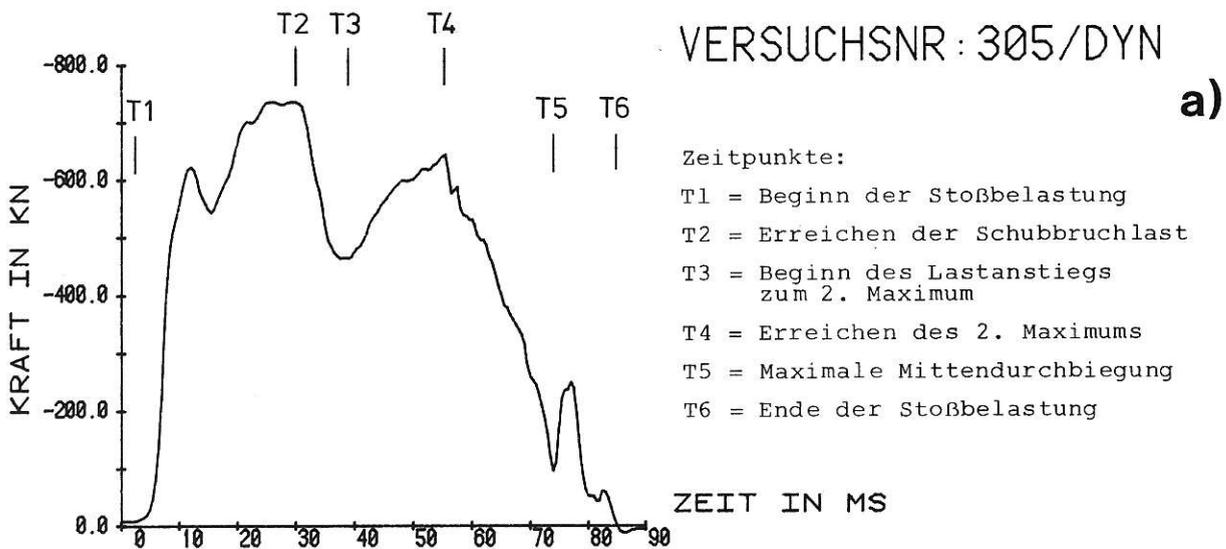


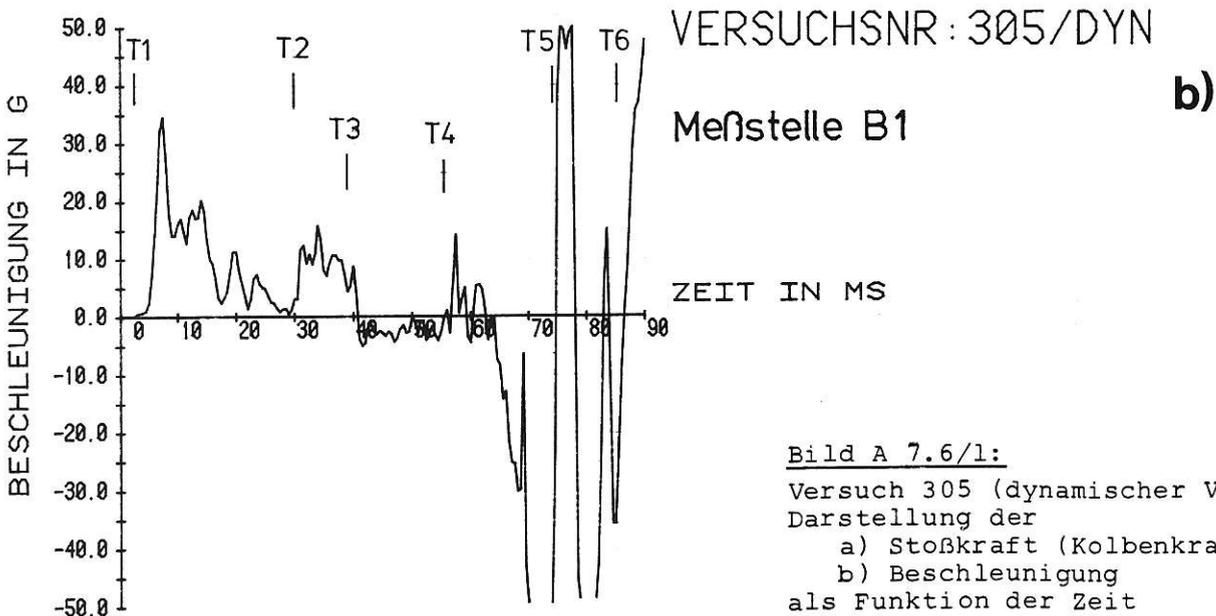
Bild A 7.5/4:

Versuch 304 (dynamischer Versuch)
 Biegelinien entlang der Plattendiagonalen zu verschiedenen Zeitpunkten
 Die Biegelinien wurden mit Spline-Funktionen geglättet. W1 bis W5 sind
 die als Stützstellen verwendeten Wegmeßstellen.



VERSUCHSNR: 305/DYN

- Zeitpunkte:
- T1 = Beginn der Stoßbelastung
 - T2 = Erreichen der Schubbruchlast
 - T3 = Beginn des Lastanstiegs zum 2. Maximum
 - T4 = Erreichen des 2. Maximums
 - T5 = Maximale Mittendurchbiegung
 - T6 = Ende der Stoßbelastung



VERSUCHSNR: 305/DYN

Meßstelle B1

Bild A 7.6/1:

Versuch 305 (dynamischer Versuch)
 Darstellung der
 a) Stoßkraft (Kolbenkraft)
 b) Beschleunigung
 als Funktion der Zeit

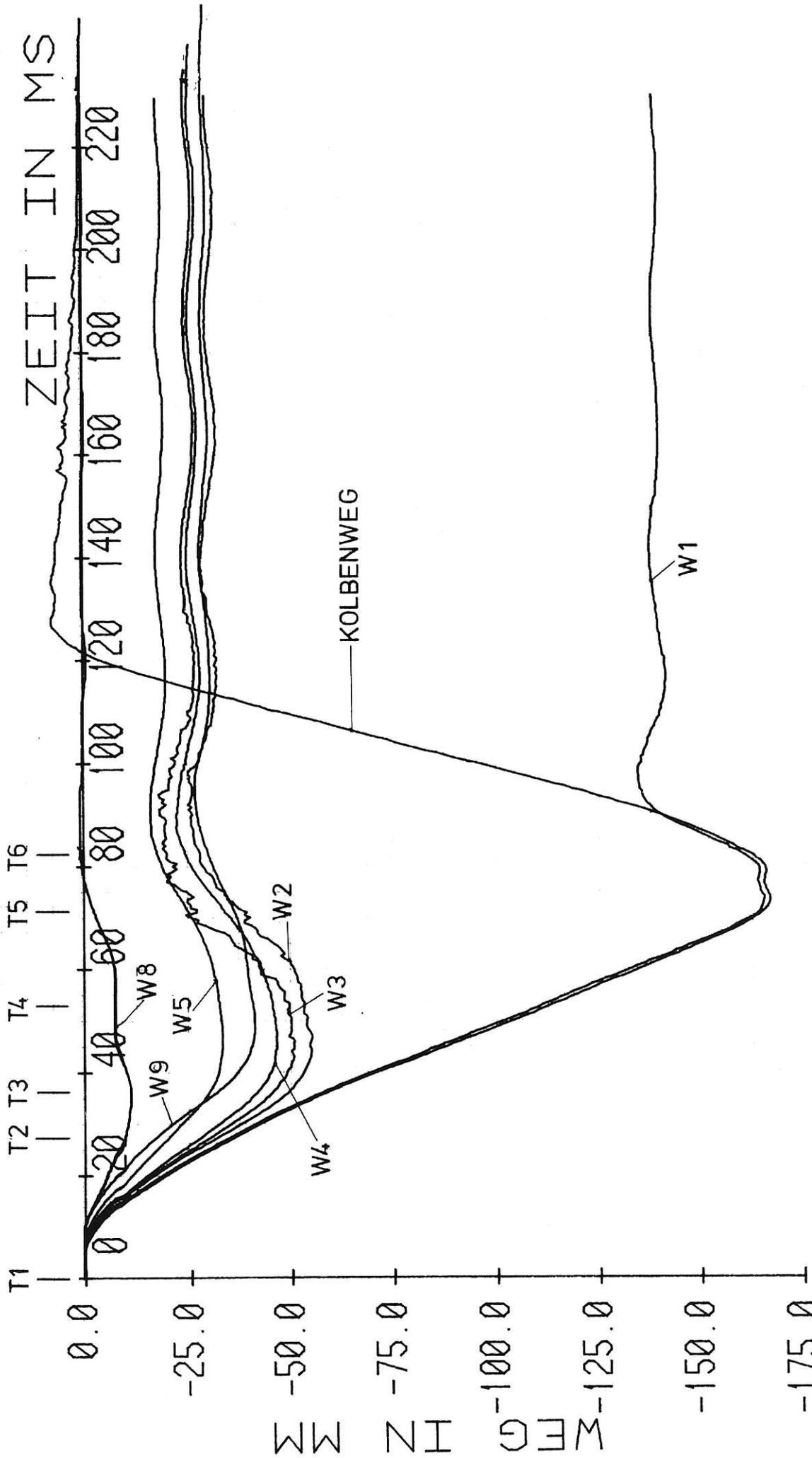


Bild A 7.6/2:

Versuch 305 (dynamischer Versuch)
 Durchbiegungen an verschiedenen Stellen der Stahlbetonplatte sowie Kolbenweg
 als Funktion der Zeit
 W1 bis W5: Wegmeßstellen in der Plattendiagonalen
 W8 und W9: Wegmeßstellen am Plattenrand

Versuch: 305/dyn.

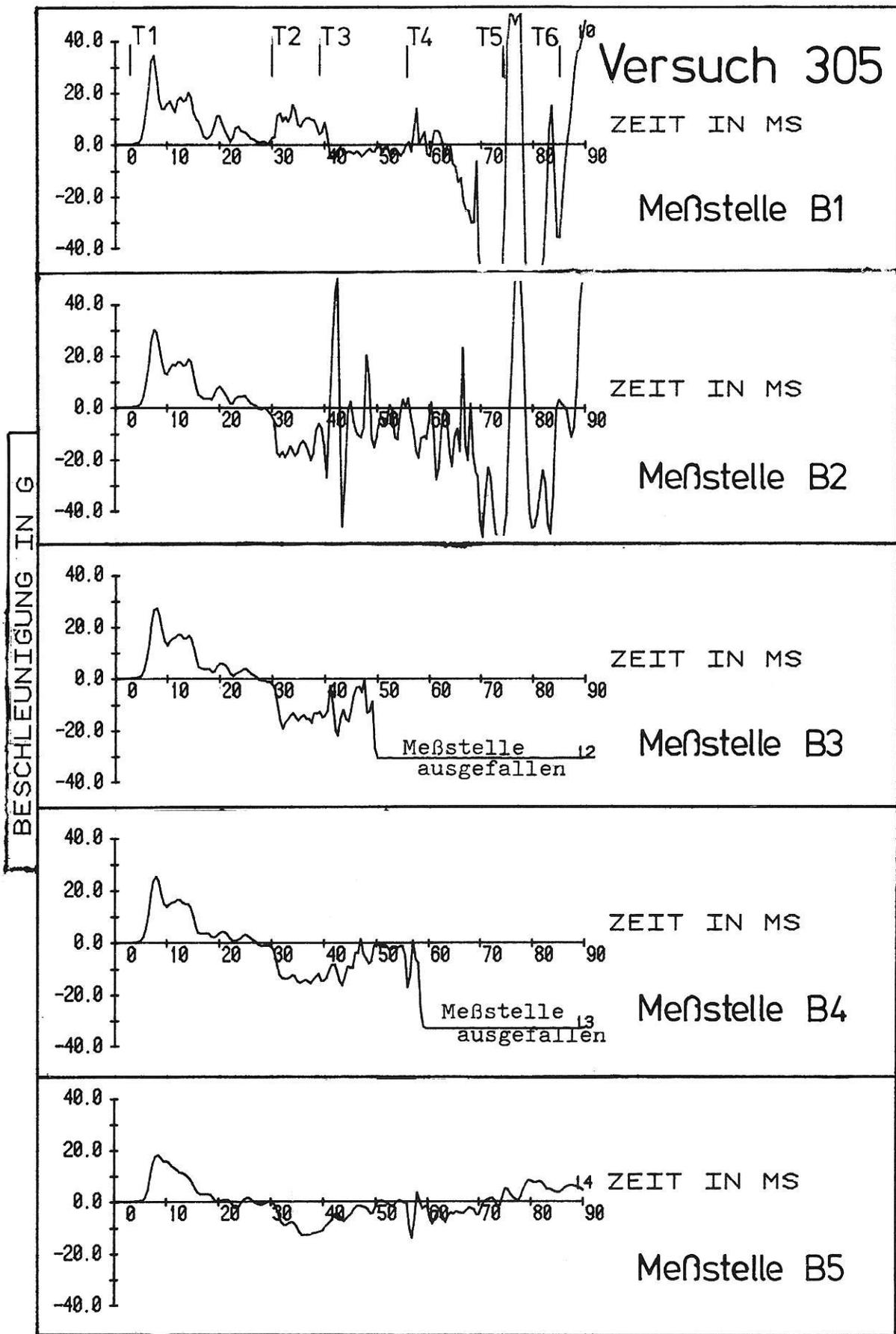


Bild A 7.6/3:
 Versuch 305 (dynamischer Versuch)
 Beschleunigungen senkrecht zur Plattenebene an Meßstellen in der Platten-
 diagonalen als Funktion der Zeit

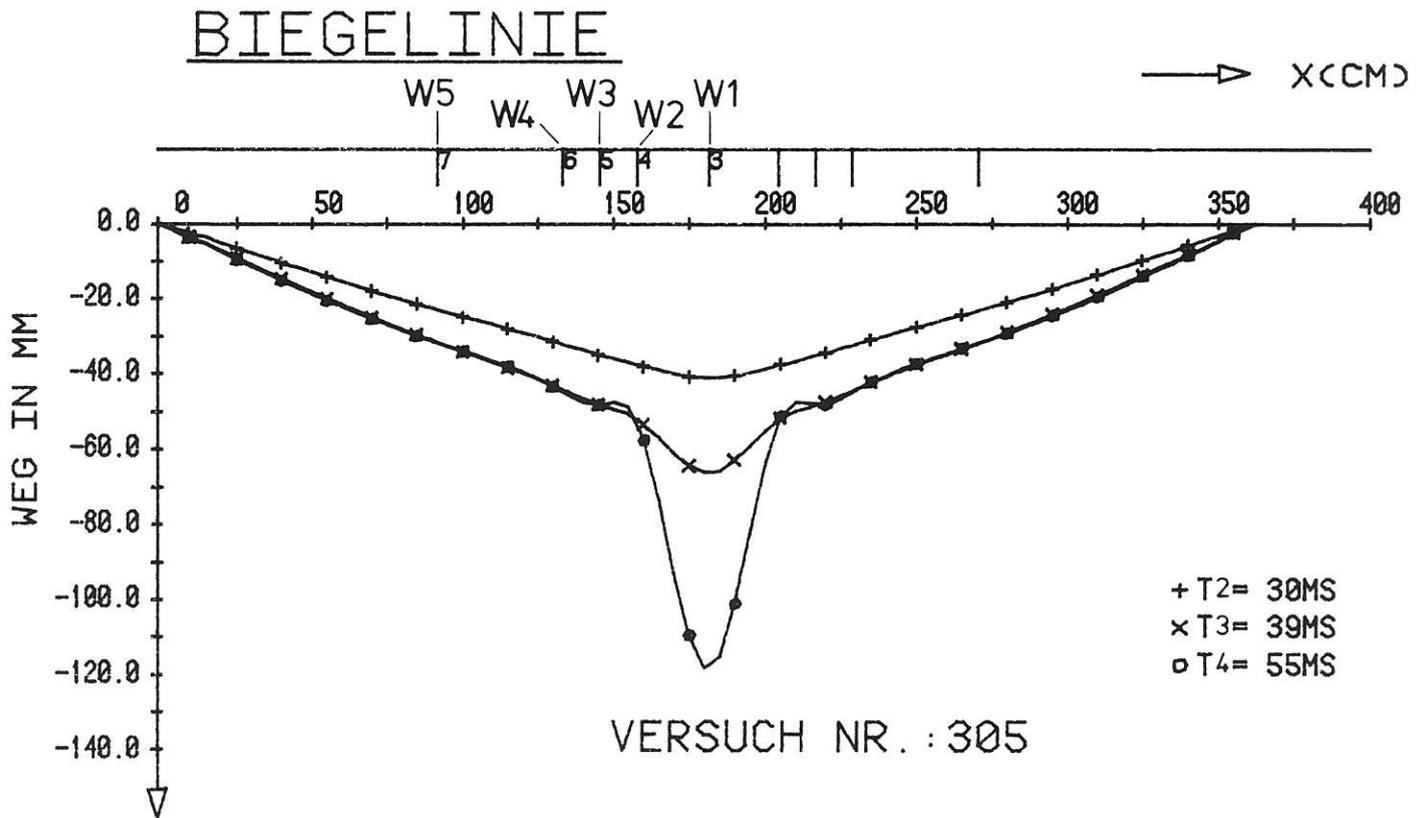


Bild A 7.6/4:

Versuch 305 (dynamischer Versuch)
 Biegelinien entlang der Plattendiagonalen zu verschiedenen Zeitpunkten
 Die Biegelinien wurden mit Spline-Funktionen geglättet. W1 bis W5 sind
 die als Stützstellen verwendeten Wegmeßstellen.

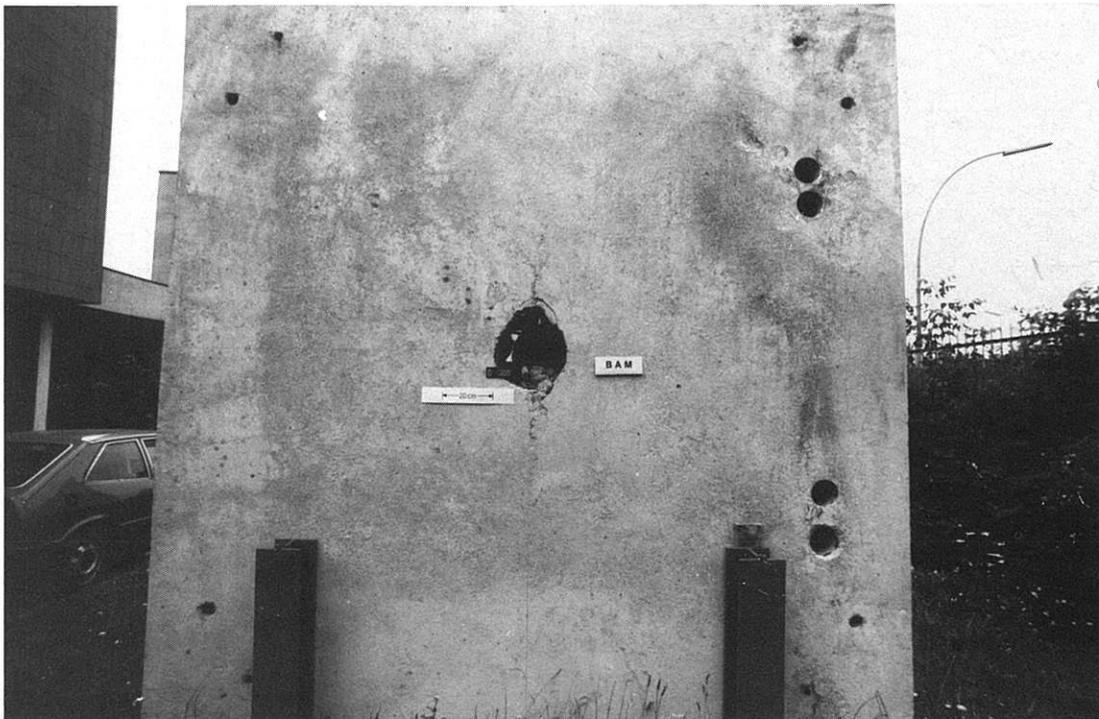


Bild A 7.6/5:

Versuch 305 (dynamischer Versuch)
 Oberseite der Stahlbetonplatte nach stoßartiger und nachfolgender
 statischer Beanspruchung und Bohrkernentnahme

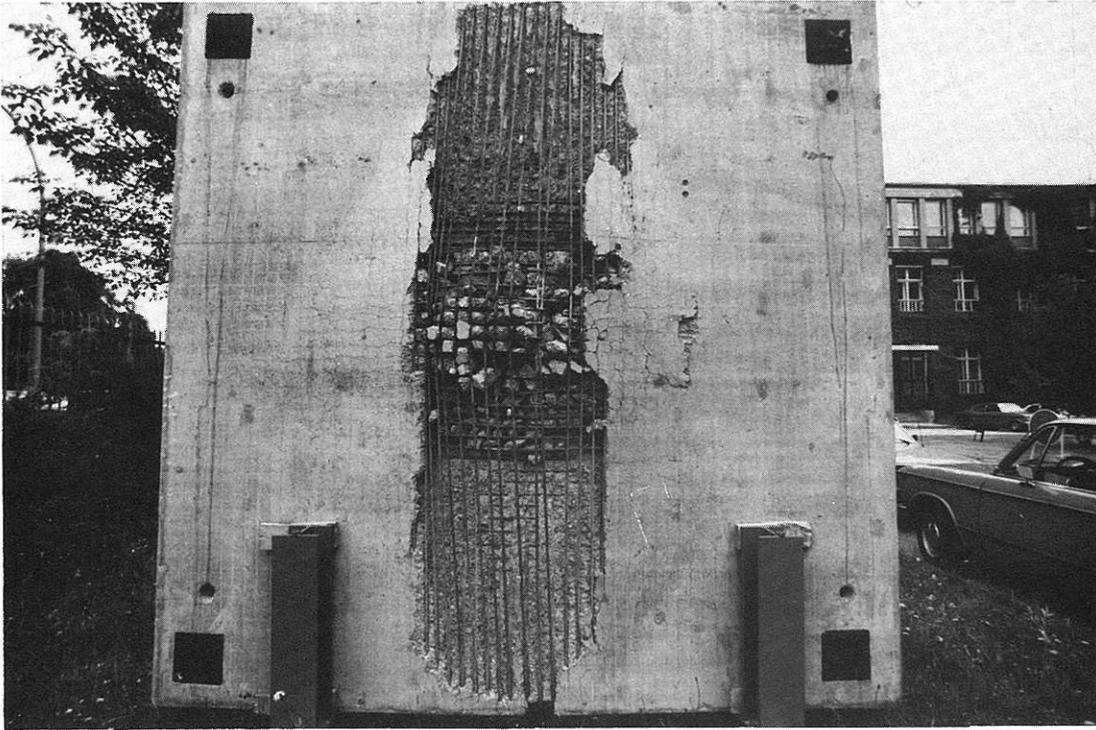


Bild A 7.6/6:

Versuch 305 (dynamischer Versuch)

Unterseite der Stahlbetonplatte nach stoßartiger und nachfolgender statischer Beanspruchung und Bohrkernentnahme

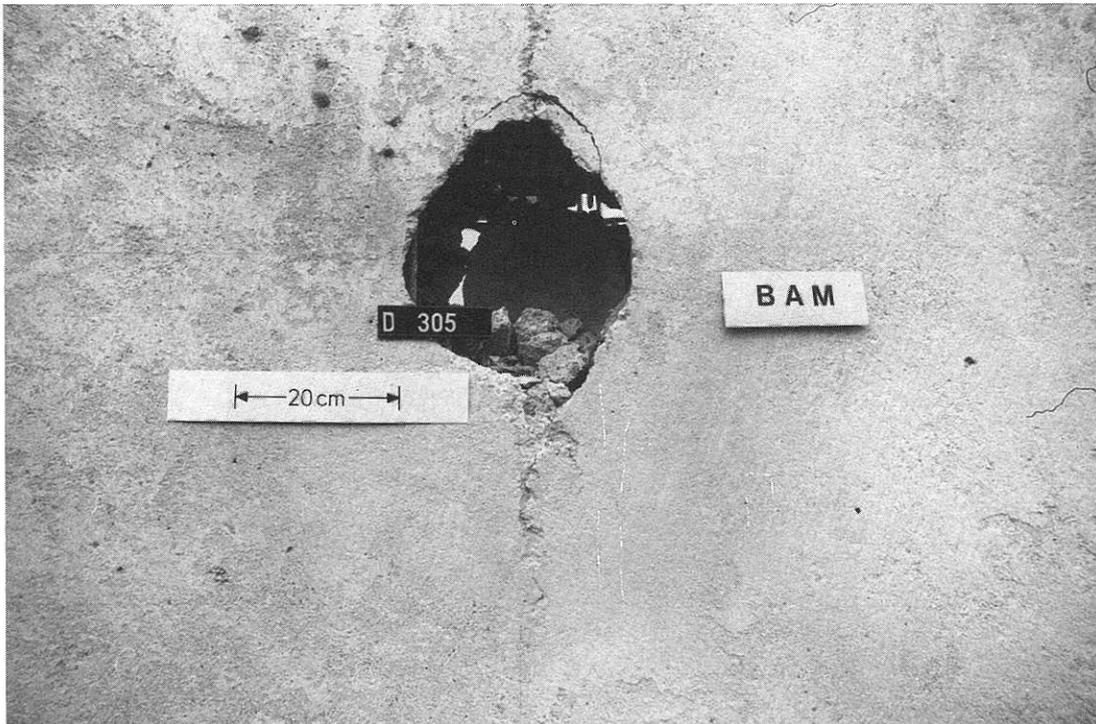


Bild A 7.6/7:

Versuch 305 (dynamischer Versuch)

Detail aus Bild A 7.6/5, Lasteinleitungsbereich, Oberseite der Stahlbetonplatte. Die Zerstörung in der Beton-Druckzone der entstandenen Gelenklinie ist deutlich sichtbar.



Bild A 7.6/8:

Versuch 305 (dynamischer Versuch)

Detail aus Bild A 7.6/6, Mittelbereich, Unterseite der Stahlbetonplatte.
Einige Bewehrungsstäbe der unteren Biegebewehrung sind gerissen.

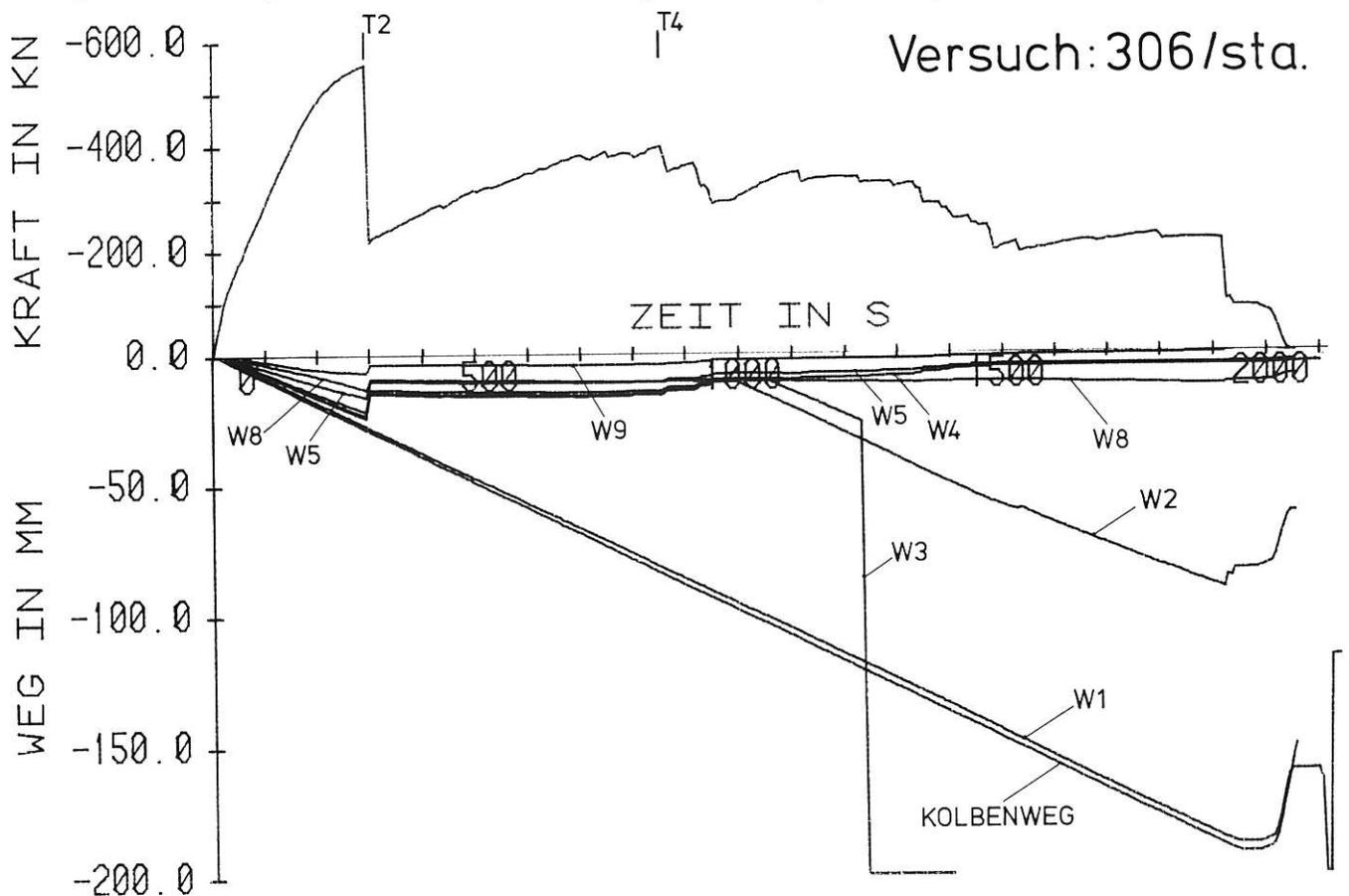


Bild A 7.7/1:

Versuch 306 (statischer Versuch)

Kolbenkraft in Plattenmitte und Durchbiegungen an verschiedenen Stellen
der Stahlbetonplatte als Funktion der Zeit

W1 bis W5 : Wegmeßstellen in der Plattendiagonalen

W8 und W9 : Wegmeßstellen am Plattenrand

Der Wegaufnehmer Punkt W3 ist nach etwa 1230 s ausgefallen

STATISCHER VERSUCH NR: 306

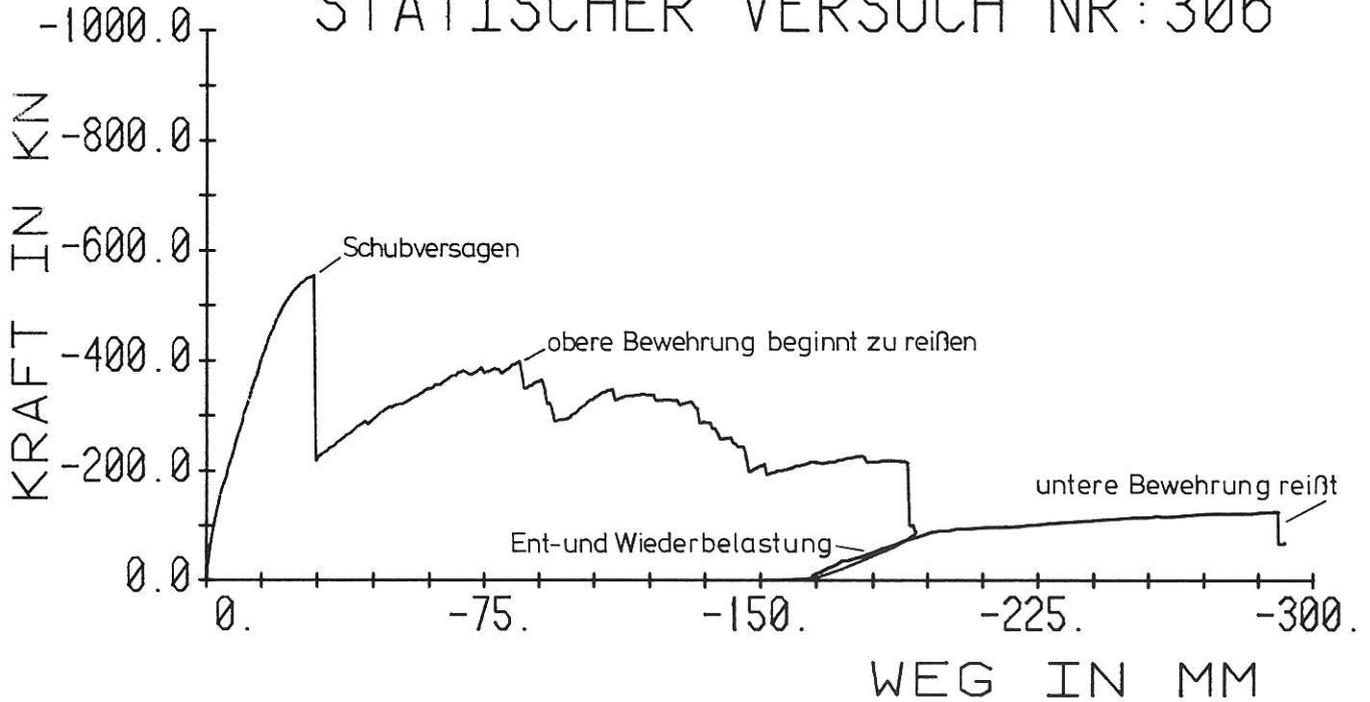


Bild A 7.7/2:
Versuch 306 (statischer Versuch)
Kolbenkraft-Kolbenweg-Diagramm

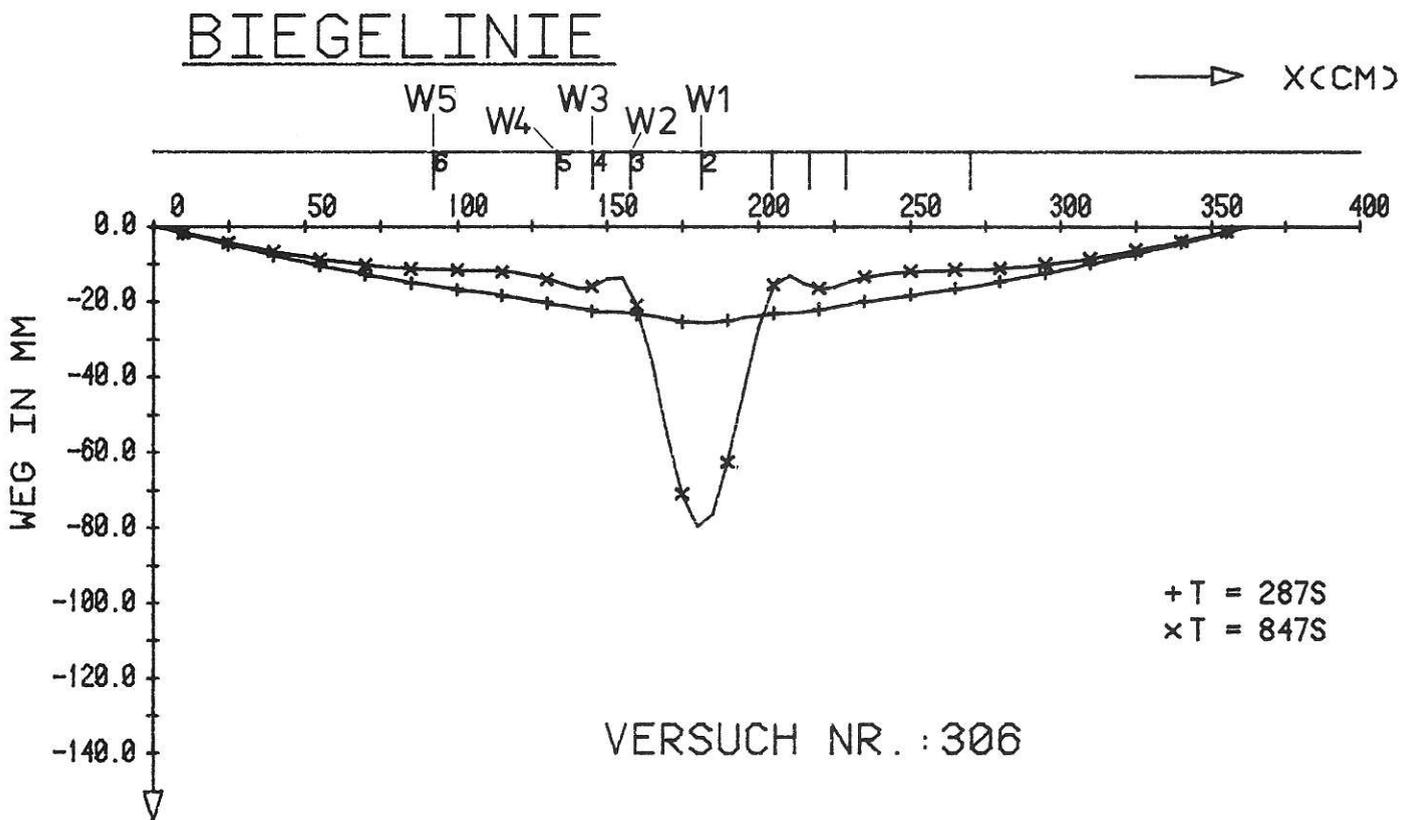


Bild A 7.7/3:
Versuch 306 (statischer Versuch).
Biegelinie entlang der Plattendiagonalen zu verschiedenen Zeitpunkten.
Die Biegelinie wurde mit Spline-Funktionen geglättet. W1 bis W5 sind
die als Stützstellen verwendeten Wegmeßstellen.

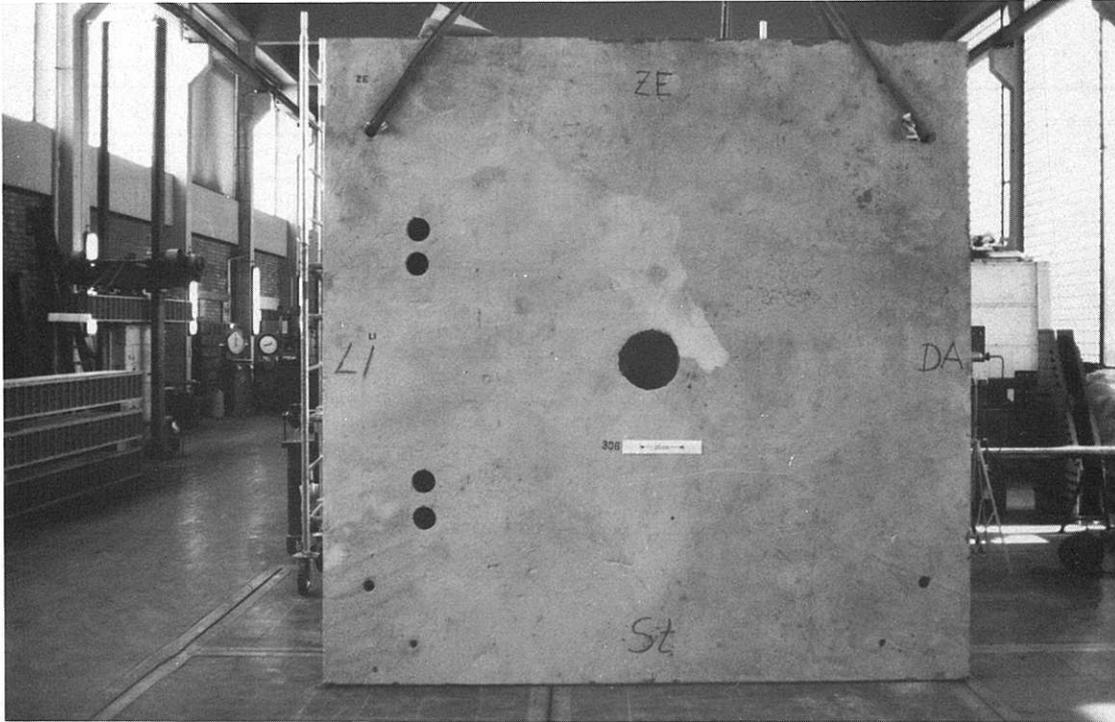


Bild A 7.7/4:

Versuch 306 (statischer Versuch)

Oberseite der Stahlbetonplatte nach statischer Beanspruchung und Bohrkernentnahme

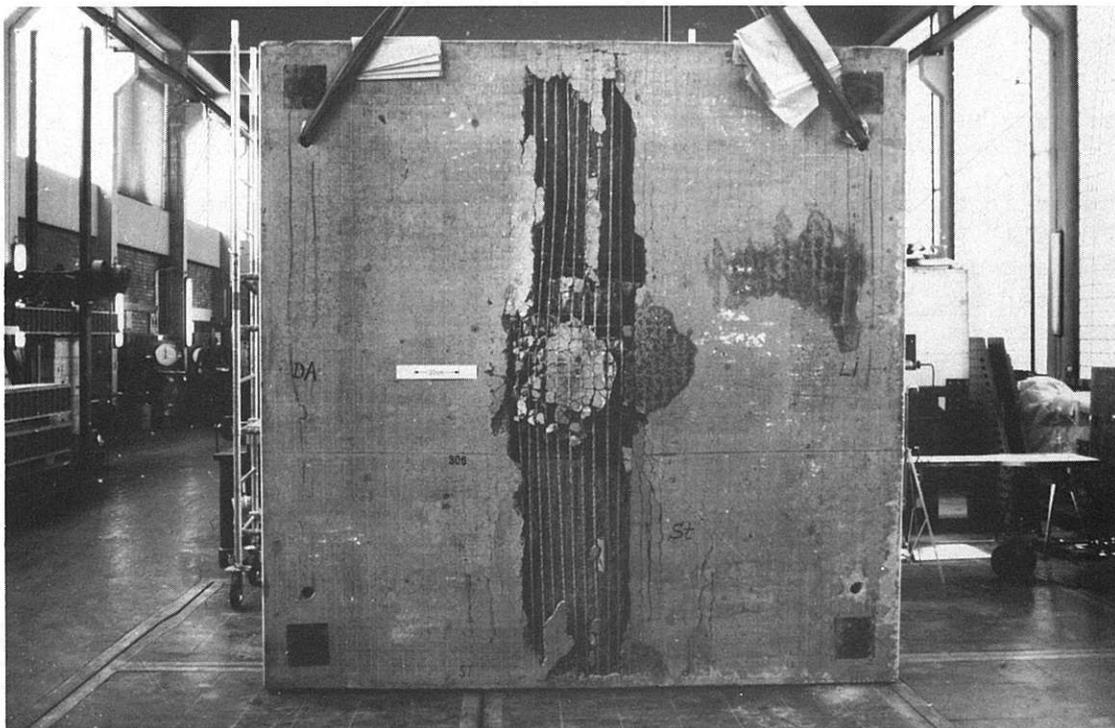
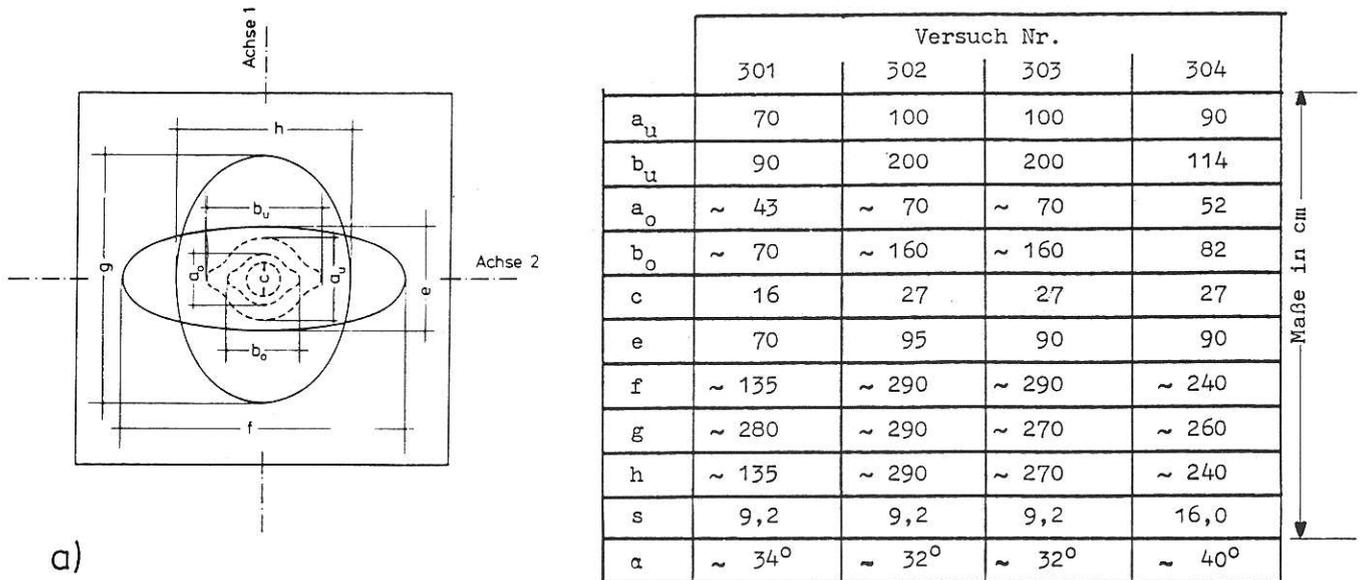


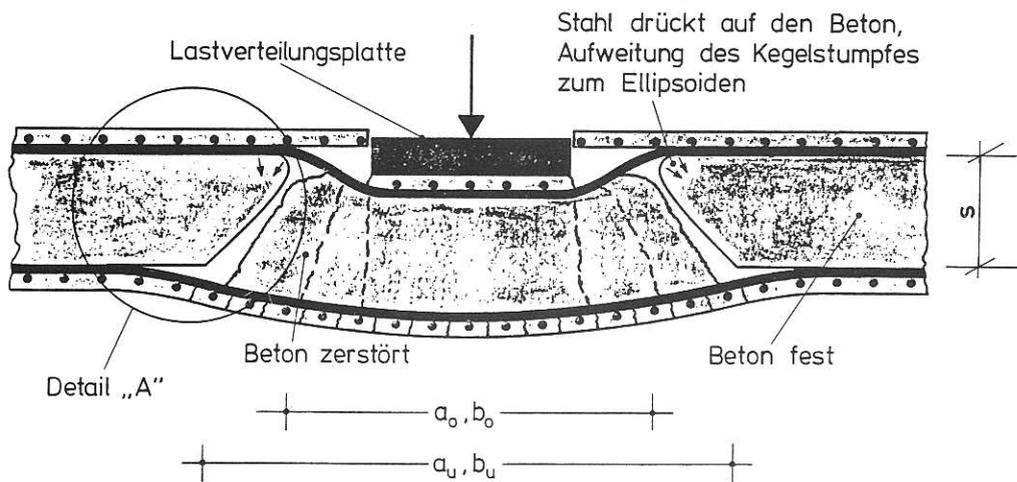
Bild A 7.7/5:

Versuch 306 (statischer Versuch)

Unterseite der Stahlbetonplatte nach statischer Beanspruchung und Bohrkernentnahme



a)



b)

Bild A 8/1:

a) Prinzipskizze zur Beschreibung der Zerstörung einer Stahlbetonplatte und Meßwerte aus den Versuchen 301 bis 304

Achse 1: Bewehrung in dieser Achsrichtung liegt außen (Pos. Nr. 1 in A 4.1/1)

Achse 2: Bewehrung in dieser Achsrichtung liegt innen (Pos. Nr. 4 in A 4.1/1)

a_o, b_o = Durchmesser des Ausbruchkegelstumpfes in Höhe der oberen Bewehrung

a_u, b_u = Durchmesser des Ausbruchkegelstumpfes in Höhe der unteren Bewehrung

c = Durchmesser der Lasteinleitungsplatte

e, f = Bereich, in dem sich die obenliegende untere Bewehrung von der Stahlbetonplatte gelöst hat

g, h = Bereich, in dem sich die untenliegende untere Bewehrung von der Stahlbetonplatte gelöst hat

s = Dicke des Betons zwischen der oberen und unteren Bewehrung

$$\tan \alpha = 2 s / (a_u - a_o)$$

b) Schnitt Achse 2, Detail A siehe Bild 8/2

Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1/September 1968

Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)

Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2/Juli 1970 (vergriffen)

Zum Problem des Feuchtigkeitsschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern

von Dr.-Ing. Götz Andreae

Nr. 3/September 1970 (vergriffen)

Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile

von Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 4/Dezember 1970 (vergriffen)

Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren

von Dr. rer. nat. Arno Burmester

Nr. 5/März 1971

Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken

von Dr. rer. nat. Norbert Steiner

Nr. 6/April 1971

Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen

von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider

Nr. 7/Juli 1971

Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie

von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz

Nr. 8/November 1971

Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung

von Dr.-Ing. Helmut Veith

Nr. 9/November 1971

Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller

Nr. 10/Januar 1972 (vergriffen)

Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode

von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin

Nr. 11/Februar 1972

Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden

von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause

Nr. 12/Mai 1972

Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren

von Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg

Nr. 13/Juni 1972

Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^{-7}$ Torr

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischer

Nr. 14/Juli 1972

Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz

von Eberhard Fischer

Nr. 15/August 1972

Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse

von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl

Nr. 16/August 1972

Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer

von Dr.-Ing. Erwin Knublauch

Nr. 17/August 1972

Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen

von Dr.-Ing. Peter Reimers

Nr. 18/Januar 1973

Das Sprödbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten

Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 19/Januar 1973

Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen

Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos

Nr. 20/April 1973

Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden

von Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 21/Juli 1973

Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung

Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig

Nr. 22/Juli 1973

Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen

von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 23/November 1973

Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen

von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske

Nr. 24/November 1973

Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung

von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 25/Dezember 1973

Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen

von Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 26/August 1974

Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —

von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise

Nr. 27/August 1974

Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall

von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg

Nr. 28/August 1974

Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern

von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 29/August 1974

Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall

von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider

Nr. 30/September 1974 (vergriffen)

The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology

von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon

Nr. 31/August 1975

Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung

von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann

Nr. 32/September 1975

Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen

von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher

Nr. 33/November 1975

Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens

von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)

Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen

von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe

Nr. 35/Januar 1976

Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —

von Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)

Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles

von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt

- Nr. 37/Februar 1976
Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 38/Juni 1976
Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionitriertem Stahl 42 CrMo 4
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 39/Juni 1976
Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newton'schem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung
von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf
- Nr. 40/Juni 1976
Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren
von Dr. rer. nat. H. Hantsche
- Nr. 41/Okttober 1976
Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten
von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher
- Nr. 42/Okttober 1976
Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft
von Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 43/Okttober 1976
Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 44/November 1976
Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“
von Dipl.-Ing. W. Matthees
- Nr. 45/Dezember 1976
Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten
von Dr.-Ing. W. Paatsch
- Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)
Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung
Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler
- Nr. 47/Juni 1977
Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen
von Dr.-Ing. Arno Plank
- Nr. 48/Okttober 1977
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn
von Dr.-Ing. U. Holzlöhner
- Nr. 49/Dezember 1977
Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung
von Dr.-Ing. Günther Wittig
- Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)
Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andreae und Dipl.-Ing. Winfried Markowski
- Nr. 51/Juni 1978
Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld
- Nr. 52/August 1978
Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov
- Nr. 53/Okttober 1978
Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge
von Rolf Günter Rohrmann und Reinald Rudolphi
- Nr. 54/Okttober 1978
Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Harro Sander
- Nr. 55/November 1978
Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke
- Nr. 56/Januar 1979
Stabilität von Sandwichbauteilen
von Dipl.-Ing. W. Brünner und Prof. Dr.-Ing. C. Langlie
- Nr. 57/März 1979
Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung
Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus
- Nr. 58/März 1979
Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 59/Juli 1979
Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl
von Dr.-Ing. Günther Plauk
- Nr. 60/August 1979
Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs
- Nr. 61/Dezember 1979
Beschreibung von Problemen der höheren Farbmetrik mit Hilfe des Gegenfarbensystems
von Dr. Klaus Richter
- Nr. 62/Dezember 1979
Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker
- Nr. 63/Dezember 1979
Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig
- Nr. 64/Februar 1980
Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung
von Dr.-Ing. Werner Rucker
- Nr. 65/Februar 1980
Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 66/Mai 1980
Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig
- Nr. 67/Mai 1980
Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees
- Nr. 68/Mai 1980
Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik.
Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers
von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn
- Nr. 69/Juni 1980
Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitshüllen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise
von Dr.-Ing. Frank Buchardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl
- Nr. 70/August 1980 (vergriffen)
Schwellenwerte beim Betondruckversuch
von Dr.-Ing. Gerald Schickert
- Nr. 71/August 1980
Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 72/September 1980
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 73/November 1980

Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen
von Dipl.-Ing. Peter Wegener

Nr. 74/November 1980

ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller

Nr. 75/November 1980

Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen
von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 76/November 1980

Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop
von Dr.-Ing. Dieter Klafke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig

Nr. 77/April 1981

Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen
von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch

Nr. 78/September 1981

Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund
von Dr.-Ing. Werner Rucker

Nr. 79/Dezember 1981

Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kalttribneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch
von Dr.-Ing. Volker Neumann

Nr. 80/Dezember 1981

Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten
von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch

Nr. 81/Dezember 1981

Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik
von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt

Nr. 82/April 1982

Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches
Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test
von Rolf Helms, Hans-Joachim Kühn und Siegmund Ledworuski

Nr. 83/Juli 1982

Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen — Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen —
von Prof. Dr.-Ing. Horst Czichos und Dr.-Ing. Paul Feinle

Nr. 84/Juli 1982

Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)
von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/Okttober 1982

Technische Materialforschung und -prüfung — Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ — Materials Research and Testing — Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme „Basic Technological Research“ —
von Prof. Dr. Horst Czichos

Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/November 1982

Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale
von Dr.-Ing. Konrad Niesel und Dr. rer. nat. Peter Schimmelwitz

Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/Dezember 1982

Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren
von Dr.-Ing. Bernd Isecke und Dr.-Ing. Wolfgang Stichel

Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/Februar 1983

Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall
von Dr.-Ing. Anton Erhard

Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/April 1983

Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid
von Dr. rer. nat. Dietrich Conrad und Dr.-Ing. Siegmund Dielten

Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/April 1983

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Konzeption für geregelte Versuche Versuchseinrichtung

Vorversuche an Stahlbetonbalken
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter

Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/April 1983

Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz
von Dr.-Ing. Michael Weber

Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/August 1983

Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch

Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/August 1983

Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen
von Dr. rer. nat. Peter Studt

Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/August 1983

Untersuchungen der Störschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen
von Dr.-Ing. Xian-Quan Dong

Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/August 1983

Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten
von Dr.-Ing. Manfred Römer

Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/Okttober 1983

Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken
von Dr.-Ing. Heinz Eifler

Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/November 1983

Typische Bruchflächenausbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung
von Dipl.-Ing. Gerhard Fuhrmann und Prof. Dr. rer. nat. Wolfram Schwarz

Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/Dezember 1983

Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschenwaren — Stretch- und Erholungsvermögen —
von Dr. rer. nat. Edmund Schnabel

Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/Dezember 1983

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonbalken mit Biegebewehrung aus Betonstahl BSt 420/500 RK und BSt 1080/1320
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter

Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/Januar 1984

Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand
von Günter Klamrowski und Paul Neustupny

Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/Februar 1984

Röntgen- und Gammastrahlen Computer-Tomographie
von Dr.-Ing. Peter Reimers, Dr. rer. nat. Jürgen Goebels, Dr.-Ing. Heinrich Heidt, Dr.-Ing. Hans-Peter Weise und Dipl.-Phys. Kay Wilding

Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/März 1984

Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens zur Druckspannungsmessung in Beton
von Dr.-Ing. Götz Magiera

Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/März 1984

Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien
von Dr.-Ing. Dierk Schnitger

Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/April 1984

Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen
von Dr.-Ing. Michael Gierloff

Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/Juni 1984

Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen
von Dr.-Ing. Bernd Schulz-Forberg

Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/Okttober 1984

Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last
von Dr.-Ing. Jan Lehnert

Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/Okttober 1984

Korrosion von Stahlradiatoren
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel und Jörg Ehreke

Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/Okttober 1984

Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen — Ergebnisse von Modellrechnungen
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch

Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/Februar 1985

Zur Wirkung der Schrumpfbehinderung auf den Schweißeigenspannungszustand und das Spröbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N

von Dr.-Ing. Mohamed Omar

Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/Februar 1985

Wasserstoff als Energieträger

von Dr. Hermann Walde (Mitglied des Kuratoriums der BAM i. R.) und Dr. Bernhard Kropp

Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/Februar 1985

Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Andex-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte

von Dr.-Ing. Kurt Ziegler

Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/Juli 1985

Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen

von Dr.-Ing. Wolfgang Lützow

Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/Juli 1985

Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungsrißkorrosion von Offshore-Konstruktionen

von Rolf Helms, Horst Henke, Gerhard Oelrich (BAM, Berlin) und Tetsuya Saito (NRIM, Japan)

Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/Juli 1985

Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen

von Dipl.-Ing. Peter Rose, Dipl.-Ing. Peter Raabe, Dipl.-Ing. Werner Daum und Andreas Szameit

Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/Juli 1985

Farbempfindungsmerkmal Elementarblau und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld

von Privatdozent Dr. Klaus Richter

Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/Okttober 1985

Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik

von Dr. rer. nat. Franz-Josef Kasper, Dipl.-Inform. Renate Müller, Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Armin Wagner

Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/Okttober 1985

**Materials Technologies and Techno-Economic Development
A study for the German Foundation for International Development
(Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)**

by Prof. Dr. H. Czichos in cooperation with Dr. G. Sievers, Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Bonn

Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/Okttober 1985

Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung

Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen

von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Dipl.-Ing. Hilmar Andre, Dr. rer. nat. Eduard Blossfeld, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Ing. grad. Matthias-Michael Zindler

Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/November 1985

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I

Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members

Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I

von Dipl.-Ing. Jürgen Herter, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Ernst Limberger

