

# Versuchsergebnisse der Balken P1, P2 und B1 bis B8

**Working Paper****Author(s):**

Ammann, Jakob Walter; Mühlematter, Martin; Bachmann, Hugo

**Publication date:**

1982

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000274741>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

**Originally published in:**

Bericht / Institut für Baustatik und Konstruktion ETH Zürich 7709(3)

**Versuche an Stahlbeton- und  
Spannbetonbalken unter stoss-  
artiger Beanspruchung  
Teil 3  
Versuchsergebnisse der Balken  
P1, P2 und B1 bis B8**

Walter Ammann  
Martin Mühlematter  
Hugo Bachmann

Dezember 1982  
Bericht Nr. 7709-3

Nachdruck verboten.  
Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen und  
der Reproduktion auf photostatischem Wege oder durch Mikrofilm,  
vorbehalten.

**Versuche an Stahlbeton- und Spannbetonbalken  
unter stossartiger Beanspruchung**

**Teil 3**

**Versuchsergebnisse der Balken P1, P2  
und B1 bis B8**

von

Dipl. Ing Walter Ammann  
Dipl. Ing Martin Mühlematter  
Prof. Dr. Hugo Bachmann

Institut für Baustatik und Konstruktion  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Zürich  
Dezember 1982



## Versuche an Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter stossartiger Beanspruchung

Teil 1: Zugversuche an Bewehrungs- und Spannstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit.  
Bericht Nr. 7709-1, Juni 1982.

Teil 2: Konzeption und Durchführung der Balkenversuche, Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.  
Bericht Nr. 7709-2, Dezember 1982.

Teil 3: Versuchsergebnisse der Balken P1, P2 und B1 bis B8.  
Bericht Nr. 7709-3, Dezember 1982.  
(Auf Anfrage erhältlich: Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Hönggerberg, Sekretariat HIL E 13.3, CH-8093 Zürich)

Teil 4: Versuchsergebnisse der Balken B9 bis B21.  
Bericht Nr. 7709-4, Januar 1983.  
(Auf Anfrage erhältlich: Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Hönggerberg, Sekretariat HIL E 13.3, CH-8093 Zürich)

Teil 5: Verhalten von zweifeldrigen Stahlbetonbalken bei Ausfall einer Unterstützung.  
Bericht Nr. 7709-5, März 1983.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
EINLEITUNG	1 - 3
VERDANKUNG	4
LITERATURVERZEICHNIS	5
PILOTBALKEN P1	P1-1 - P1- 3
PILOTBALKEN P2	P2-1 - P2- 3
BALKEN B1	B1-1 - B1-14
BALKEN B2	B2-1 - B2-63
BALKEN B3	B3-1 - B3-18
BALKEN B4	B4-1 - B4-52
BALKEN B5	B5-1 - B5-15
BALKEN B6	B6-1 - B6-44
BALKEN B7	B7-1 - B7-44
BALKEN B8	B8-1 - B8-30

## Einleitung

Der vorliegende Versuchsbericht ist im Rahmen des Forschungsprojektes "Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter stossartiger Beanspruchung" des Institutes für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich ausgearbeitet worden. Er umfasst sämtliche Resultate der Versuche mit den Pilotbalken P1 und P2 sowie mit den Balken B1 bis B8 der 1. Serie. Die Darstellung der verschiedenartigen Versuchsergebnisse ist im Abschnitt 5 des Textbandes der Versuchsberichte [1] detailliert erläutert, wobei dort auch die Eigenheiten der verschiedenen Resultat-Darstellungen ausführlich beschrieben und Querverweise auf zusätzliche Erläuterungen in anderen Abschnitten des Textbandes angegeben werden. An dieser Stelle wird deshalb nur eine summarische Übersicht über Aufbau und Gliederung der Resultat-Darstellungen gegeben. Die Resultate der Versuche mit den Balken B9 bis B21 der 2. Serie sind analog in [2] (Teil 4) dargestellt.

### Balken- und versuchsspezifische Angaben

Grundsätzlich muss pro Balken unterschieden werden zwischen sogenannten balkenspezifischen Angaben und versuchsspezifischen Angaben. Erstere vermitteln die für alle Versuche gleichbleibenden Informationen zum Balken selbst und sind stets den Resultat-Darstellungen zu den einzelnen Versuchen vorangestellt. Letztere umfassen die in den einzelnen Versuchen gemessenen Grössen in verschiedensten Darstellungsarten. Diese Unterscheidung wird auch aus der Numerierung der einzelnen Bilder ersichtlich.

### Bildnumerierung

Die den Bildtiteln vorangestellte Bildnummer beginnt stets mit der Balkenbezeichnung. Als zweite Zahl steht (von der Balkenbezeichnung mit Punkt abgetrennt) bei den balkenspezifischen Angaben stets eine Null, bei den versuchsspezifischen Angaben die entsprechende Versuchsnummer. Innerhalb dieser balken- bzw. versuchsspezifischen Angaben werden die Bilder jeweils fortlaufend durchnummeriert (mit Bindestrich an zweite Zahl angehängt). Damit ergeben sich als Beispiele folgende Bildnumerierungen:

#### Bild B2.0-3:

bedeutet 3. Bild der balkenspezifischen Darstellungen des Balkens B2.

#### Bild B2.8-6:

bedeutet 6. Bild der versuchsspezifischen Darstellungen des 8. Versuches mit dem Balken B2.

### Seitennumerierung

Auch die Numerierung der Seiten in diesem Resultatband erfolgt nach einem ähnlichen Ordnungsprinzip, indem auf eine durchgehende Numerierung verzichtet wird und an deren Stelle nur eine fortlaufende Numerierung pro Balken in der folgenden Form eingeführt wird:

Pilotbalken:           z.B. P1-1 bis P1- 3  
Versuchsbalken:       z.B. B7-1 bis B7-44

### Balkenspezifische Angaben

Die balkenspezifischen Angaben und Bilder beginnen stets mit der Titelüberschrift des betreffenden Balkens, z.B. "BALKEN B2". Anschliessend werden jeweils die wichtigsten verwendeten Widerstandparameter und die dynamischen Parameter aufgelistet sowie eine knappe Umschreibung der jeweiligen Versuchsziele und der Anordnung der Messstellen gegeben. Zusätzlich wird eine kurze qualitative Beschreibung der wichtigsten, in den einzelnen Versuchen erhaltenen Resultate angefügt. Dieser Textteil vermittelt somit eine kurze Einleitung in

die nachfolgenden Resultat-Darstellungen, weist auf allfällige Besonderheiten hin und gibt teilweise auch eine qualitative Beschreibung einzelner Bilder und Tabellen des Textbandes. Dies gilt insbesondere für die beiden Pilotbalken, die nur den Textteil enthalten. Für diese beiden Balken sind effektive Versuchswerte nur in zusammengefasster Form im Vergleich mit anderen Balken aus den Bildern 73 bis 99 bzw. den Tabellen 17 bis 21 des Textbandes [1] zu entnehmen.

Die einzelnen Bemerkungen in diesem Textteil beziehen sich im wesentlichen auf (Reihenfolge entsprechend der Reihenfolge der Bilder):

- Verformungsverhalten, Rissbild
- Bleibende Dehnungen
- Energieaufnahmevermögen
- Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen
- Dehnungsmessungen während der Versuche
- Dehngeschwindigkeiten
- Eigenfrequenz, Dämpfung

Als erstes Bild ist anschliessend ein Bewehrungs- und Messstellenplan dargestellt. Aus dem Bewehrungsplan gehen die Abmessungen des Balkens und die eingelegte Längs- und Bügelbewehrung hervor. Im Messstellenplan sind sämtliche Messstellen eingezeichnet und vermasst.

Als nächstes folgen eine Zusammenstellung von Uebersichtsfotos des Balkens vor und nach den einzelnen Versuchen und im ausgebauten Zustand zur Veranschaulichung der Verformungsfähigkeit der Balken sowie einzelne Detailaufnahmen vom eigentlichen Bruchbereich, von der Aufprallzone und vom Gelenkbereich sowie von allfälligen weiteren interessanten Details.

In einem weiteren Bild werden der Verlauf der Betonstauchungen und der Stahldehnungen aus den Deformetermessungen in einem Raster über den Balken dargestellt, wobei bei mehreren Versuchen mit dem gleichen Balken so viele Versuche, wie graphisch sinnvoll darstellbar, aufgezeichnet werden.

In einer Uebersicht werden auf der gleichen Seite wie die Dehnungsverläufe aus den Deformetermessungen die Biegelinien und Krümmungsverläufe aus den Nivellements-Messungen dargestellt. In der linken Darstellung sind die nach jedem Versuch ermittelten Gesamtverformungen (Biegelinien) aufgetragen, in der rechten die daraus errechneten Krümmungsverläufe längs des Balkens. Die verwendete Signatur ist für beide Darstellungen gültig, wobei in der Legende noch zusätzliche Angaben über die Gesamtmasse (Balkenmasse und allfällige Bleizusatzmassen), Fallhöhe und Bezugslage angegeben sind.

#### Versuchsspezifische Angaben

Die versuchsspezifischen Angaben beginnen stets mit der Titelüberschrift des betreffenden Versuches, z.B. "VERSUCH B2.8".

Es folgen zwei Bilder mit der Biegelinie und dem Krümmungsverlauf aus der Nivellements-Messung für den betreffenden Versuch. Diese Darstellung wiedergibt den pro Versuch erzielten Verformungszuwachs und die damit verbundene zusätzliche Krümmung.

Normalerweise werden auf der gleichen Seite wie die Einzeldarstellung der Nivellements-Messung auch die aus den Aufnahmen mit der Schnellbildkamera vorgenommenen Filmauswertungen dargestellt. Diese Bilder umfassen Biegelinien zu verschiedenen Zeitpunkten sowie Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes.

Daran anschliessend folgt eine Tabelle mit den wesentlichsten Informationen zur Auswertung der PCM-Magnetband-Aufzeichnungen.

Einen wesentlichen Anteil an den Resultat-Darstellungen bilden die aus den PCM-Aufzeichnungen erhaltenen Resultate. Sie umfassen:

- Zeitverläufe von Aufprallreaktion und Einsenkung sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme des Aufprallelementes (Stossdämpfer oder Ringfederpuffer)
- Zeitverläufe von Gelenkreaktion und Durchbiegung in Balkenmitte
- Zeitverläufe von Beschleunigungen in Einzel-Darstellungen bzw. in einzelnen Balkenpunkten
- Zeitverläufe von Dehnungen der Längsbewehrung (oder auf dem Beton) in einzelnen Balkenpunkten
- Verlauf der Dehnungen entlang des Balkens (Längsbewehrungen oder Beton) zu gleichen Zeitpunkten
- Zeitverläufe von Dehnmessstellen und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

In zahlreichen Darstellungen werden zu Vergleichszwecken einzelne Messgrössen gemeinsam dargestellt, z.B. Zeitverläufe von Dehnmessstellen im gleichen Balkenquerschnitt, etc.. Wenn immer möglich werden bei mehreren Versuchen mit dem gleichen Balken stets dieselben Messstellen aufgezeichnet. Dabei kann es natürlich vorkommen, dass mit zunehmender Beanspruchung gerade auf der unteren Längsbewehrung die eine oder andere Dehnmessstelle ausfällt. Falls vorhanden wird sie ersetzt durch die Aufzeichnung einer benachbarten Messstelle.

## Verdankungen

Der vorliegende Resultatband 1 des Versuchsberichtes ist im Rahmen des Forschungsprojektes "Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter stossartiger Beanspruchung" des Instituts für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich ausgearbeitet worden. Dieses Projekt wurde vom Bundesamt für Genie und Festungen, Bern, in erheblichem Masse unterstützt und von Herrn A. Meyer, Sektionschef, begleitet. Für diese grosszügige Unterstützung möchten die Verfasser dem Bundesamt und insbesondere den Herren A. Meyer und Div B. Hirzel herzlich danken.

Sämtliche Versuche wurden durch die Abteilung 116 "Massivbau" der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA) in Dübendorf durchgeführt.

Bei der Auswertung der Vielzahl von Versuchsdaten konnten zahlreiche Einrichtungen an verschiedenen Institutionen in Anspruch genommen werden:

- die Auswertung der auf Magnetband gespeicherten PCM-Daten erfolgte auf den PdP 11/35 bzw. 11/45 - Anlagen, die den Instituten der Abteilung für Bauingenieurwesen an der ETH Höggerberg (KIL) zur Verfügung stehen.
- die Auswertung des umfangreichen Filmmateriales erfolgte auf einem Digitalisier Tisch im Laboratorium für Biomechanik und anschliessend auf einem Minicomputer des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik.
- Sämtliches Fotomaterial stammt vom Fotodienst der EMPA.

All diesen Institutionen sei für die gute Zusammenarbeit bestens gedankt.

Bei der Darstellung des umfangreichen Datenmaterials waren am Institut für Baustatik und Konstruktion zahlreiche Mitarbeiter und studentische Hilfskräfte mitbeteiligt. Ein besonderer Dank gebührt dabei Herrn Dr. X. Studerus für das Entwickeln der erforderlichen Computer-Software, Fräulein M. Ackermann, stud. med., für das Erstellen der Computer-Plots sowie Fräulein D. Delcò, lic. phil. I. und Herrn Th. Keller, stud. Bauing., für das Aufkleben der Zeichnungen, Plots und Fotos auf die Druckbogen.

Herr R. Cafilisch, administrativer Leiter des Instituts für Baustatik und Konstruktion, befasste sich mit den zahlreichen administrativen Aufgaben, Herr L. Sieger erstellte die Tuschzeichnungen, Herr E. Mengisen vom Bürozentrum Wiedikon schrieb die Druckbogen und Herr G. Göseli betreute die Drucklegung.

Für diese wertvolle Unterstützung und die ausgezeichnete Zusammenarbeit danken die Verfasser allen Genannten, wie auch allen anderen, die zum Gelingen dieses Forschungsprojektes beigetragen haben, sehr herzlich.

## Literaturverzeichnis

- [1] Ammann W., Mühlematter M., Bachmann H.: "Versuche an Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter stossartiger Beanspruchung. Teil 2: Konzeption und Durchführung der Versuche, Zusammenfassung der Versuchsergebnisse", Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Versuchsbericht Nr. 7709-4, Dezember 1982, Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart.
- [2] Ammann W., Mühlematter M., Bachmann H.: "Versuche an Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter stossartiger Beanspruchung. Teil 4: Versuchsergebnisse der Balken B9 bis B21", Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Versuchsbericht Nr. 7709-4, Januar 1982, Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart.

# PILOTBALKEN P1

## Widerstandsparameter:

Querschnitt : rechteckig  
 Längsbewehrungsgehalt : 0.56 %  
 Stahlsorte : IIIa, naturhart

## Dynamische Parameter:

Masse : 300 kg/m'  
 Gesamtlänge : 8.30 m  
 Aufprallelement : Ringfederpuffer  
 Prüfungsvorgang : mehrmalig  
 Fallhöhen H : Versuch P1.1 H = 0.00 m  
                   P1.2 H = 0.00 m  
                   P1.3 H = 0.05 m  
                   P1.4 H = 0.05 m  
                   P1.5 H = 0.10 m  
                   P1.6 H = 0.10 m  
                   P1.7 H = 0.15 m  
                   P1.8 H = 0.00 m  
                   P1.9 H = 0.00 m  
                   P1.10 H = 0.00 m  
                   P1.11 H = 0.00 m  
                   P1.12 H = 0.20 m  
                   P1.13 H = 0.20 m  
                   P1.14 H = 0.20 m  
                   P1.15 H = 0.30 m  
                   P1.16 H = 1.54 m

## Ziel der Versuche:

Das Ziel der Versuche mit den beiden Pilotbalken bestand zur Hauptsache im Studium des grundsätzlichen Verhaltens von einseitig aufprallenden Balken. Im weiteren sollte die Zweckmäßigkeit der gewählten Versuchsanordnung und der verwendeten Mess- und Aufzeichnungssysteme geprüft werden. Zeitlich erfolgten die Versuche mit dem Pilotbalken P1 nach Abschluss der Versuche mit dem Pilotbalken P2. Aus diesem Grunde wurden mit P1 keine Versuche mehr mit "mittleren Fallhöhen" durchgeführt, sondern von der Fallhöhe  $H = 0.30$  m direkt auf die damals maximal mögliche Fallhöhe von  $H = 1.54$  m umgestellt.

Die Anordnung der Messstellen weicht z.T. wesentlich von den späteren Balken ab. Zum einen wurde ein möglicher Bruch des Balkens aufgrund vorgängiger Computerberechnungen viel näher beim Aufprallpunkt (ungefähr bei  $x = 6.50$  m) erwartet, so dass in erster Linie dieser Bereich mit Dehnmessstellen bestückt wurde, zum anderen wurden im gleichen Balkenquerschnitt auf der Längs- und Schubbewehrung z.T. die Dehnmessstellen doppelt angeordnet. Dies sollte allfällige unsymmetrische Beanspruchungen des Balkens erkennen lassen.

## Resultate:

### Verformungsverhalten, Rissbild

Ueber die 16 mit dem Pilotbalken P1 durchgeführten Fallversuche ergibt sich eine aufsummierte, totale Fallhöhe von  $H = 2.89$  m, wobei die maximale plastische Durchbiegung nach Abschluss aller Versuche 285 mm beträgt. Für die in den einzelnen Versuchen erzielten ma-



ximalen plastischen Durchbiegungen resultiert eine lineare Abhängigkeit von der Fallhöhe. Dies wird auch durch Versuche mit den analogen Balken P2 und B1 bestätigt.

Die beiden Versuche mit der Fallhöhe  $H = 0.00$  m vermögen bereits einige wenige Risse im Balkenmitttelteil zu erzeugen. Nach dem 4. Versuch P1.4 ist das Rissbild praktisch vollständig ausgebildet. Nach dem 7. Versuch P1.7 beginnt eine beschränkte Verästelung der Risse auf der Höhe der unteren Längsbewehrung aufzutreten, ein Phänomen, das sich mit zunehmender Versuchszahl zunehmend verdeutlicht. Der letzte Versuch (P1.16) mit einer Fallhöhe von  $H = 1.54$  m bringt eine starke Zunahme der Rissweiten von im Mittel etwa 10/100 mm vor dem Versuch auf maximal 350/100 mm nach dem Versuch. Der Beton ist an der Balkenoberseite im Bereich dieses grössten Risses lokal leicht gestaucht. Die maximale plastische Durchbiegung infolge dieses Versuches beträgt 234 mm. Die elastisch-plastische Durchbiegung infolge des Versuches beträgt 310 mm und wird 0.12 s nach dem Aufprall erreicht. (Noch nach dem 15. Versuch P1.15 betrug die maximale plastische Durchbiegung gesamthaft erst 51 mm).

Im Aufprallbereich sind überhaupt keine Risse festzustellen.

Die anhand von Dehnmessstellen auswertbare Geschwindigkeit einer vom Aufprallbereich gegen das Gelenk hin wandernden Biegewelle beträgt im 3. Versuch P1.3 zwischen 400 und 1300 m/s, im 16. Versuch P1.16 rund 240 m/s.

#### Bleibende Dehnungen

Bei den Pilotbalken wurden noch keine Deformetermessungen durchgeführt zur Ermittlung von mittleren bleibenden Dehnungen entlang des Balkens.

#### Energieaufnahmevermögen

Für die Pilotbalken wurden noch keine Krümmungsverläufe ermittelt aus den Nivellements-Messungen. Nach Abschluss der Versuche kann ein Bereich zwischen  $x = 2.40$  m und  $x = 6.50$  m mit plastischen Verformungen des Balkens festgelegt werden. Die plastische Länge beträgt somit  $l_{p1} = 4.10$  m. Die auf die zur Verfügung stehende potentielle Energie bezogene Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformungen ist parabolisch zunehmend mit der Fallhöhe. Die Versuche mit den analogen Balken B1 und B14 stimmen ebenfalls gut in diese Beziehung. Hingegen ergeben die mit dem 2. Pilotbalken durchgeführten Versuche P2.14 und P2.16 im Vergleich mit dieser Kurve zu hohe Werte. Für den Versuch P1.16 mit einer Fallhöhe von  $H = 1.54$  m resultiert eine Energieaufnahme von 51 %.

#### Aufprall- und Gelenkreaktionen, Beschleunigungen, Geschwindigkeiten

Ein Vergleich aller mit dem Pilotbalken P1 sowie dem Pilotbalken P2 und dem Balken B1 durchgeführten Versuche zeigt auch bei Einsatz des Ringfederpuffers eine ungefähr lineare Abhängigkeit der maximalen Aufprallreaktion von der Fallhöhe in der Form  $(H)^{3/5}$ .

Auch die maximale Gelenkreaktion zeigt eine ähnliche Tendenz. Die zahlreichen Versuche zeigen, dass mit zunehmender Beanspruchung durch vorgängige Fallversuche bei gleicher Fallhöhe die maximale Aufprallreaktion leicht abnimmt, die maximale Gelenkreaktion hingegen zunimmt.

Die Beschleunigungen auf dem Balken zeigen ebenfalls eine zunehmende Tendenz in Funktion der Fallhöhe, doch kann keine eindeutige Beziehung angegeben werden. Der Maximalwert beim Versuch P1.16 an der Stelle  $x = 4.40$  m beträgt 32 g.

Bedingt durch die Art des Aufprallelementes (Ringfederpuffer) prallt der Balken nach erfolgtem Aufschlag und einer Kontaktzeit von 0.1 s bis 0.2 s mit dem Ringfederpuffer wieder zurück. Die dabei auftretende Rückprallgeschwindigkeit ist dabei ab einer Fallhöhe der Balken von ungefähr  $H = 0.20$  m konstant und beträgt etwa 0.85 m/s. Dies entspricht einer

Rückprallhöhe von knapp 100 mm. Die Kontaktzeit des Balkens mit dem Ringfederpuffer nimmt zu mit zunehmender Fallhöhe (grössere Einsenkung des Ringfederpuffers).

Vergleicht man die aus einer Wegmessung am Aufprallpunkt berechnete Geschwindigkeit mit der theoretisch zu errechnenden Geschwindigkeit von  $v_0 = (3gH)^{1/2}$ , stellt man Abweichungen von maximal rund 10 % fest. Dabei sind die aus den Wegmessungen berechneten Geschwindigkeiten stets kleiner als die theoretischen Geschwindigkeiten. Berechnet man in der theoretischen Formel  $v_0 = (cgH)^{1/2}$  die Konstante  $c$  - welche sich streng theoretisch zu  $c = 3$  ergibt - als Mittelwert über alle Versuche mit dem Pilotbalken P1, ergibt sich  $c = 2.59$ . Damit ergibt sich ein mittlerer Fehler in der Geschwindigkeit von  $v_0 = (2.59/3.00)^{1/2} = 7.1$  %. Berechnet man die Geschwindigkeiten aus einer Wegmessstelle bei  $x = 3.60$  m mit den theoretischen Werten, ergibt sich ebenfalls ein zu kleiner Wert von im Mittel 4.6 %. Die unterschiedlichen Abweichungen zwischen Mittel- und Endpunkt des Balkens sind vermutlich bedingt durch Ungenauigkeiten bei der Berechnung der Geschwindigkeiten aus den Wegmessungen. Die allgemeinen Abweichungen können bedingt sein durch die Endhalterung beim Gelenk (wurde in den beiden Versuchsserien abgeändert), Luftwiderstand, Reibung im Gelenk und insbesondere durch Ungenauigkeiten beim Einmessen der Fallhöhe (z.B. ergibt eine Ungenauigkeit von 0.5 cm bei einer Fallhöhe von 30 cm bereits eine Abweichung in der Geschwindigkeit von 1 %).

#### Dehnungsmessungen während der Versuche

Insgesamt waren auf der Schubbewehrung längs des Balkens 8 Dehnmessstreifen (DMS), auf der unteren Längsbewehrung 6 DMS, auf der oberen Längsbewehrung 4 DMS und auf dem Beton 1 DMS angeordnet. Zusätzlich waren auf dem Beton an 3 Stellen Dehnmessbrücken aufgeklebt, die die Messung einer mittleren Dehnung auf dem Beton über eine Länge von 200 mm ermöglichen. Während sich die Dehnmessstreifen ausgezeichnet bewährten, wurden die Dehnmessbrücken zu Eigenschwingungen angeregt, so dass in den eigentlichen Versuchen der 1. und 2. Serie darauf verzichtet wurde.

#### Dehngeschwindigkeiten

Die Dehngeschwindigkeiten wurden anhand der Zeitverläufe der Dehnmessstellen ermittelt. Sie variieren für Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und Fallhöhen zwischen  $H = 0.00$  m und  $H = 1.54$  m von  $\dot{\epsilon} = 0.01 \text{ s}^{-1}$  bis zu etwa  $\dot{\epsilon} = 2.0 \text{ s}^{-1}$ . Auf der oberen Längsbewehrung treten Werte auf zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.002 \text{ s}^{-1}$  und  $\dot{\epsilon} = 0.48 \text{ s}^{-1}$ . Die entsprechenden Werte auf der Schubbewehrung liegen zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.001 \text{ s}^{-1}$  und  $\dot{\epsilon} = 0.06 \text{ s}^{-1}$ , auf dem Beton zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.001 \text{ s}^{-1}$  und  $\dot{\epsilon} = 0.08 \text{ s}^{-1}$ .

#### Eigenfrequenz, Dämpfung

Bei den Versuchen mit dem Pilotbalken P1 wurden erst nach Abschluss der Versuche, d.h. nach P1.16, Eigenfrequenz und Dämpfung bestimmt. Die entsprechenden Werte betragen  $f = 3.92$  Hz bzw.  $\xi = 0.024$ .



ximalen Rissweiten auf 45/100 mm (bei  $x = 3.20$  m), steigen dann aber im 13. Versuch P2.13 auf maximal 200/100 mm an. Dabei wird erst eine totale, maximale plastische Durchbiegung des Balkens von 89 mm gemessen. Der nachfolgende Versuch P2.14 bringt eine zusätzliche plastische Durchbiegung von 102 mm und eine Erweiterung der Risse auf 310/100 mm. Im Versuch P2.15 wird der Beton erstmals leicht gestaucht (bei  $x = 2.40$  m bis  $x = 3.10$  m). Im letzten Versuch P2.16 nimmt diese Stauchung nur noch leicht zu, hingegen erweitern sich die Risse auf maximal 400/100 mm.

Nach Abschluss der Versuche ist der Bereich zwischen  $x = 1.80$  m und  $x = 5.50$  m, d.h. auf eine Länge von  $l_{p1} = 3.70$  m, plastisch verformt.

Im Aufprallbereich sind wiederum - trotz z.T. beachtlicher Aufprallreaktionen - keine Schubrisse festzustellen.

#### Bleibende Dehnungen

Auch beim Pilotbalken P2 wurden noch keine Deformetermessungen zur Ermittlung mittlerer, bleibender Dehnungen nach den Versuchen durchgeführt.

#### Energieaufnahmevermögen

Die anhand einer mittleren Krümmung über die plastische Länge von  $l_{p1} = 3.70$  m berechnete Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformung beträgt für die letzten Versuche (P2.14 und P2.16) rund 60 % der gesamten, zur Verfügung stehenden, potentiellen Energie. Diese Werte sind aber im Vergleich mit dem Pilotbalken P1 und dem Balken B1 rund 20 % zu hoch. Die Energieaufnahme des Ringfederpuffers liegt zwischen 15 % und 20 %.

#### Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen, Geschwindigkeiten

Ein Vergleich aller mit dem Pilotbalken P2 sowie dem Pilotbalken P1 und dem Balken B1 durchgeführten Versuche zeigt auch bei Einsatz des Ringfederpuffers eine ungefähr lineare Abhängigkeit der maximalen Aufprallreaktion von der Fallhöhe in der Form  $(H)^{3/5}$ .

Auch die maximale Gelenkreaktion zeigt eine ähnliche Tendenz, wobei mit zunehmender Beanspruchung durch vorgängige Fallversuche bei gleicher Fallhöhe die maximale Gelenkreaktion leicht zunimmt, die maximale Aufprallreaktion hingegen abnimmt.

Die maximale Beschleunigung über dem Aufprallpunkt zeigt eine ähnliche Tendenz in Funktion der Fallhöhe wie die maximale Aufprallreaktion. Bei einer Fallhöhe von  $H = 0.05$  m werden bereits 25 g gemessen, bei  $H = 0.20$  m 56 g und bei  $H = 0.75$  m bereits 130 g.

Bedingt durch die Art des Aufprallelementes (Ringfederpuffer) prallt der Balken nach erfolgtem Aufprall und einer Kontaktzeit zwischen 0.1 s und 0.2 s mit dem Ringfederpuffer wieder zurück. Die dabei auftretende Rückprallgeschwindigkeit ist dabei - analog wie beim Pilotbalken P1 - ab einer Fallhöhe von  $H = 0.20$  m ungefähr konstant und beträgt etwa 0.85 m/s. Dies entspricht einer Rückprallhöhe von umgerechnet etwa 100 mm. Die Kontaktzeit beträgt bei einer Fallhöhe von  $H = 0.65$  m 0.195 s.

Vergleicht man die aus einer Wegmessung am Aufprallpunkt berechnete Geschwindigkeit mit der theoretisch zu errechnenden Geschwindigkeit von  $v_0 = (3gH)^{1/2}$ , stellt man Abweichungen von maximal rund 12 % fest. Dabei sind die aus den Wegmessungen berechneten Geschwindigkeiten stets kleiner als die theoretischen Geschwindigkeiten. Berechnet man in der theoretischen Formel  $v_0 = (cgH)^{1/2}$  die Konstante  $c$  - welche sich streng theoretisch zu  $c = 3$  ergibt - als Mittelwert über alle Versuche mit dem Pilotbalken P2, ergibt sich  $c = 2.66$ . Damit ergibt sich ein mittlerer Fehler in der Geschwindigkeit von  $v_0 = (2.66/3.00)^{1/2} = 5.9$  %.

### Dehnungsmessungen während der Versuche

Insgesamt waren auf der unteren Längsbewehrung 3 Dehnmessstellen (DMS) und auf der oberen Längsbewehrung 1 DMS aufgeklebt. Auf der Balkenoberseite wurde auf dem Beton eine Dehnmessbrücke eingesetzt, die sich aber ebenfalls nicht bewährte (Eigenschwingungen).

### Dehngeschwindigkeiten

Die Dehngeschwindigkeiten wurden anhand der Zeitverläufe der Dehnmessstellen ermittelt. Sie variieren für Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und Fallhöhen zwischen  $H = 0.00 \text{ m}$  und  $H = 0.75 \text{ m}$  von  $\dot{\epsilon} = 0.004 \text{ s}^{-1}$  bis zu etwa  $\dot{\epsilon} = 1.60 \text{ s}^{-1}$ . Auf dem Beton treten Werte auf zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.02 \text{ s}^{-1}$  und  $\dot{\epsilon} = 0.17 \text{ s}^{-1}$ .

### Eigenfrequenz, Dämpfung

Bei den Versuchen mit dem Pilotbalken P2 wurden noch keine Eigenfrequenzen und keine Dämpfungskoeffizienten ermittelt.

# BALKEN B1

## Widerstandsparameter:

Querschnitt : rechteckig  
 Längsbewehrungsgehalt : 0.56 %  
 Stahlsorte : IIIa, naturhart

## Dynamische Parameter:

Masse : 300 kg/m'  
 Gesamtlänge : 8.15 m  
 Aufprallelement : Ringfederpuffer  
 Prüfvorgang : einmalig  
 Fallhöhe : 3.75 m

## Ziel des Versuches:

An einem analogen Balken, wie er in den beiden Pilotversuchen verwendet worden war, soll dessen Verformungsverhalten bei einem einmaligen Fallversuch aus einer Höhe von 3.75 m beobachtet werden.

Mittels insgesamt 15 Dehnmessstreifen auf der unteren und oberen Längsbewehrung und zwei Dehnmessstreifen auf der Balkenoberseite sollen der zeitliche Verlauf der Dehnungen entlang des Balkens und deren örtliche Maximalwerte verfolgt werden. Mit drei Beschleunigungsgebern an verschiedenen Stellen auf der Balkenoberseite und Kraftmessdosen unter dem Ringfederpuffer und im Gelenk sollen die Beschleunigungen längs des Balkens sowie die Aufprall- und Gelenkreaktionen gemessen werden. In der Mitte der Balkenoberseite auf dem Beton und auf der mittleren, unteren Längsbewehrung aufgeklebte Messbolzen erlauben die Ermittlung der bleibenden, mittleren Dehnungen nach dem Versuch.

## Resultate:

### Verformungsverhalten, Rissbild

Die mit einer Fallhöhe  $H = 3.75$  m erreichte maximale elastisch-plastische Durchbiegung des Balkens beträgt 714 mm, bei einem elastischen Anteil von 124 mm und einer bleibenden, plastischen Durchbiegung von 590 mm. Ein Vergleich dieser maximalen, plastischen Durchbiegung mit dem entsprechenden Wert aus der linearen Extrapolation der Versuchswerte mit den analogen Balken P1 und P2 zeigt eine ausgezeichnete Übereinstimmung. Der Balken ist in seinem Mittelbereich kontinuierlich gekrümmt und weist von  $x = 2.90$  m bis  $x = 6.90$  m grosse Risse auf mit Rissweiten zwischen 160/100 bis 600/100 mm. Auf der Balkenoberseite ist der Beton örtlich gestaucht (schraffierte Zonen), d.h. dort wo die Rissweite auf der Balkenunterseite ungefähr 250/100 mm übersteigt, also zwischen  $x = 3.50$  m und  $x = 6.50$  m. Zwischen  $x = 3.50$  m und  $x = 4.50$  m ist der Beton durchgehend gestaucht und abgeschuppt. An der Stelle mit der offensichtlich grössten Beanspruchung, d.h. bei  $x = 4.0$  m, lässt sich nach dem Versuch eine Betonschicht von insgesamt 50 mm von Hand loslösen. Die in dieser Zone liegende obere Längsbewehrung ist ebenfalls gestaucht. Die Resttragfähigkeit des Balkens dürfte infolge dieser Schwächungen auf rund 79 kNm abgesunken sein.

In der Aufprallzone ist trotz der sehr hohen Aufprallreaktion von 860 kN nur ein einziger Schubriss mit einer Rissweite von maximal 7/100 mm feststellbar. Im Bereich des Gelenkes ( $x = 0.00 - 2.50$  m) sind auf der Balkenoberseite trotz beachtlicher, gemessener Dehnungen in der oberen Längsbewehrung keine Risse feststellbar.

Bleibende Dehnungen

Die auf der Balkenoberseite mittels Deformeter gemessenen, mittleren Stauchungen des Betons nach dem Versuch betragen im Maximum rund 10 ‰. Auf der unteren Längsbewehrung überschritten die Werte für die mittlere Dehnung grösstenteils den Messbereich (25 ‰).

Energieaufnahmevermögen

Die aus den Nivellements-Messungen abgeleiteten Krümmungen betragen im Maximum  $0.164 \text{ m}^{-1}$  mit einem Mittelwert von  $0.104 \text{ m}^{-1}$ , d.h. gemittelt über eine Länge von insgesamt  $l_{pl} = 4.0 \text{ m}$ . Der Drehwinkel der an die Balkenenden gelegten Tangenten beträgt nach dem Versuch  $0.45 \text{ rad}$ . Bezogen auf die gesamte zur Verfügung stehende potentielle Energie ergibt sich eine Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformung von rund 74 ‰.

Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen

Die im Dreibein unter dem Ringfederpuffer gemessene Aufprallreaktion beträgt maximal 860 kN, im Gelenk rund  $\pm 80 \text{ kN}$ . Der direkt über dem Aufprallpunkt registrierte Beschleunigungswert beträgt maximal 100 g. Aufgrund des Kurvenverlaufes muss aber angenommen werden, dass der Geber übersteuert war.

Dehnungsmessungen während des Versuches

Sämtliche auf der unteren Längsbewehrung aufgeklebten Dehnmessstellen sind nach sprunghaftem Erreichen ihrer maximalen Dehnfähigkeit bei rund 95 ‰ ausgefallen. Entlang der oberen Längsbewehrung ist aufgrund der zahlreichen Messstellen das Fortschreiten einer Biege- welle mit auftretenden Zugspannungen gegen das Gelenk hin deutlich sichtbar. Dies gilt auch für die zu gleichen Zeitpunkten aufgezeichneten Verläufe der Dehnungen entlang des Balkens. 1.5 m vom Gelenk entfernt tritt in der oberen Längsbewehrung eine maximale Dehnung von 0.8 ‰ auf.

Dehngeschwindigkeiten

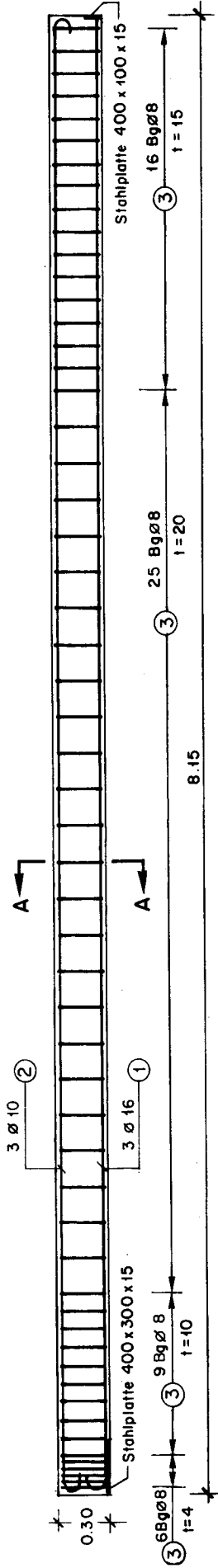
Die in der unteren Längsbewehrung auftretenden maximalen Dehngeschwindigkeiten liegen sehr hoch und betragen kurzfristig rund  $\dot{\epsilon} = 50 \text{ s}^{-1}$ . Entsprechende Dehngeschwindigkeiten in der oberen Längsbewehrung betragen maximal  $\dot{\epsilon} = 0.2 \text{ s}^{-1}$  und im Beton auf der Balkenoberseite  $\dot{\epsilon} = 0.08 \text{ s}^{-1}$ .

Eigenfrequenz, Dämpfung

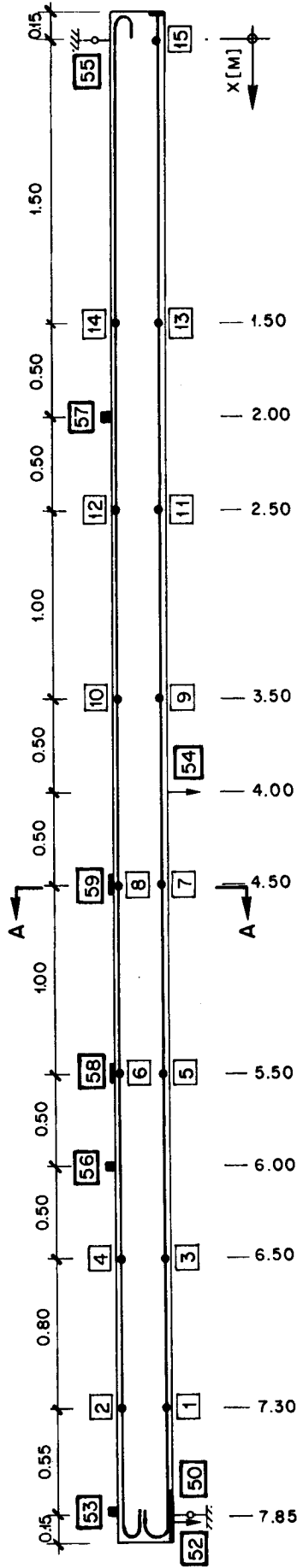
Die in Ausschwingversuchen ermittelte 1. Eigenfrequenz vor und nach dem Fallversuch beträgt  $f = 8.14 \text{ Hz}$  bzw.  $f = 3.75 \text{ Hz}$ , der entsprechende Dämpfungskoeffizient  $\xi = 0.04$  bzw.  $\xi = 0.024$ .

# BALKEN B1

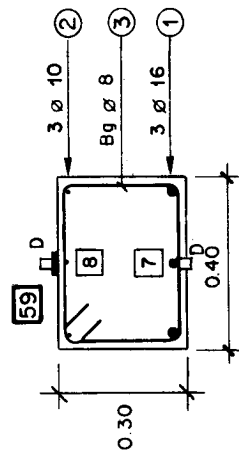
BEWEHRUNGSPLAN



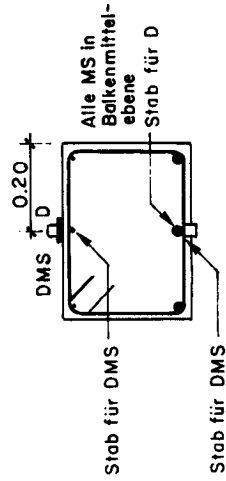
MESSTELLENPLAN



SCHNITT A-A



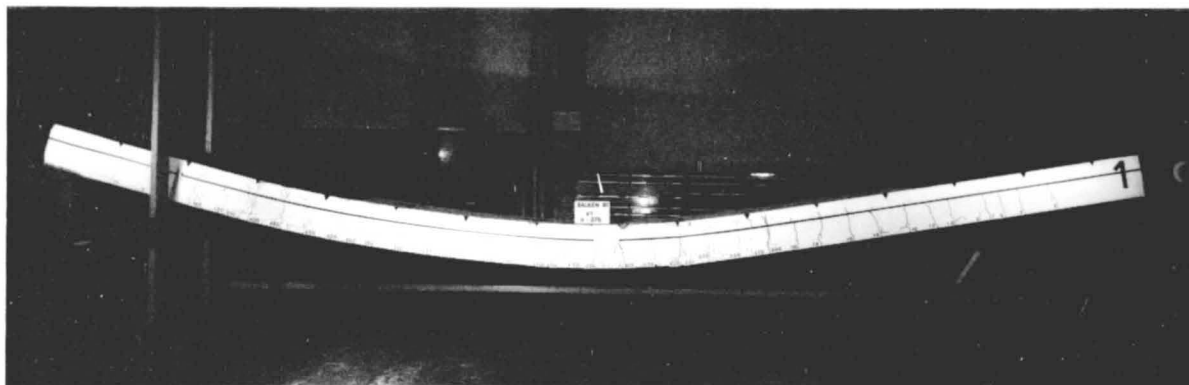
ANORDNUNG DER MS



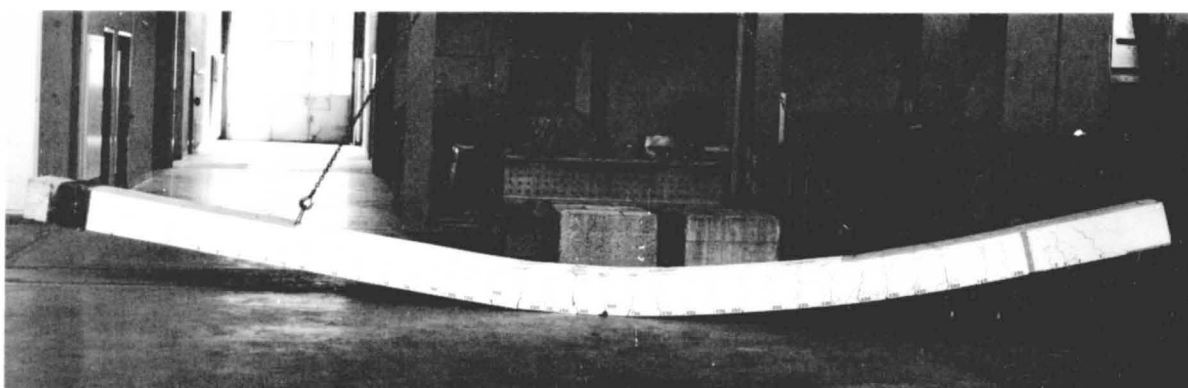
Symbol	Nummer der MS	Bezeichnung
INNERE MESSTELLEN (MS)		
●	1 + 15	DMS auf Stahl
AEUSSERE MESSTELLEN (MS)		
○	58, 59	DMS auf Beton
○	50, 55	Kraftmessdose
○	53, 56, 57	Beschleunigungsaufn.
○	52, 54	Wegaufnehmer
○	ohne Angabe	Deformmeter

Bild B1.0-1: Bewehrungs- und Messstellenplan

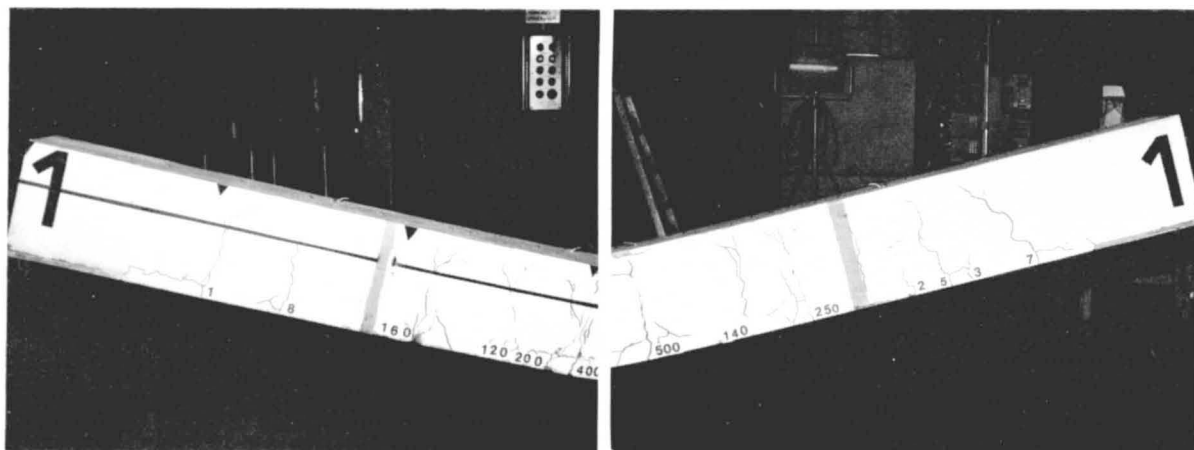




Nach Versuch Bl.1, H = 3.75 m



Ausgebauter Zustand, Rückseite



Rissbild in der Aufprallzone, Vorderseite    Rissbild in der Aufprallzone, Rückseite

Bild Bl.0-2: Uebersichtsfotos und Detailaufnahmen nach Versuch Bl.1

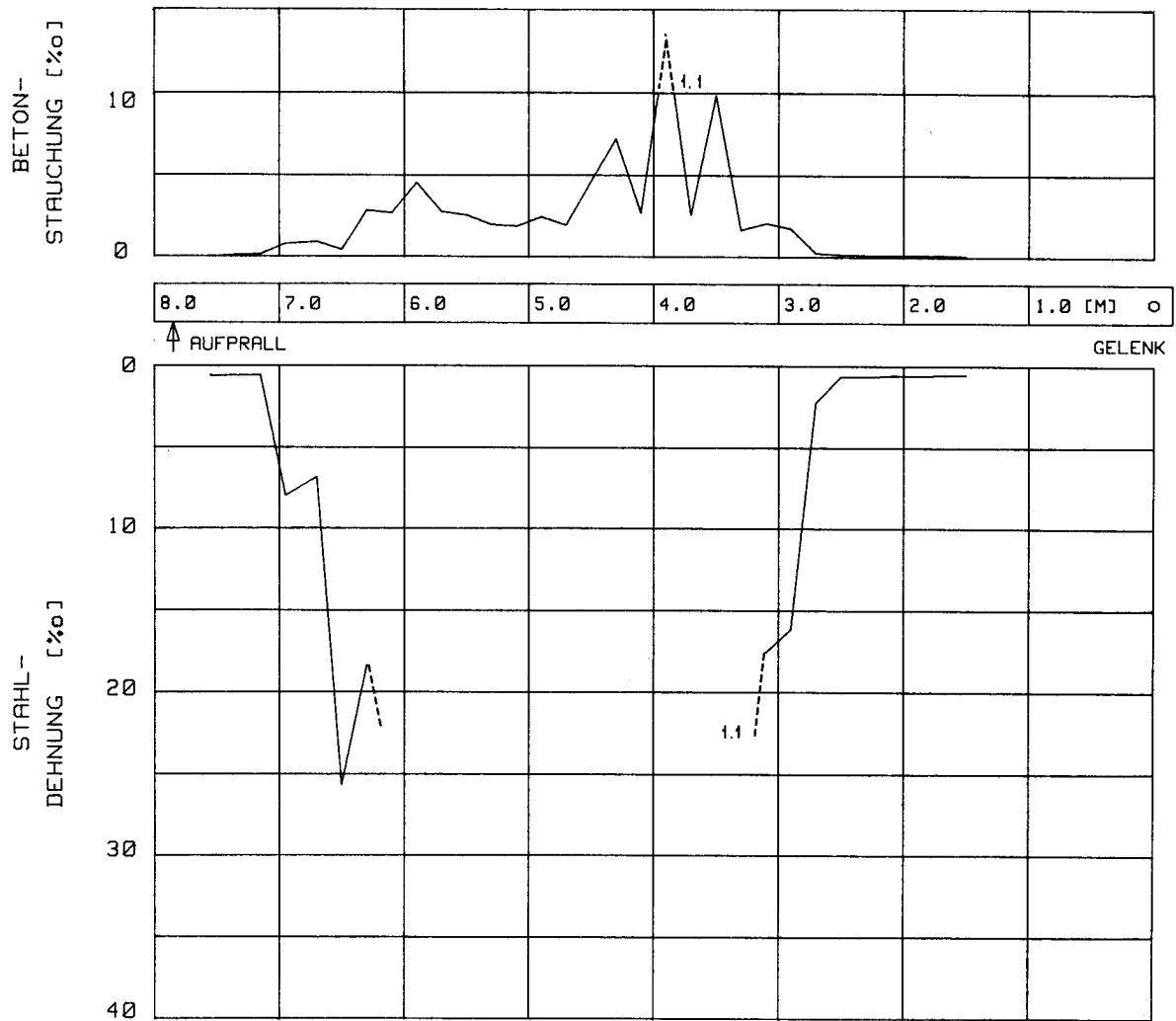


Bild B1.0-3: Dehnungsverläufe aus den Deformtermessungen für Versuch B1.1

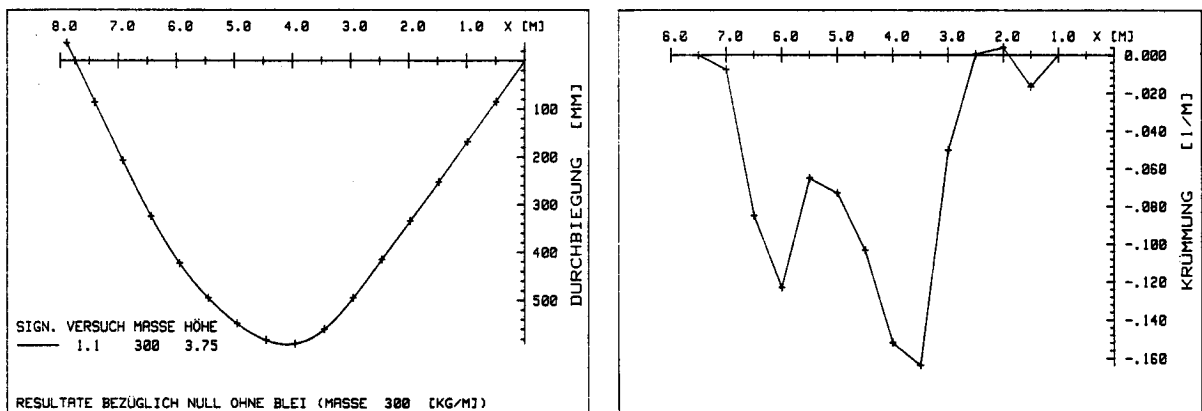


Bild B1.0-4: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B1.1

VERSUCH B1.1

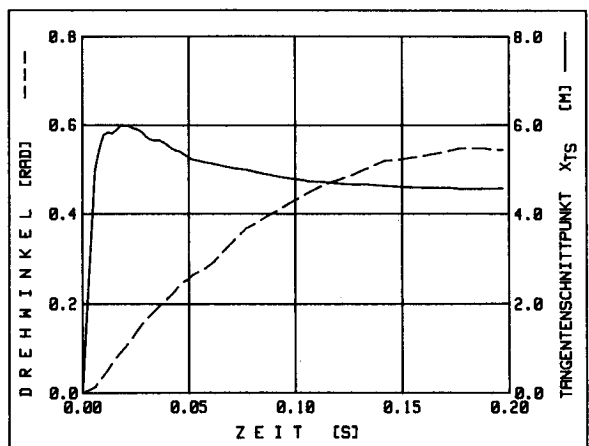
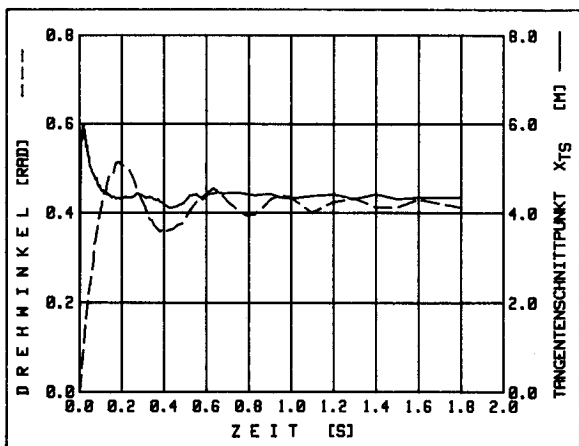
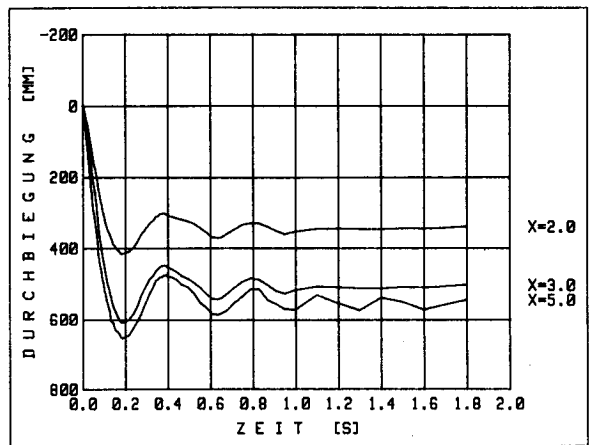
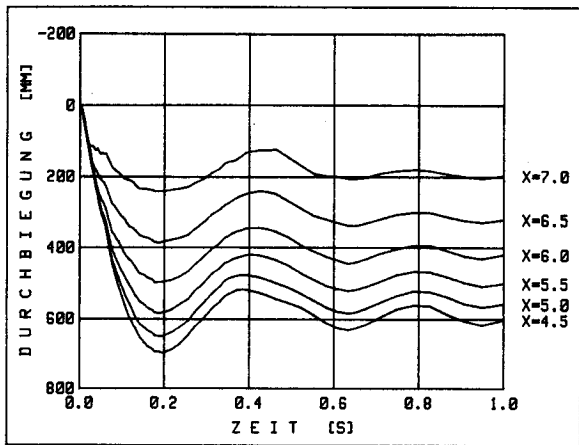
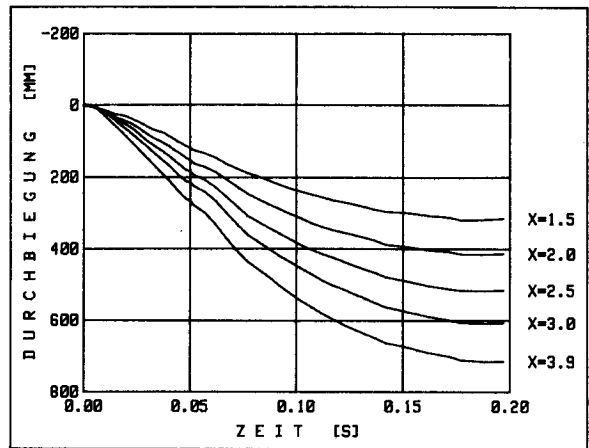
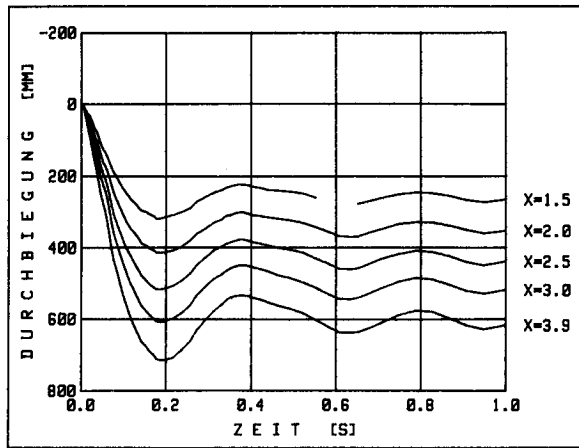
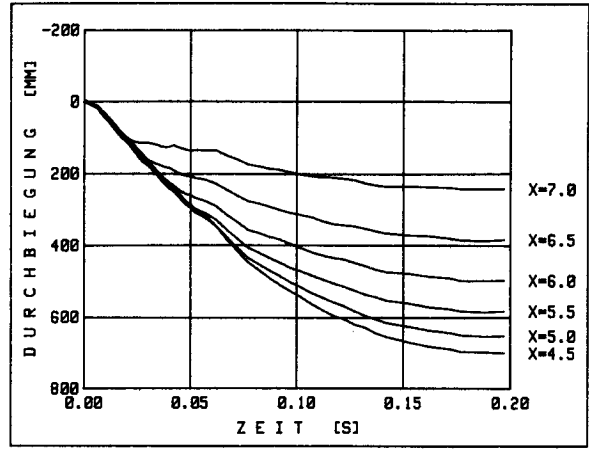
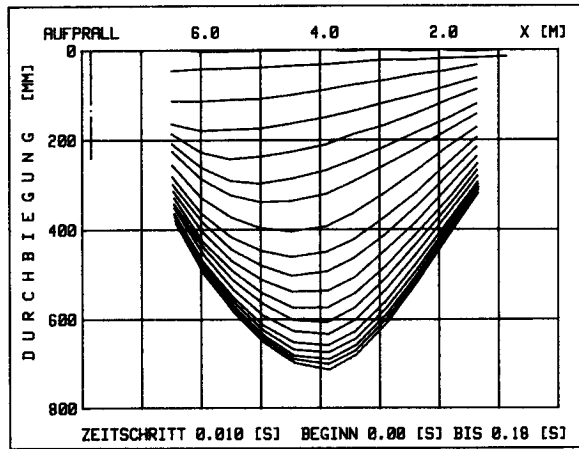


Bild B1.1-1: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

BALKENPARAMETER :  
 - FALLHOEHE: 3.75 METER  
 - BRUCHMOMENT: 90 KILO-NEWTON-METER  
 - MASSE: 300 KILOGRAMM / METER  
 - BEMERKUNGEN:

DIGITALISIERUNGSPARAMETER: - ANZAHL SAMPLES BEI DER EICHUNG : 400.  
 - ABTASTFREQUENZ CA. : 4420. HZ  
 BEI DER MESSUNG : 8192.

- BANDGESCHWINDIGKEIT BEIM VERSUCH : 30.0 IPS  
 BEIM DIGITALISIEREN : 3.7 IPS  
 --> ZEITFAKTOR : 8.0

ZUSAMMENSTELLUNG DER EINZELNEN KANAEL

*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****	
A/D-WANDLER	I	AUFZEICHNUNG	I	UMRECHNUNG	I	EICHPARAMETER	I	F(X) = A * X + B	I	BEMERKUNGEN	I	SYNCH. LOSS 1	I	SYNCH. LOSS 2	I	SYNCH. LOSS 3	I	FRAGL. WERT (EVTL. 10* ZU KLEIN)	I		I
NR:	E	M	I	PCM	MESST.	EICHGROESSE:	KORR.-	VERST.													
			NR:	NR:	BEZ	WERT	FAKTOR	FAKTOR													
						DIM:															
0	0	0	91	S	I	0.000 [ ]	0.000	0.00	0.00	1.00000	0.00000	0.00000									
1	0	0	92	S	I	0.000 [ ]	0.000	0.00	0.00	1.00000	0.00000	0.00000									
2	0	0	93	S	I	0.000 [ ]	0.000	0.00	0.00	1.00000	0.00000	0.00000									
8	0	0	1	A	I	4.600 [ G ]	2.000	10.00	10.00	0.09772	-0.70190	-0.70190									
9	0	0	2	A	I	1.302 [ G ]	2.000	20.00	20.00	0.04868	0.12778	0.12778									
10	1	0	3	A	I	0.270 [ G ]	2.000	20.00	20.00	0.01939	-0.01532	-0.01532									
11	0	0	4	F	I	1072.000 [KN]	2.000	1.00	1.00	1.05146	-3.09130	-3.09130									
12	0	0	5	F	I	159.550 [KN]	2.000	2.00	2.00	0.31304	-0.31148	-0.31148									
13	0	0	6	W	I	0.000 [MM]	0.000	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000									
14	0	0	7	W	I	262.160 [MM]	2.000	1.00	1.00	0.51114	-0.50475	-0.50475									
15	0	1	8	E	I	1.000 [%.]	2.140	10.00	10.00	0.00458	-0.00486	-0.00486									
16	0	0	9	E	I	1.000 [%.]	2.140	10.00	10.00	0.00917	-0.02841	-0.02841									
17	0	3	10	E	I	1.000 [%.]	2.030	10.00	10.00	0.00121	-0.00413	-0.00413									
18	0	2	11	E	I	1.000 [%.]	2.030	10.00	10.00	0.00249	-0.00166	-0.00166									
19	0	3	12	E	I	1.000 [%.]	2.030	10.00	10.00	0.00124	-0.00357	-0.00357									
20	0	3	13	E	I	1.000 [%.]	2.030	10.00	10.00	0.00124	-0.00491	-0.00491									
21	0	2	14	E	I	1.000 [%.]	2.030	10.00	10.00	0.00248	-0.01096	-0.01096									
22	0	3	15	E	I	1.000 [%.]	2.030	10.00	10.00	0.00124	-0.00330	-0.00330									
23	0	3	16	E	I	1.000 [%.]	2.030	10.00	10.00	0.00124	-0.00282	-0.00282									
24	3	3	17	E	I	10.000 [%.]	2.070	1.00	1.00	0.01153	-0.09800	-0.09800									
25	3	0	18	E	I	10.000 [%.]	2.070	1.00	1.00	0.09224	-0.73790	-0.73790									
26	3	0	19	E	I	10.000 [%.]	2.070	1.00	1.00	0.09226	-0.43076	-0.43076									
27	3	0	20	E	I	10.000 [%.]	2.070	1.00	1.00	0.09257	-0.15644	-0.15644									
28	3	0	21	E	I	10.000 [%.]	2.070	1.00	1.00	0.09279	-0.58481	-0.58481									
29	3	3	22	E	I	10.000 [%.]	2.070	1.00	1.00	0.01159	-0.05341	-0.05341									
30	3	3	23	E	I	10.000 [%.]	2.070	1.00	1.00	0.01159	-0.05689	-0.05689									
31	3	3	24	E	I	10.000 [%.]	2.070	1.00	1.00	0.01156	-0.05201	-0.05201									

Bild B1.1-2: Informationsblatt PCM - Daten

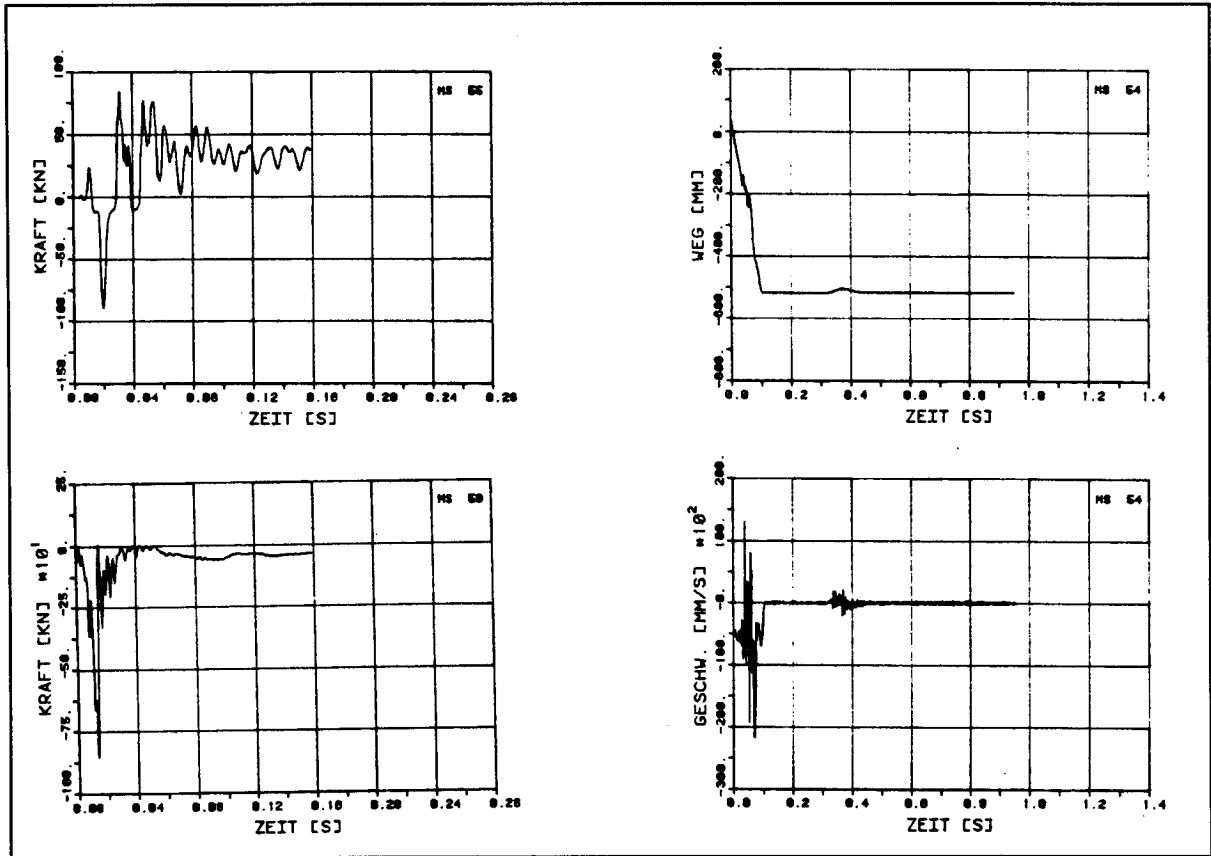


Bild B1.1-3: Zeitverläufe für Gelenk- und Aufprallreaktion, Durchbiegung und Geschwindigkeit in Balkenmitte

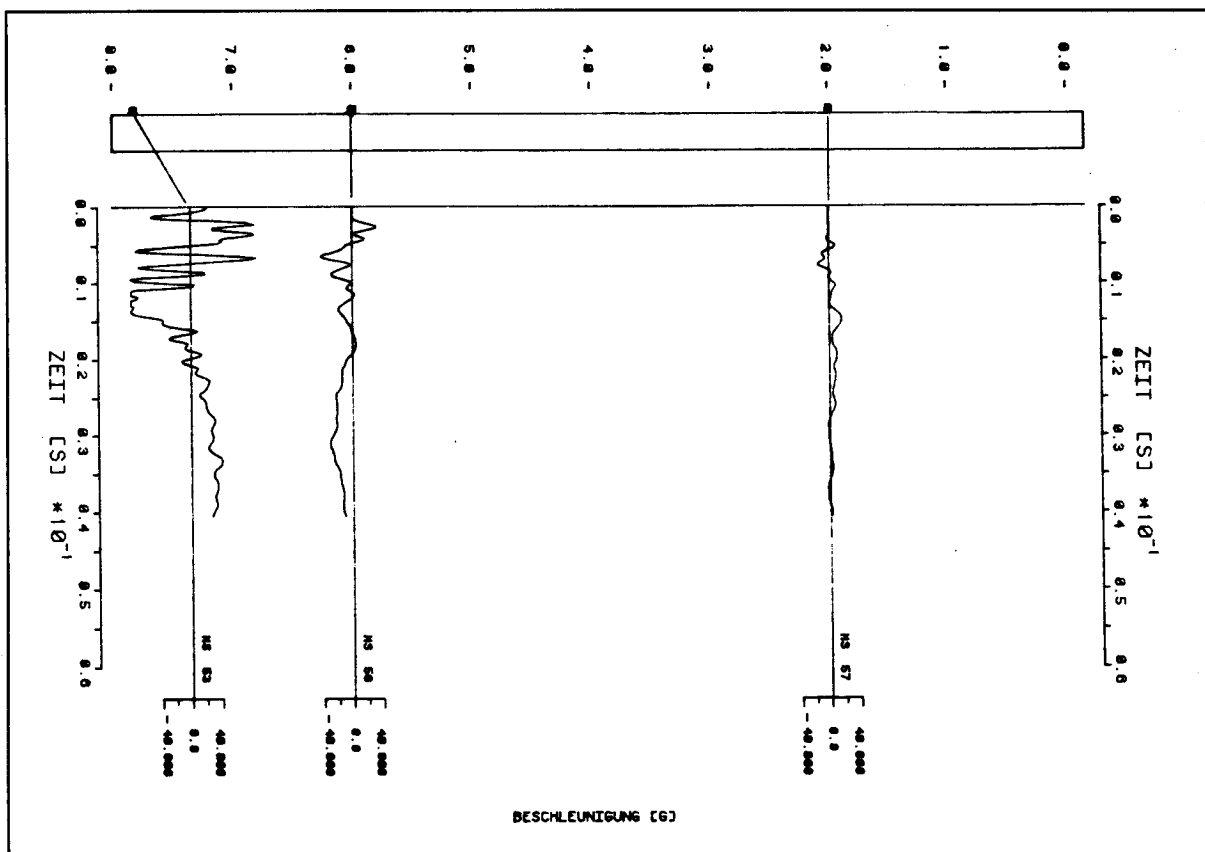


Bild B1.1-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

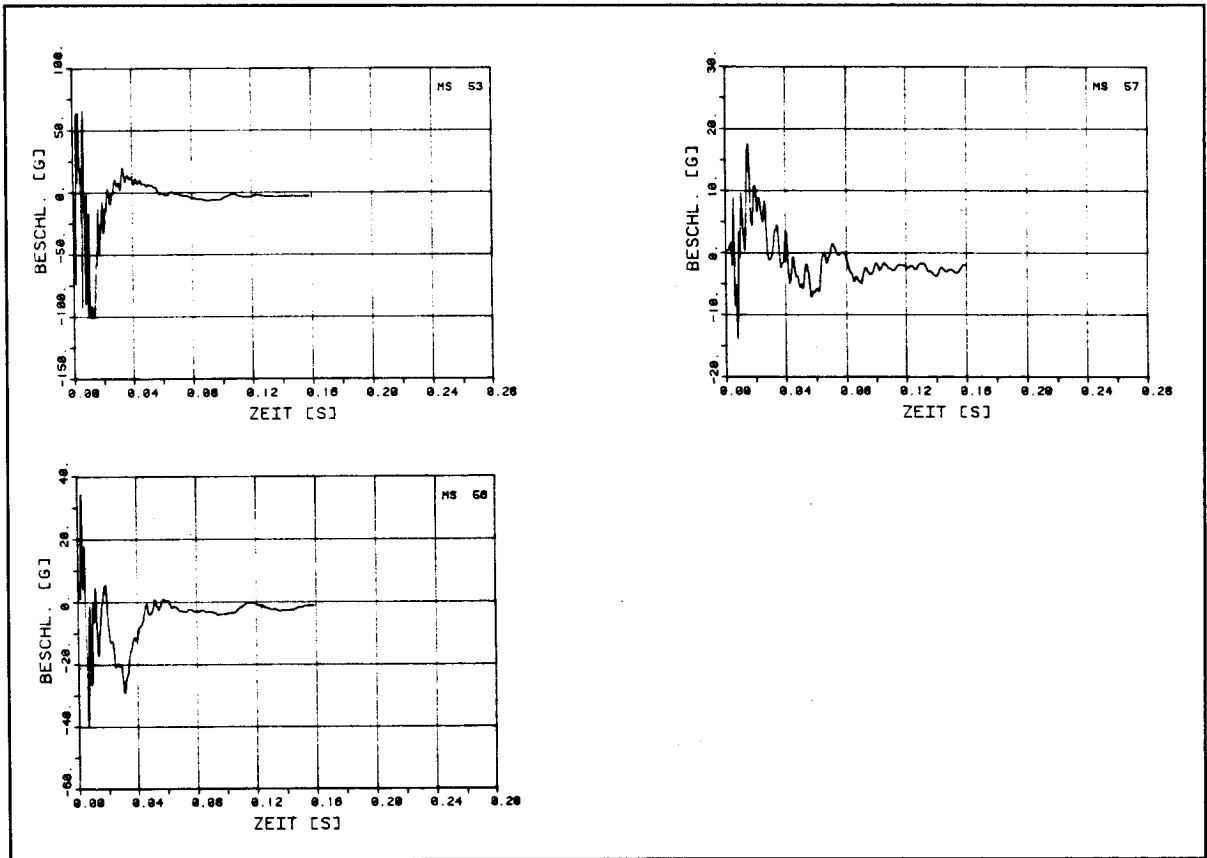


Bild B1.1-5: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel-Darstellungen

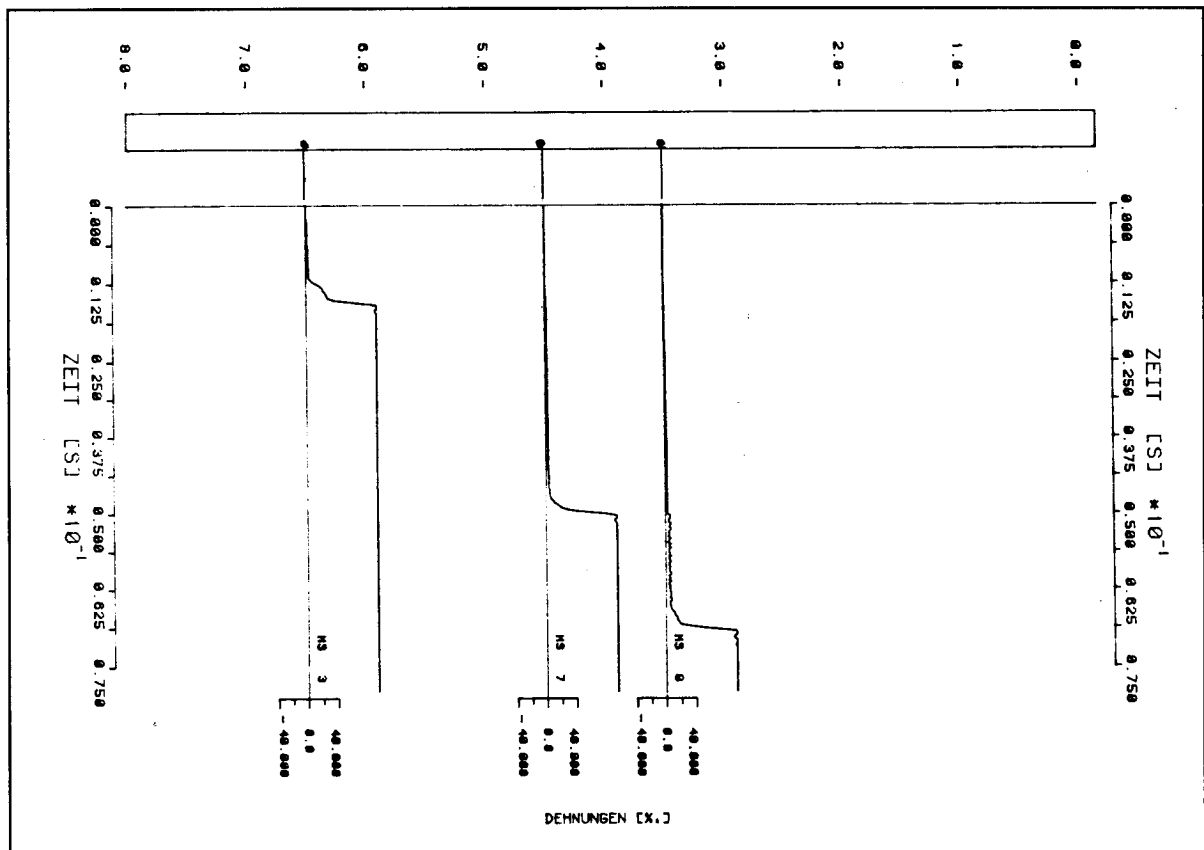


Bild B1.1-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

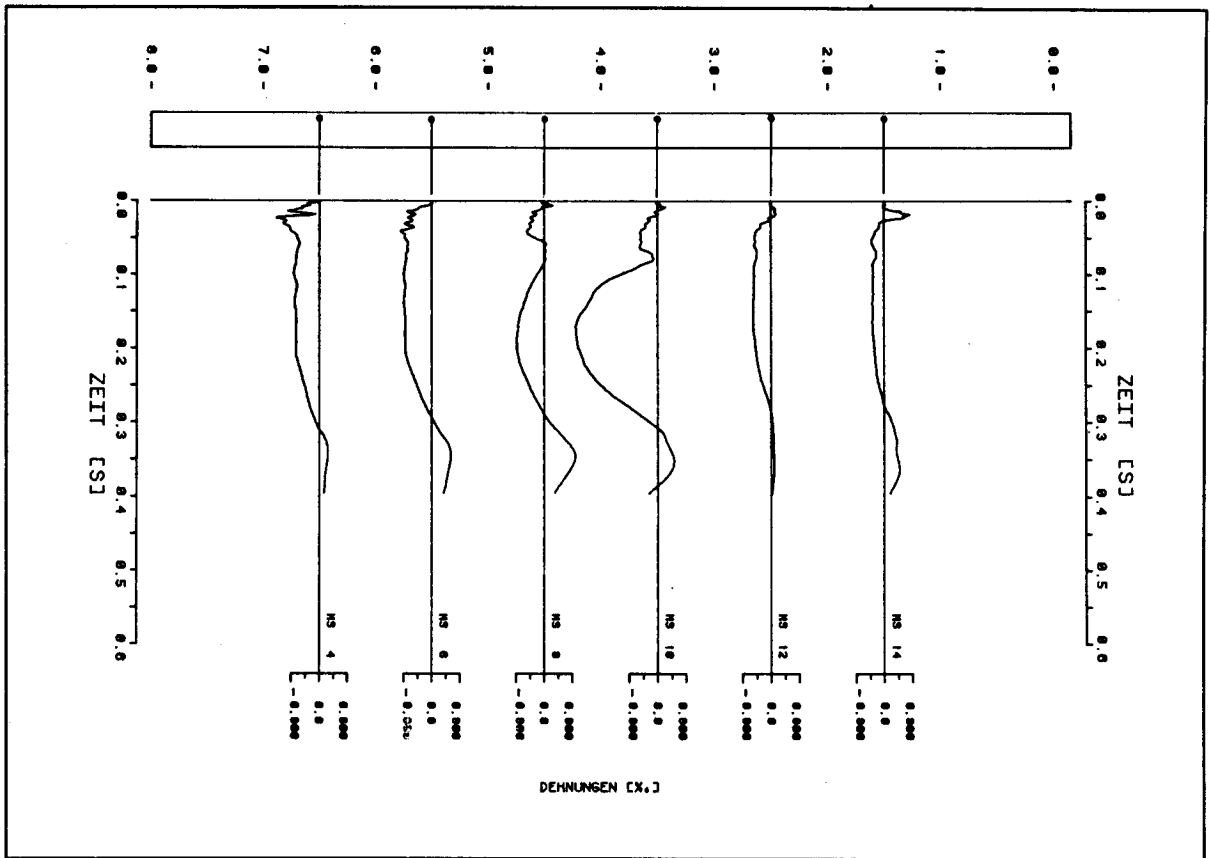


Bild B1.1-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

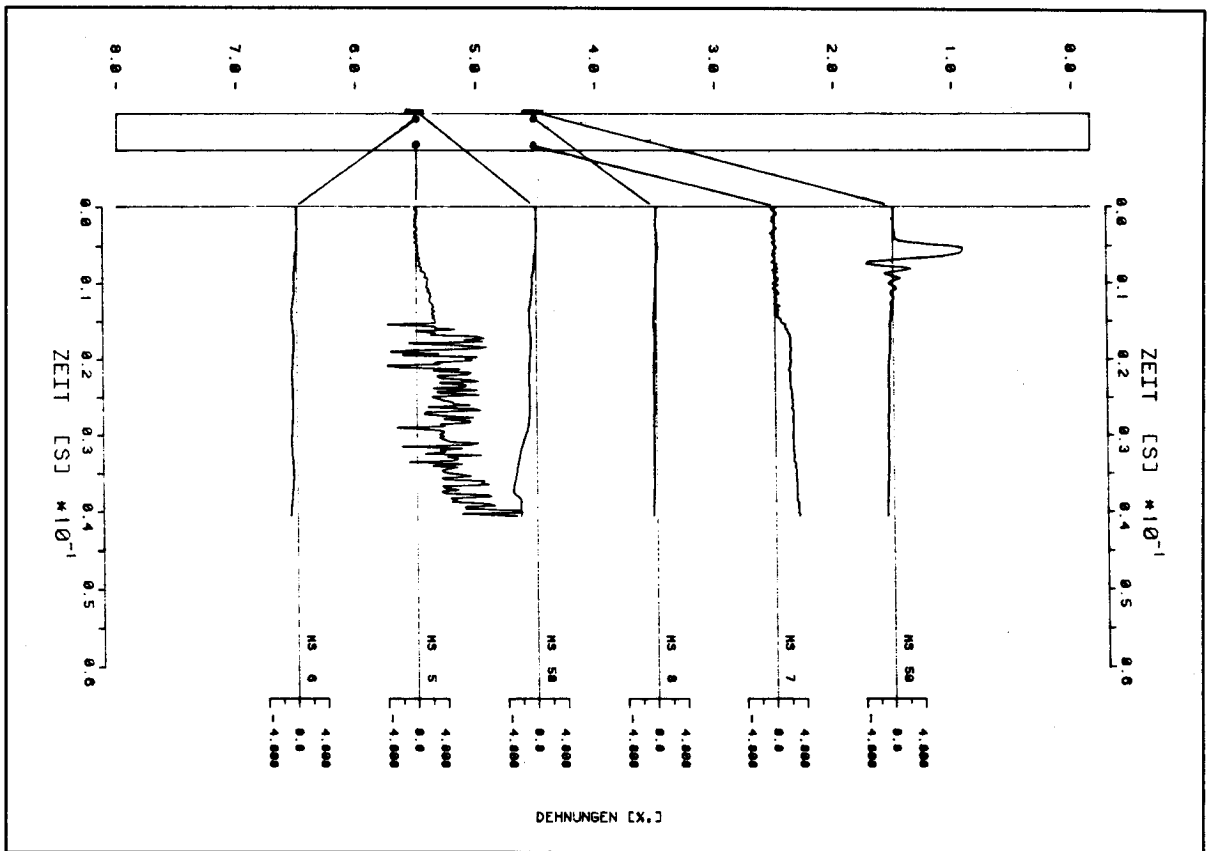


Bild B1.1-8: Zeitverläufe der Dehnungen der Längsbewehrung und des Betons in zwei Balkenquerschnitten

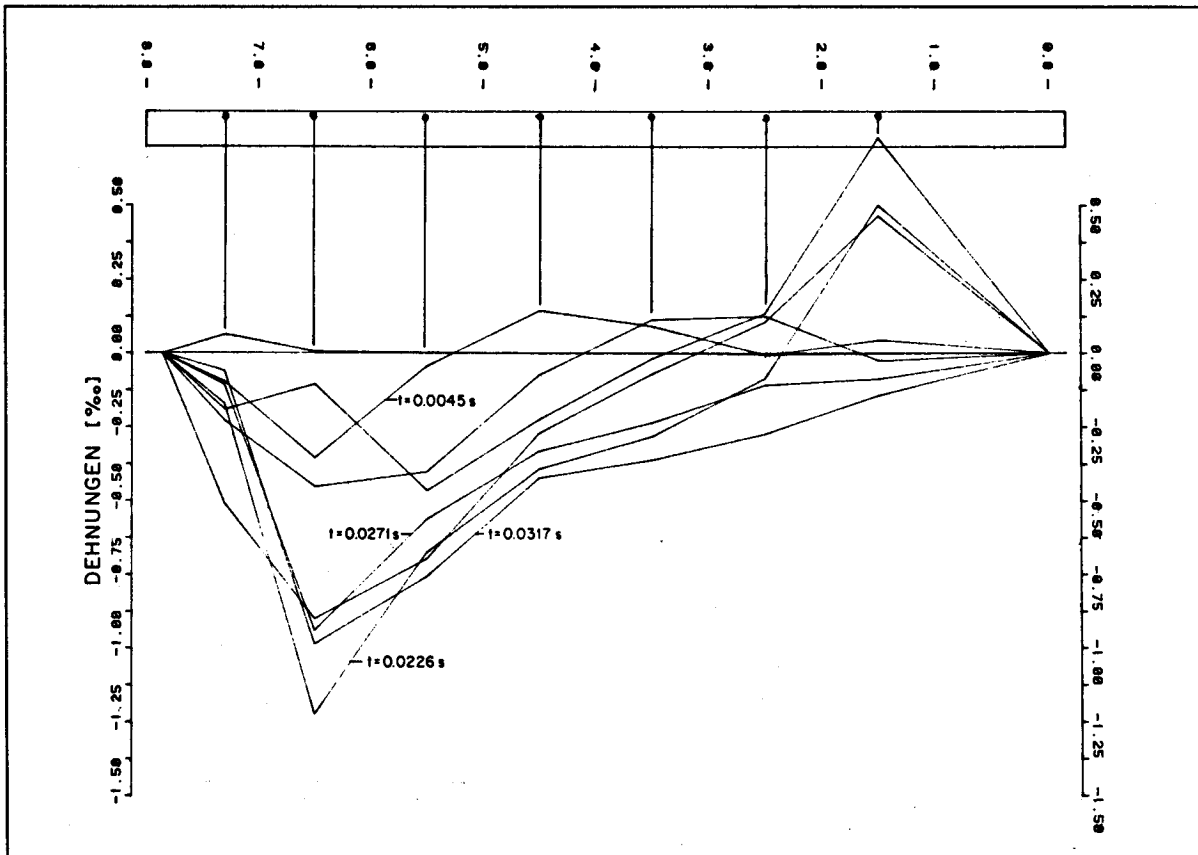


Bild Bl.1-9: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $\Delta t = 0,0045 \text{ sec}$ )



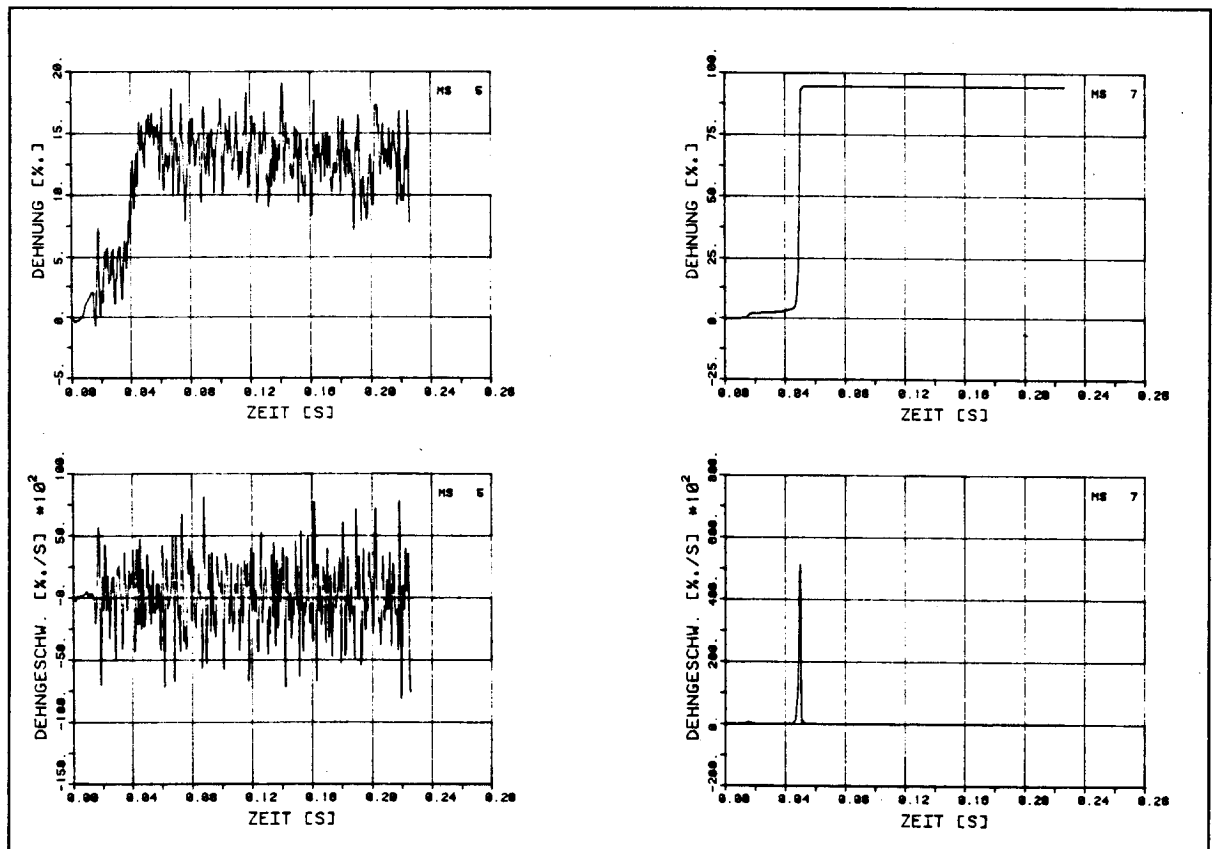
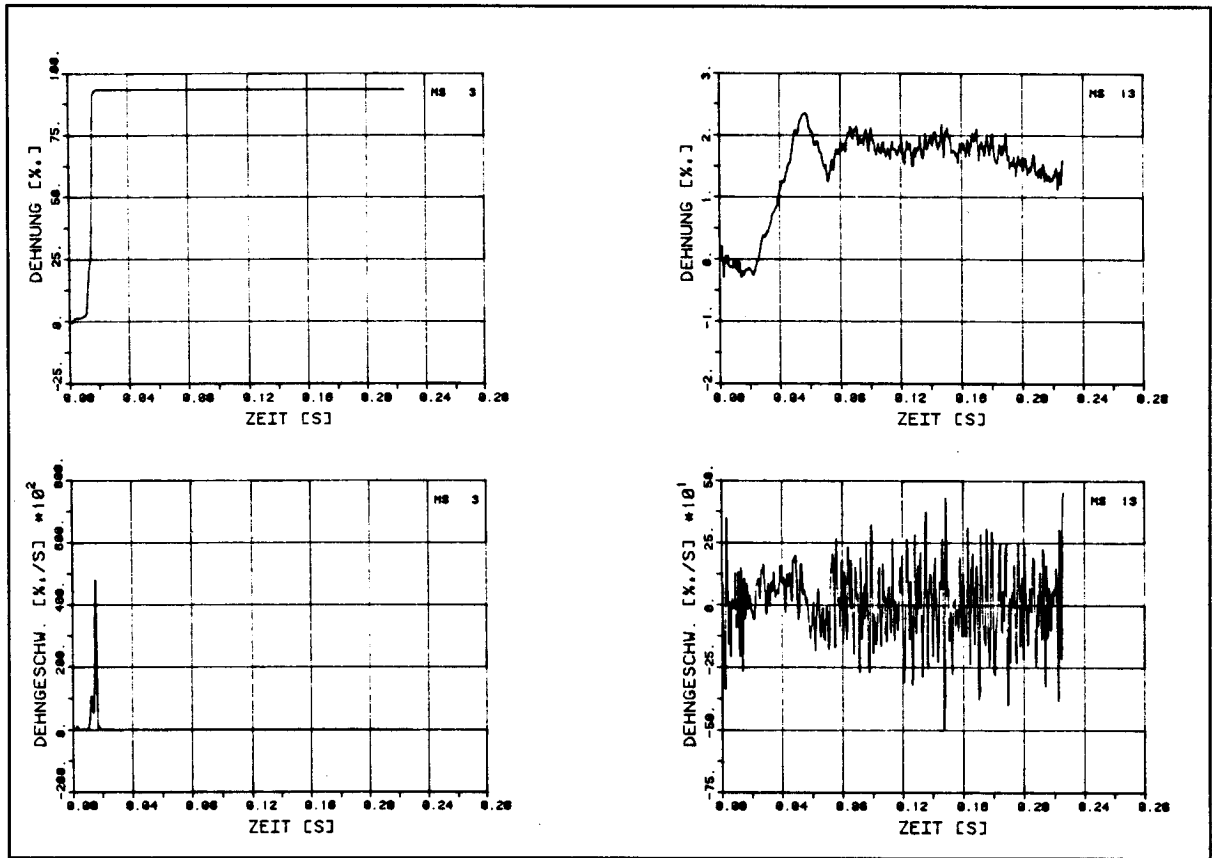


Bild B1.1-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

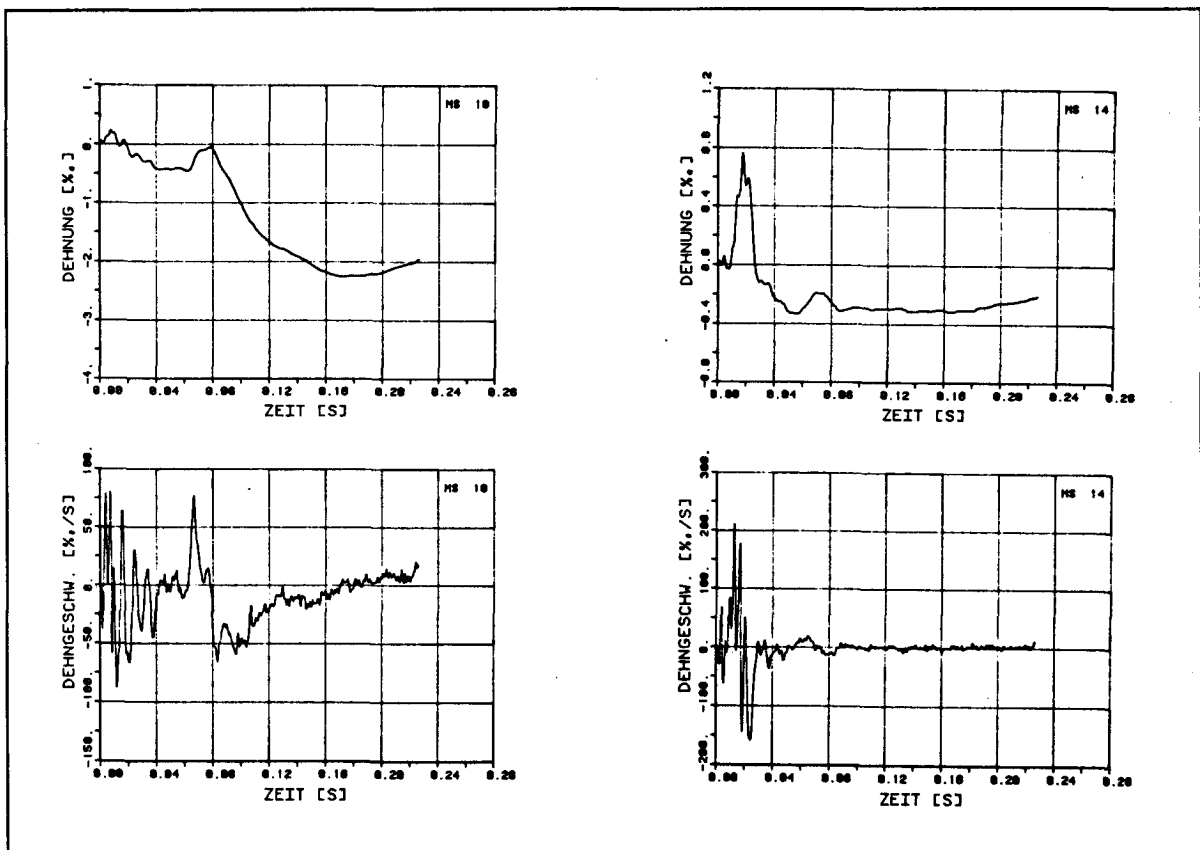
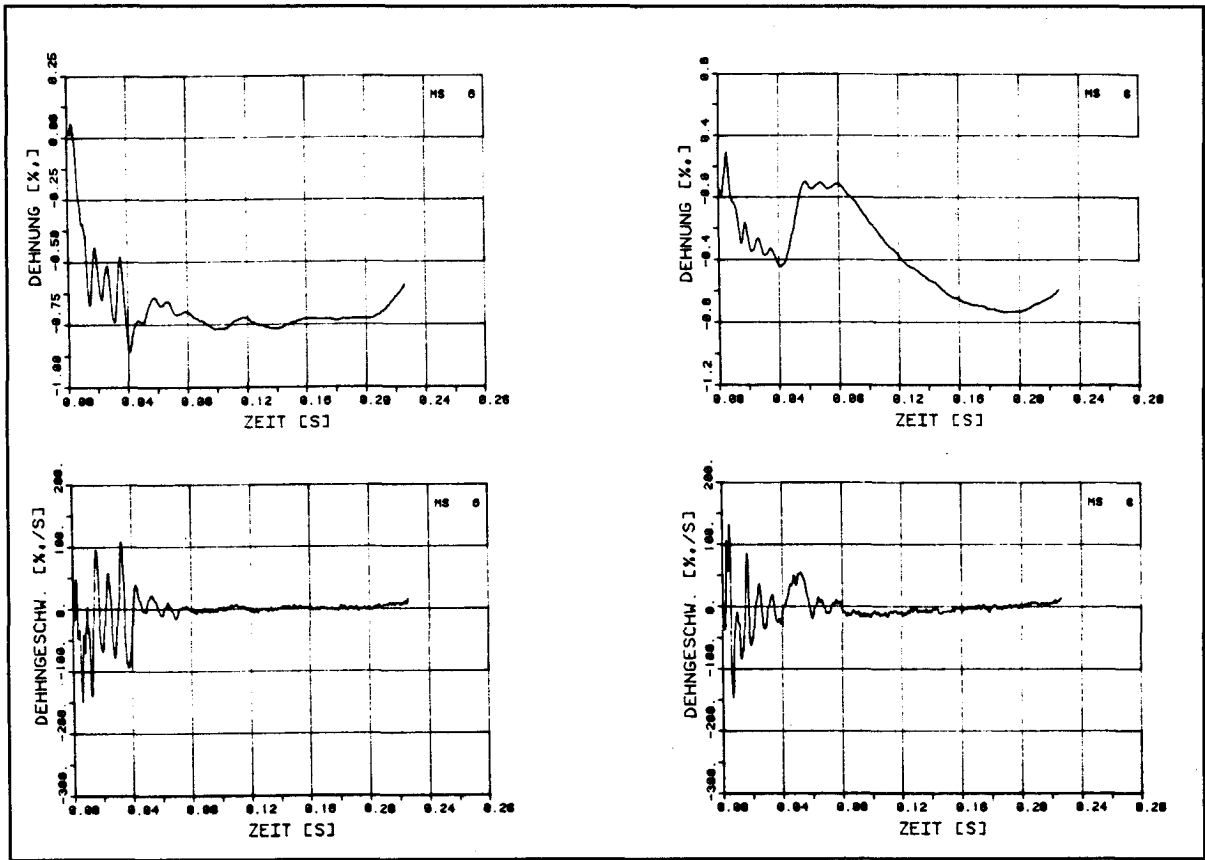


Bild B1.1-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

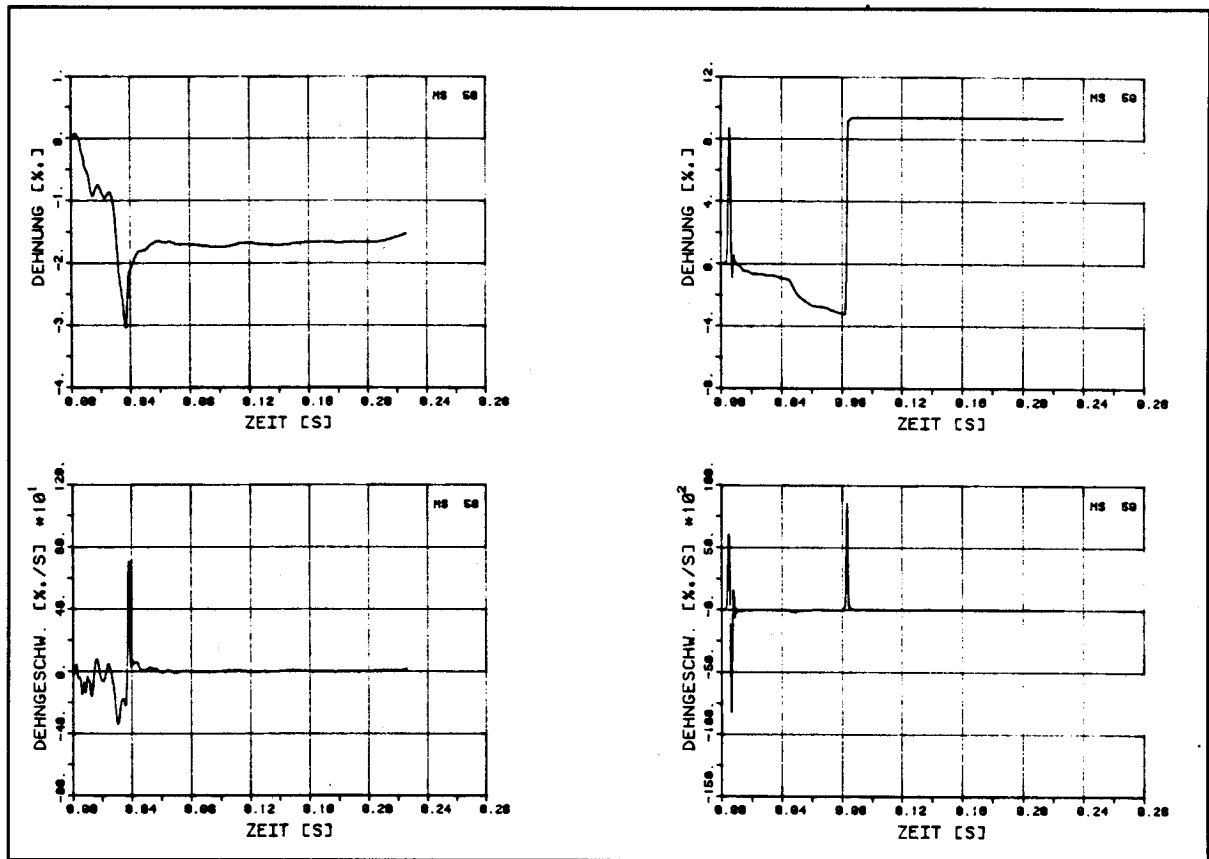


Bild B1.1-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



50/100 mm und sie beginnen, sich doppelt auszubilden, Der Rissabstand richtet sich in erster Linie nach dem Abstand der Schubbewehrung. Auf der Höhe der unteren Längsbewehrung treten erste horizontal liegende Risse auf, eine Tendenz, die sich mit zunehmender Fallhöhe verstärkt. Zusätzlich breiten sich die Risse immer weiter gegen die Druckzone aus, wobei sie sich, ähnlich wie auf der Höhe der unteren Längsbewehrung, in mehrere, z.T. praktisch horizontal liegende Aeste aufspalten. Beim siebten Versuch B2.7 beginnt der Beton erstmals bei  $x = 3.30$  m leicht abzuschuppen. An der gleichen Stelle auf der Zugseite hat sich der Riss auf 350/100 mm geöffnet. In den letzten beiden Versuchen konzentriert sich zwar der Hauptteil der Verformung in diese nun vorgegebene, geschwächte Zone, bei  $x = 3.30$  bis  $3.60$  m, die angrenzenden Balkenteile werden aber ebenfalls noch zusätzlich verformt.

Nach Abschluss aller Versuche ist auf der Balkenoberseite der Beton zwischen  $x = 2.70$  m und  $x = 4.70$  m örtlich gestaucht, die entsprechenden Rissweiten auf der Höhe der unteren Längsbewehrung liegen zwischen 180/100 bis 600/100 mm. Im Bereich der grössten Beanspruchung lässt sich nach Versuch B2.9 eine Betonschicht von rund 50 mm Mächtigkeit von Hand loslösen. Die obere Längsbewehrung ist in dieser Zone gestaucht und ausgeknickt. Die Resttragfähigkeit des Balkens dürfte infolge dieser Schwächung von ursprünglich 70 kNm auf rund 55 kNm abgefallen sein.

Im Aufprallbereich sind trotz der mehrfachen, intensiven Beanspruchung durch den Aufprall des Balkens auf den Stossdämpfer keine Schubrisse festzustellen. Im Bereich des Gelenkes ( $x = 0.0$  bis  $2.0$  m) sind infolge der sich wellenförmig über den Balken ausbreitenden Beanspruchung erstmals nach Versuch B2.8 auch auf der Balkenoberseite feine Risse feststellbar, zum Teil sind hier die Risse sogar über die gesamte Balkenhöhe durchgehend.

#### Bleibende Dehnungen

Die mittels Deformeter gemessenen, mittleren Stauchungen bzw. Dehnungen betragen nach Abschluss der Versuche rund 4‰ auf der Balkenoberseite bzw. rund 25‰ auf der unteren Längsbewehrung, wobei im Bereich der grössten Verformungen, d.h. zwischen  $x = 2.50$  m und  $x = 5.5$  m der Messbereich (25 ‰) beim Versuch B2.9 überschritten wurde. Die zusätzliche, bleibende Dehnung der unteren Längsbewehrung beträgt infolge eines Fallversuches mit  $H = 0.75$  m (B2.7) rund 50‰.

#### Energieaufnahmevermögen

Die aus den Nivellements-Messungen abgeleiteten Krümmungen konzentrieren sich in erster Linie auf einen Bereich zwischen  $x = 2.5$  m und  $x = 5.5$  m, wobei mit zunehmender Versuchszahl, vor allem bei den Versuchen B2.7 bis B2.9, auch die daran anschliessenden Balkenteile zunehmend beansprucht sind, so dass zum Schluss ein Bereich mit einer Länge von  $l_{pl} \approx 4.0$  m plastische Verformungen aufwies, mit einer mittleren Krümmung von  $0.12 \text{ m}^{-1}$  und einem lokalen Maximum von  $0.23 \text{ m}^{-1}$ . Bezogen auf die gesamte, zur Verfügung stehende potentielle Energie ergibt sich bereits bei einer Fallhöhe von  $H = 0.10$  m (Versuch B2.2) eine Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformungen von 20%. Dieser Anteil steigt mit zunehmender Fallhöhe  $H$  auf rund 38% bei  $H = 0.5$  m bzw. auf rund 45% bei  $H = 1.0$  m. Werden nacheinander zwei Versuche mit gleicher Fallhöhe durchgeführt, resultiert im zweiten Versuch, in Analogie zu den Verformungen, eine um einige % abgeminderte Energieaufnahme. Wie ein Vergleich der Versuche B2.3 und B2.4 zeigt, bewirkt eine Veränderung der Einstellzahl am Stossdämpfer zur Beeinflussung der Aufprallsteifigkeit keine eindeutig diesem Aspekt zuzuordnende Veränderung der Energieaufnahme im Balken, wobei allerdings die beiden Versuche mit einer Fallhöhe von nur  $H = 0.10$  m durchgeführt wurden.

### Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen

Ein Vergleich aller mit dem Balken B2 durchgeführten Versuche, wie auch mit dem analog ausgebildeten Balken B3, zeigt eine lineare Abhängigkeit der in der Aufprallkalotte des Stossdämpfers gemessenen Aufprallreaktion in Funktion der Fallhöhe in der Form  $(H)^{3/5}$ .

Bei der Grösse der maximalen Gelenkreaktion lassen sich keine Abhängigkeiten zum Beispiel von der Fallhöhe, etc. feststellen. Sie erreicht für Fallhöhen  $H \geq 0.50$  m praktisch konstante Grenzwerte zwischen  $\pm 60$  kN.

Die an drei Orten auf der Balkenoberseite gemessenen Beschleunigungen (bei  $x = 7.85$  m,  $x = 6.00$  m und  $x = 2.00$  m) zeigen einen starken Abfall vom Aufprallpunkt gegen das Gelenk hin. Während über dem Aufprallpunkt bereits bei einer Fallhöhe von  $H = 0.75$  m Beschleunigungen von über 100 g auftraten, betragen die Maximalwerte bei  $x = 6.0$  m nur rund 1/6 und bei  $x = 2.0$  m gar nur rund 1/15 dieser über dem Aufprallpunkt gemessenen Werte.

### Dehnungsmessungen während der Versuche

In allen Versuchen kann aufgrund der zahlreichen vorhandenen Dehnmesstellen auf der unteren und oberen Längsbewehrung und auf der Betonoberseite wiederum eine vom Aufprallpunkt gegen das Gelenk hin wandernde Biegewelle beobachtet werden. Praktisch in allen Versuchen werden die auf der unteren und der oberen Längsbewehrung gemessenen Maximalwerte bei  $x = 3.5$  m in den Messstellen MS9 bzw. MS10 erreicht, wobei in einem Versuch aufgrund eines an einer anderen Stelle  $x$  sich plötzlich öffnenden Risses auch dort der Maximalwert registriert werden kann. Die gemessenen Extremalwerte betragen für Fallhöhen zwischen  $H = 0.5$  m und  $H = 1.0$  m auf der unteren Längsbewehrung zwischen  $\epsilon = 10\%$  bis  $20\%$ , auf der oberen zwischen  $\epsilon = -0.2\%$  bis  $-5\%$  und auf der Betonoberseite (nur zwei Messstellen) zwischen  $\epsilon = -1.0\%$  und  $-1.6\%$ .

### Dehngeschwindigkeiten

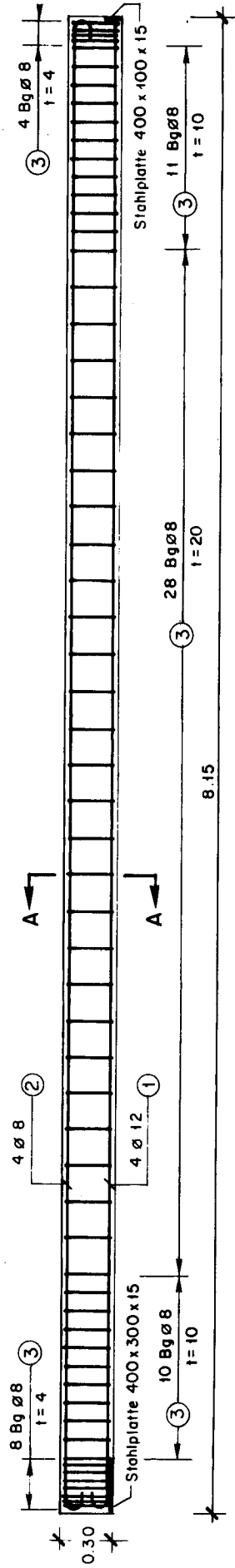
Die in der unteren Längsbewehrung auftretenden Dehngeschwindigkeiten betragen zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.1 \text{ s}^{-1}$  und  $0.5 \text{ s}^{-1}$ , wobei keine direkte Abhängigkeit zum Beispiel von der Fallhöhe festgestellt werden kann. In der oberen Längsbewehrung erreichen die Maximalwerte  $\dot{\epsilon} = 0.01 \text{ s}^{-1}$  bis  $0.13 \text{ s}^{-1}$  auf der Balkenoberfläche  $\dot{\epsilon} = 0.02 \text{ s}^{-1}$  bis  $0.08 \text{ s}^{-1}$ .

### Eigenfrequenz, Dämpfung

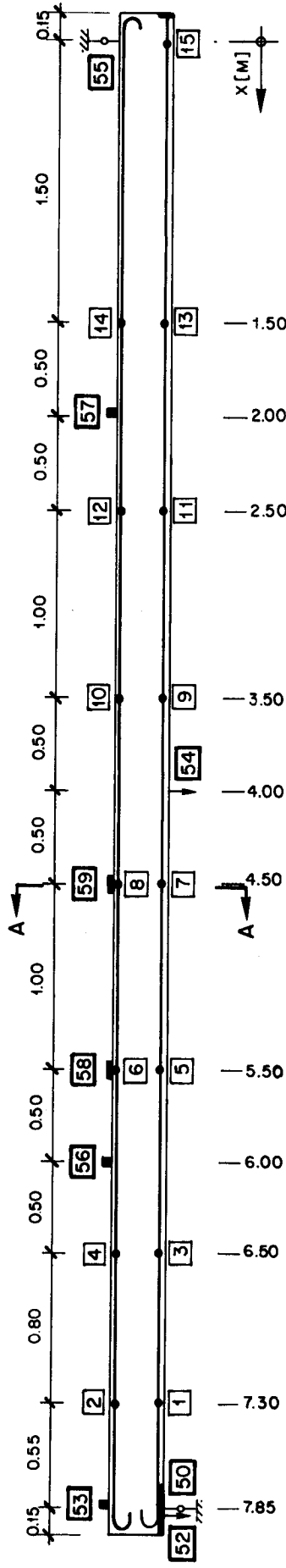
Die in den Ausschwingversuchen ermittelte Eigenfrequenz des Balkens sinkt im Verlaufe der Versuche von  $f = 8.0$  Hz auf  $f = 3.5$  Hz, wobei die grösste Abnahme, bedingt durch die stark abnehmende Steifigkeit infolge der Rissbildung, nach den ersten beiden Versuchen resultiert. Der gleichzeitig aus diesen Versuchen berechnete Dämpfungskoeffizient steigt, ausgehend von  $\xi = 0.01$  vor dem ersten Versuch, in den folgenden fünf Versuchen stark an, bis auf rund  $\xi = 0.06$  und fällt dann auf  $\xi = 0.026$  ab, um dann erneut auf einen Wert von  $\xi \approx 0.06$  anzusteigen. Die aus den PCM-Aufzeichnungen, d.h. aus der Auswertung von Dehnungsverläufen und dem Durchbiegungsverlauf in Balkenmitte erhaltenen Dämpfungskoeffizienten ergeben ungefähr die gleiche Tendenz und Grössenordnung, wobei, falls nur die erste Schwingung nach dem Aufprall betrachtet wird, sogar Dämpfungskoeffizienten zwischen  $\xi = 0.10$  und  $0.15$  berechnet werden können. Eine Auswertung der Filmaufnahmen bestätigt ebenfalls dieses Bild.

# BALKEN B2

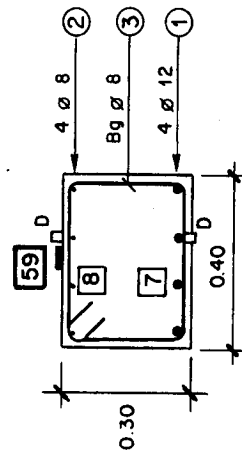
BEWEHRUNGSPLAN



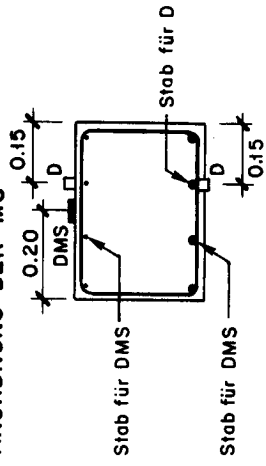
MESSTELLENPLAN



SCHNITT A - A

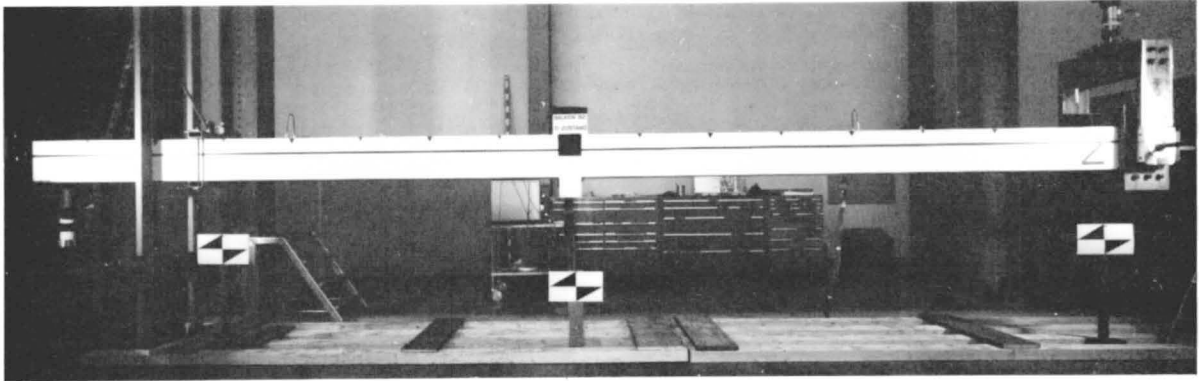


ANORDNUNG DER MS



Symbol	Nummer der MS	Bezeichnung
INNERE MESSTELLEN (MS)		
●	1 ÷ 15	DMS auf Stahl
AEUSSERE MESSTELLEN (MS)		
▨	58, 59	DMS auf Beton
○	50, 55	Kraftmessdose
▨	53, 56, 57	Beschleunigungsaufn.
↑	52, 54	Wegaufnehmer
▨	ohne Angabe	Deformmeter

Bild B2.0-1: Bewehrungs- und Messstellenplan



Vor Versuch B2.1

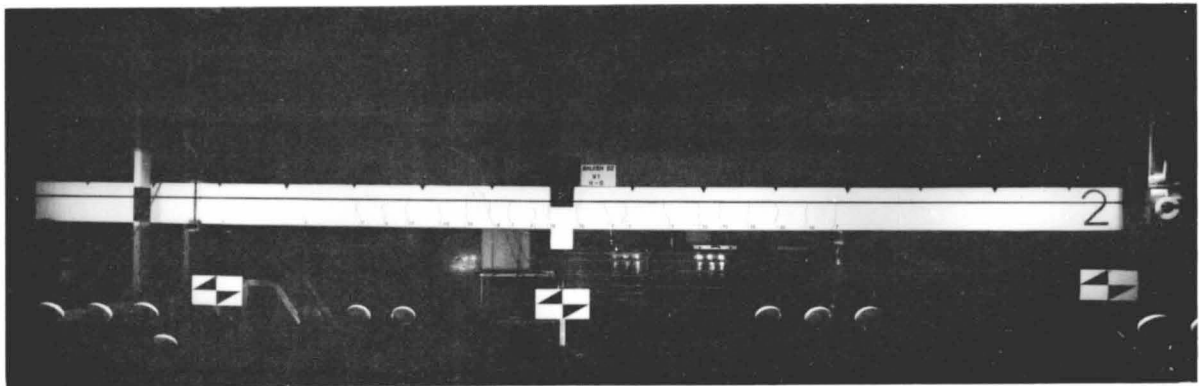
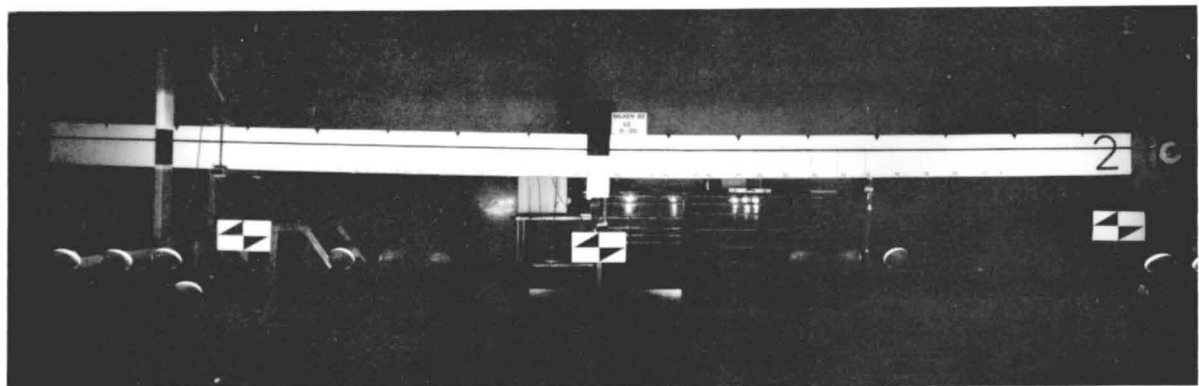
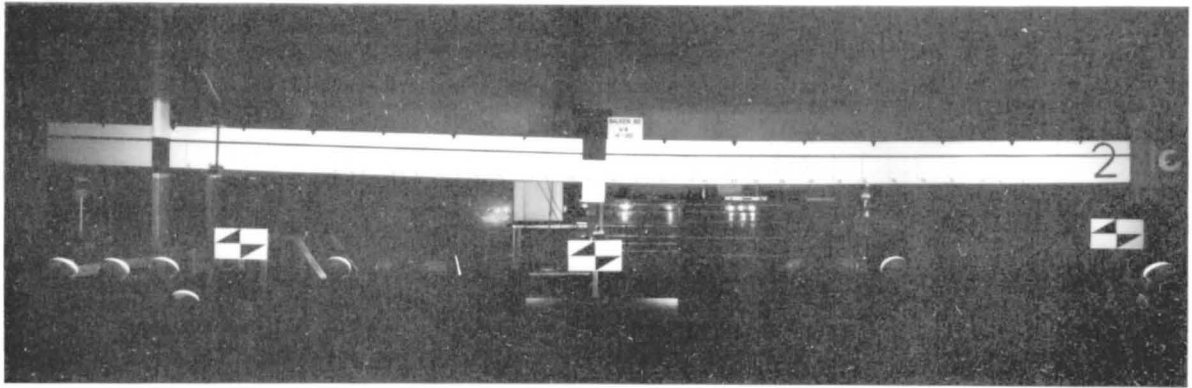
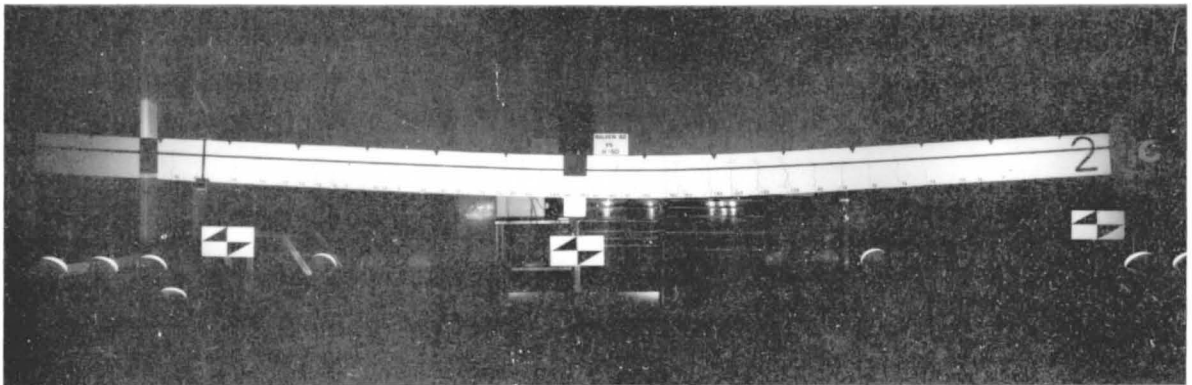
Nach Versuch B2.1 , Fallhöhe  $H = 0.00$  mNach Versuch B2.2 , Fallhöhe  $H = 0.10$  mNach Versuch B2.3 , Fallhöhe  $H = 0.20$  m

Bild B2.0-2: Uebersichtsfotos vor Versuch B2.1 und nach den Versuchen B2.1,B2.2 und B2.3

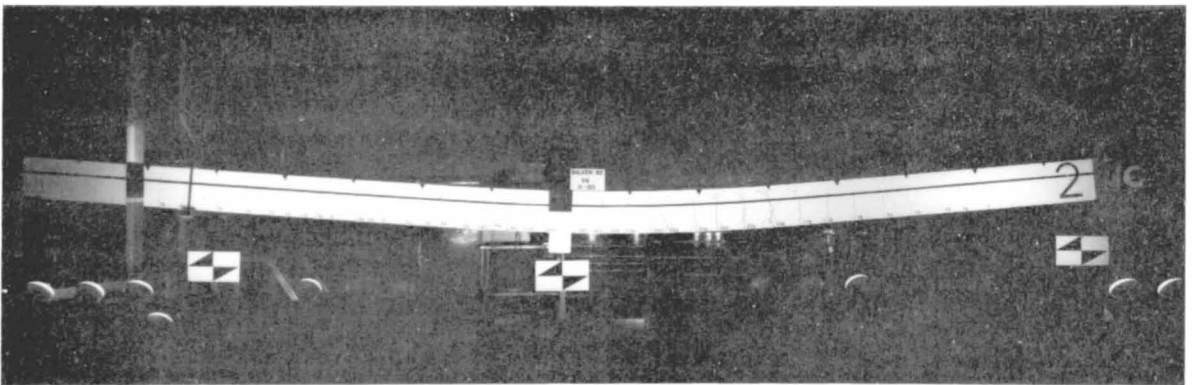




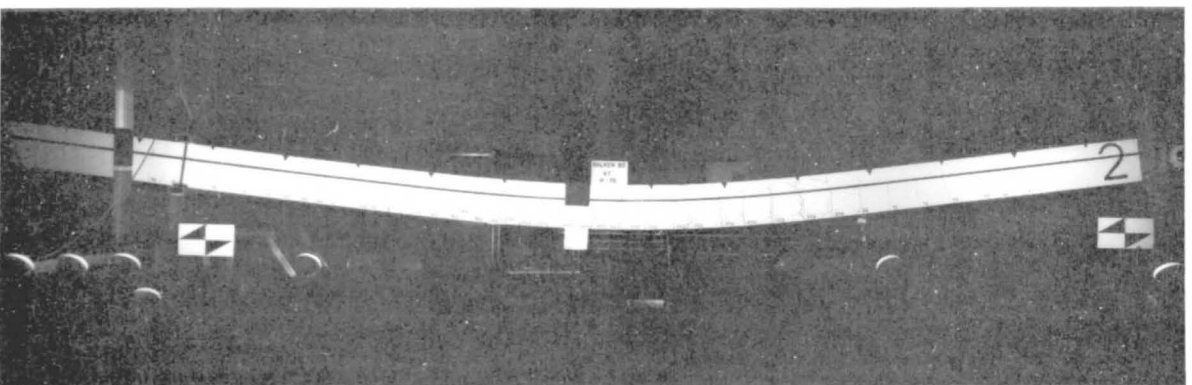
Nach Versuch B2.4 , Fallhöhe  $H = 0.20$  m



Nach Versuch B2.5 , Fallhöhe  $H = 0.50$  m

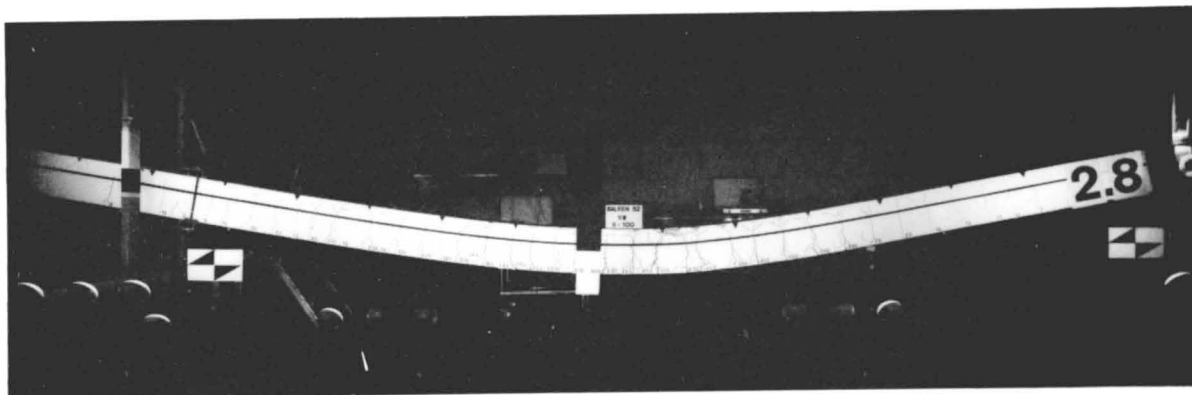


Nach Versuch B2.6 , Fallhöhe  $H = 0.50$  m

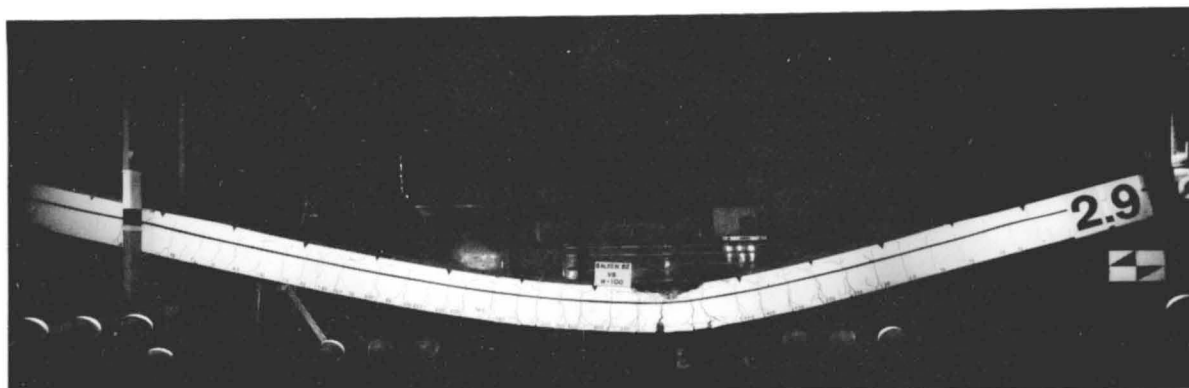


Nach Versuch B2.7 , Fallhöhe  $H = 0.75$  m

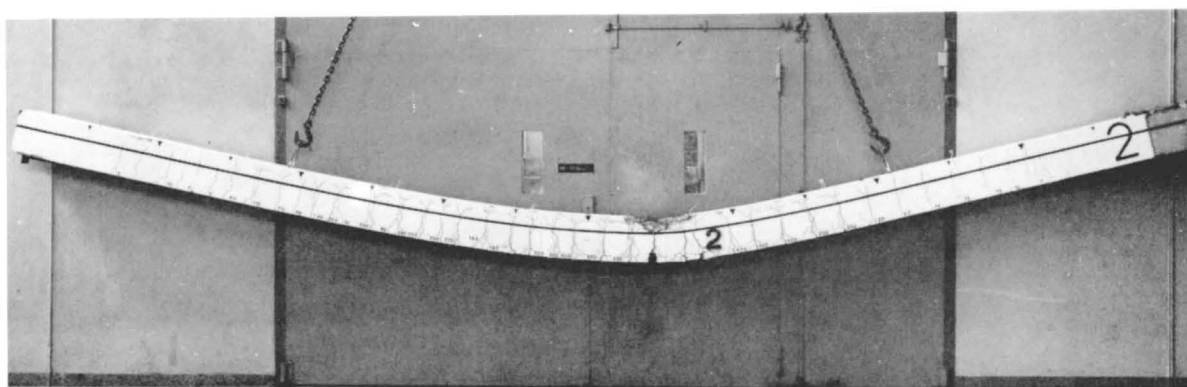
Bild B2.0-3: Uebersichtsfotos nach den Versuchen B2,4 bis B2,7



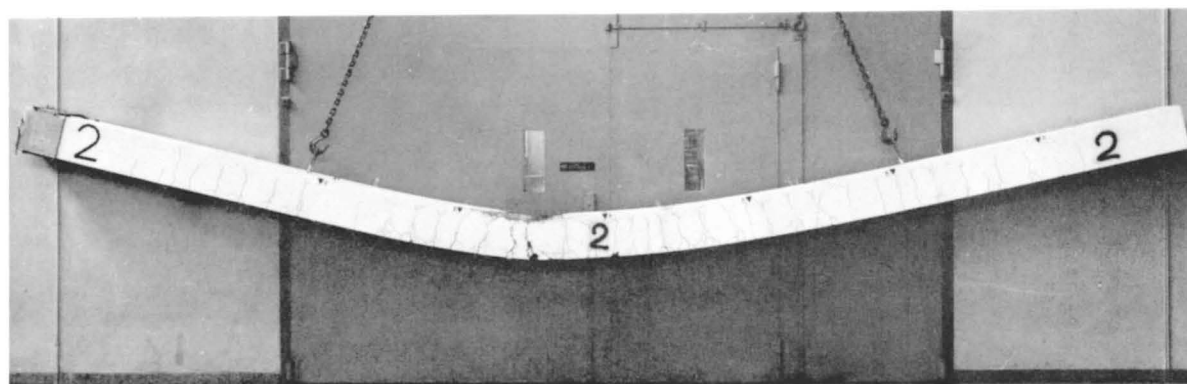
Nach Versuch B2.8 , Fallhöhe  $H = 1.00$  m



Nach Versuch B2.9 , Fallhöhe  $H = 1.00$  m

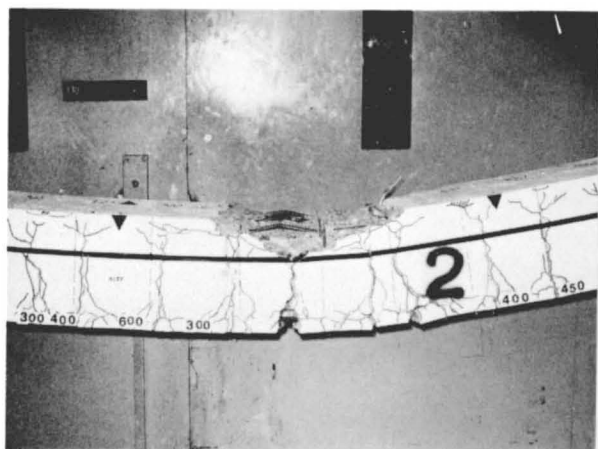


Ausgebauter Zustand , Vorderseite



Ausgebauter Zustand , Rückseite

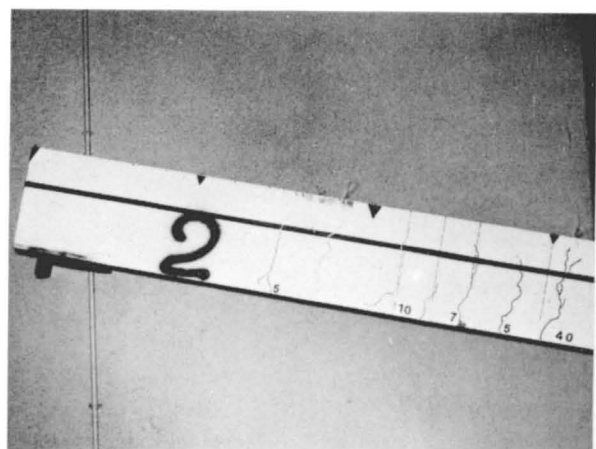
Bild B2.0-4: Uebersichtsfotos nach den Versuchen B2.8 und B2.9



Vorderseite

Rückseite

Bereich der grössten Beanspruchung ungefähr in Balkenmitte



Vorderseite

Rückseite

Rissbild in der Aufprallzone des Balkens

Bild B2.0-5: Detailaufnahmen nach den Versuchen

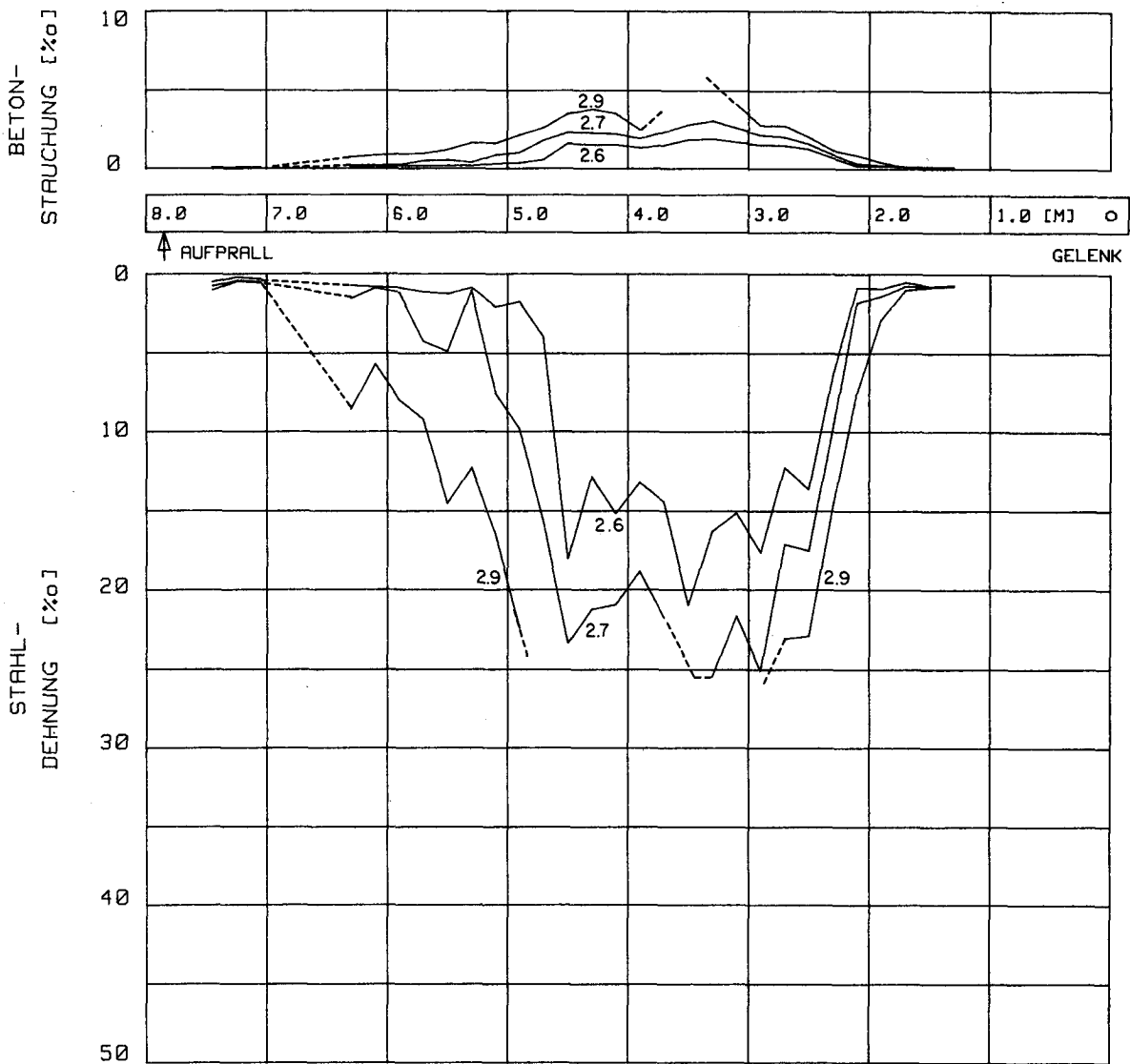


Bild B2.0-6: Dehnungsverläufe aus den Deformetermessungen für die Versuche B2.6 , B2.7 und B2.9

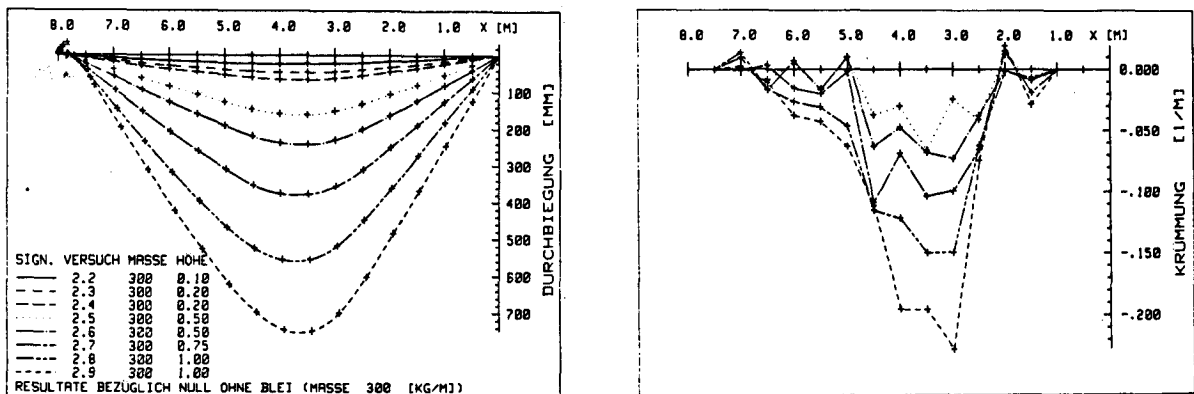


Bild B2.0-7: Biegelinien und Krümmungsverläufe aus den Nivellements - Messungen für die Versuche B2.2 bis B2.9

VERSUCH B2.1

BALKENPARAMETER :

- FALLHOEHE: 0. METER
- BRUCHMOMENT: 70 KILO-NEWTON-METER
- MASSE: 300. KILOGRAMM / METER
- BEMERKUNGEN: EICHUNG SIEHE DATENBLATT

DIGITALISIERUNGSPARAMETER: - ANZAHL SAMPLES BEI DER EICHUNG : 400.  
 - ABTASTFREQUENZ CA.: 4420. HZ  
 BEI DER MESSUNG : 8192.

- BANDGESCHWINDIGKEIT BEIM VERSUCH : 30.0 IPS  
 BEIM DIGITALISIEREN : 3.7 IPS  
 --> ZEITFAKTOR : 8.0

ZUSAMMENSTELLUNG DER EINZELNEN KANAEL

*****														
A/D-WANDLER	I	AUFZEICHNUNG	I	UMRECHNUNG	I	EICHPARAMETER	I	BEMERKUNGEN	*****					
KAN NR:	E	M	PCM NR:	BEZ	EICHGROSSE:	KORR.-FAKTOR	VERST.-FAKTOR	F(X) = A * X + B	*****					
NR:					WERT	DIM:		A	B	*****				
*****														
0	0	0	91	S	I	0.000 [ J ]	0.000	0.00	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	I	SYNCH. LOSS 1
1	0	0	92	S	I	0.000 [ J ]	0.000	0.00	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	I	SYNCH. LOSS 2
2	0	0	93	S	I	0.000 [ J ]	0.000	0.00	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	I	SYNCH. LOSS 3
*****														
8	0	1	1	A	I	4.600 [ G ]	2.000	2.00	0.00975	-0.01050	0.00975	-0.01050	I	BEACHTE DATENBLATT
9	0	1	2	A	I	1.300 [ G ]	2.000	4.00	0.00487	-0.00517	0.00487	-0.00517	I	BEGRENZT
10	0	1	3	A	I	0.270 [ G ]	2.000	5.00	0.00245	-0.00559	0.00245	-0.00559	I	BEGRENZT
11	0	0	4	F	I	347.420 [KN]	2.000	0.10	0.03480	-0.04550	0.03480	-0.04550	I	BEGRENZT
12	0	0	5	F	I	159.550 [KN]	2.000	0.10	0.01589	-0.04767	0.01589	-0.04767	I	BEGRENZT
13	0	0	6	W	I	0.000 [MM]	0.000	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	I	BEGRENZT
14	0	2	7	W	I	262.160 [MM]	2.000	1.00	0.12657	0.48201	0.12657	0.48201	I	BEGRENZT
15	0	0	8	E	I	1.000 [Z.]	2.140	0.20	0.00018	0.00001	0.00018	0.00001	I	BEGRENZT
*****														
16	0	0	9	E	I	1.000 [Z.]	2.140	0.20	0.00018	-0.00018	0.00018	-0.00018	I	BEGRENZT
17	0	0	10	E	I	1.000 [Z.]	2.030	0.10	0.00010	0.00010	0.00010	0.00010	I	BEGRENZT
18	0	0	11	E	I	1.000 [Z.]	2.030	0.10	0.00010	0.00041	0.00010	0.00041	I	BEGRENZT
19	0	0	12	E	I	1.000 [Z.]	2.030	0.20	0.00020	0.00130	0.00020	0.00130	I	BEGRENZT
20	0	0	13	E	I	1.000 [Z.]	2.030	0.20	0.00020	0.00134	0.00020	0.00134	I	BEGRENZT
21	0	0	14	E	I	1.000 [Z.]	2.030	0.20	0.00020	0.00120	0.00020	0.00120	I	BEGRENZT
22	0	0	15	E	I	1.000 [Z.]	2.030	0.10	0.00010	0.00042	0.00010	0.00042	I	BEGRENZT
23	0	0	16	E	I	1.000 [Z.]	2.030	0.10	0.00010	0.00051	0.00010	0.00051	I	BEGRENZT
*****														
24	3	3	17	E	I	10.000 [Z.]	2.070	0.20	0.00231	-0.01960	0.00231	-0.01960	I	BEGRENZT
25	3	3	18	E	I	10.000 [Z.]	2.070	0.20	0.00231	-0.01200	0.00231	-0.01200	I	BEGRENZT
26	3	3	19	E	I	10.000 [Z.]	2.070	0.40	0.00461	-0.02041	0.00461	-0.02041	I	BEGRENZT
27	3	3	20	E	I	10.000 [Z.]	2.070	0.40	0.00463	-0.00756	0.00463	-0.00756	I	BEGRENZT
28	3	3	21	E	I	10.000 [Z.]	2.070	0.40	0.00464	-0.02824	0.00464	-0.02824	I	BEGRENZT
29	3	3	22	E	I	10.000 [Z.]	2.070	0.40	0.00461	-0.02085	0.00461	-0.02085	I	BEGRENZT
30	3	3	23	E	I	10.000 [Z.]	2.070	0.20	0.00232	-0.01125	0.00232	-0.01125	I	BEGRENZT
31	3	3	24	E	I	10.000 [Z.]	2.070	0.20	0.00232	-0.01032	0.00232	-0.01032	I	BEGRENZT

Bild B2.1-1: Informationsblatt PCM - Daten

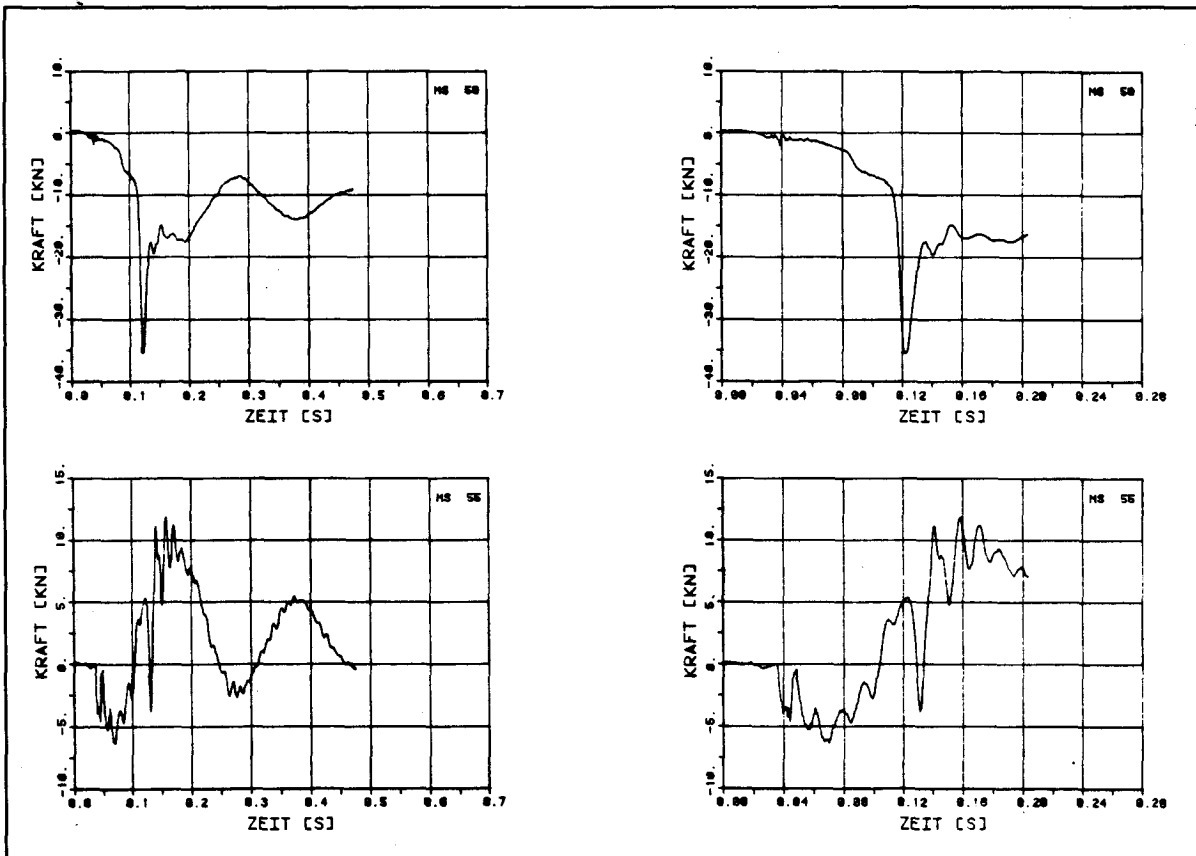


Bild B2.1-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

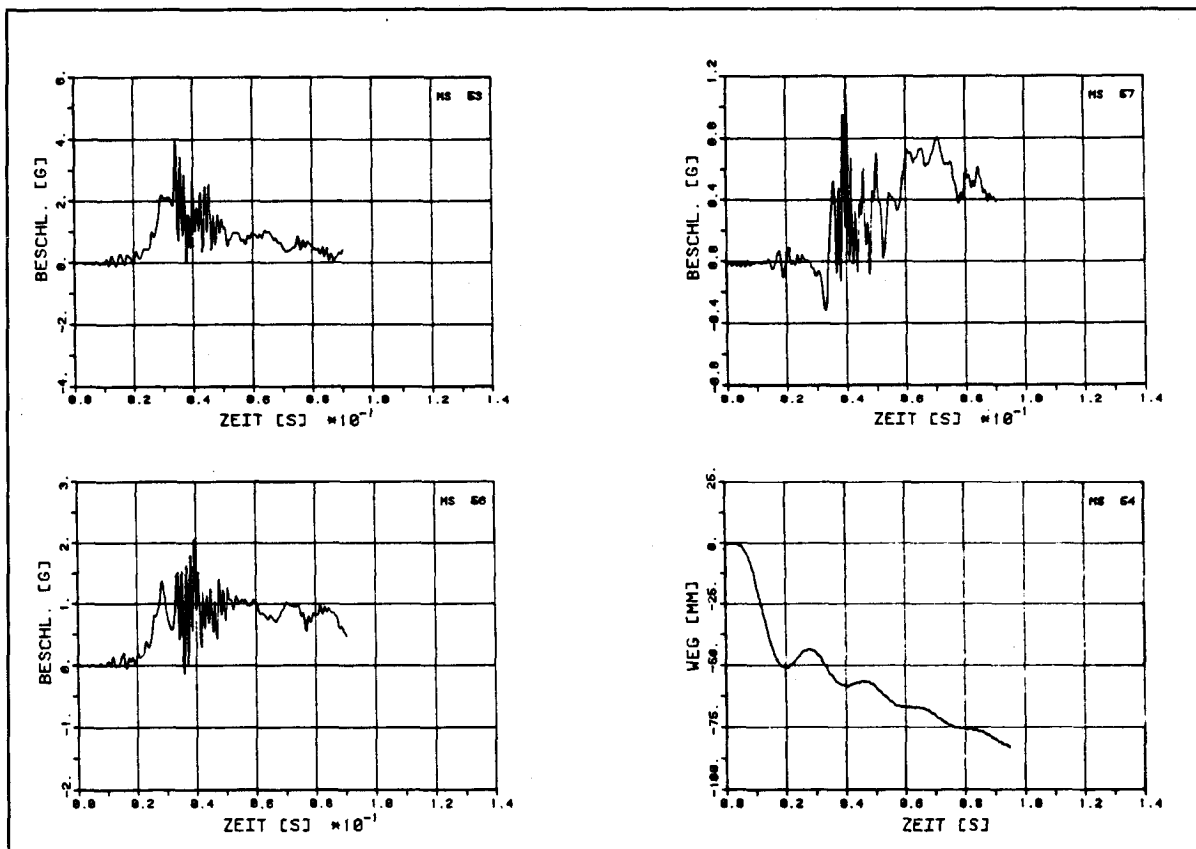


Bild B2.1-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzeldarstellungen und der Durchbiegung in Balkenmitte

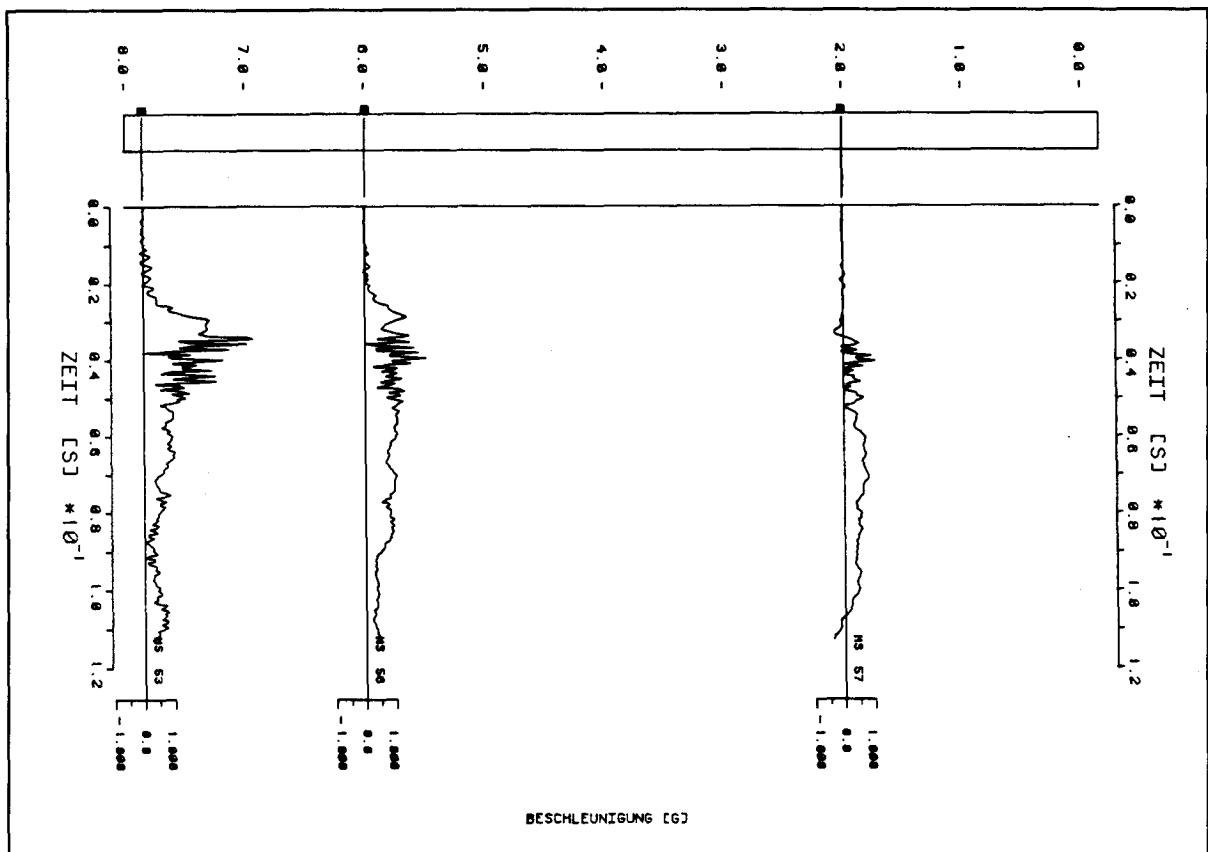
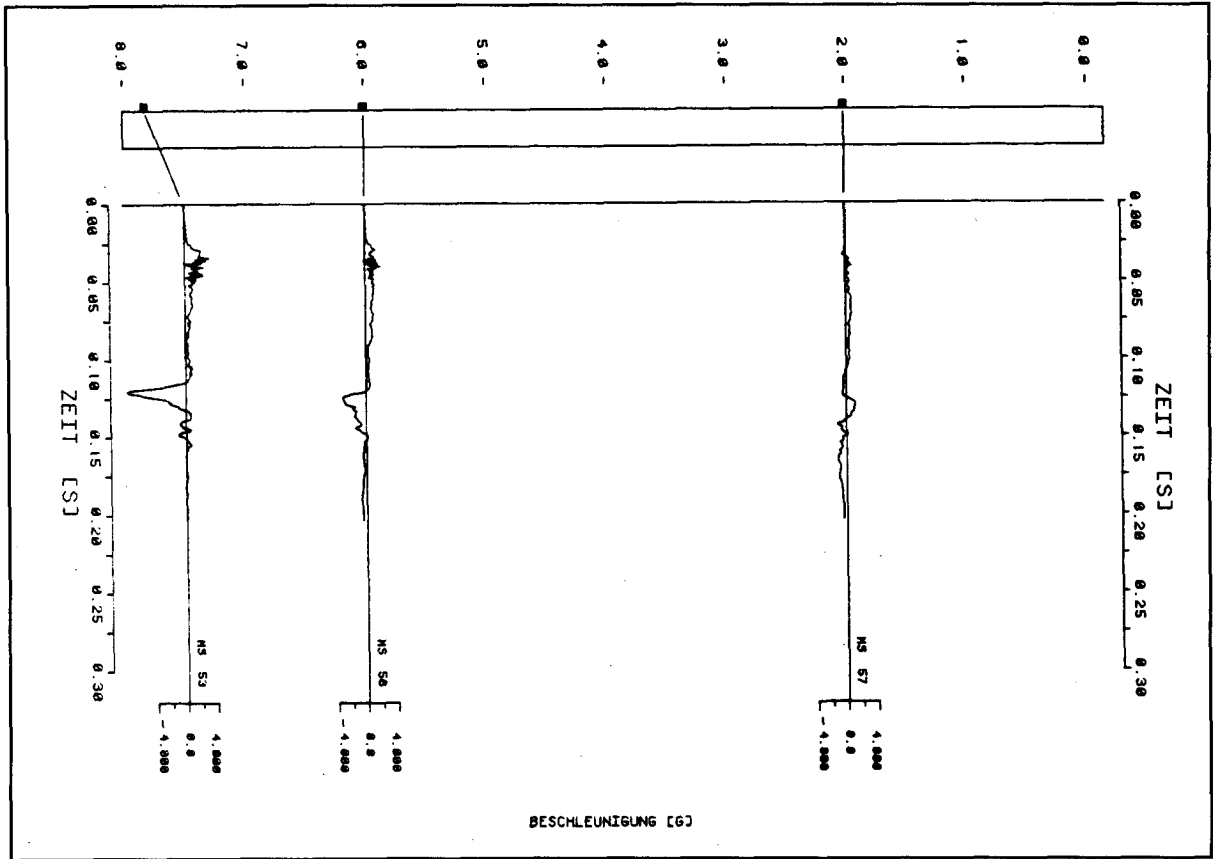


Bild B2.1-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

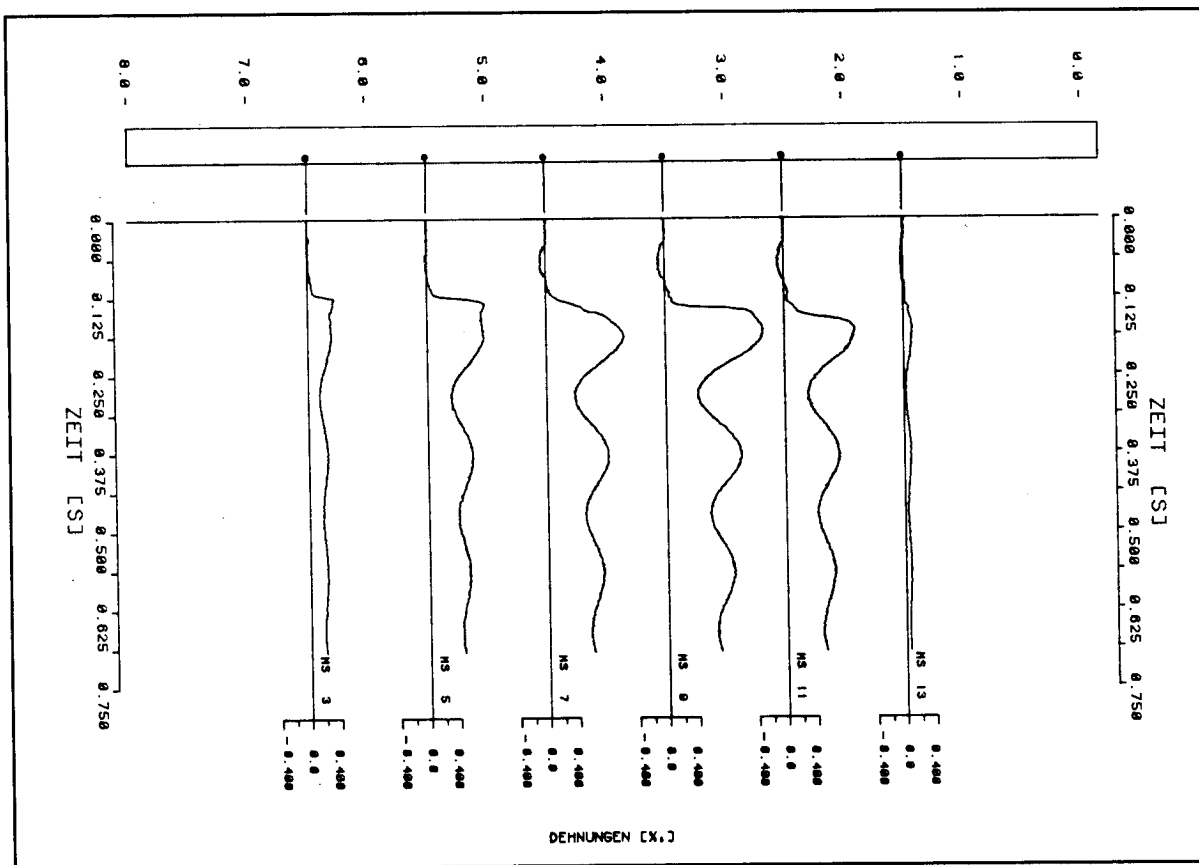


Bild B2.1-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

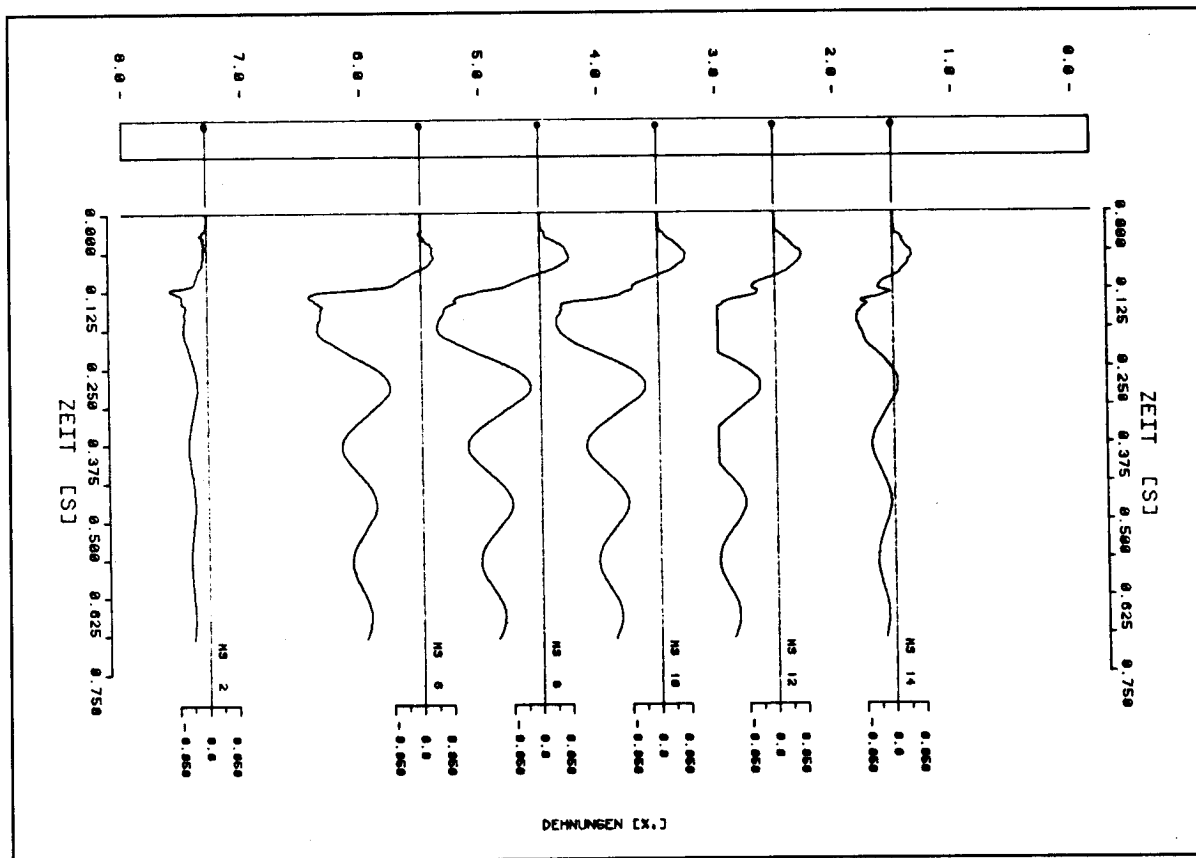


Bild B2.1-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten



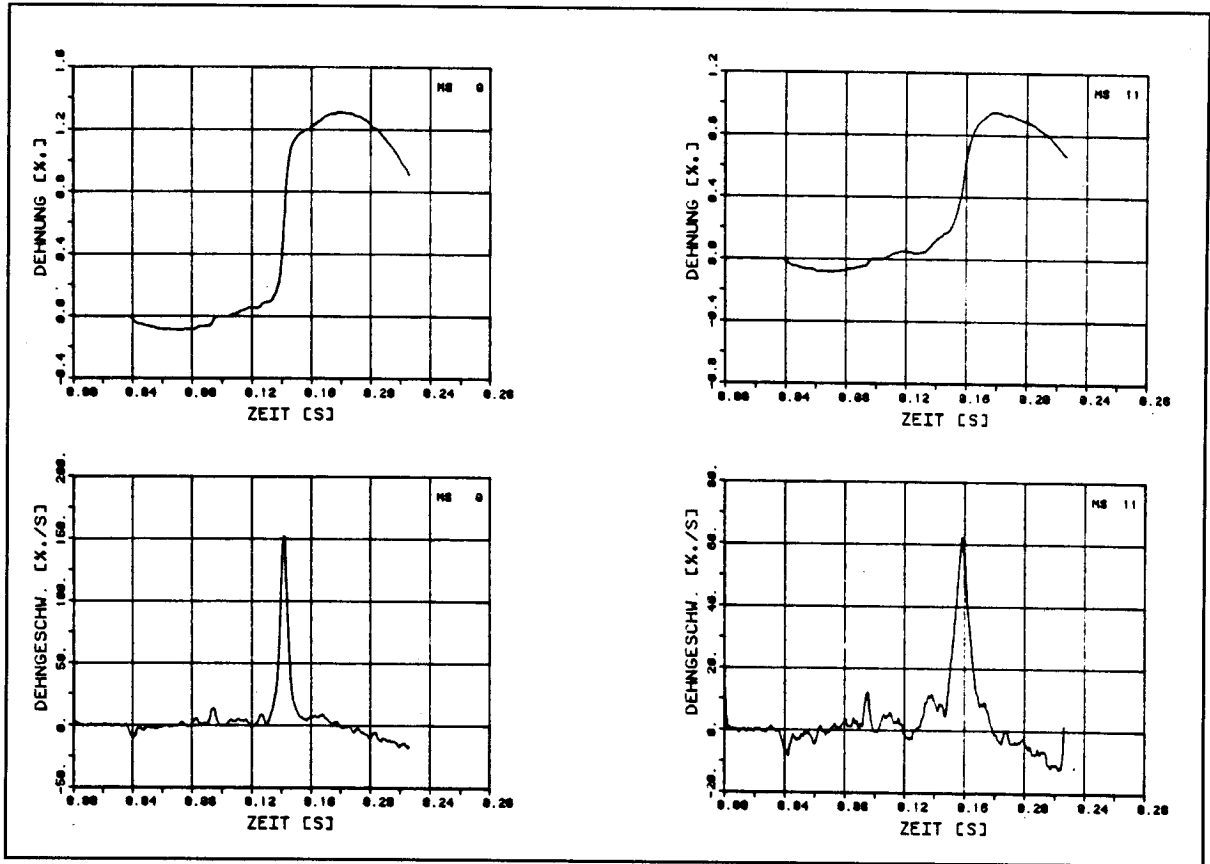


Bild B2.1-7: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

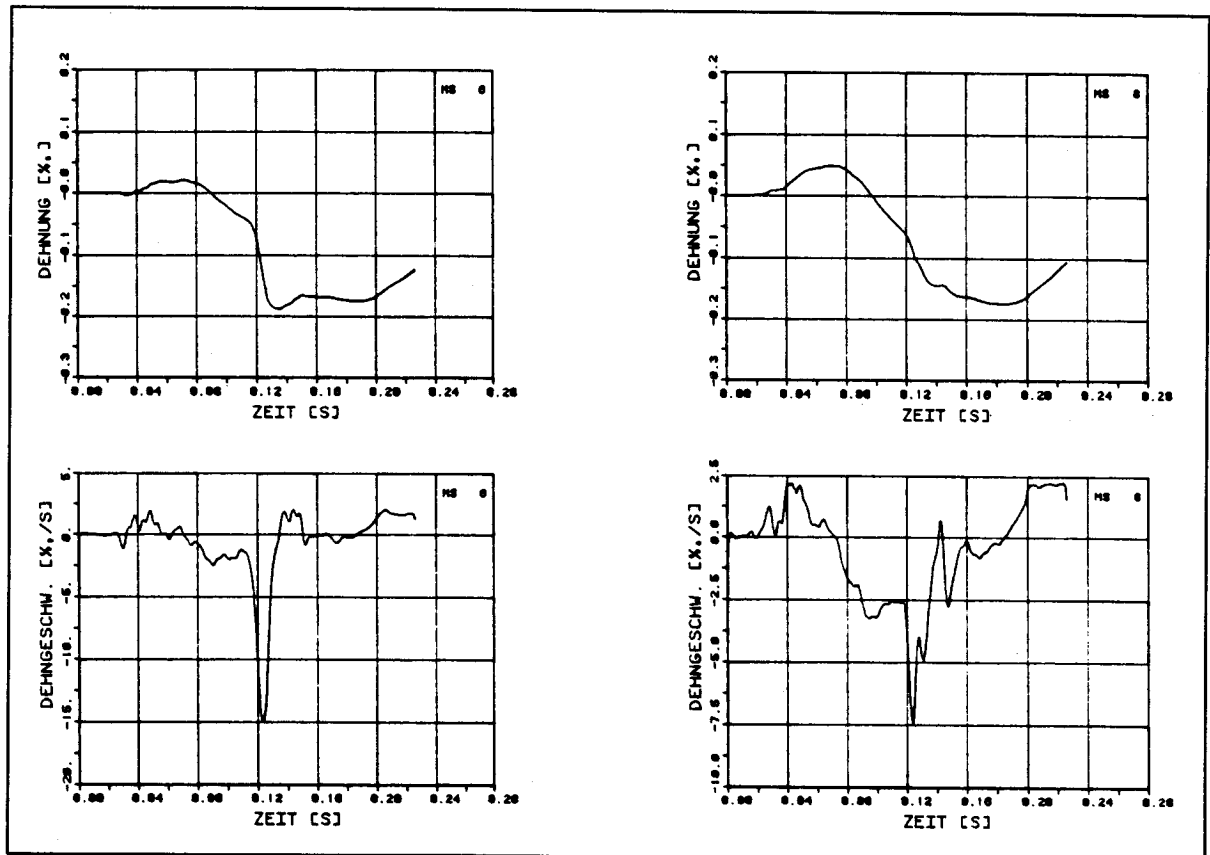


Bild B2.1-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

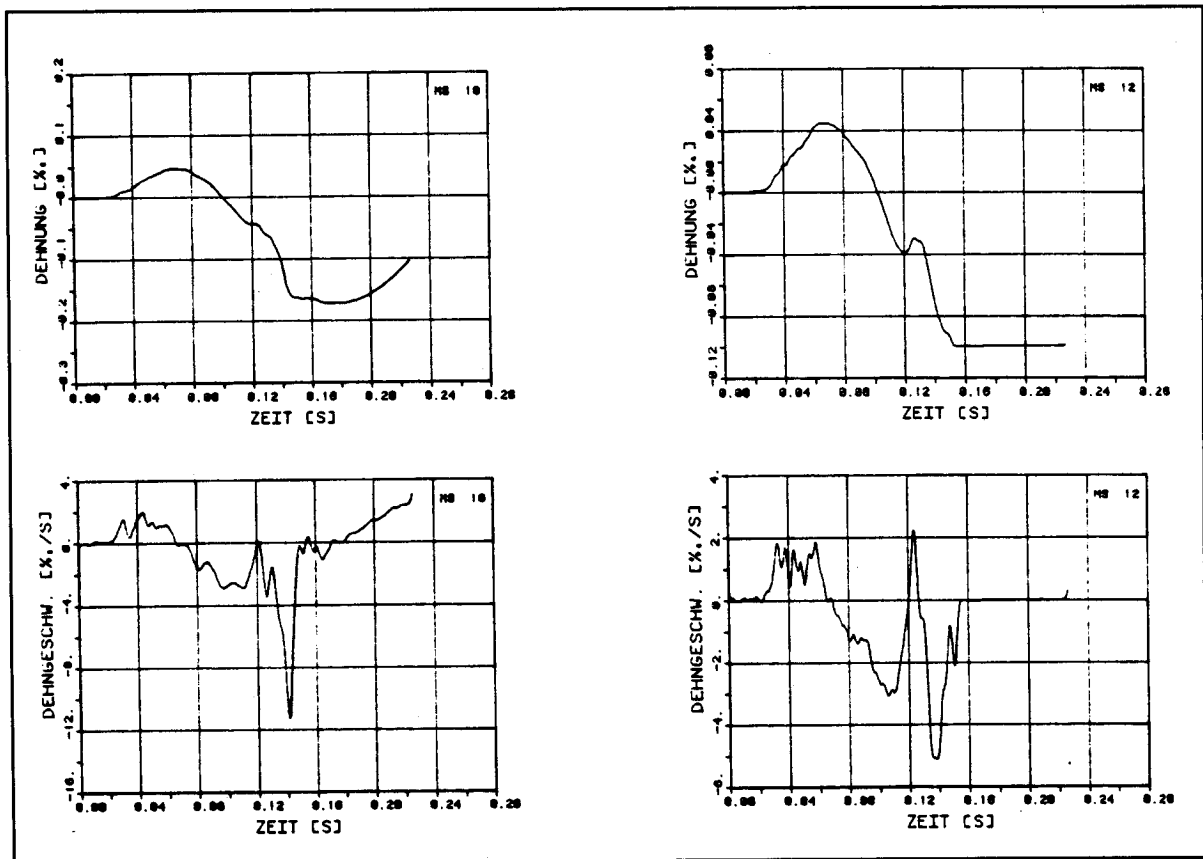


Bild B2.1-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

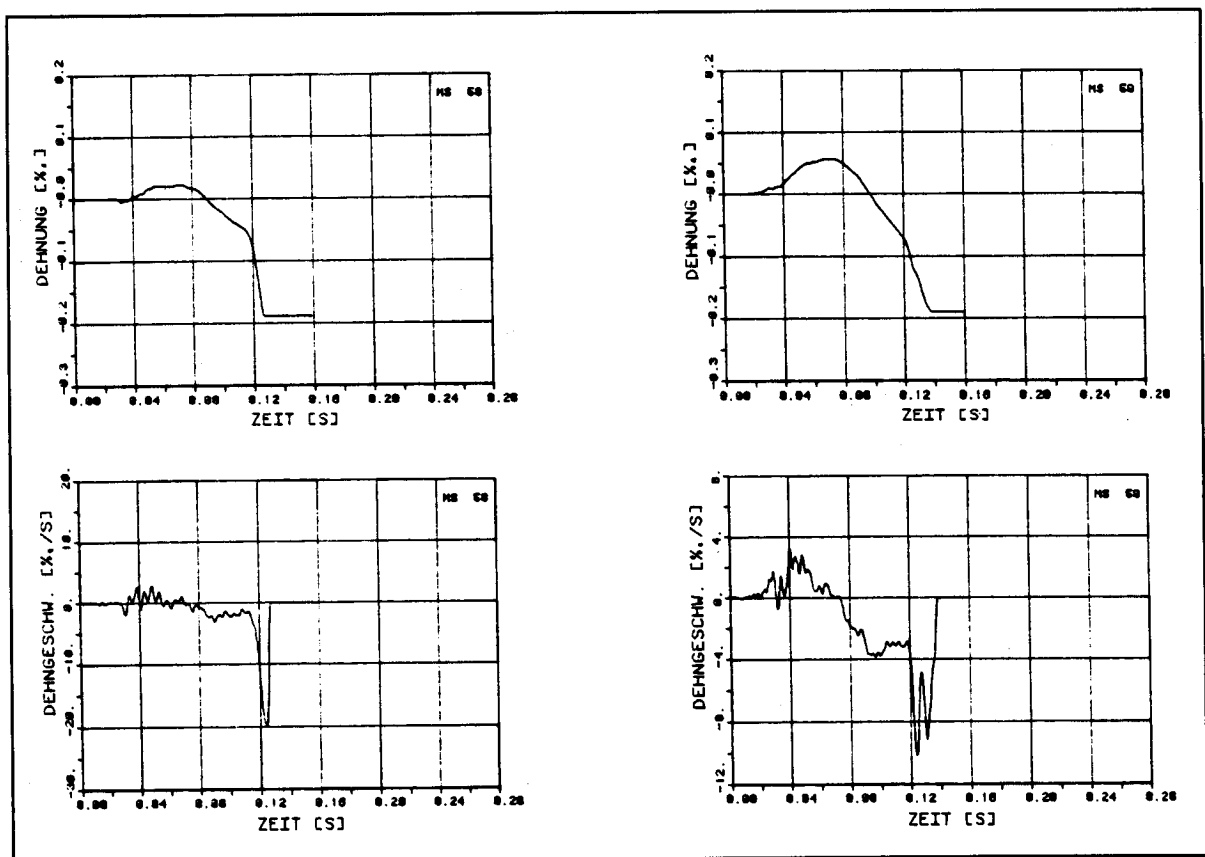


Bild B2.1-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B2.2

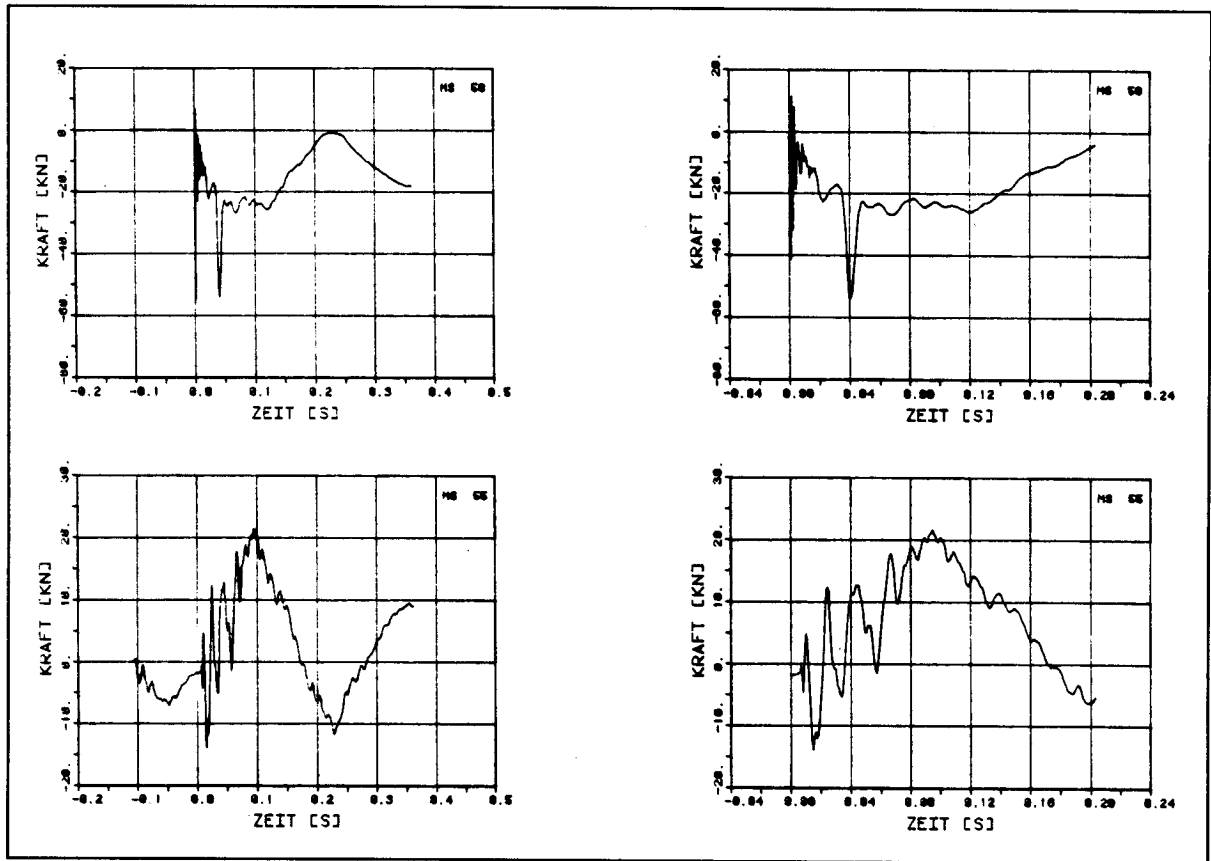


Bild B2.2-1: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

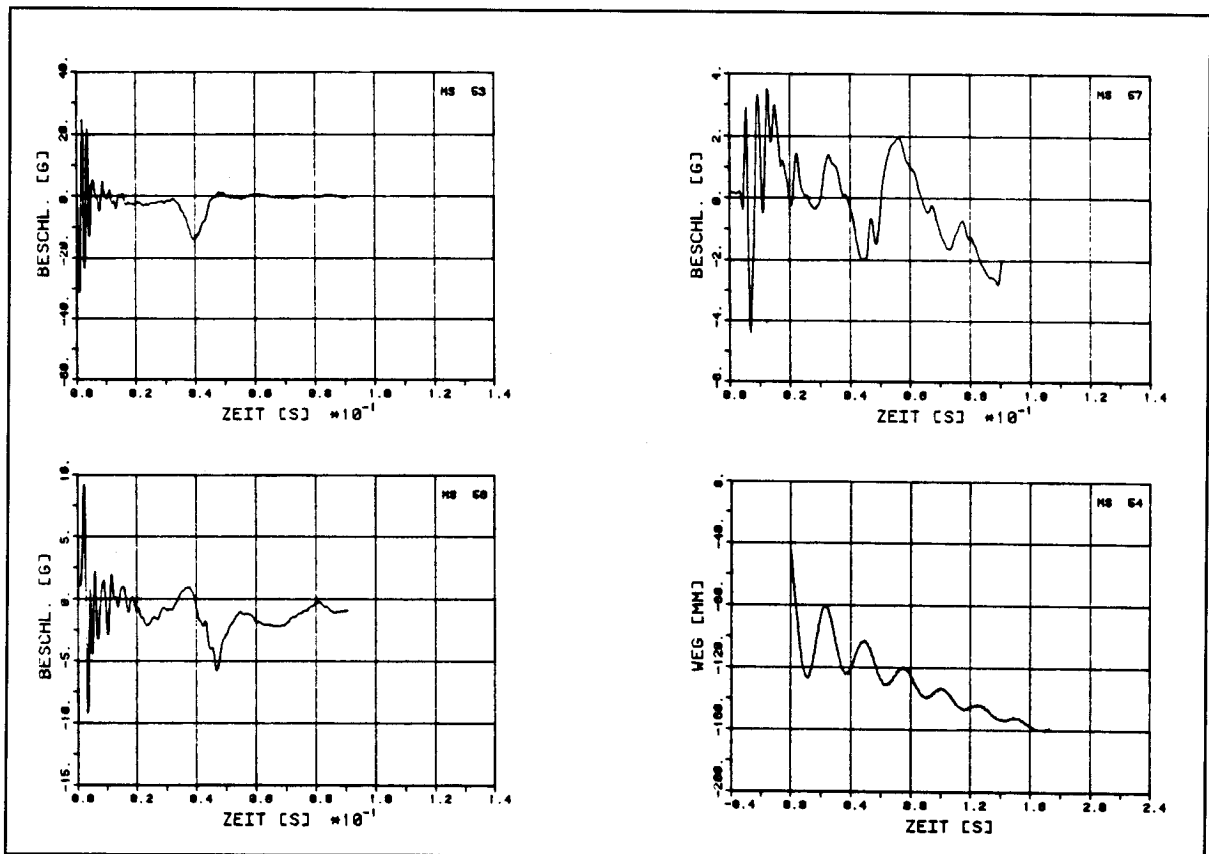


Bild B2.2-2: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel - Darstellungen und der Durchbiegung in Balkenmitte

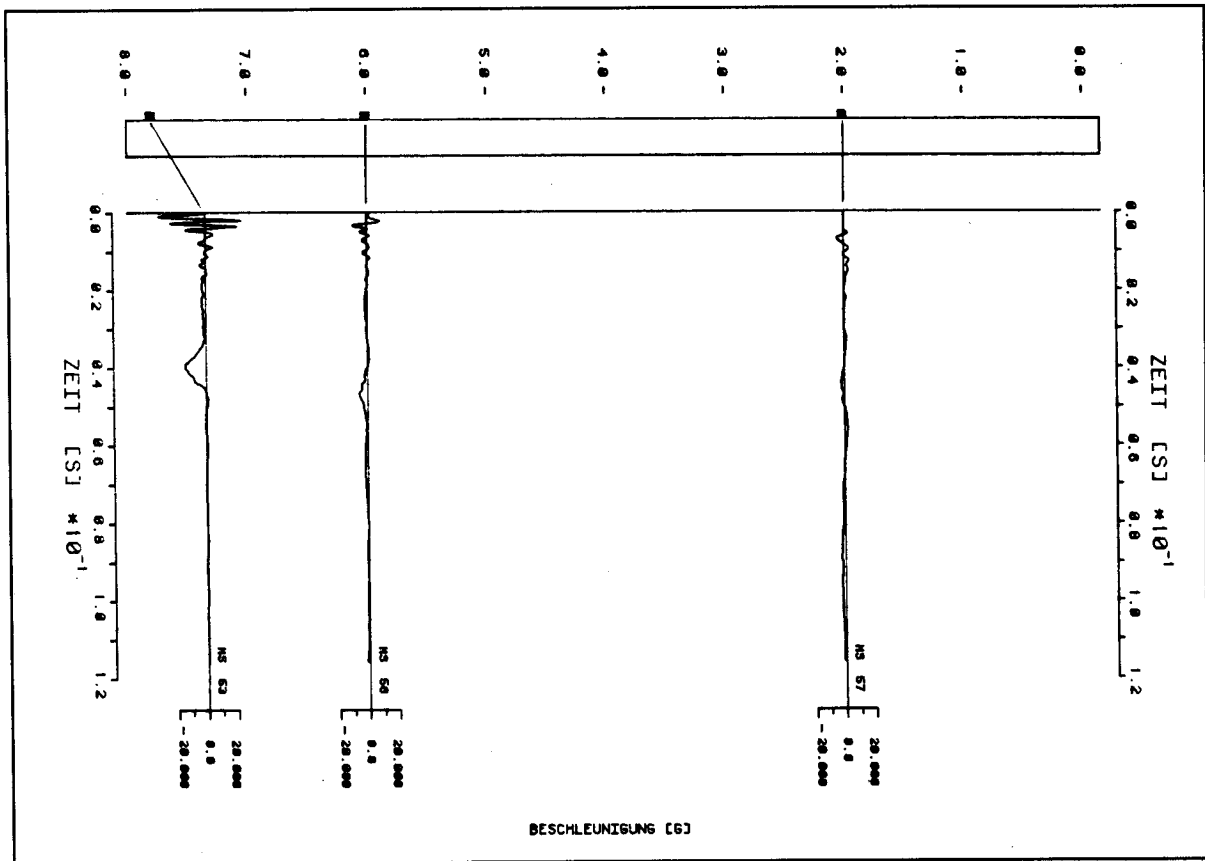


Bild B2.2-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

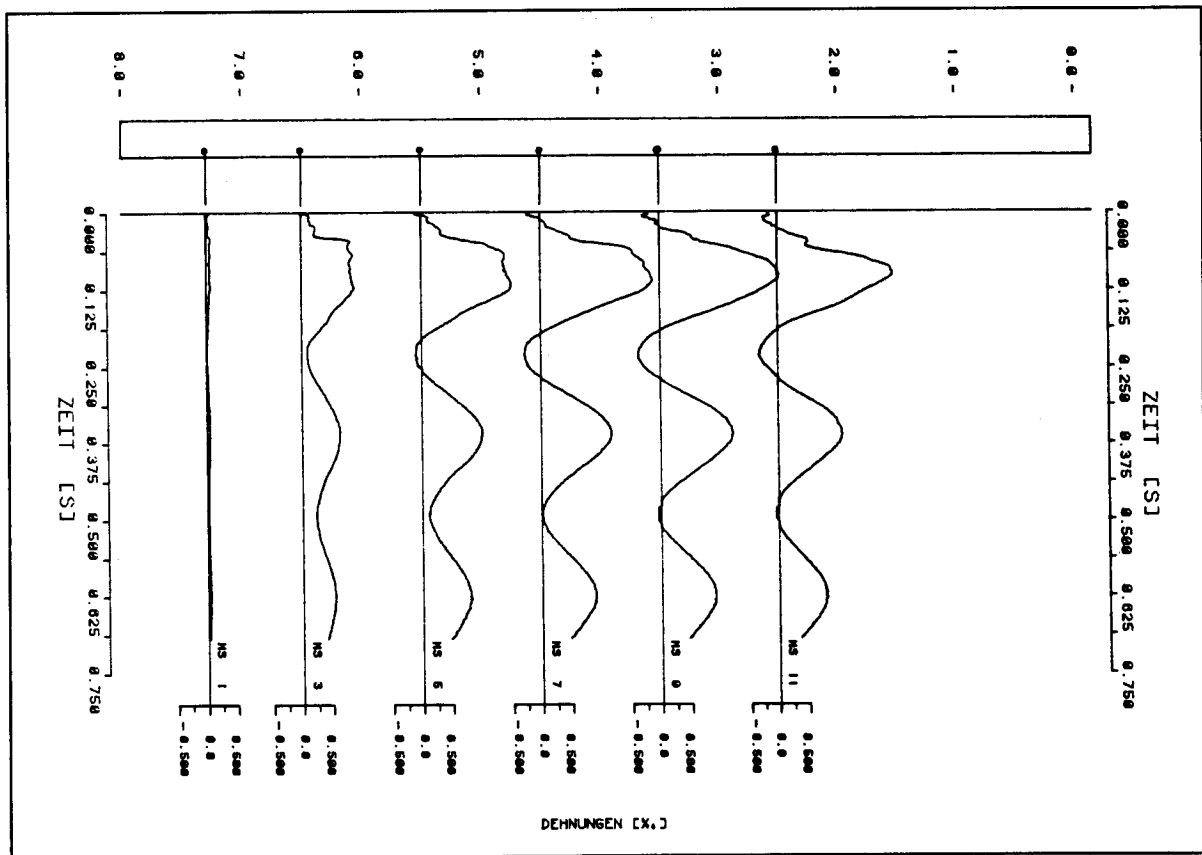


Bild B2.2-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

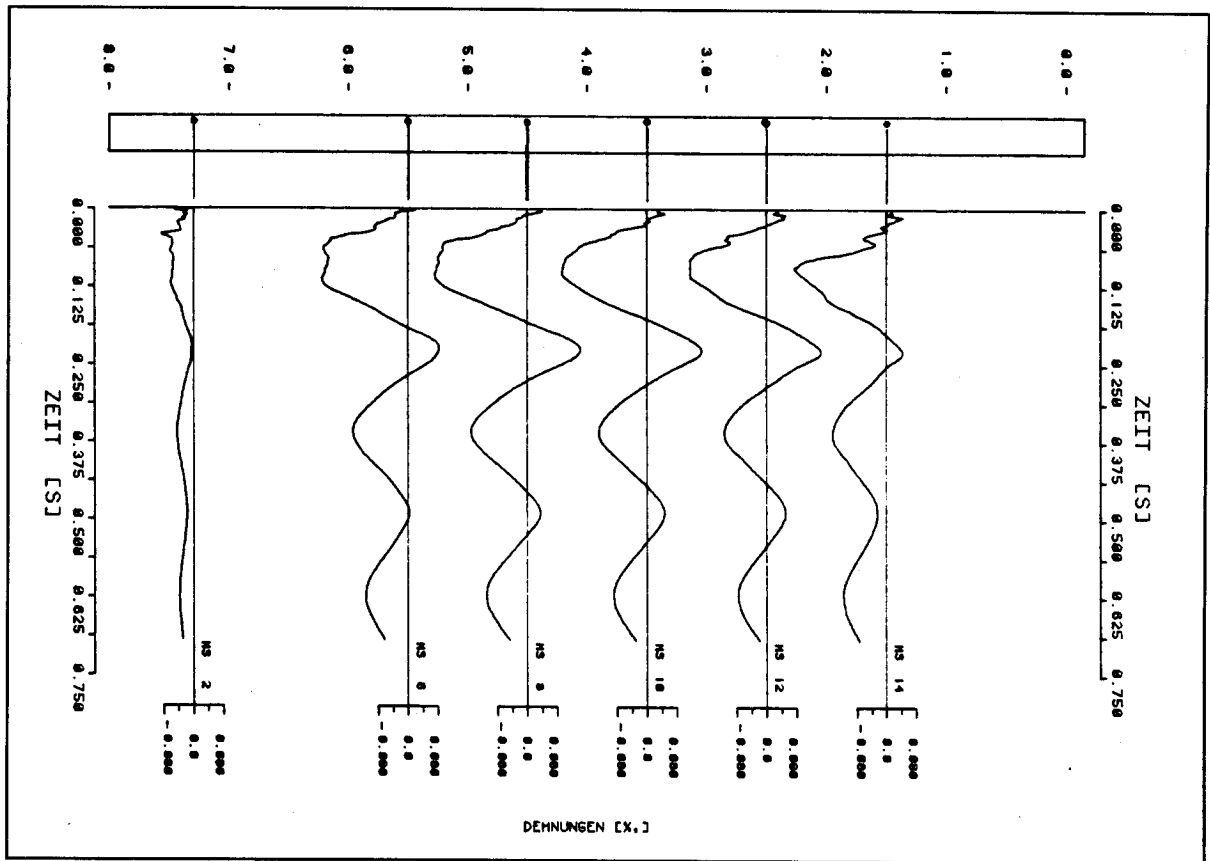


Bild B2.2-5: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

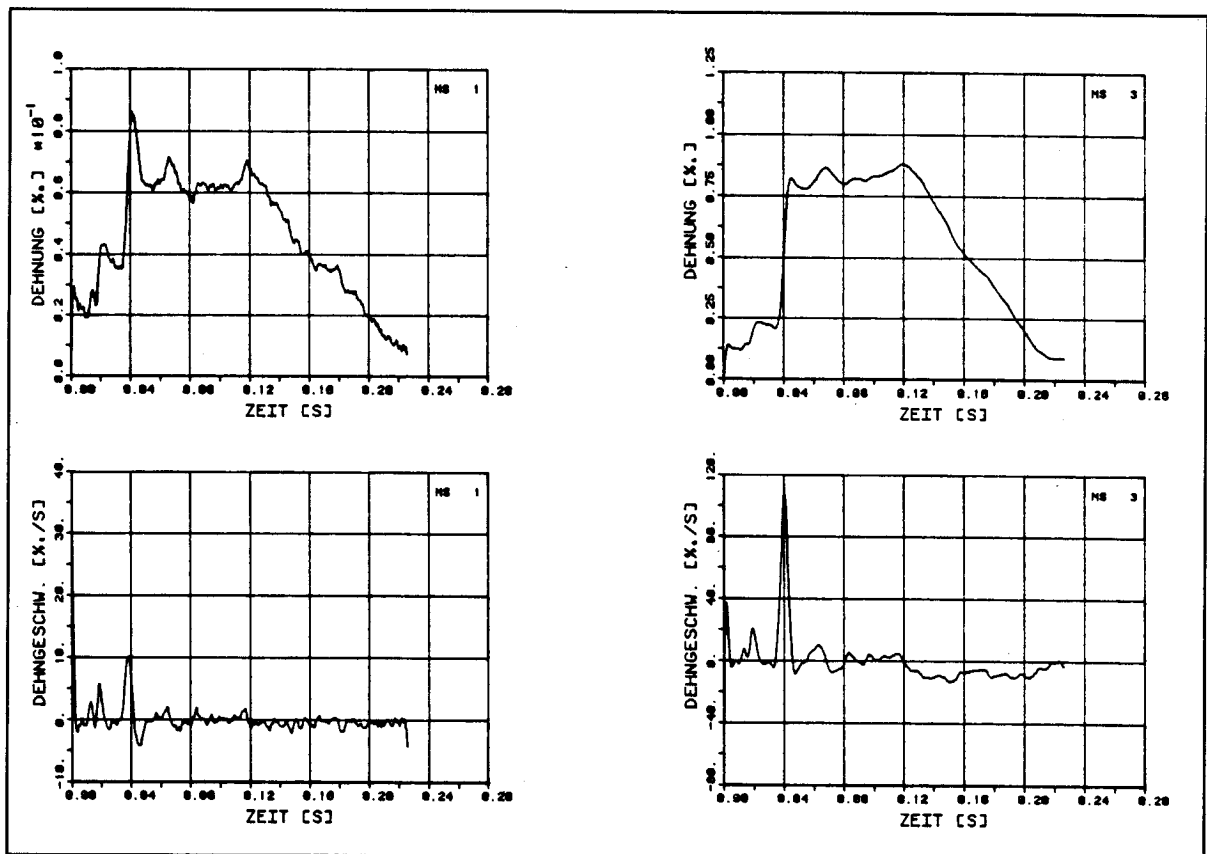


Bild B2.2-6: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

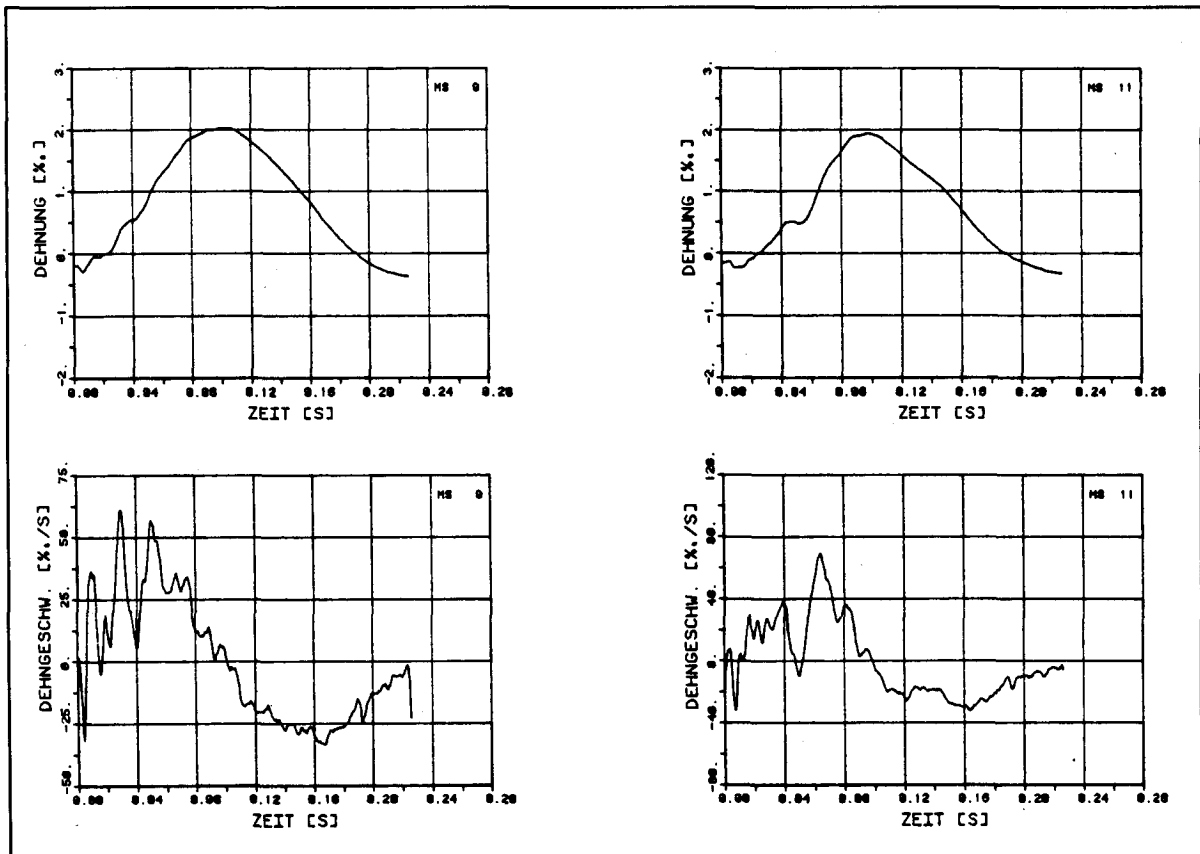


Bild B2.2-7: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

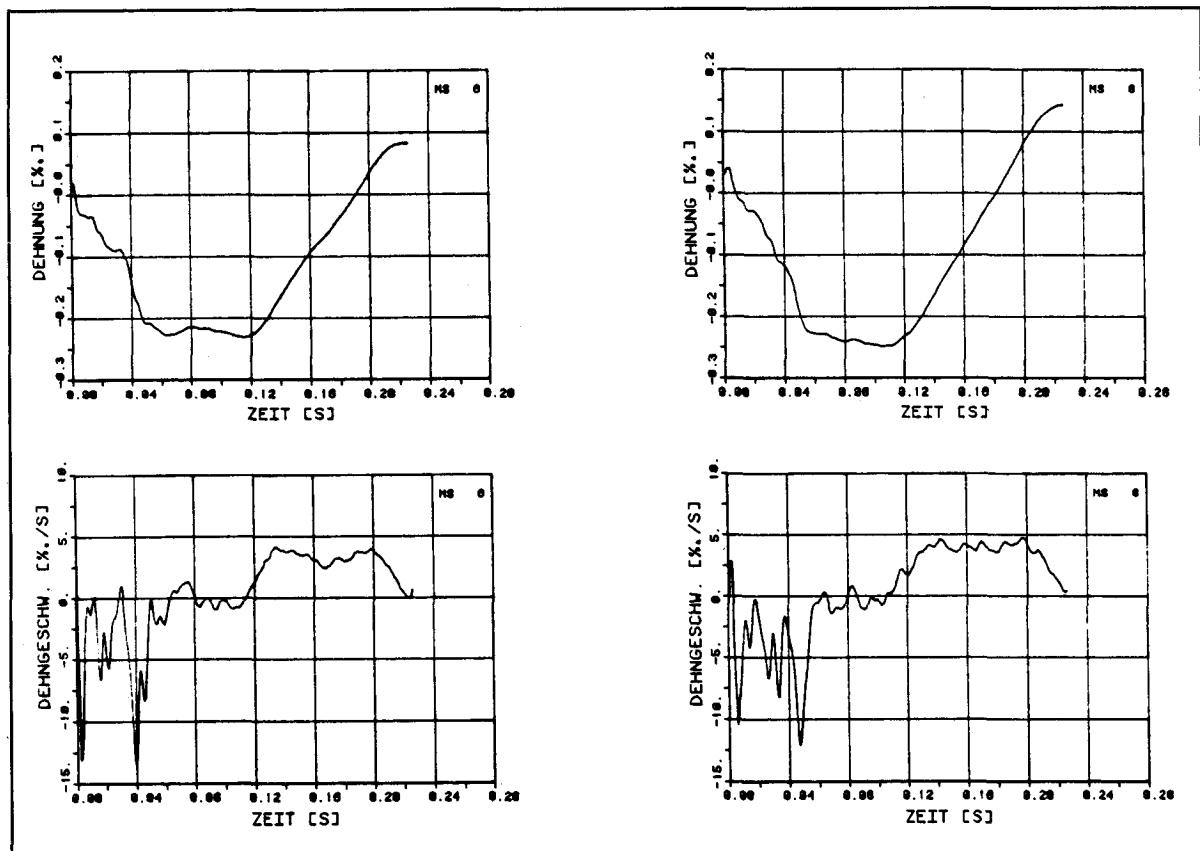


Bild B2.2-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

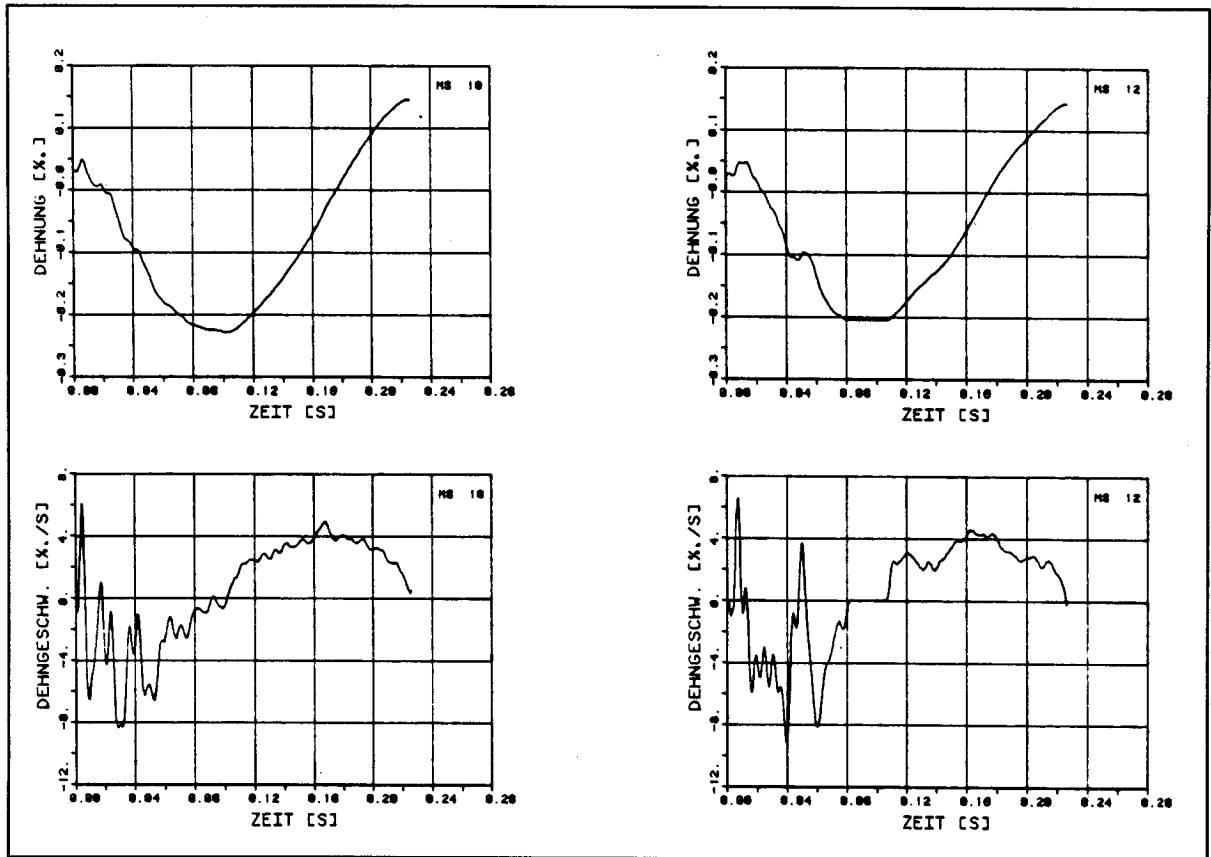


Bild B2.2-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

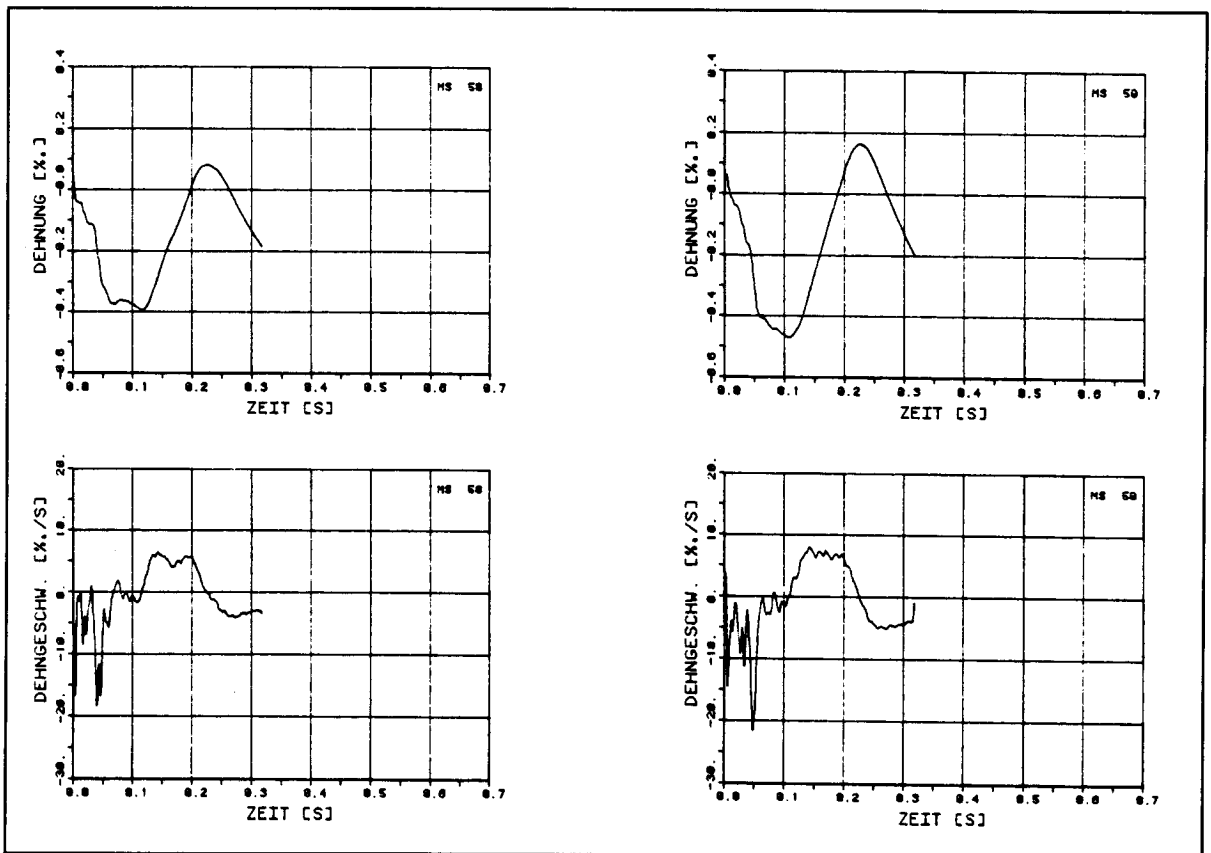


Bild B2.2-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

## VERSUCH B2.3

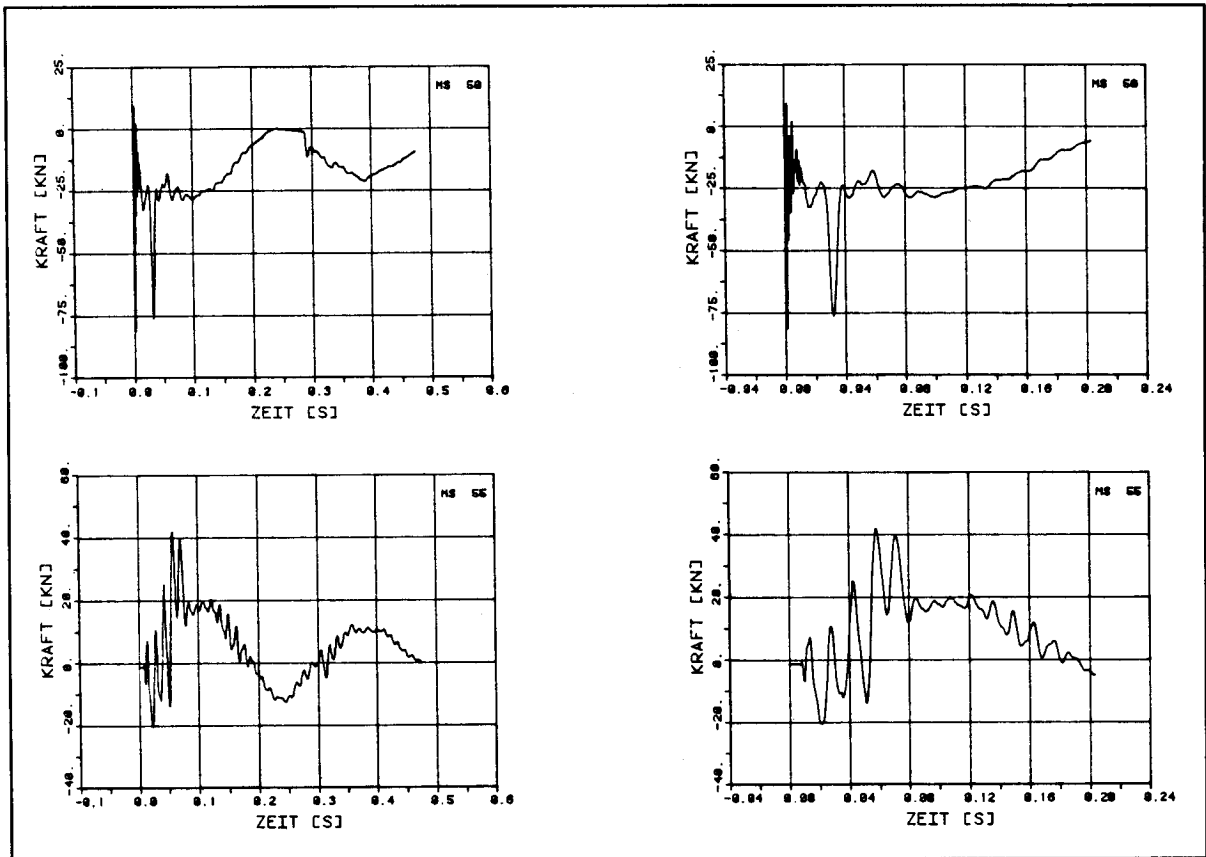


Bild B2.3-1: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

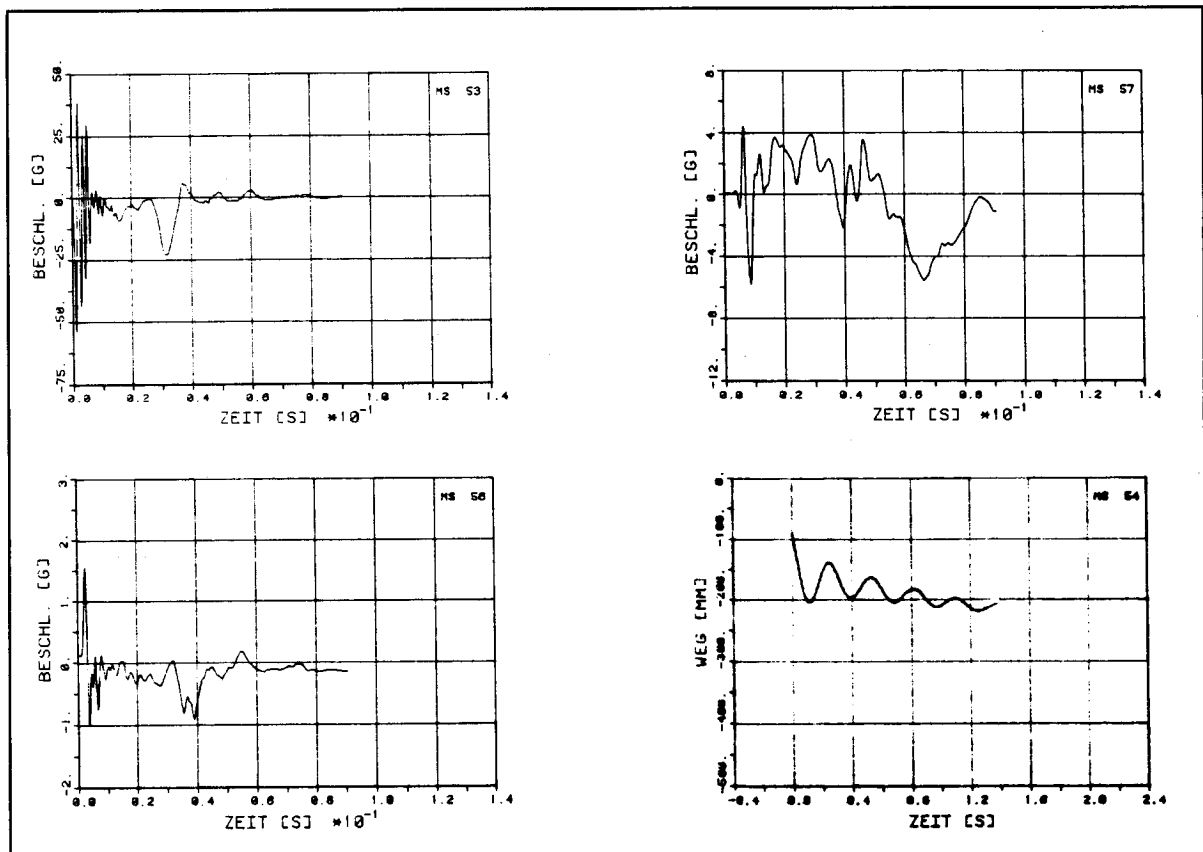


Bild B2.3-2: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel - Darstellungen und der Durchbiegung in Balkenmitte



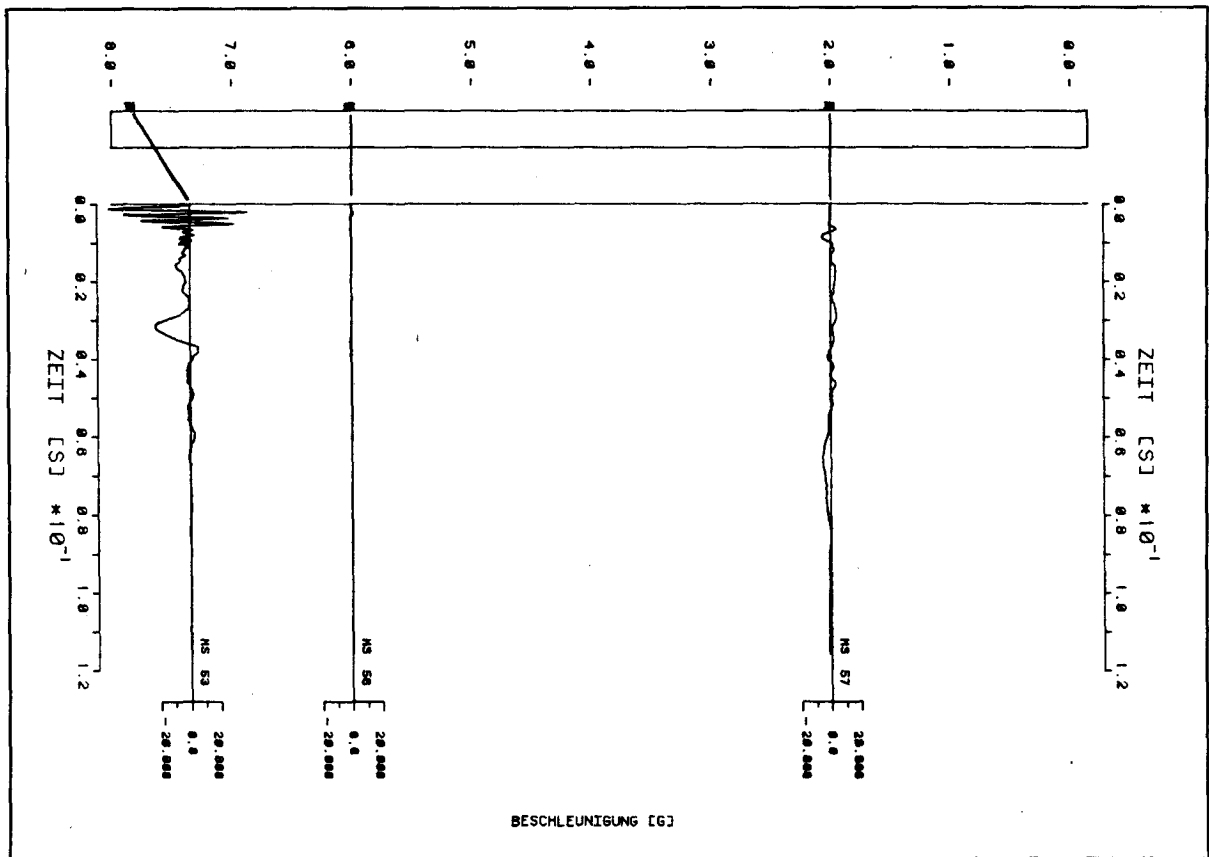


Bild B2.3-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

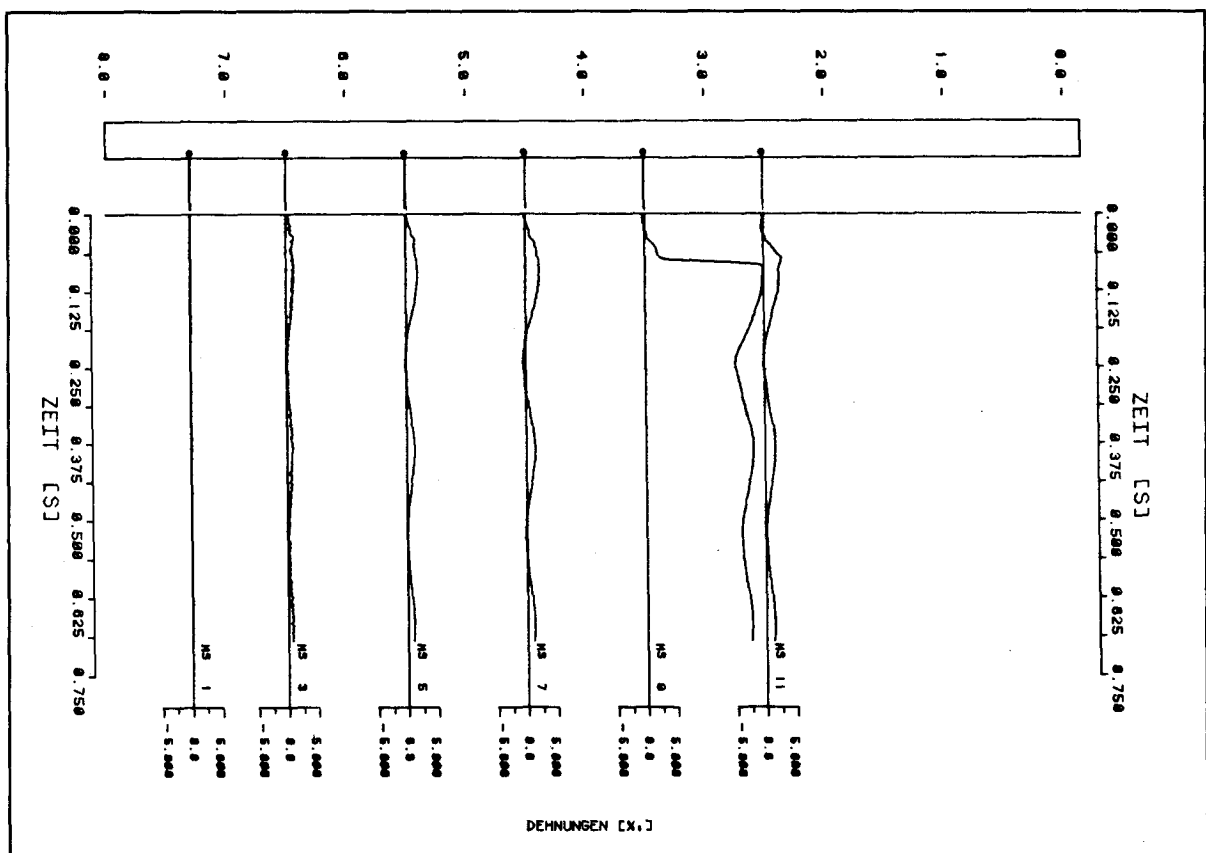


Bild B2.3-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

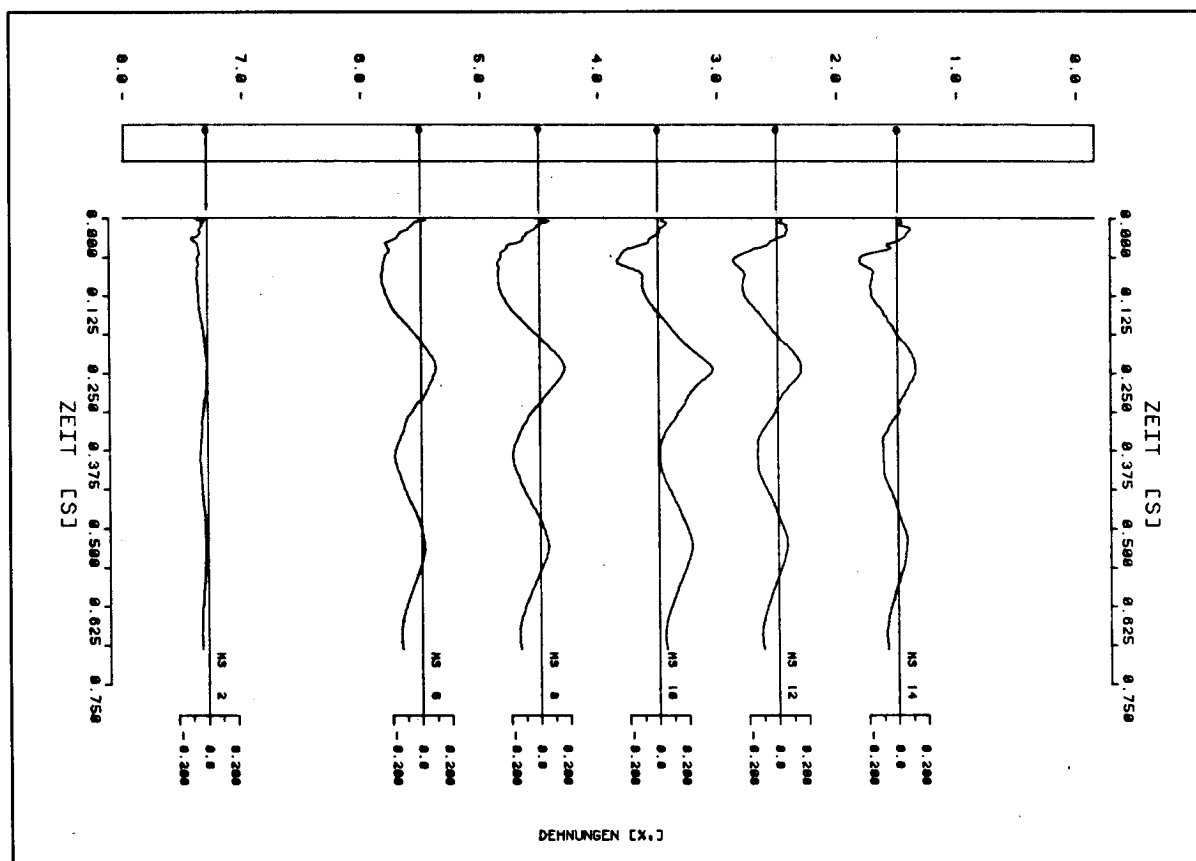


Bild B2.3-5: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

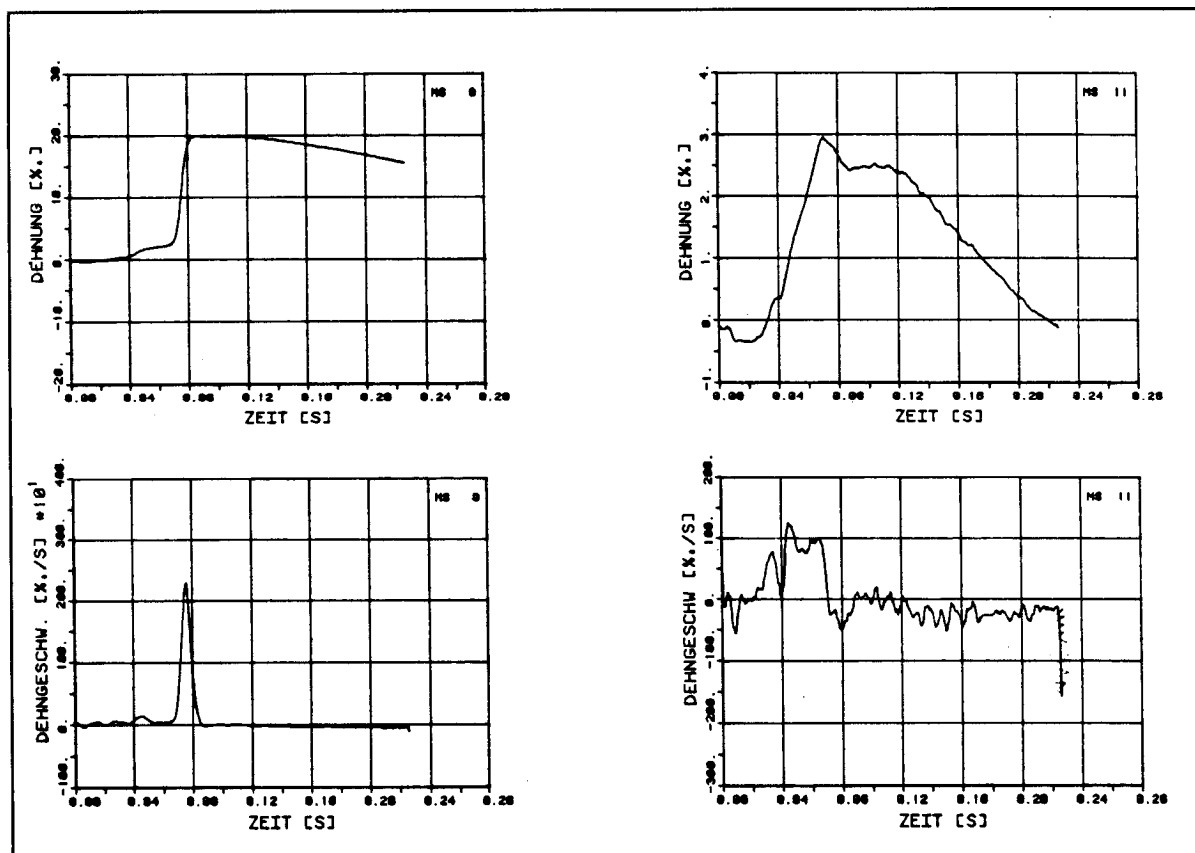


Bild B2.3-6: Zeitverläufe von Dehmesstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

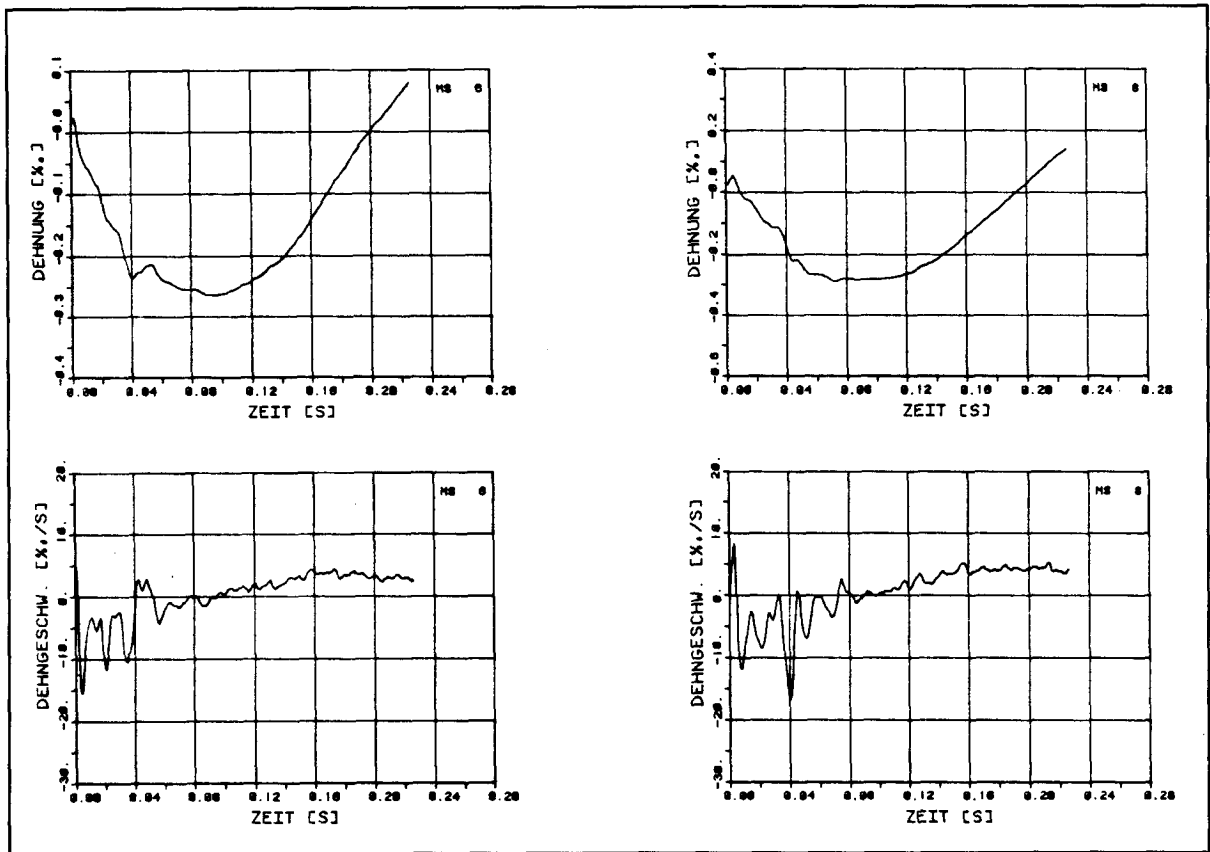
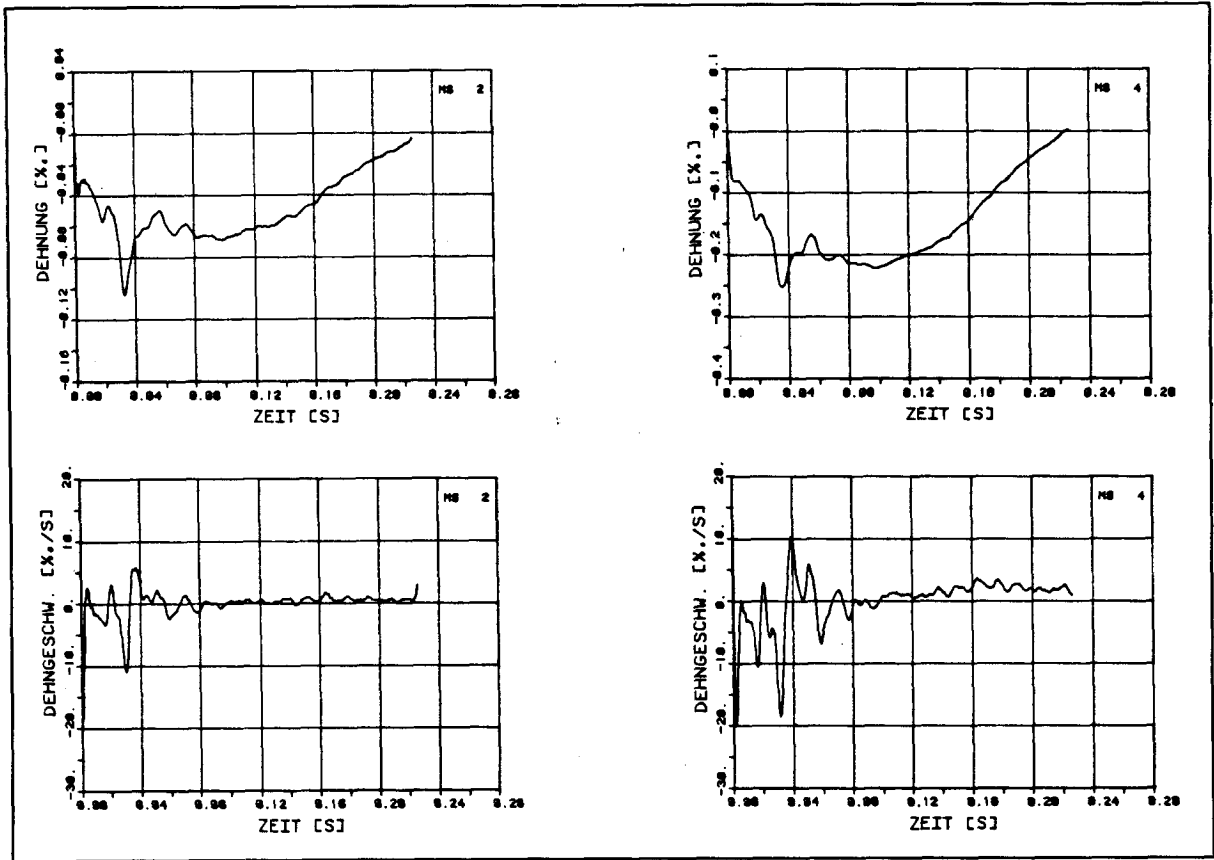


Bild B2.3-7: Zeitverläufe von Dehnmesstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

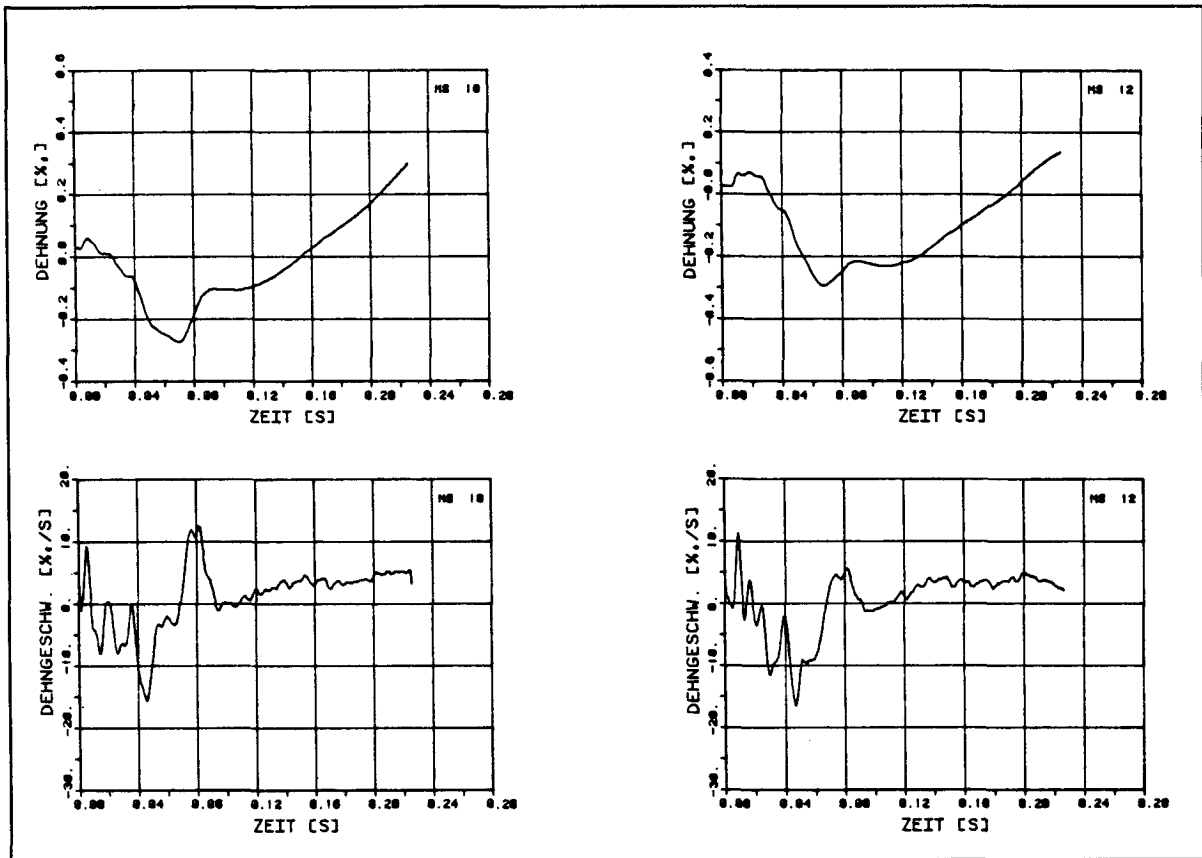


Bild B2.3-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

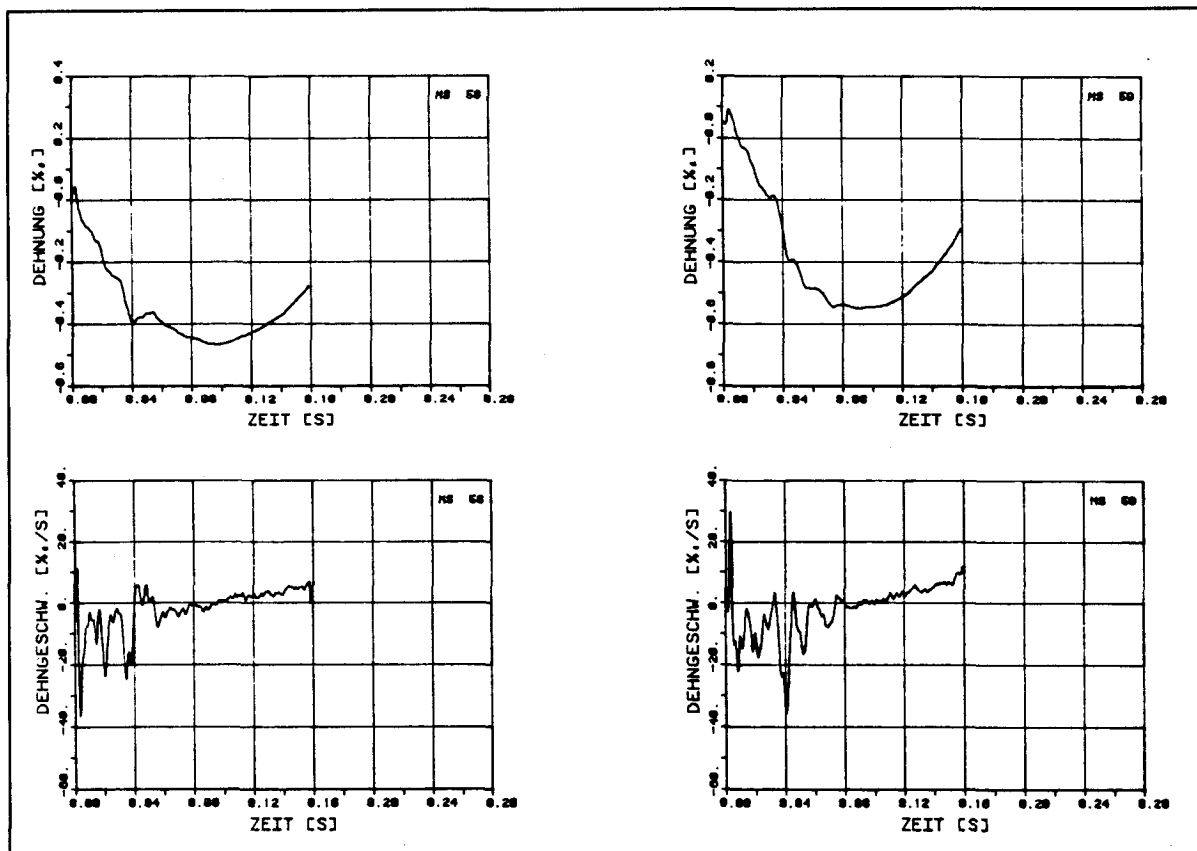


Bild B2.3-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

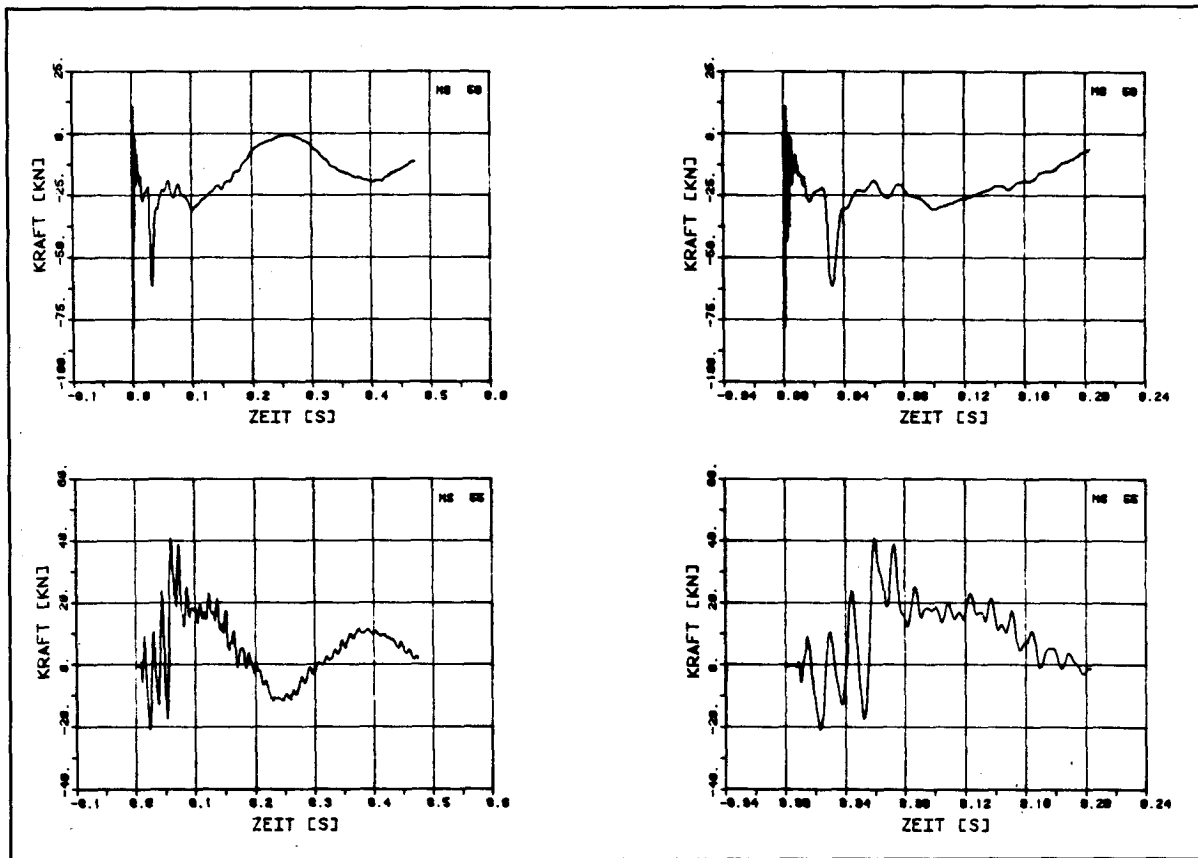


Bild B2.4-1: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

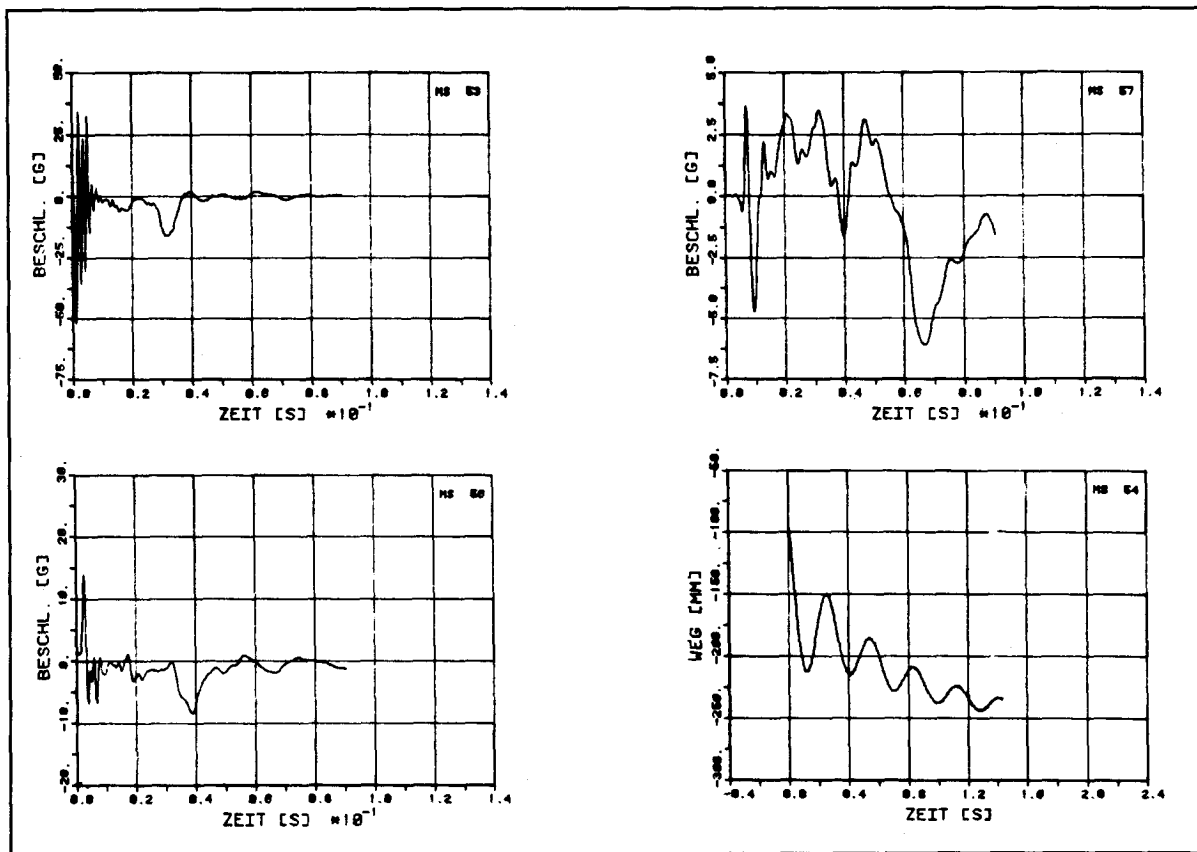


Bild B2.4-2: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel - Darstellungen und der Durchbiegung in Balkenmitte

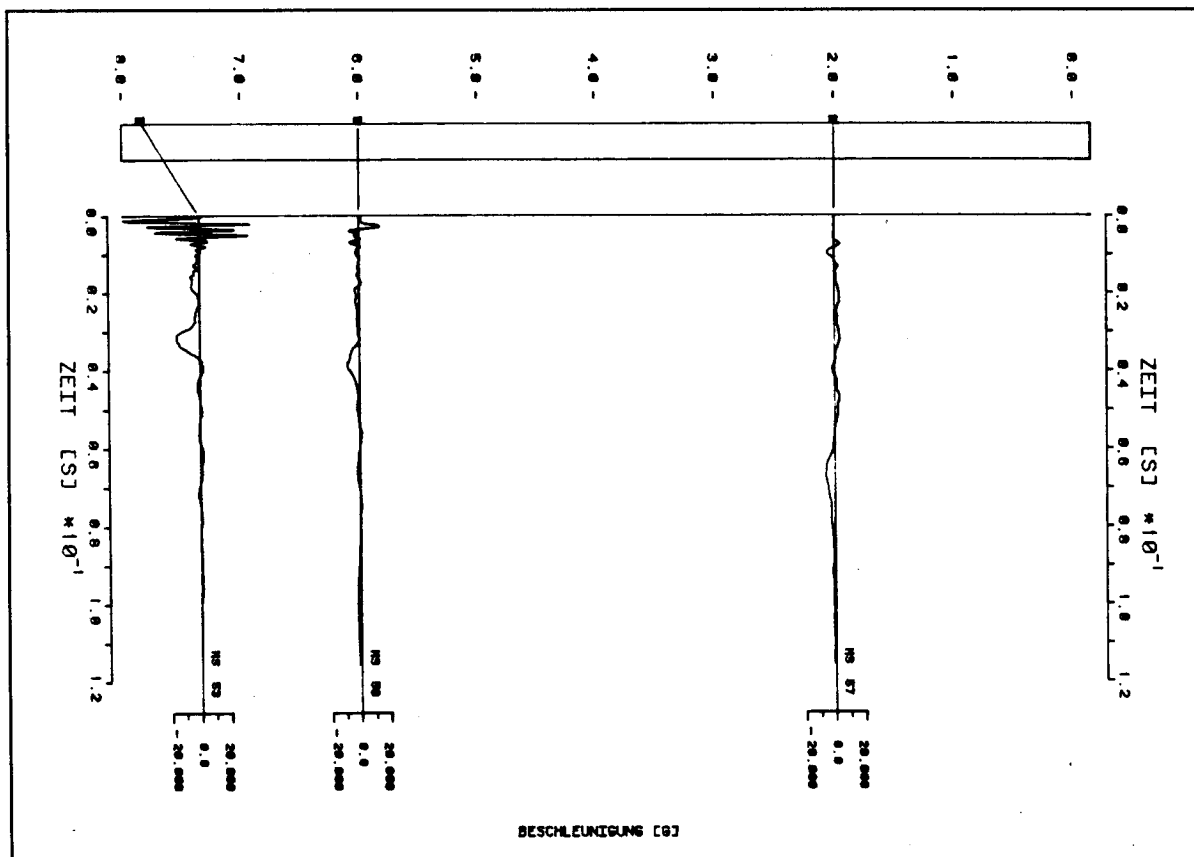


Bild B2.4-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

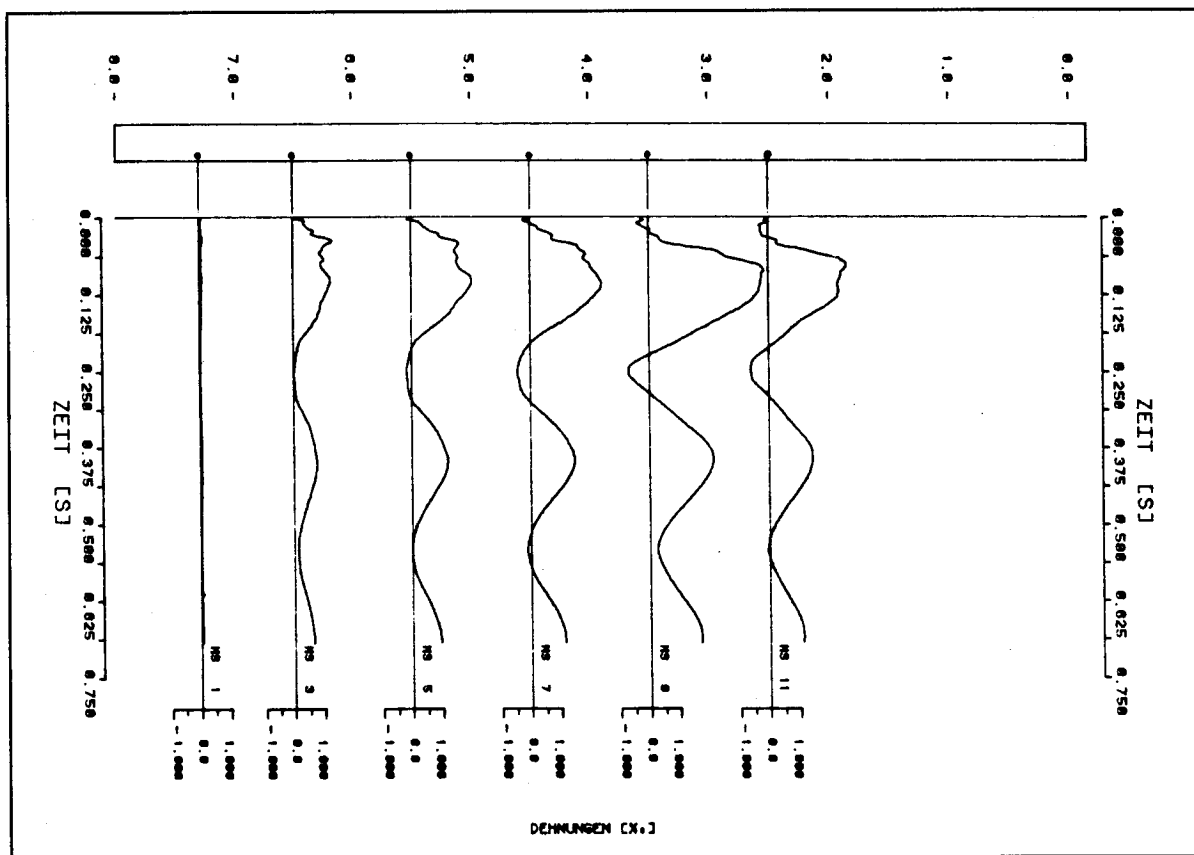


Bild B2.4-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

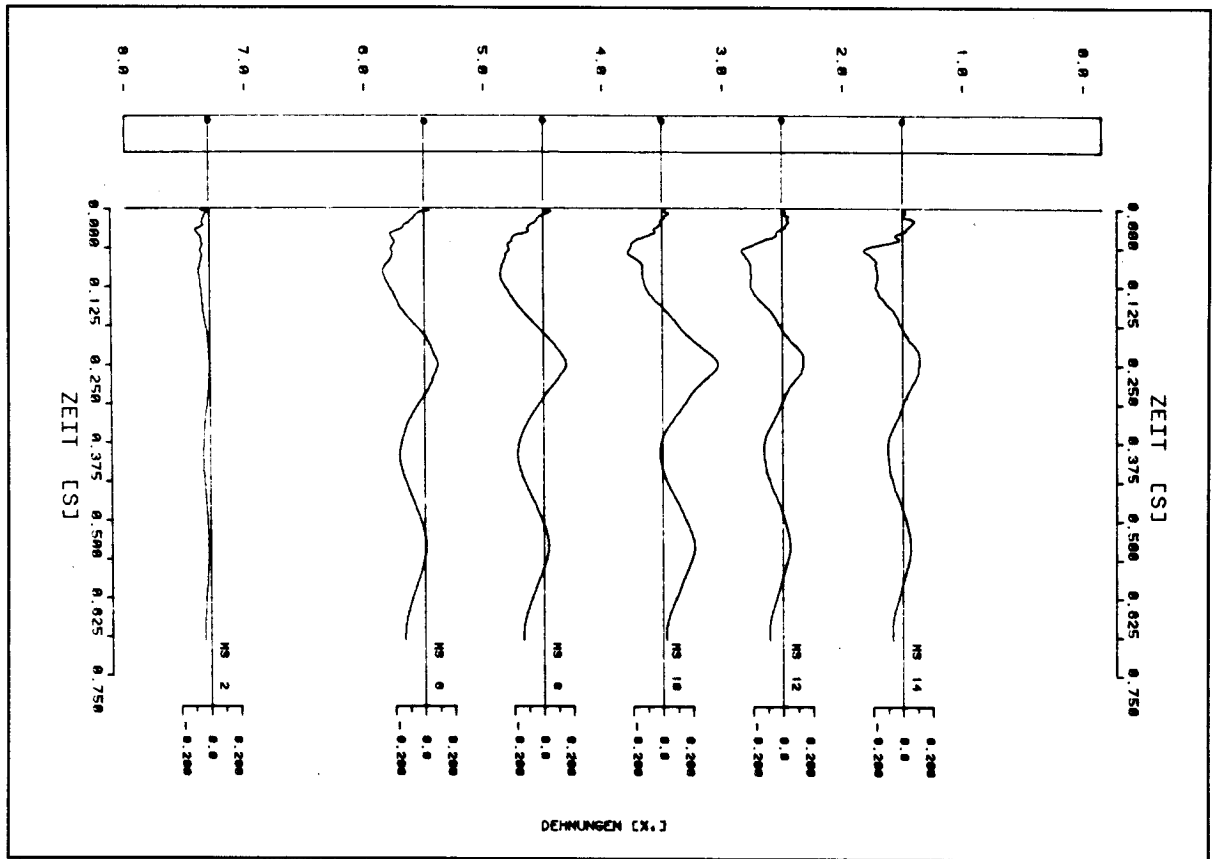


Bild B2.4-5: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

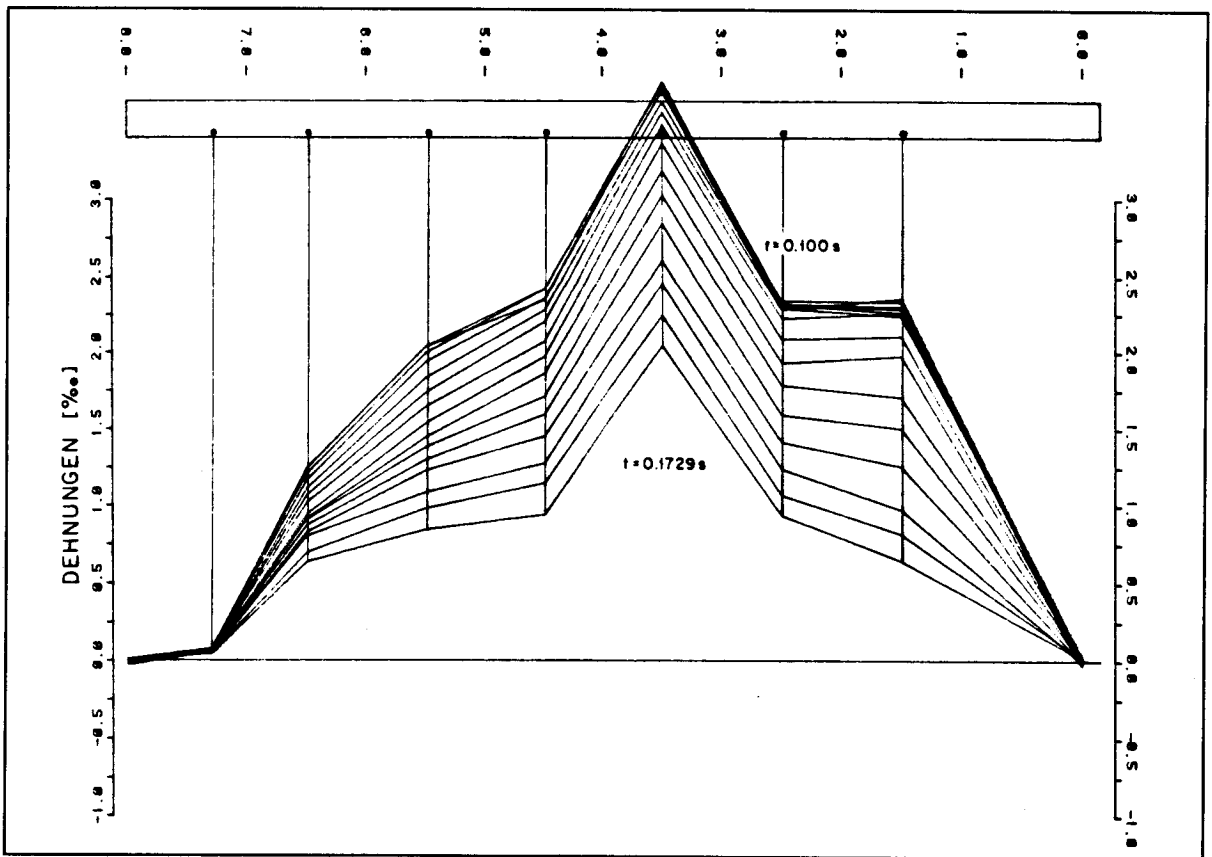


Bild B2.4-6: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten (  $\Delta t = 0,0052 \text{ sec}$  )

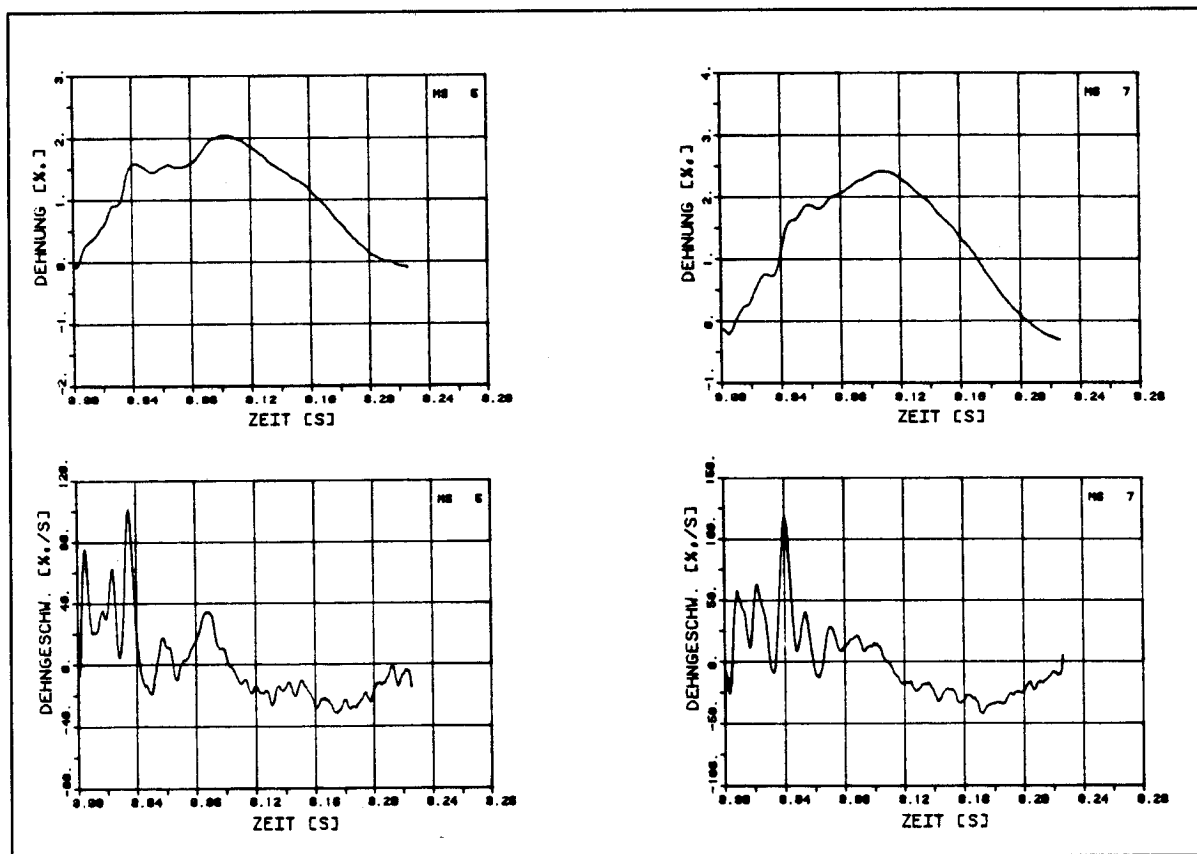
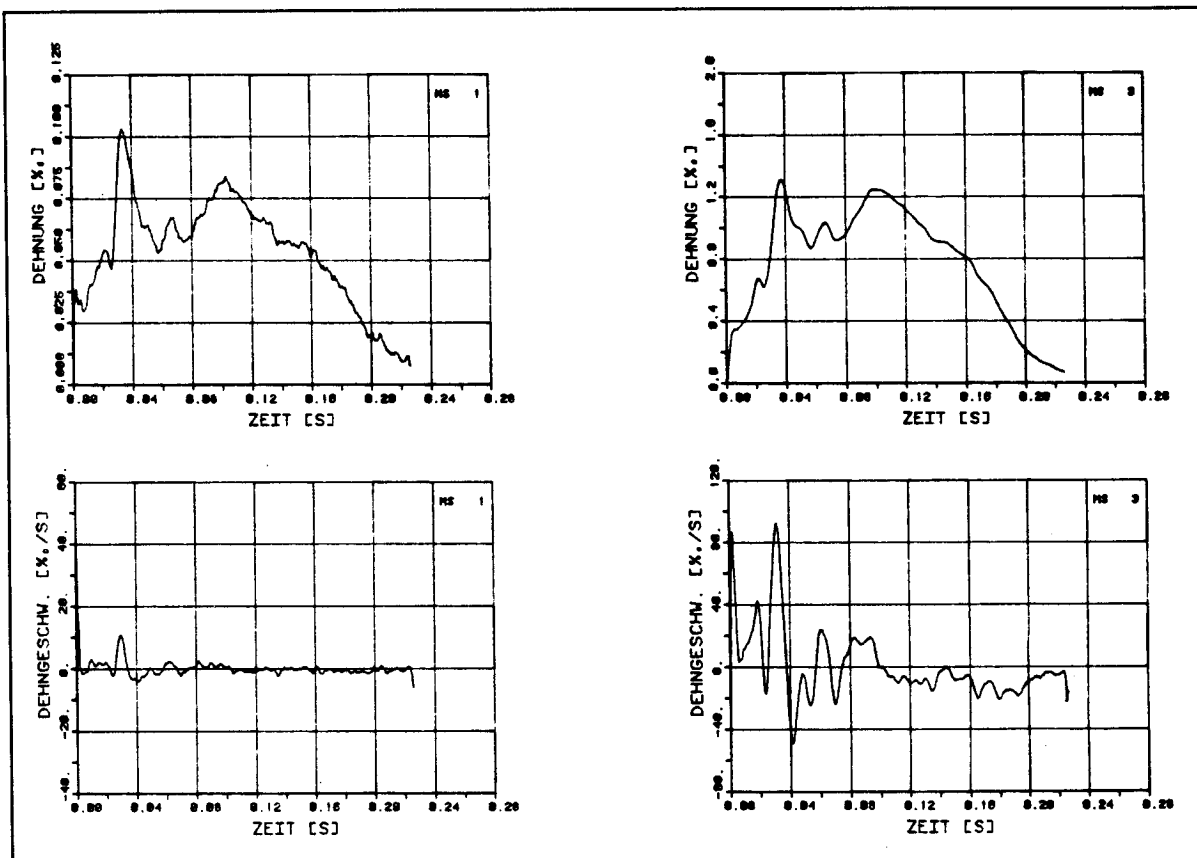


Bild B2.4-7: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



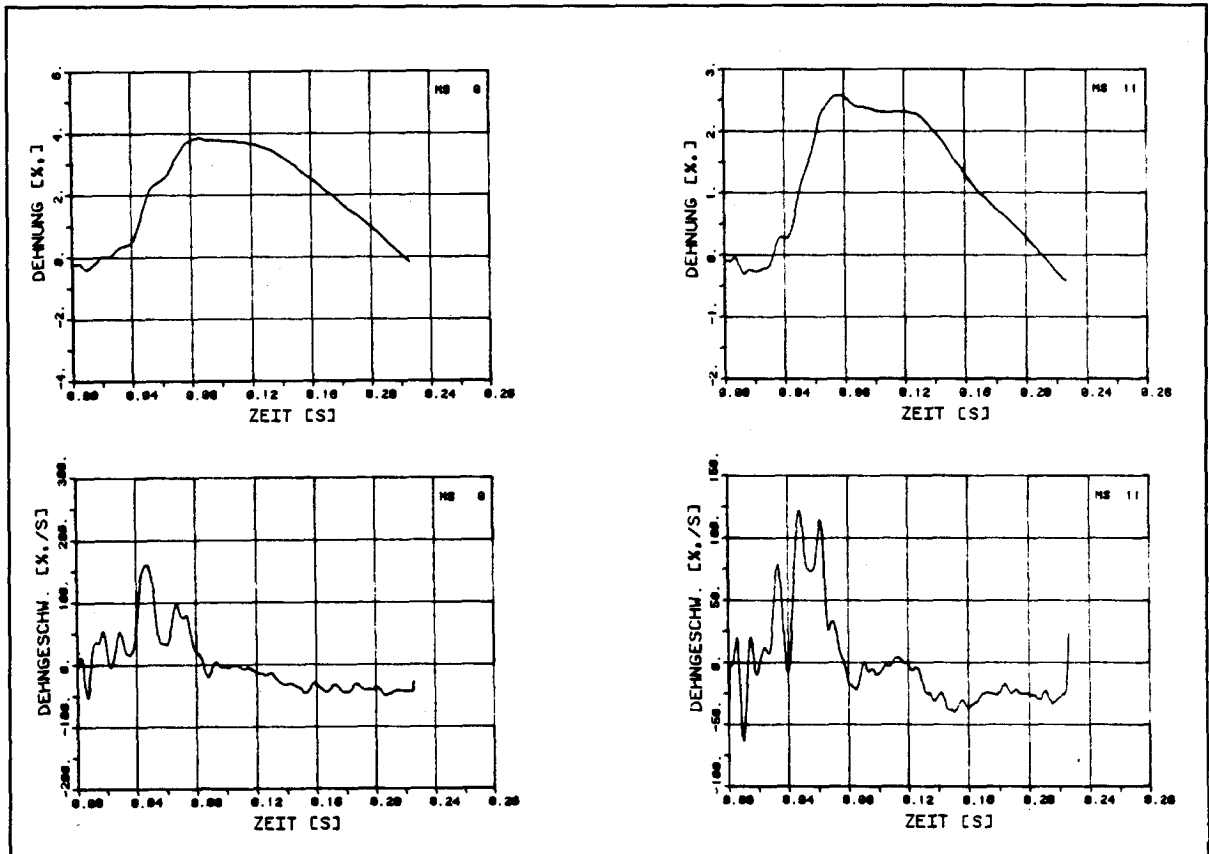


Bild B2.4-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

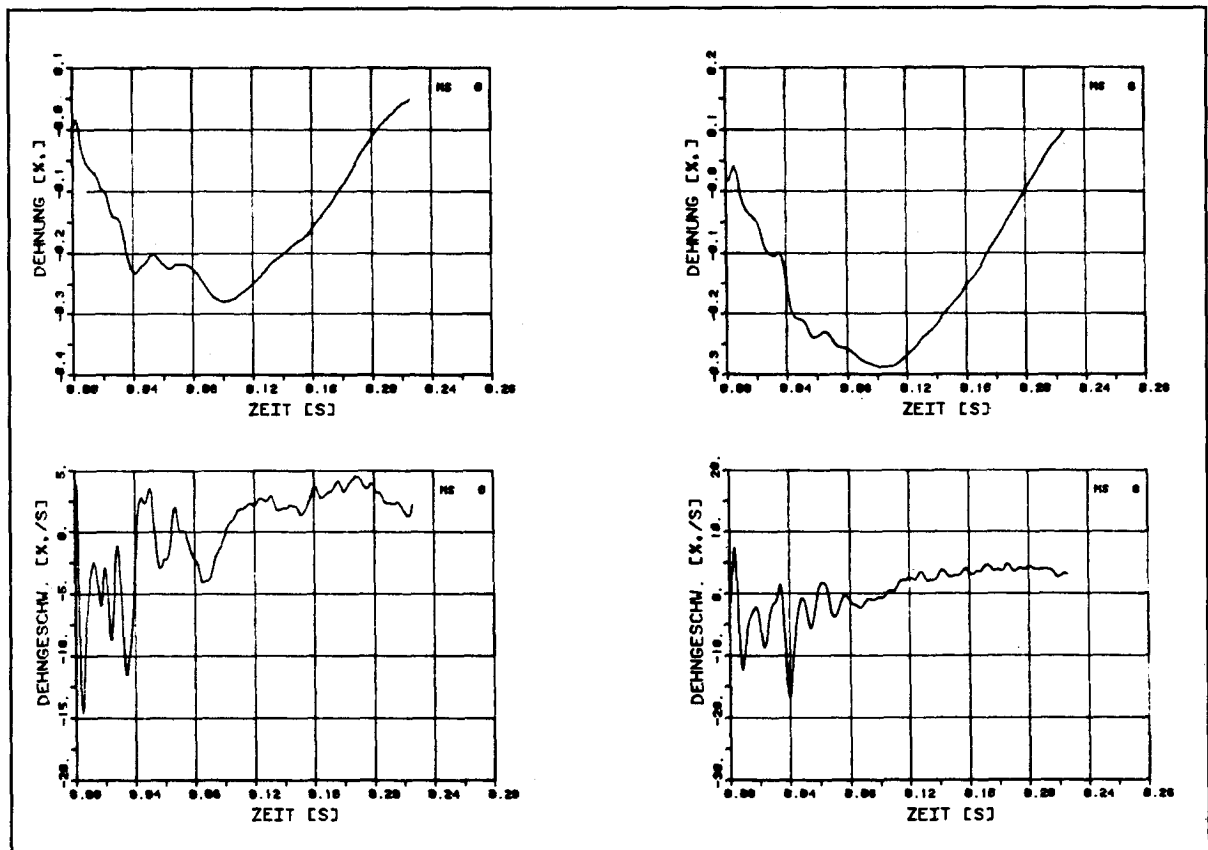


Bild B2.4-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

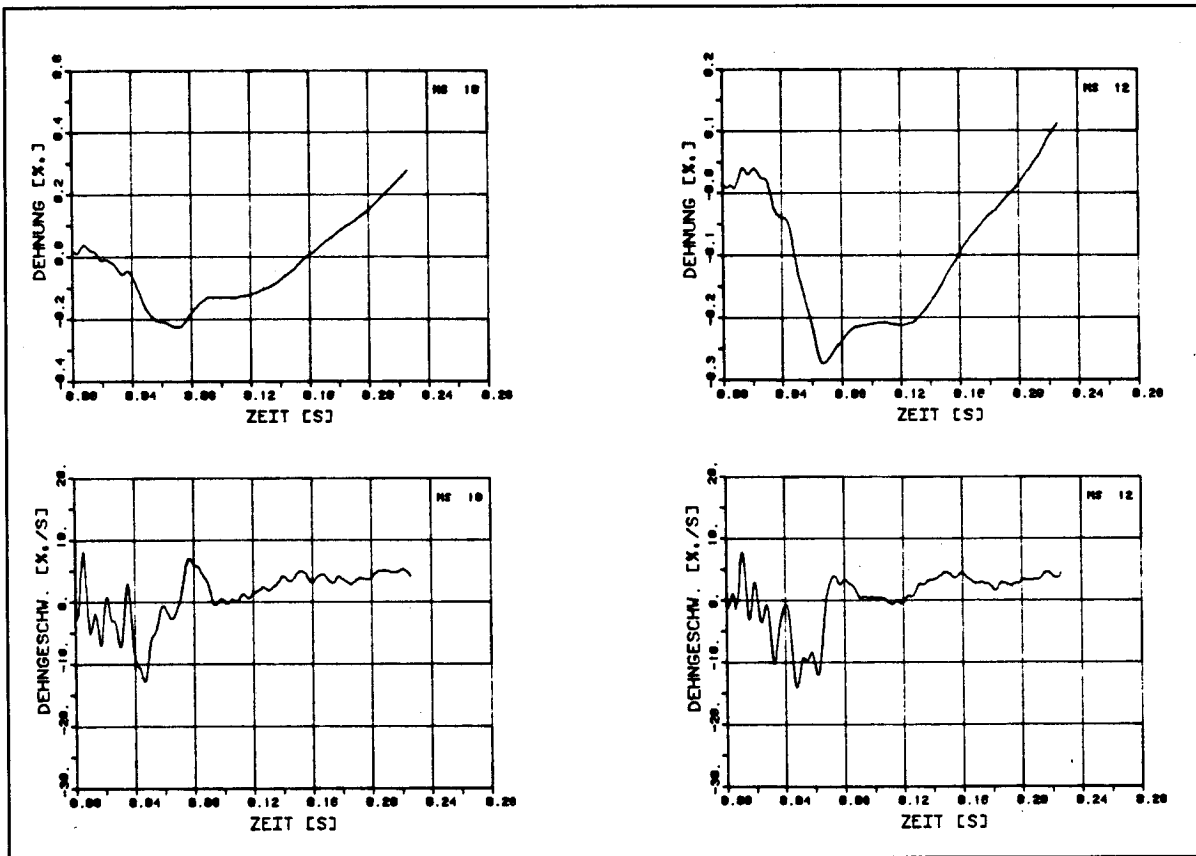


Bild B2.4-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehnungsgeschwindigkeiten

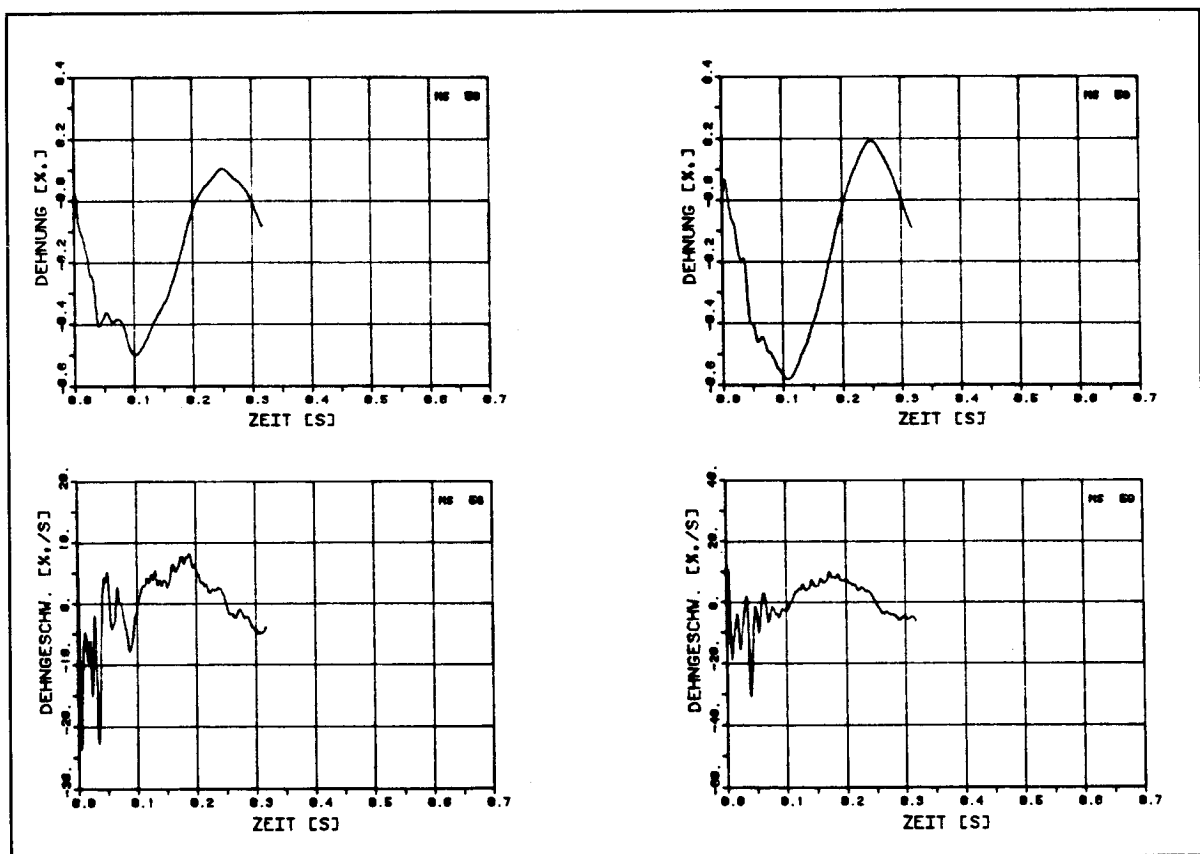


Bild B2.4-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehnungsgeschwindigkeiten

VERSUCH B2.5

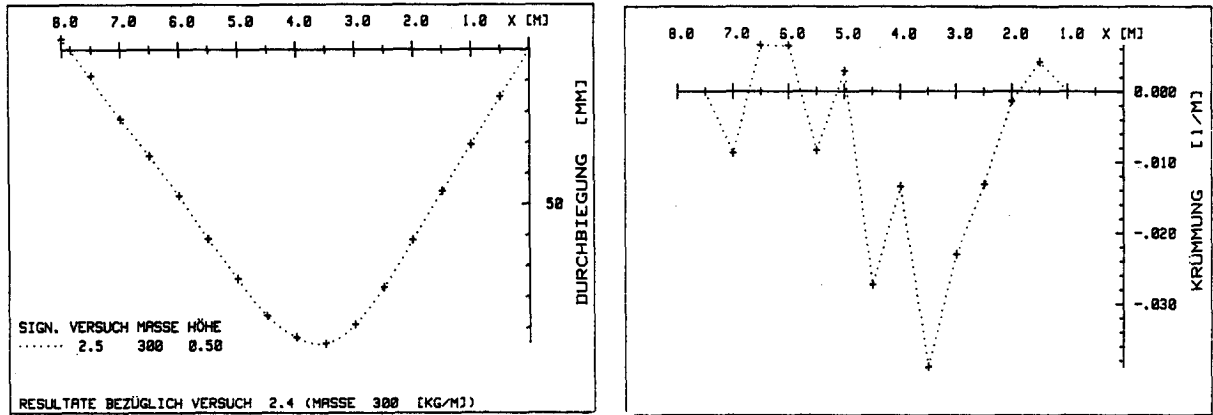


Bild B2.5-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B2.5

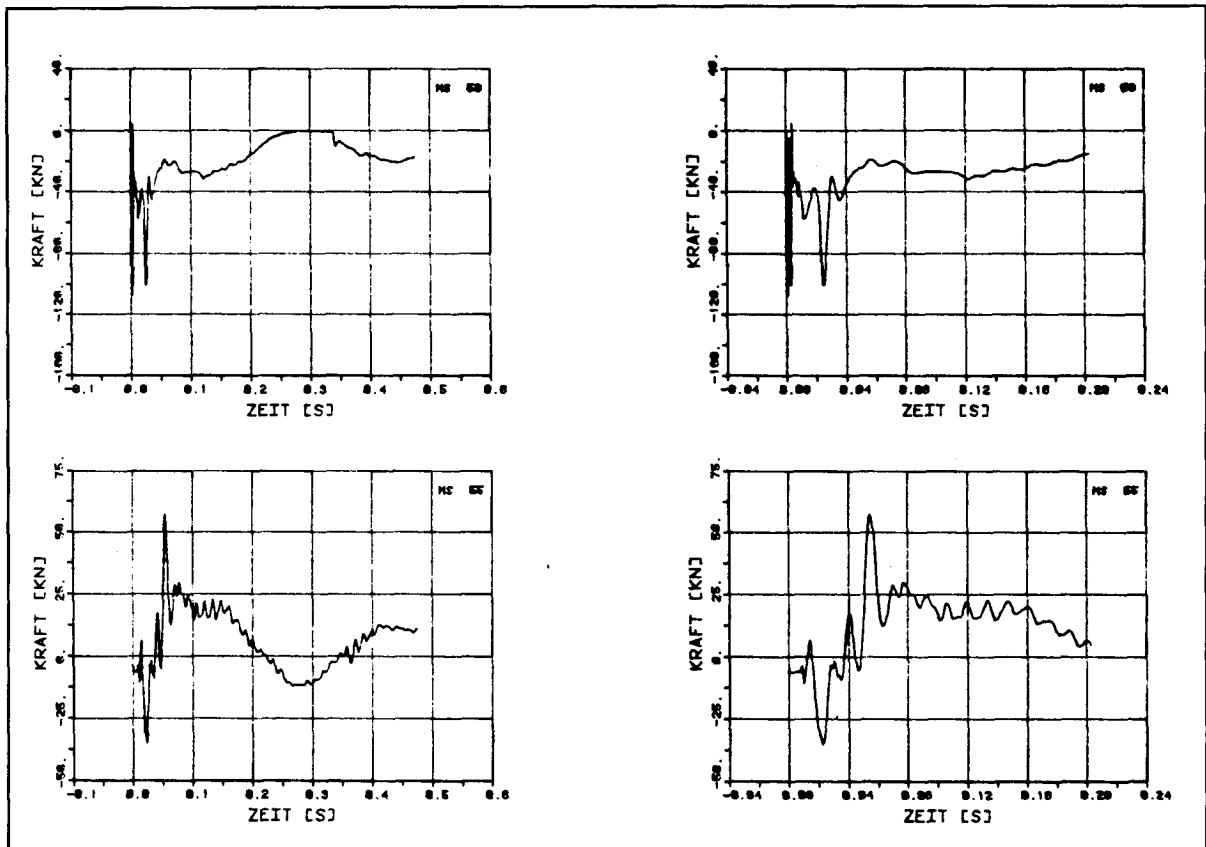


Bild B2.5-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

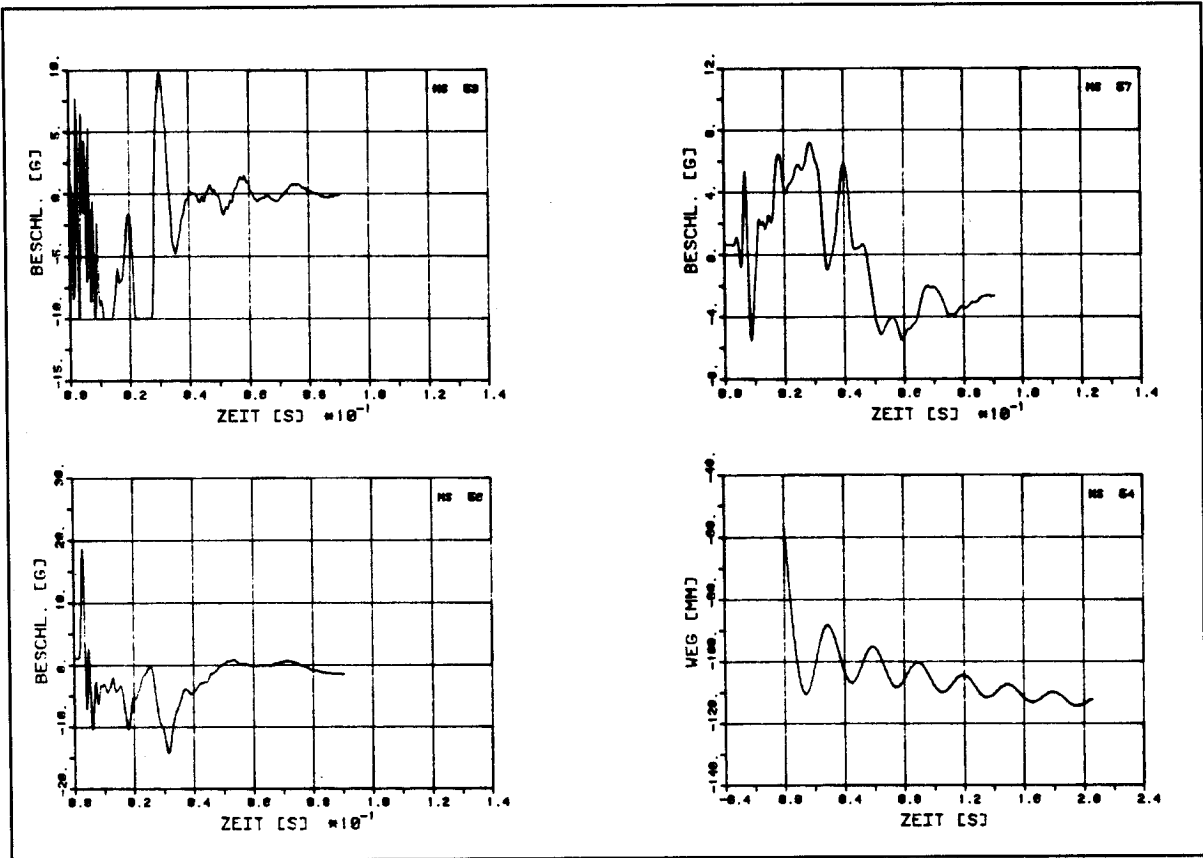


Bild B2.5-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel - Darstellungen und der Durchbiegung in Balkenmitte

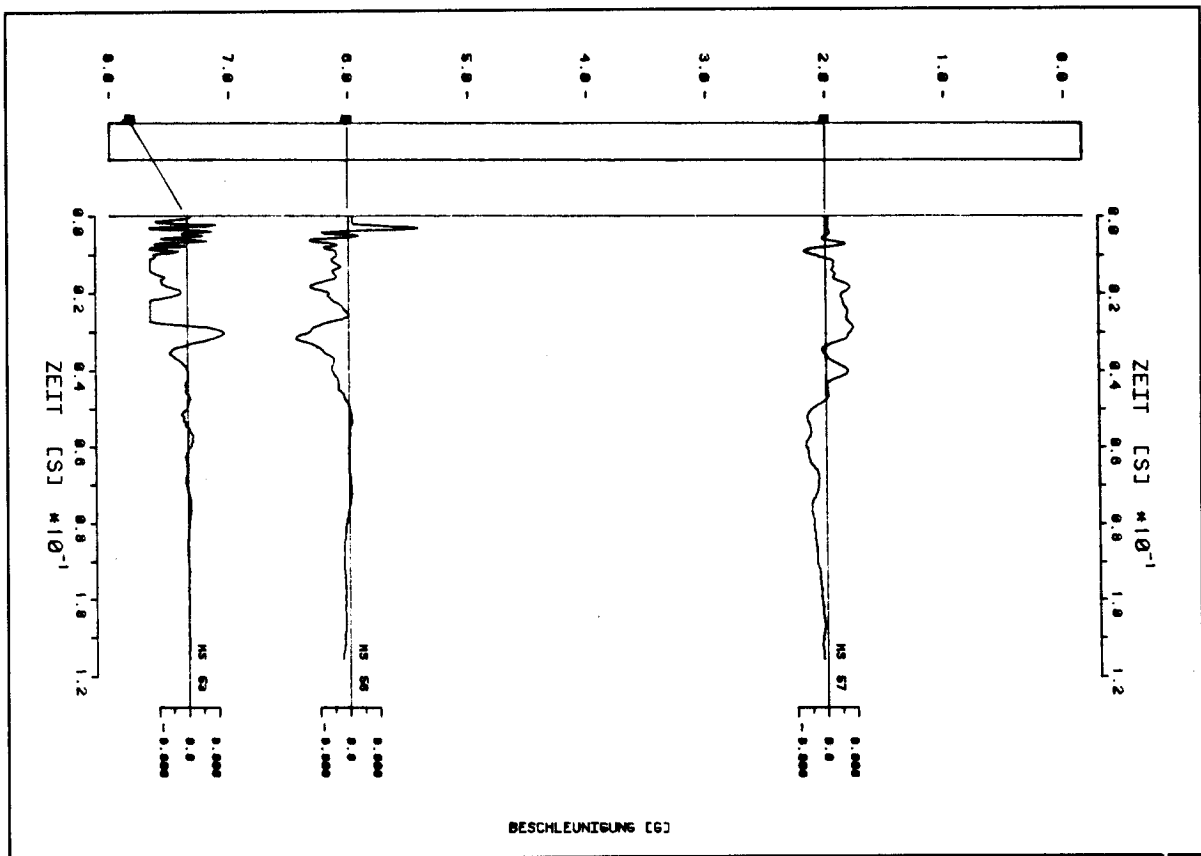


Bild B2.5-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

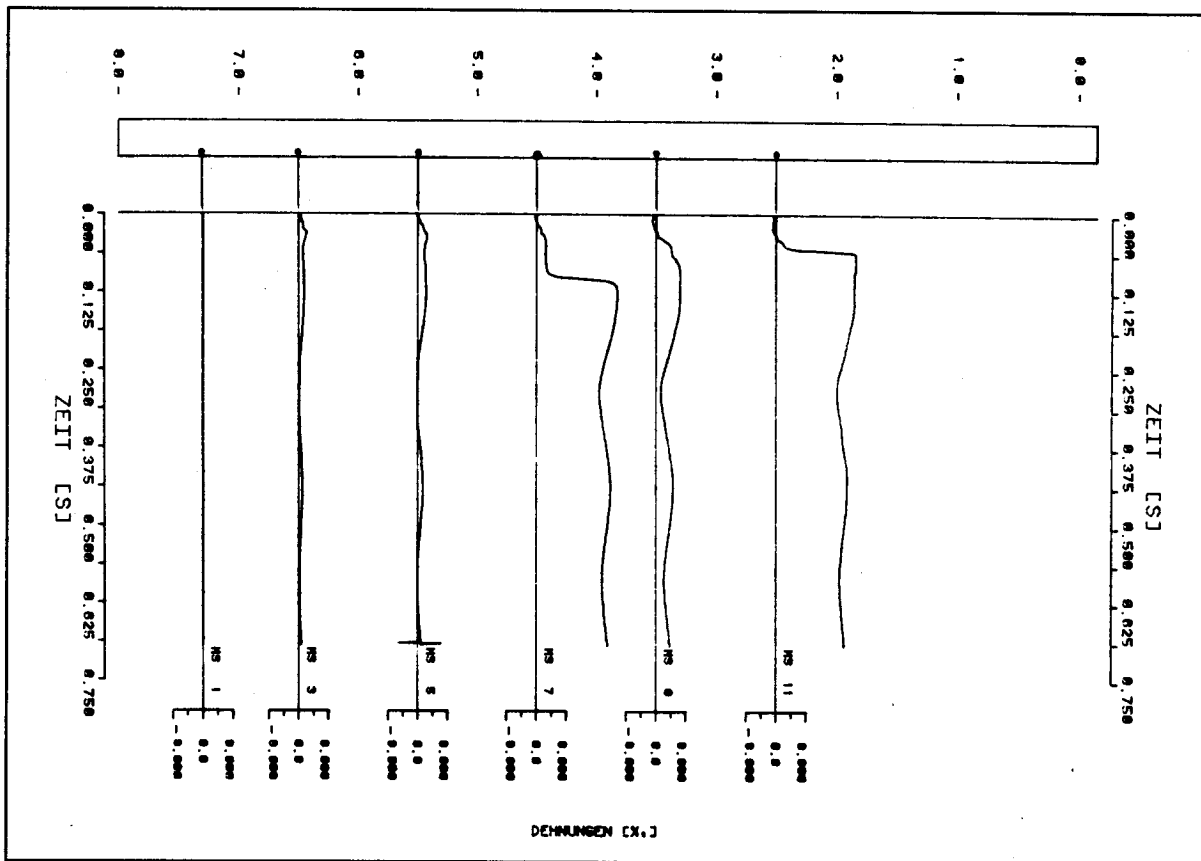


Bild B2.5-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

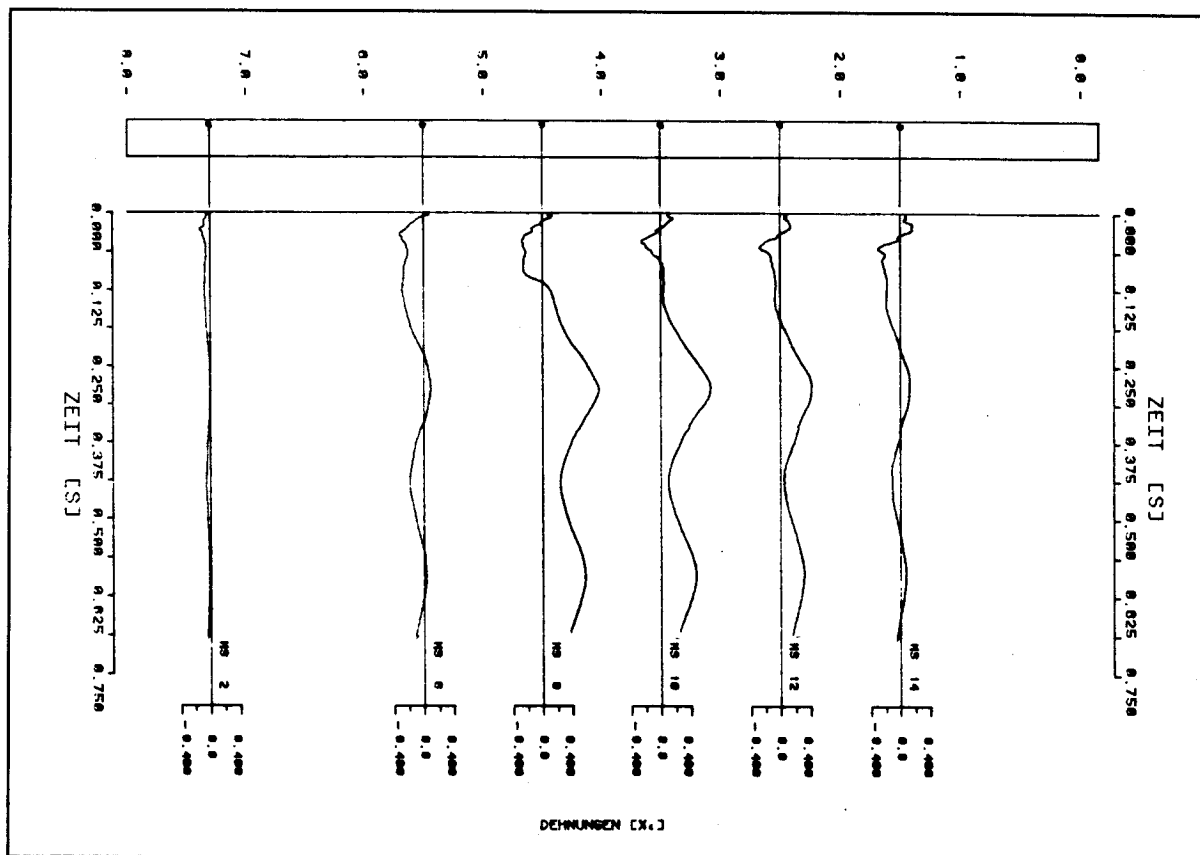


Bild B2.5-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

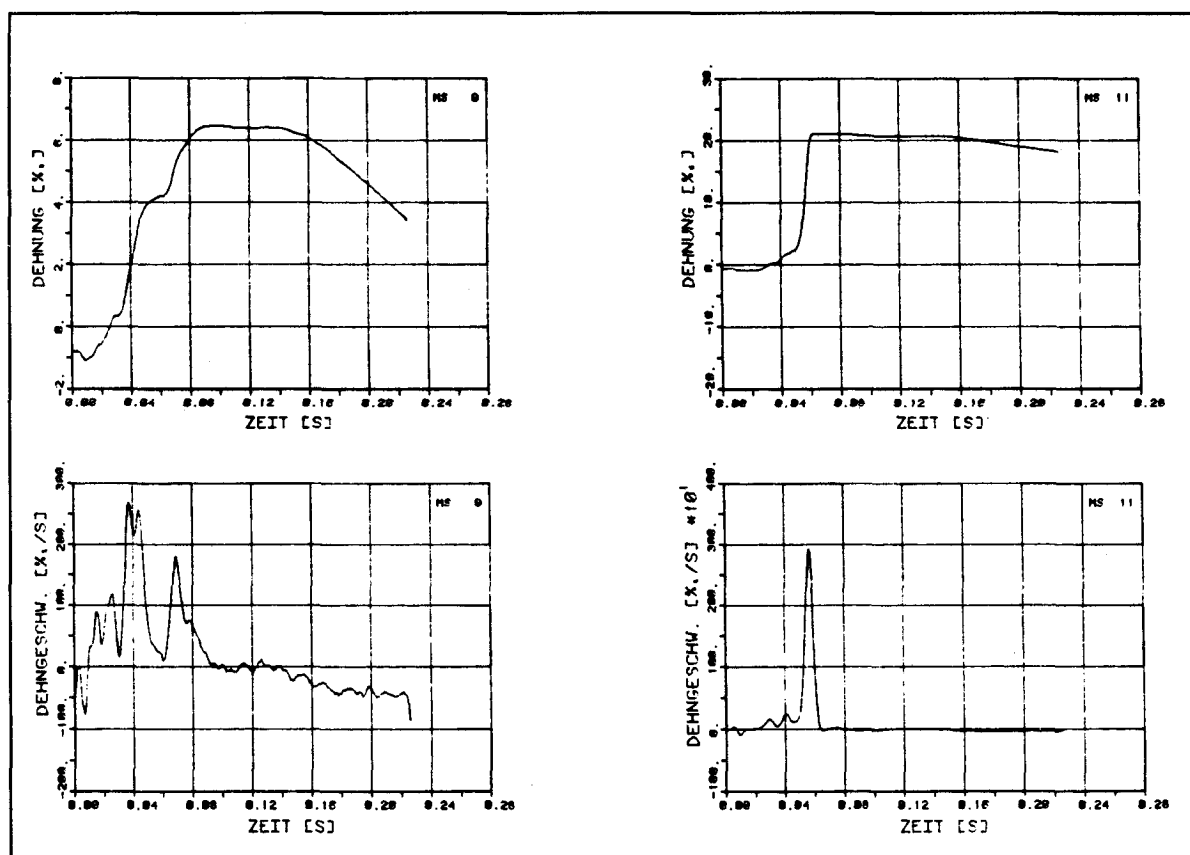
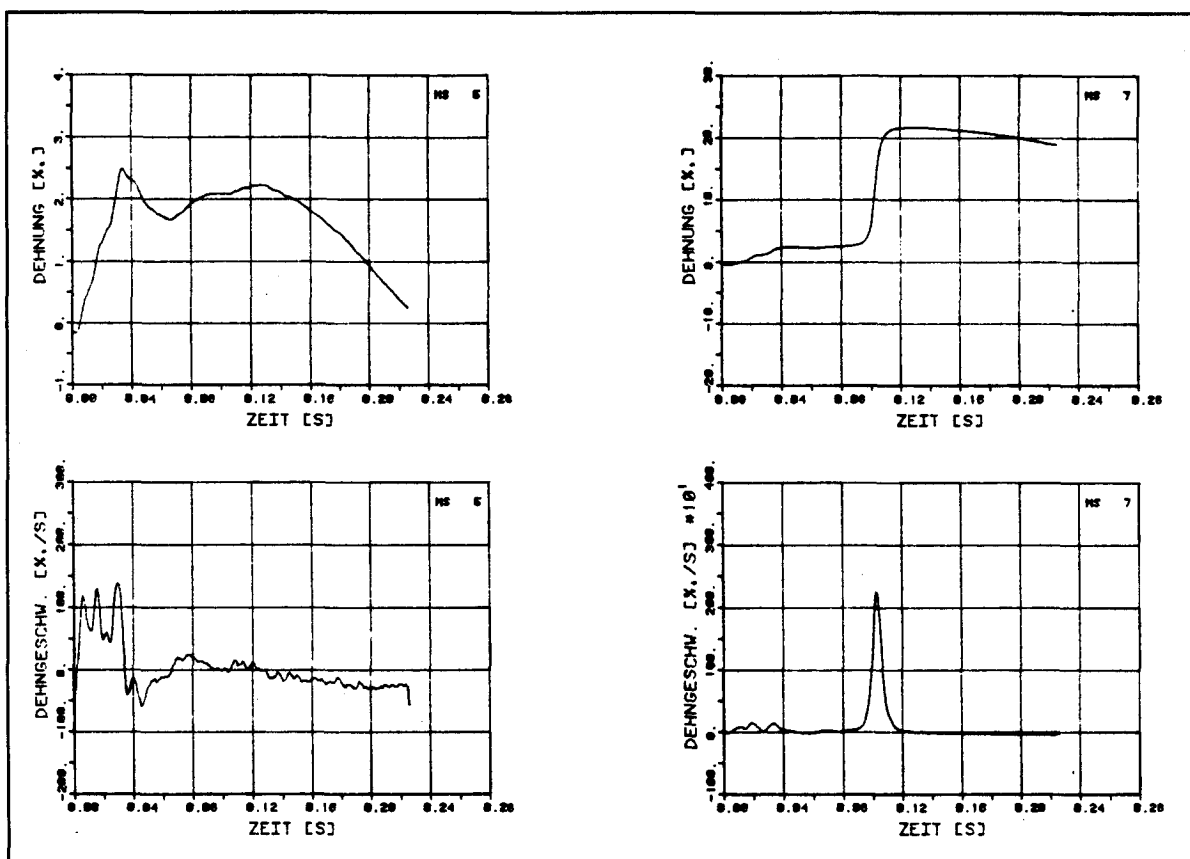


Bild B2.5-7: Zeitverläufe von Dehmesstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

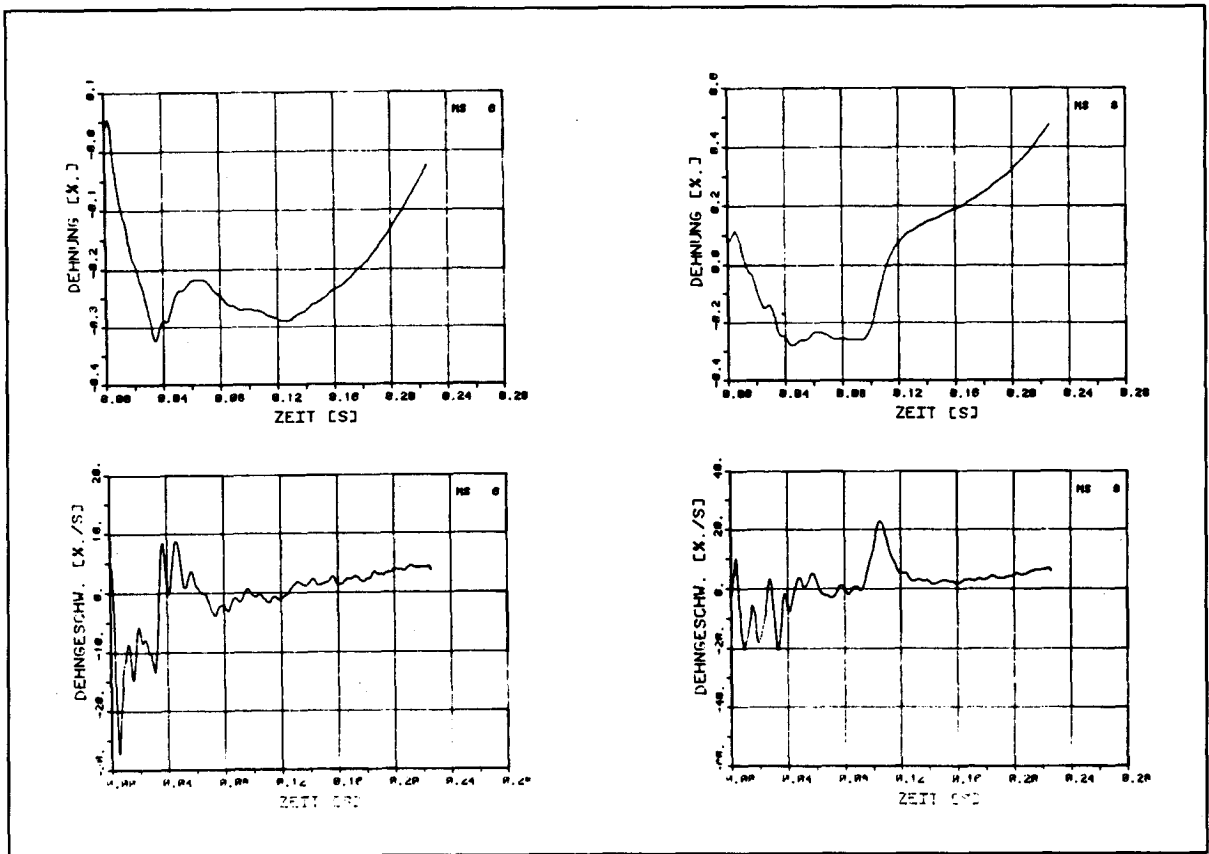
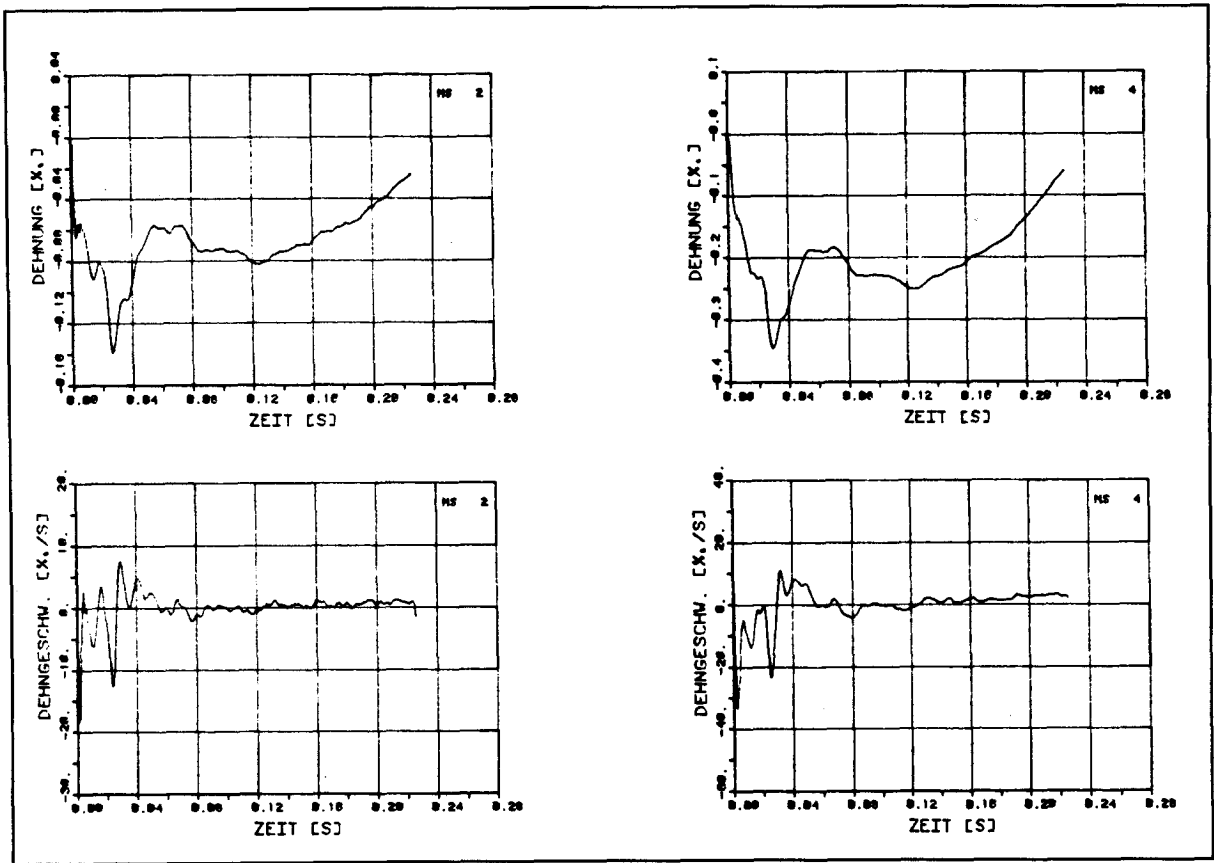


Bild B2.5-8: Zeitverläufe von Dehnmesstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

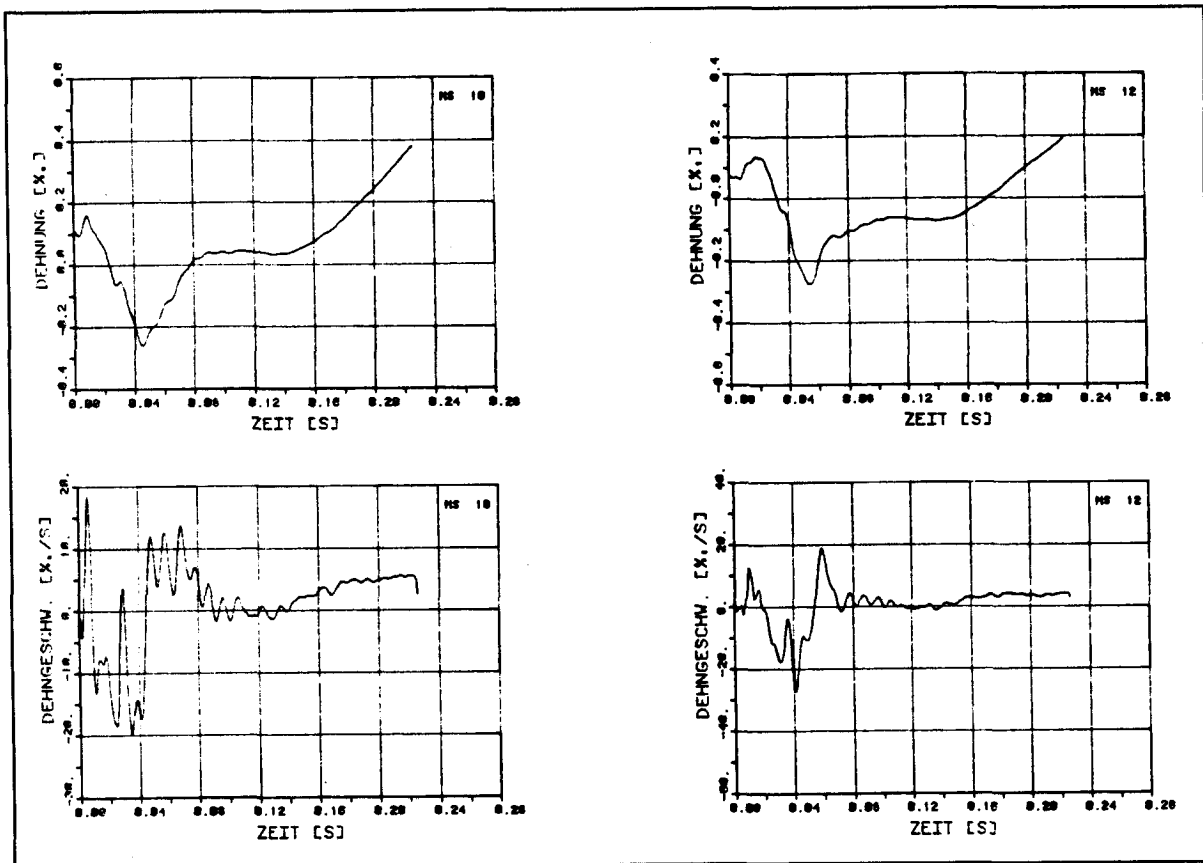


Bild B2.5-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

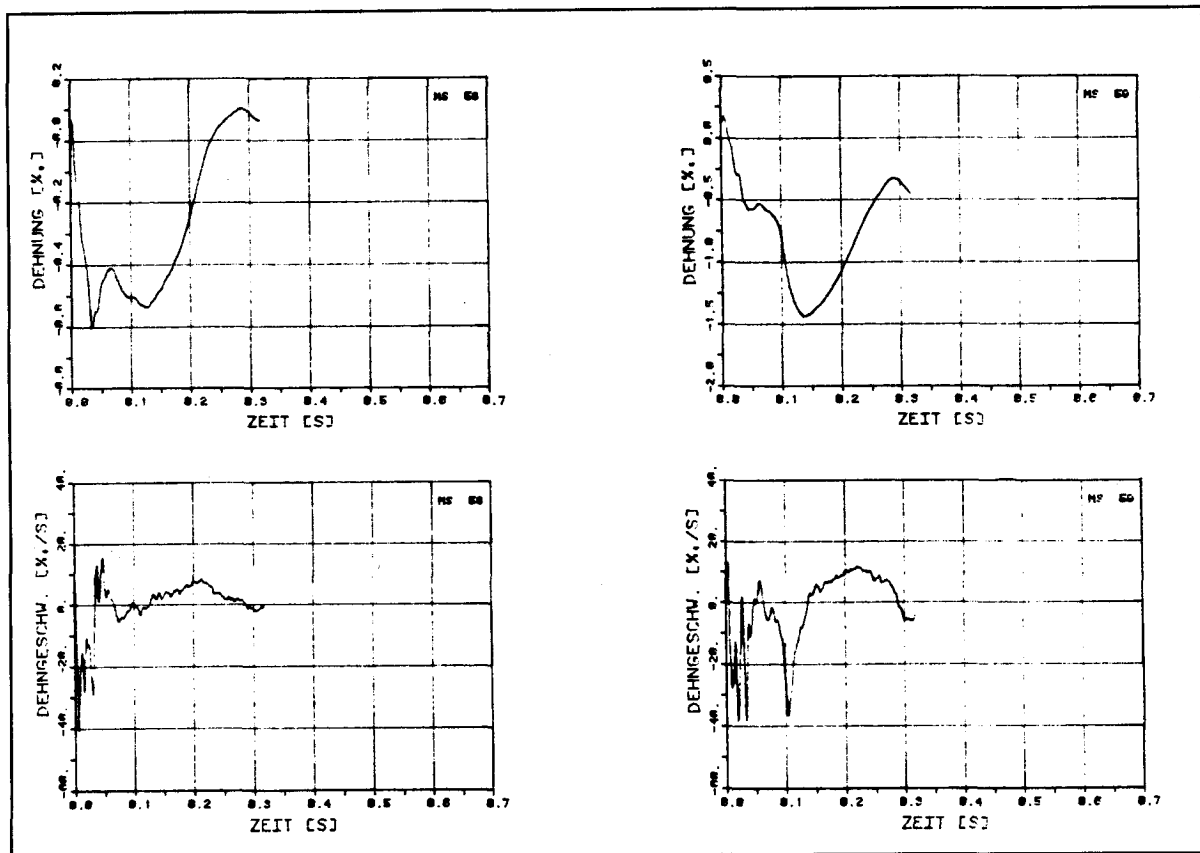


Bild B2.5-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



VERSUCH B2.6

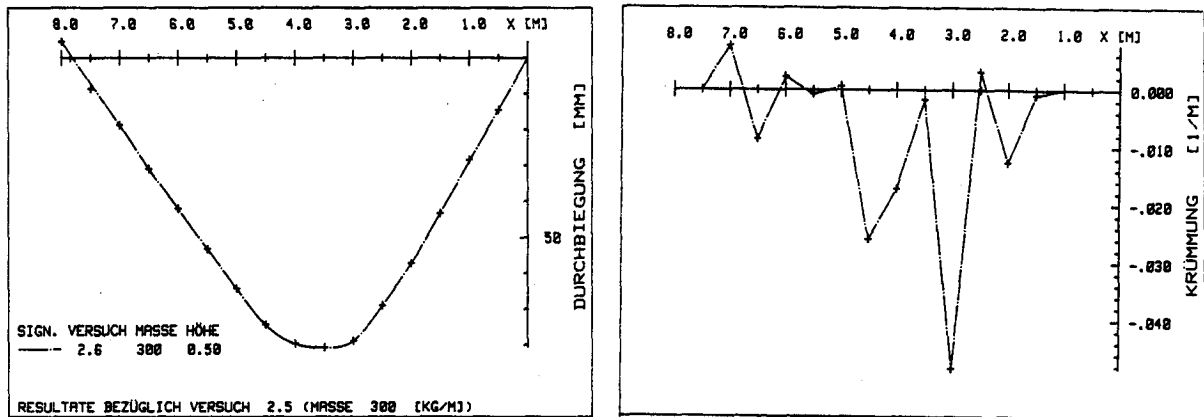


Bild B2.6-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B2.6

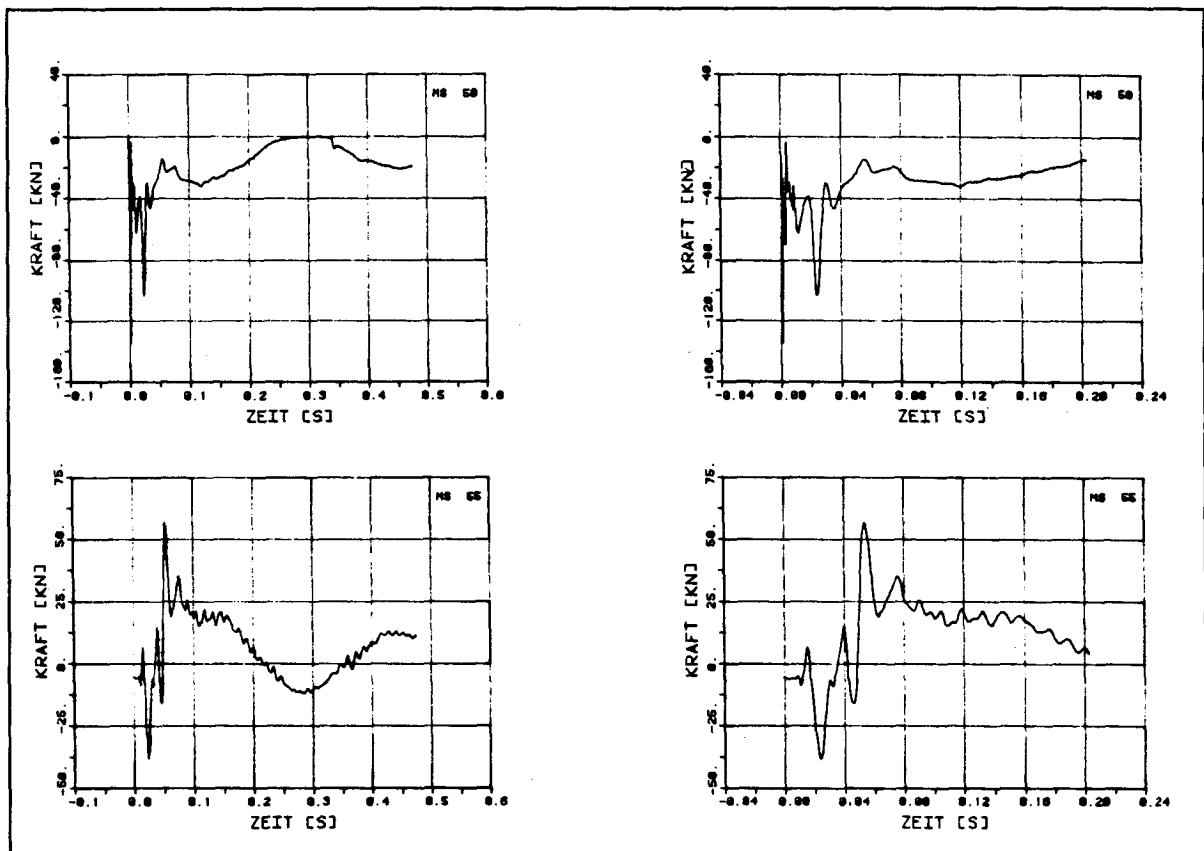


Bild B2.6-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

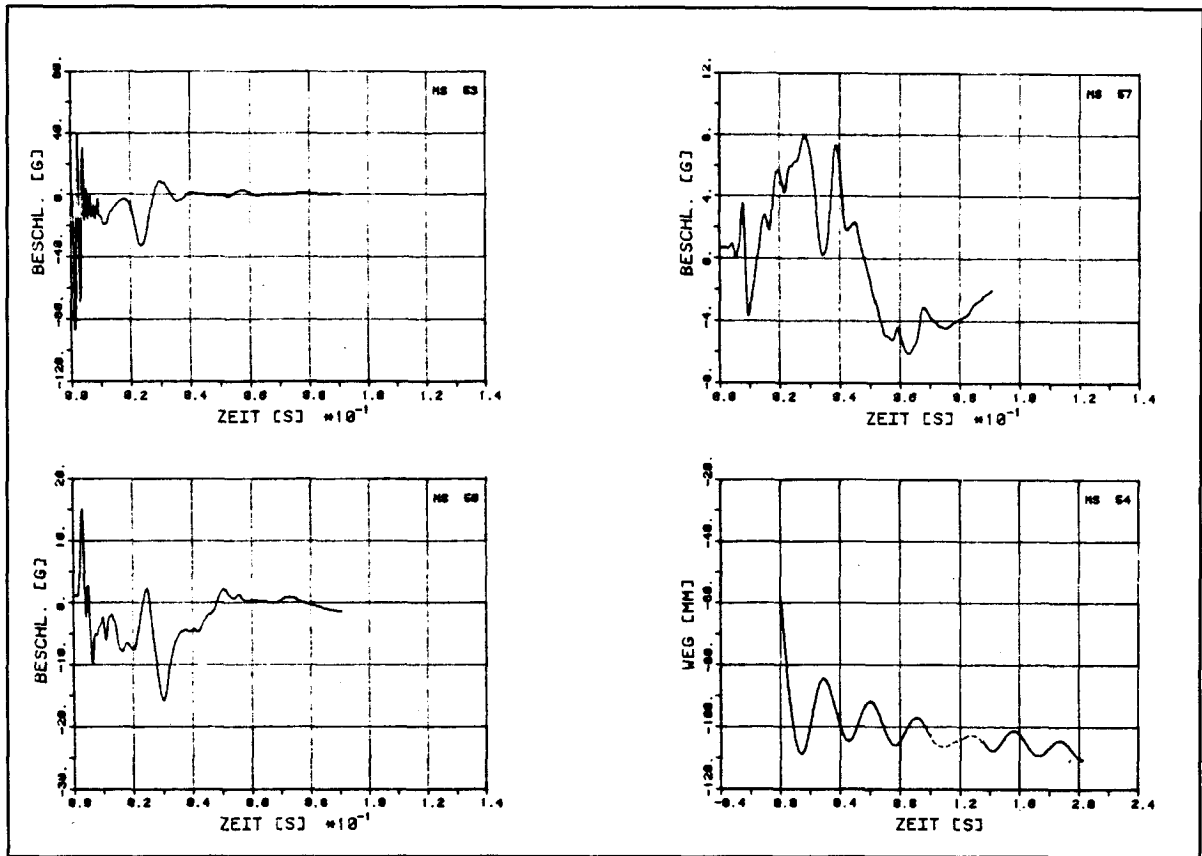


Bild B2.6-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel - Darstellungen und der Durchbiegung in Balkenmitte

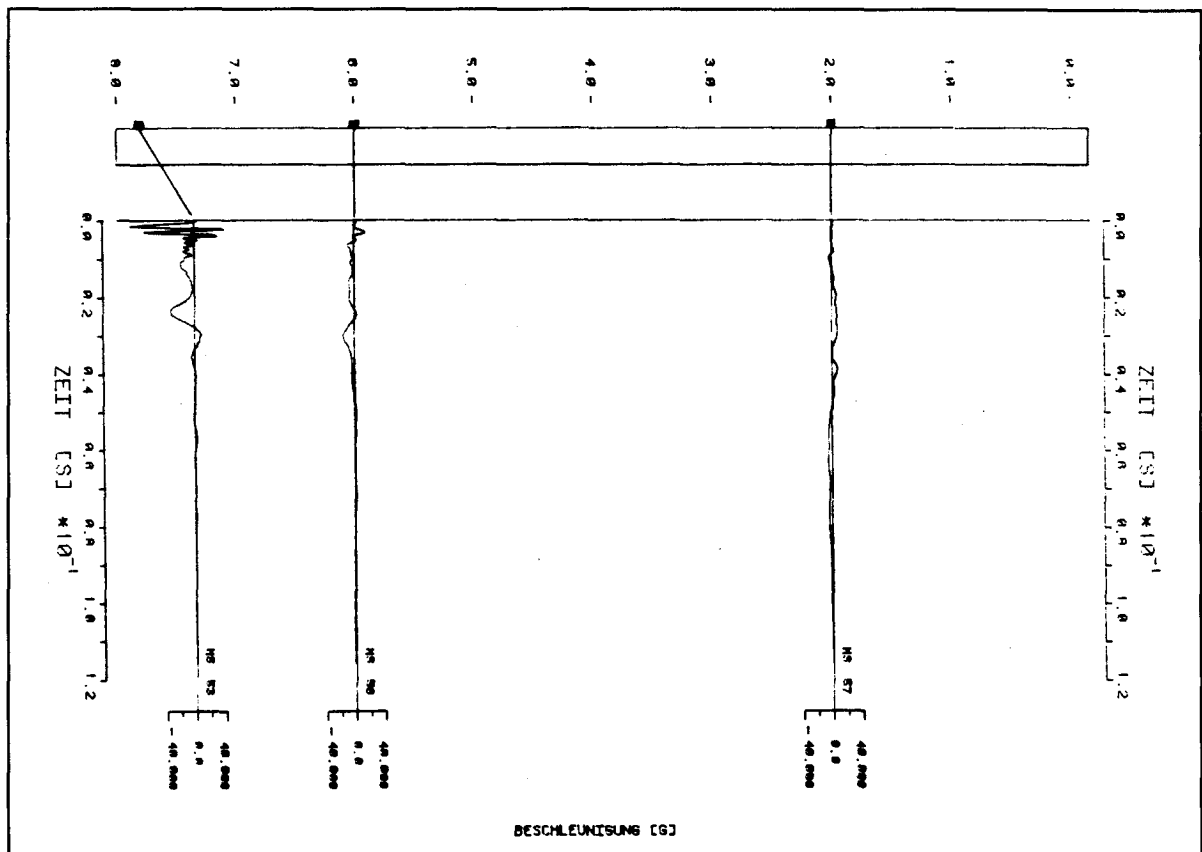


Bild B2.6-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

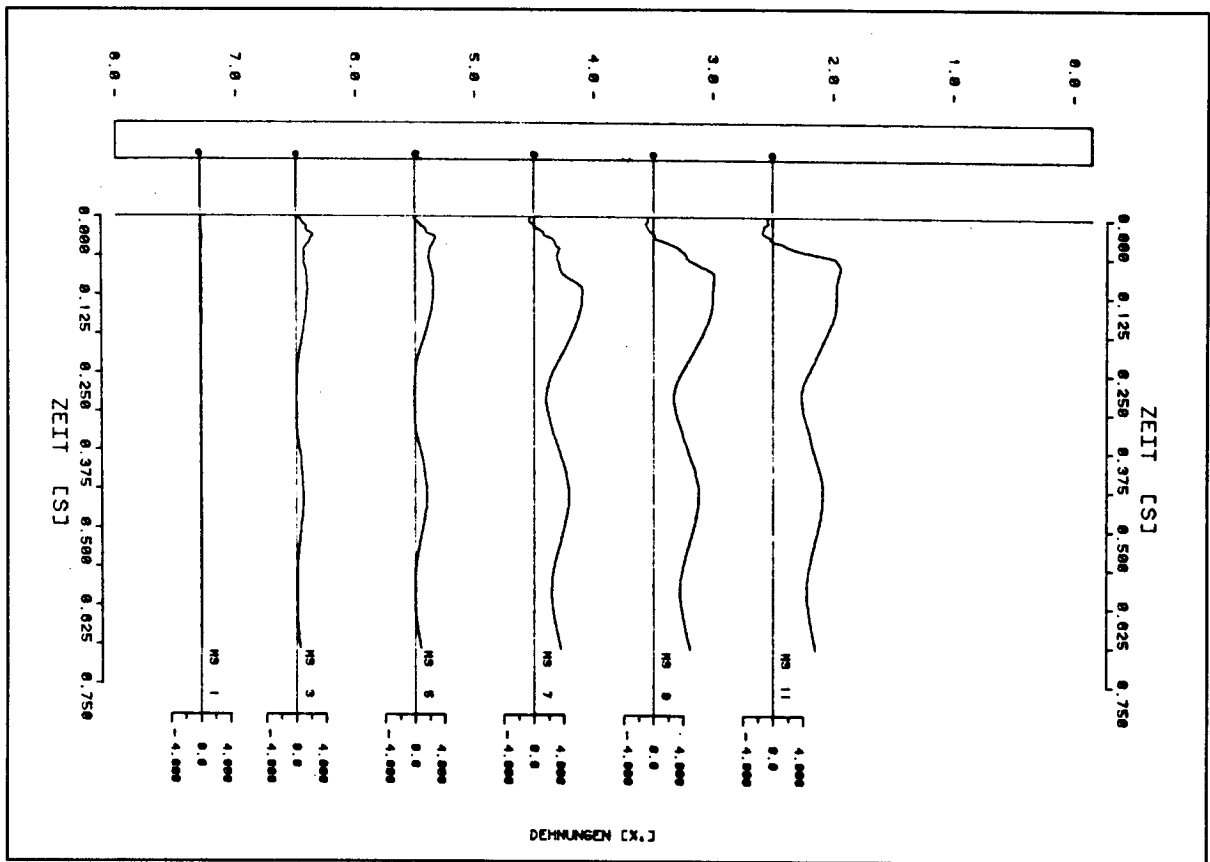


Bild B2.6-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

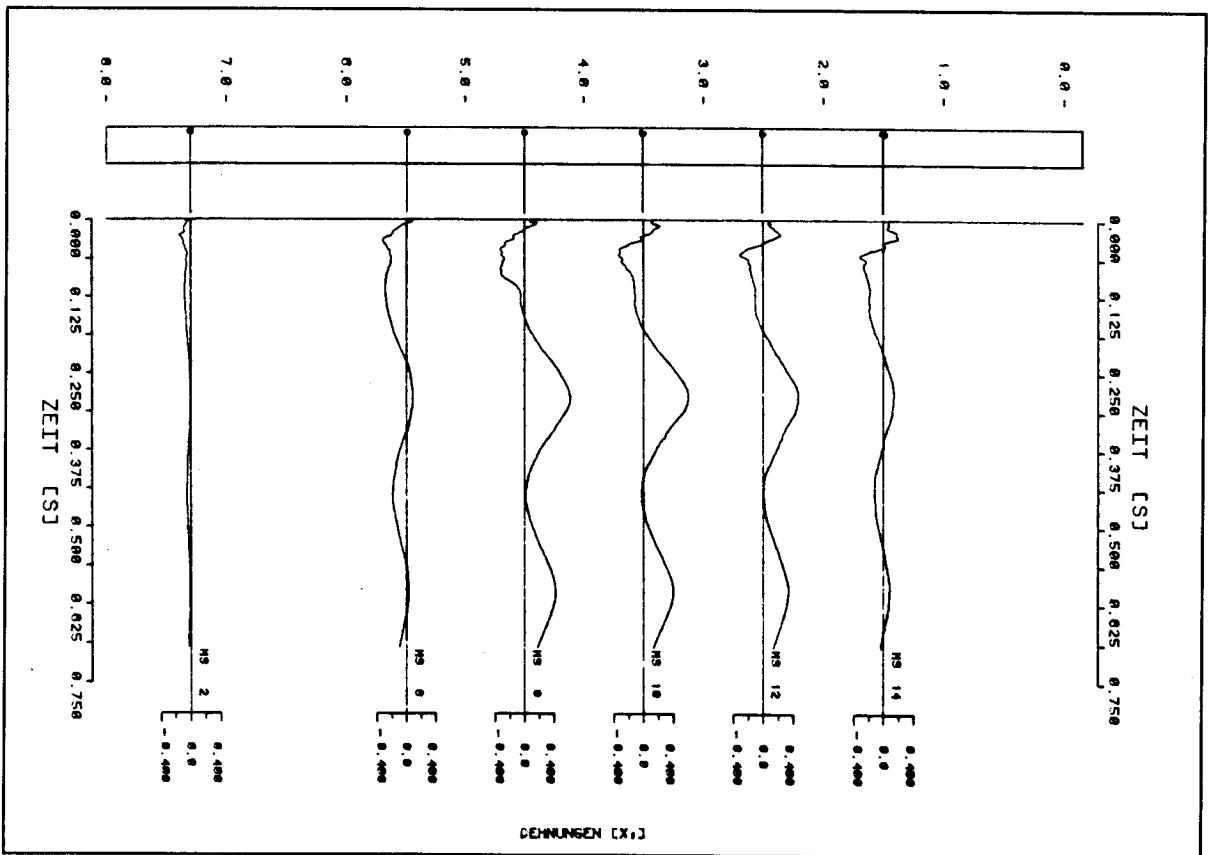


Bild B2.6-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

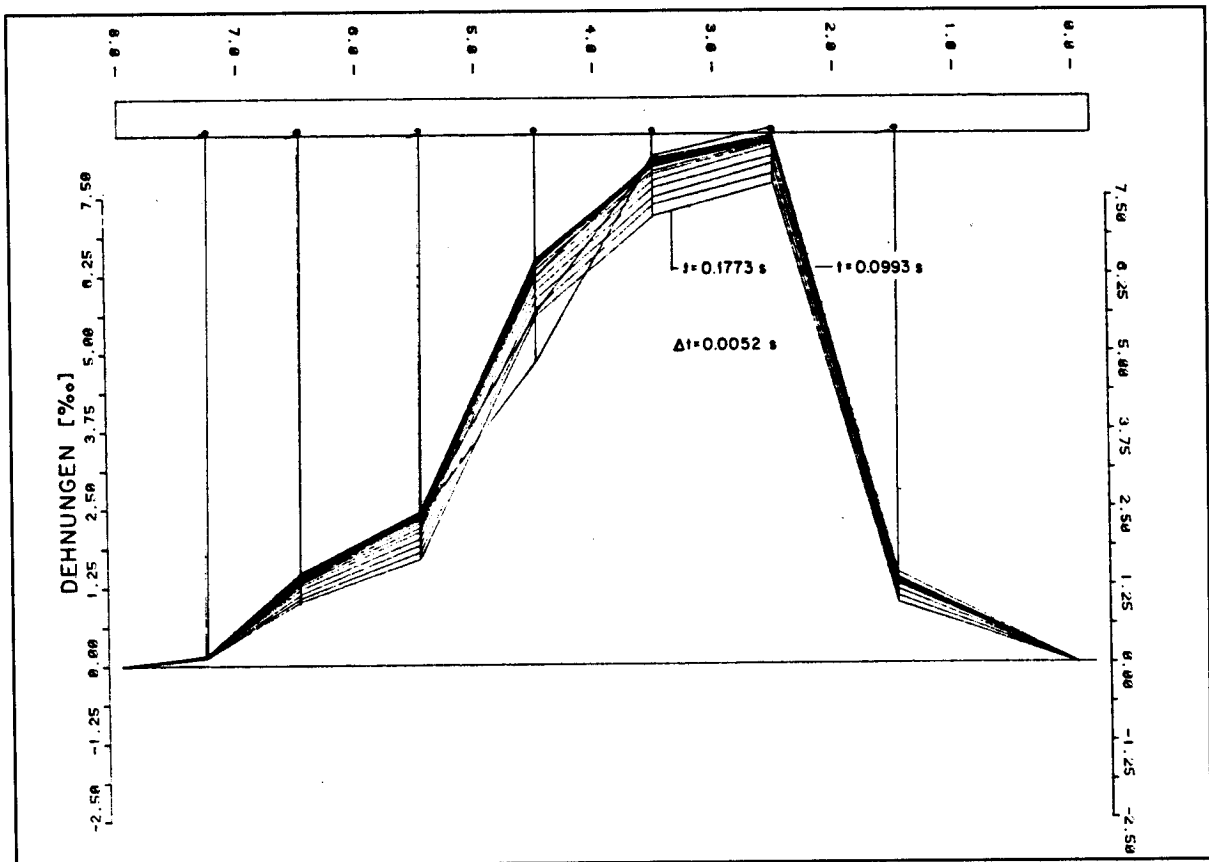


Bild B2.6-7: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $\Delta t = 0.0052 \text{ sec}$ )

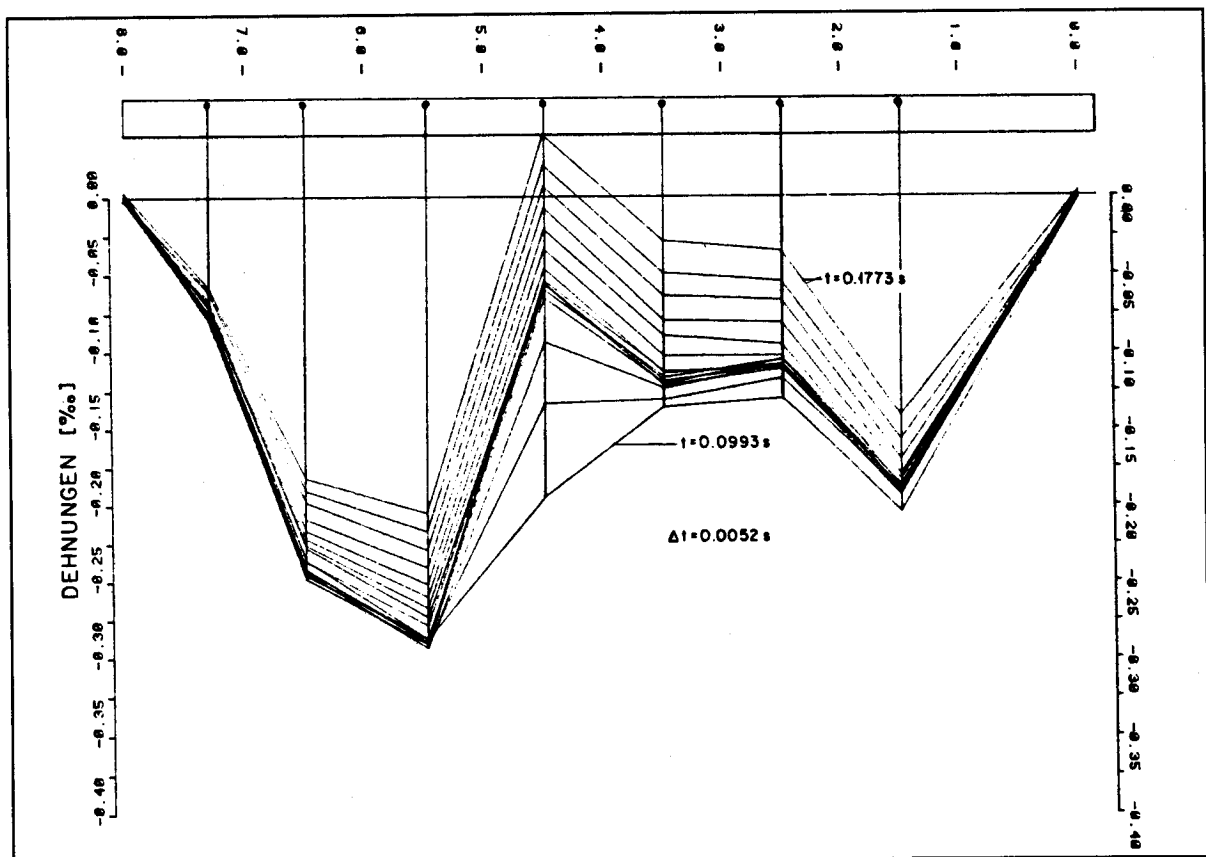


Bild B2.6-8: Verlauf der Dehnungen der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $\Delta t = 0.0052 \text{ sec}$ )

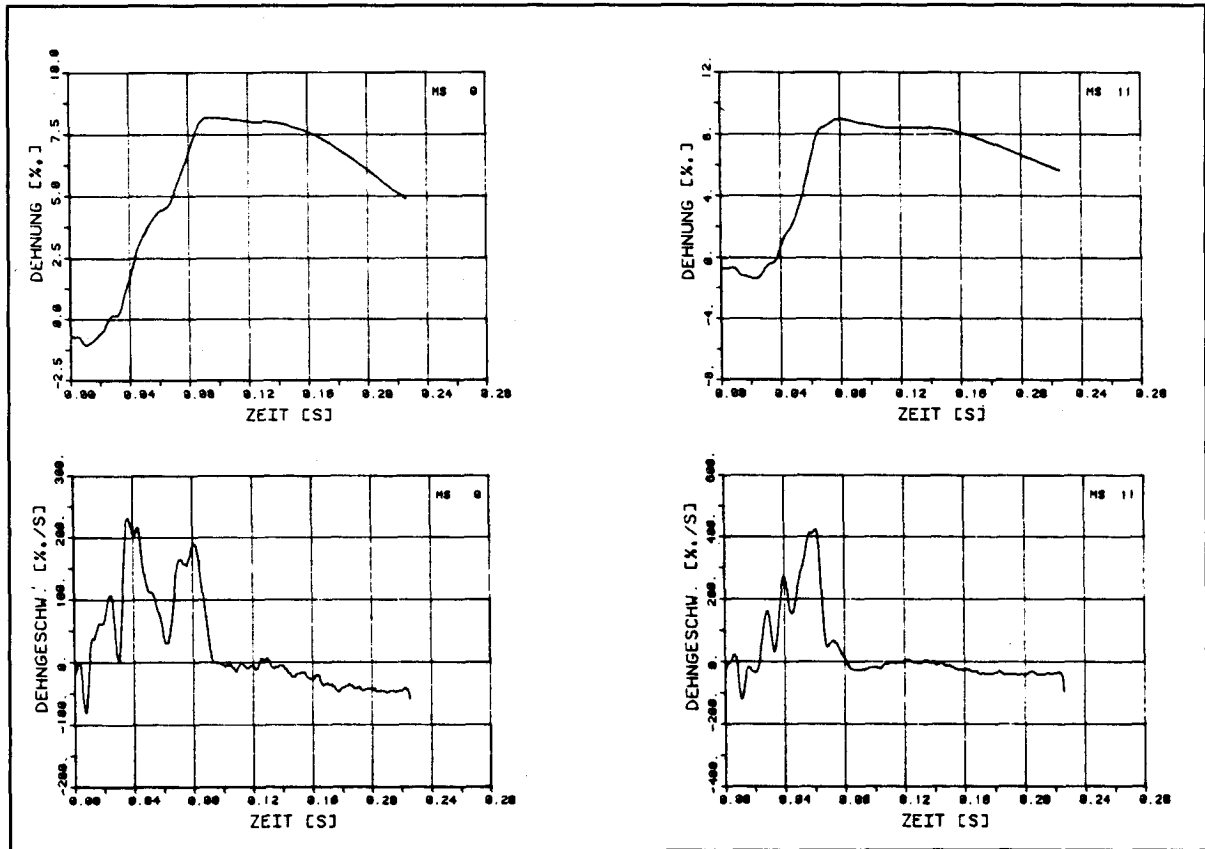
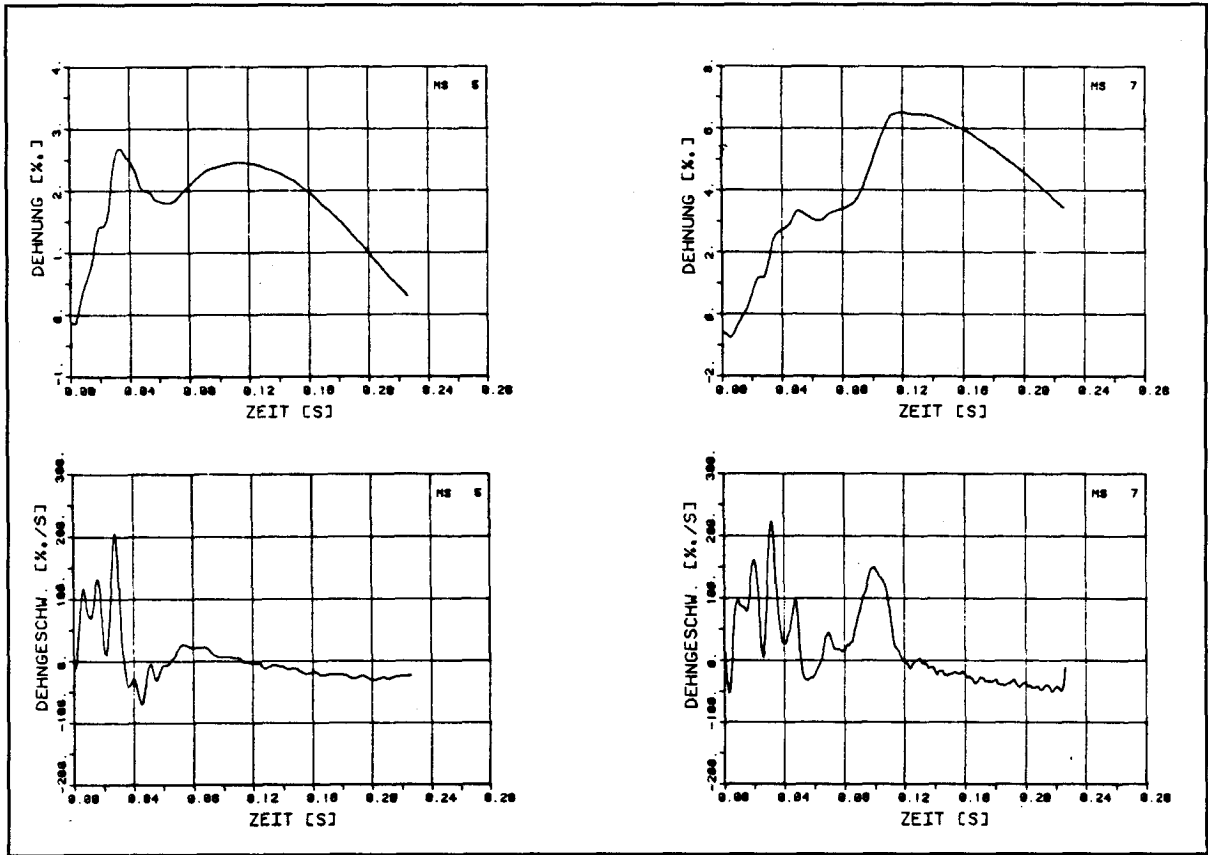


Bild B2.6-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

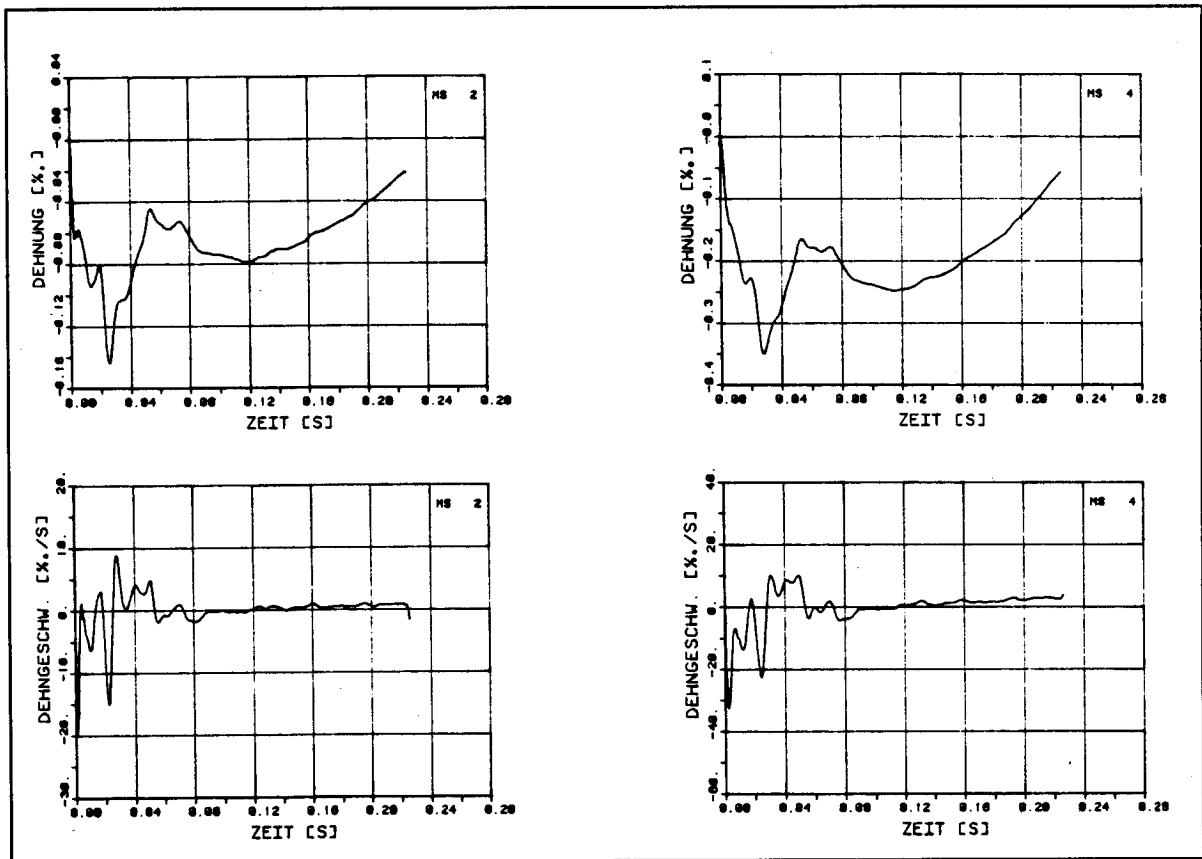


Bild B2.6-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

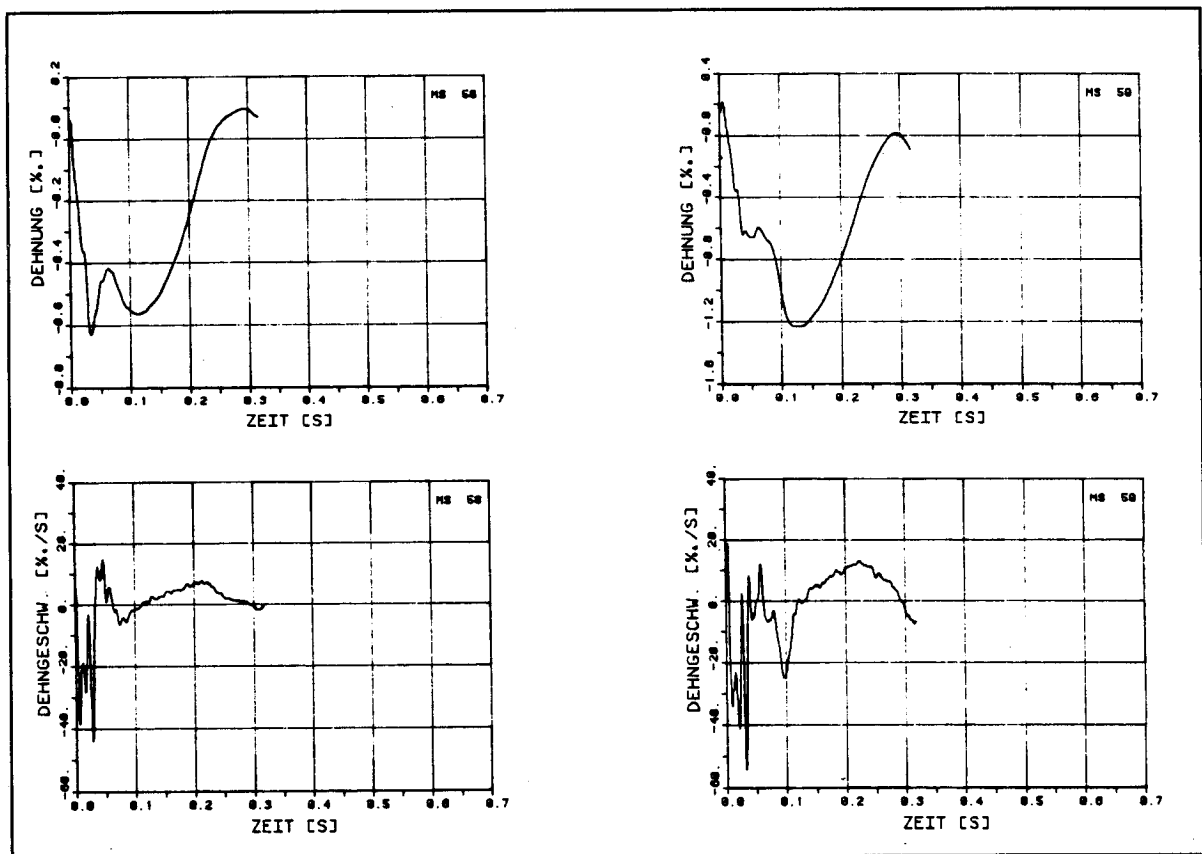


Bild B2.6-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B 2.7

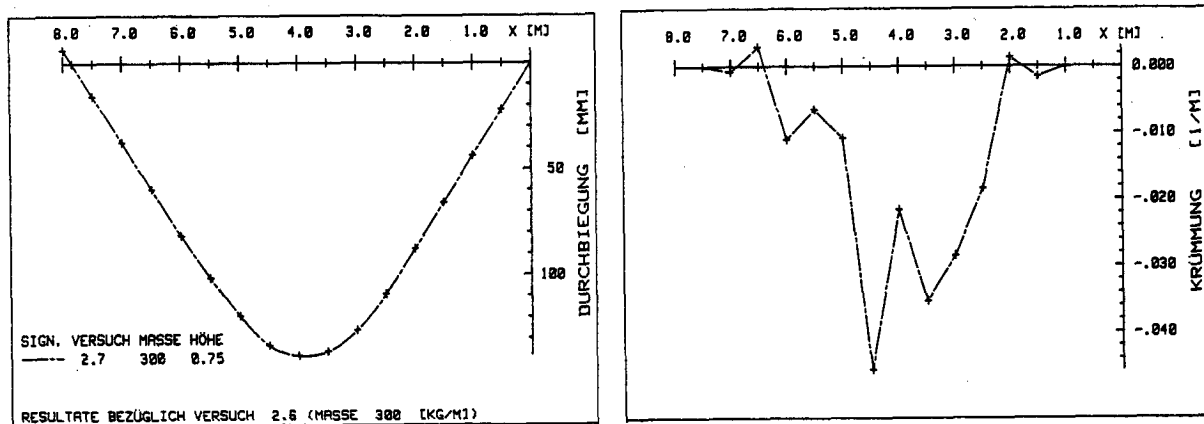


Bild B2.7-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B2.7

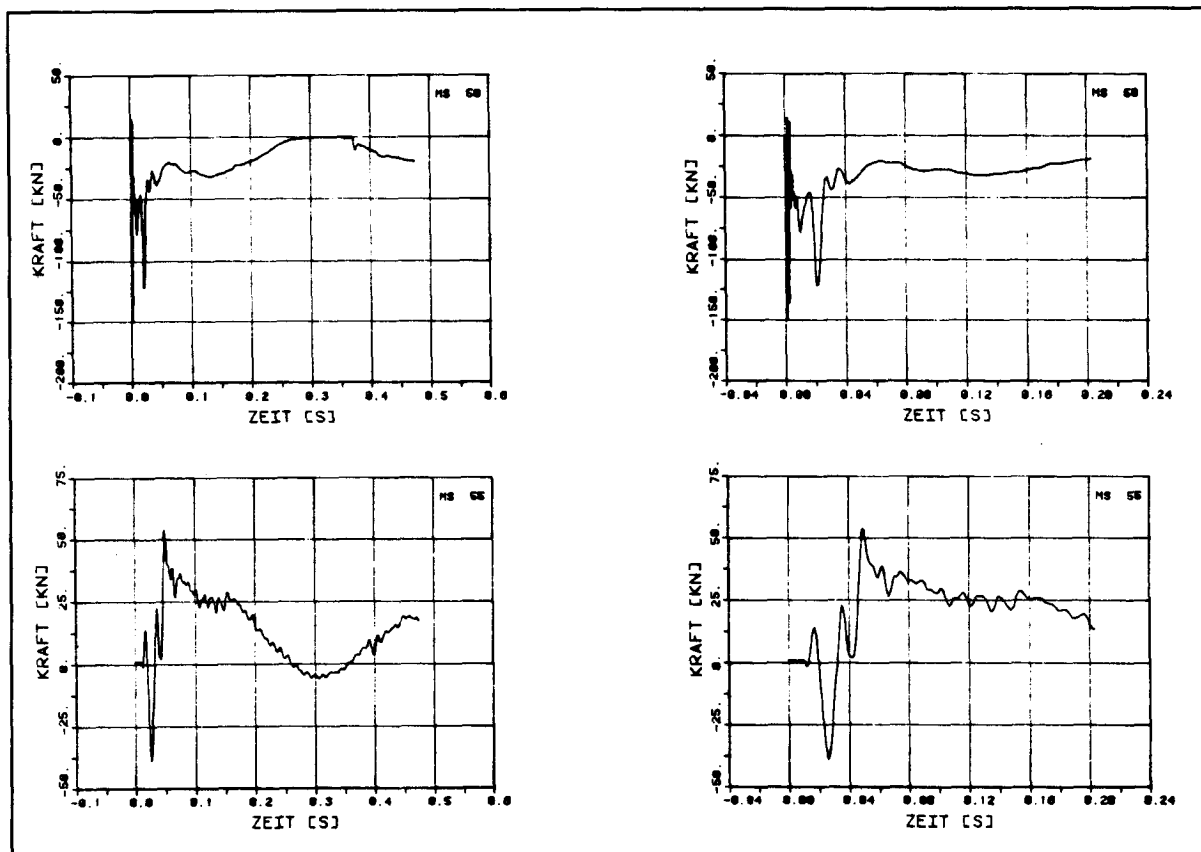


Bild B2.7-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

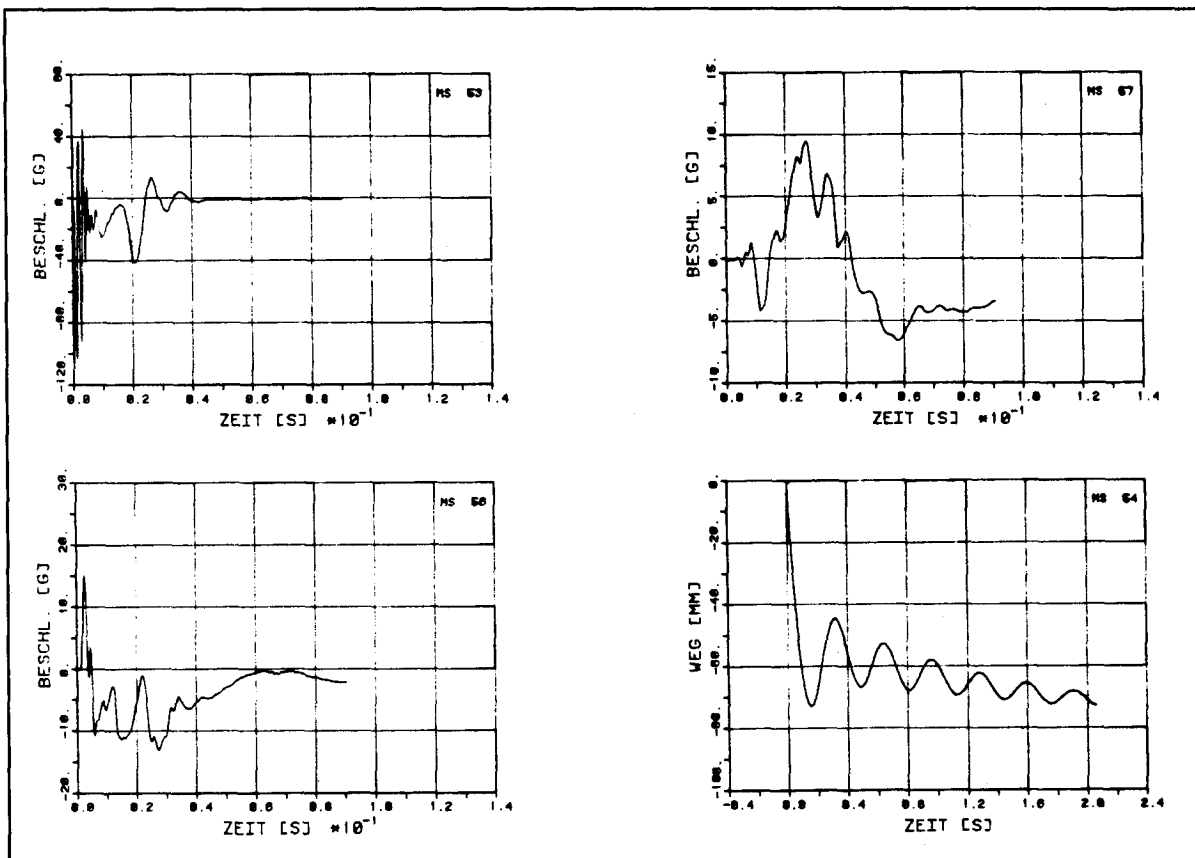


Bild B2.7-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzeldarstellungen und der Durchbiegung in Balkenmitte

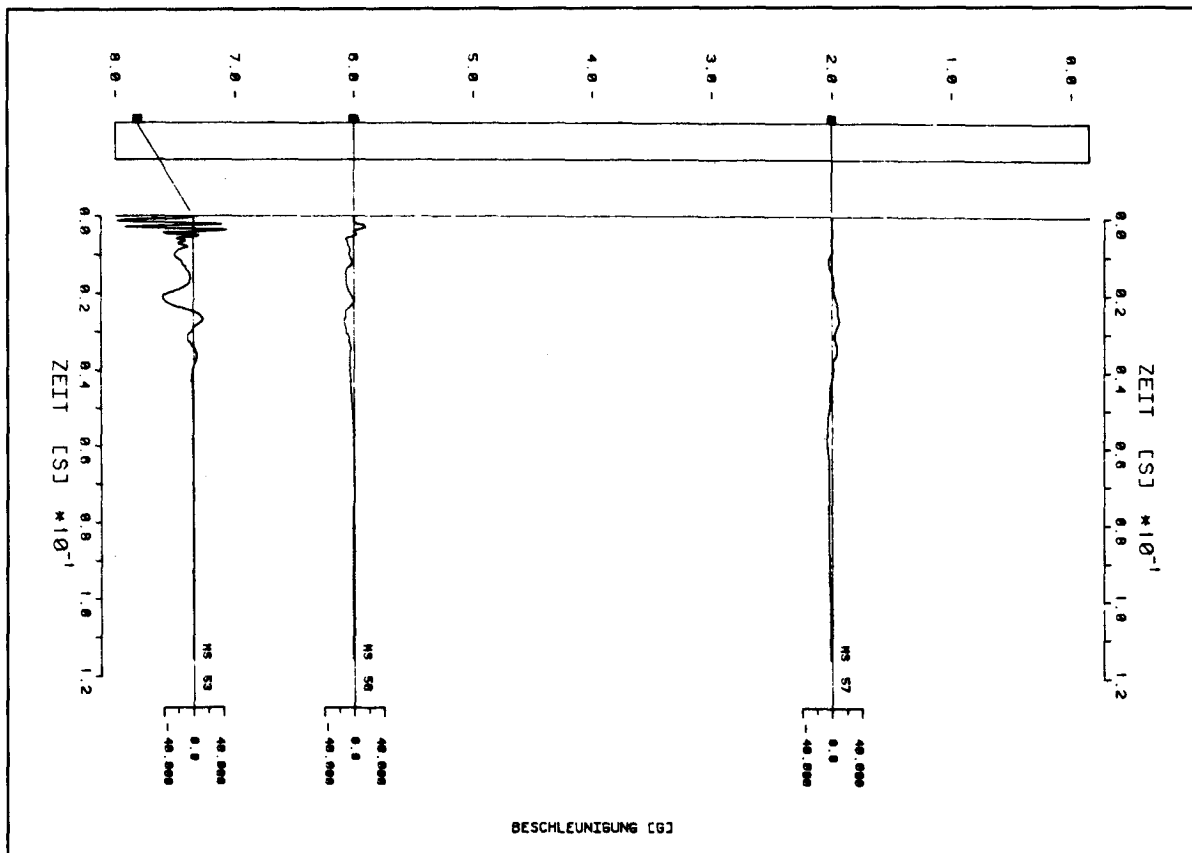


Bild B2.7-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten



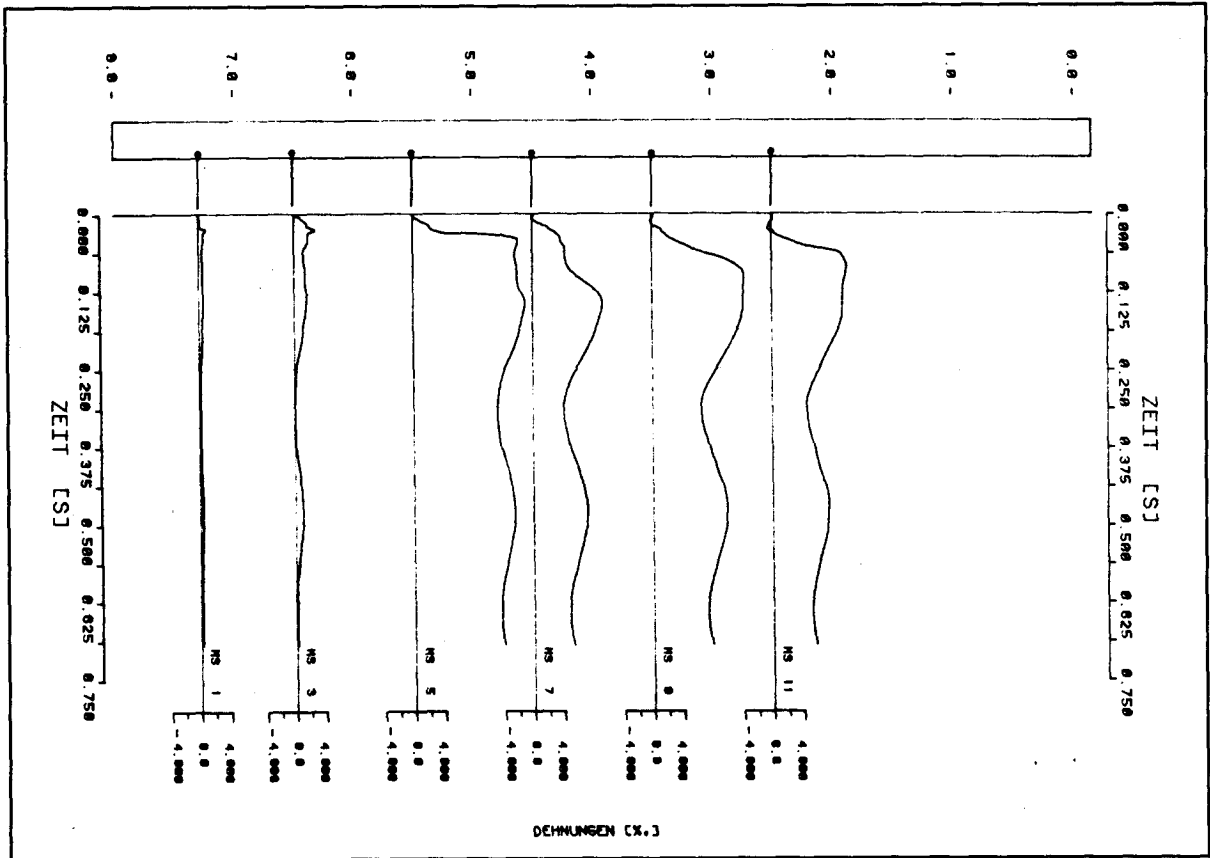


Bild B2.7-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

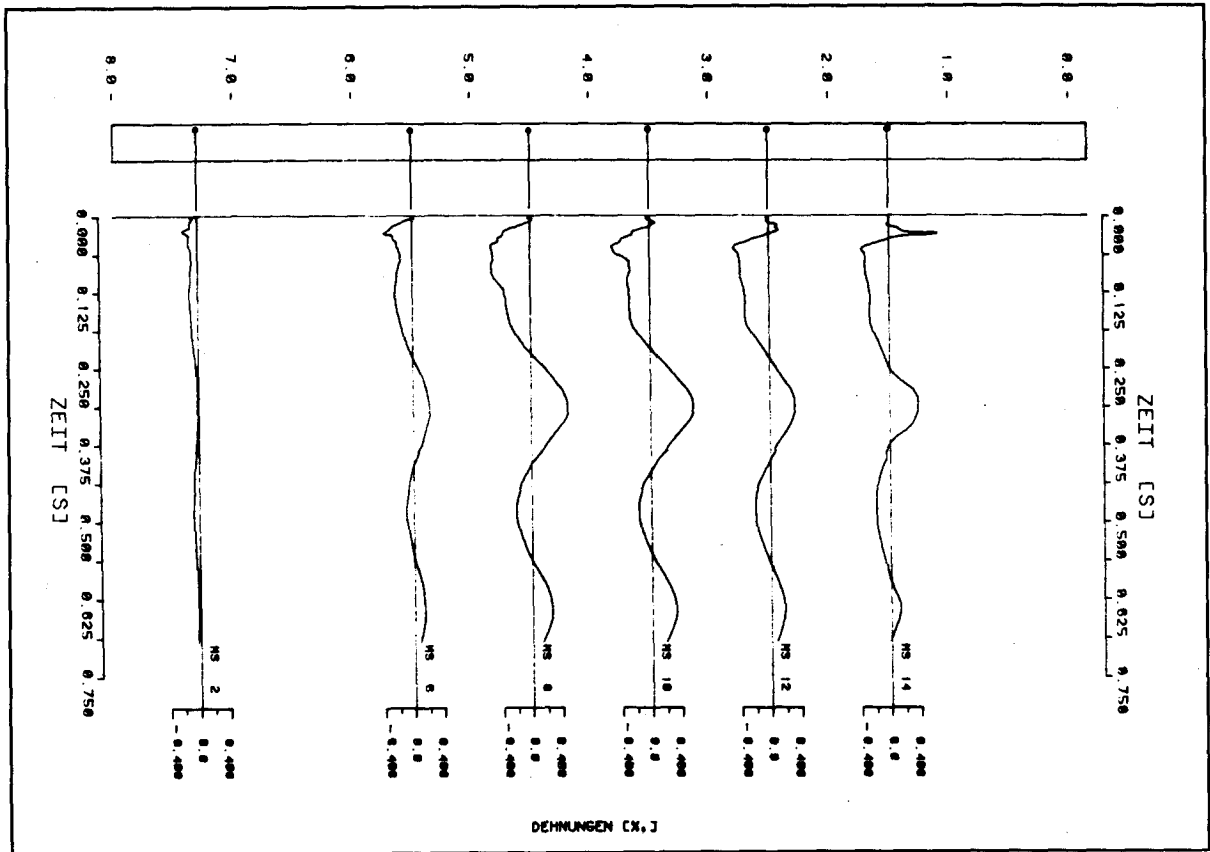


Bild B2.7-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

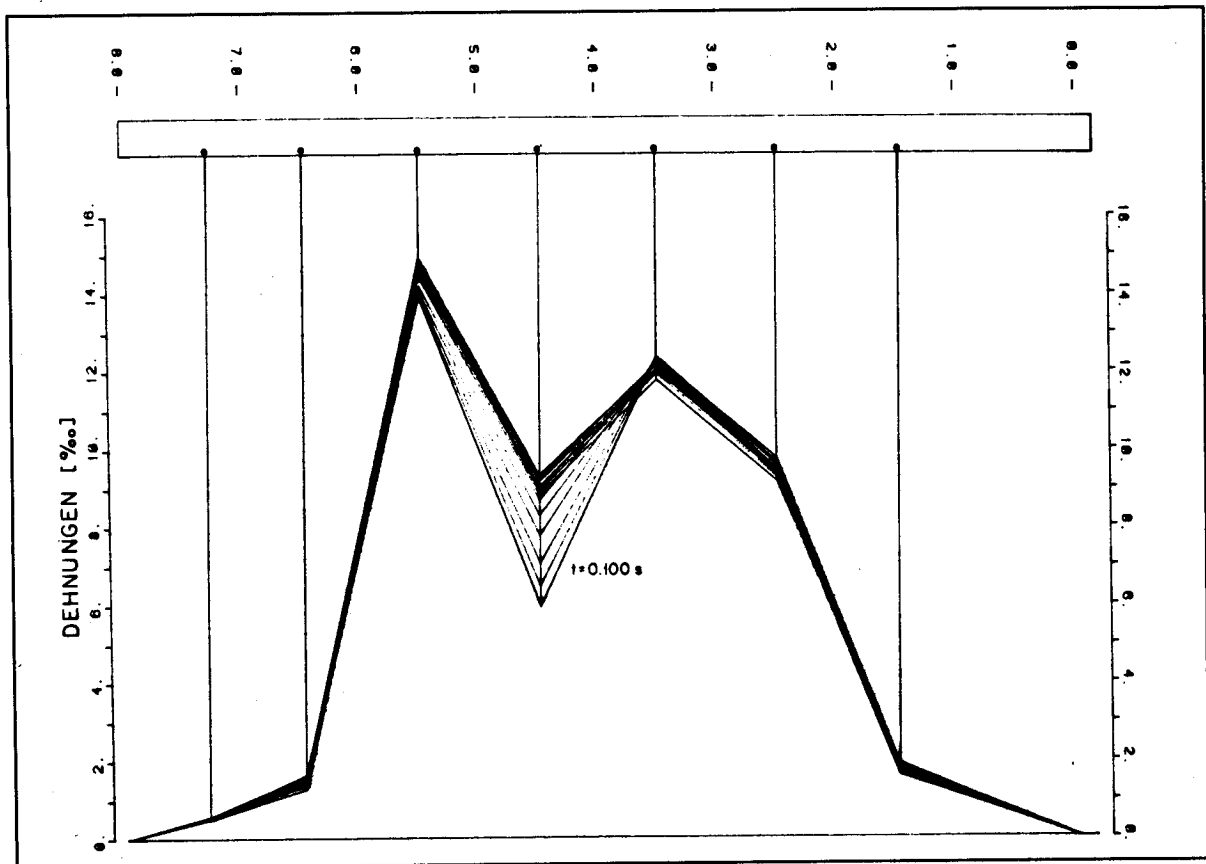


Bild B2.7-7: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $\Delta t = 0.0052\text{ sec}$ )

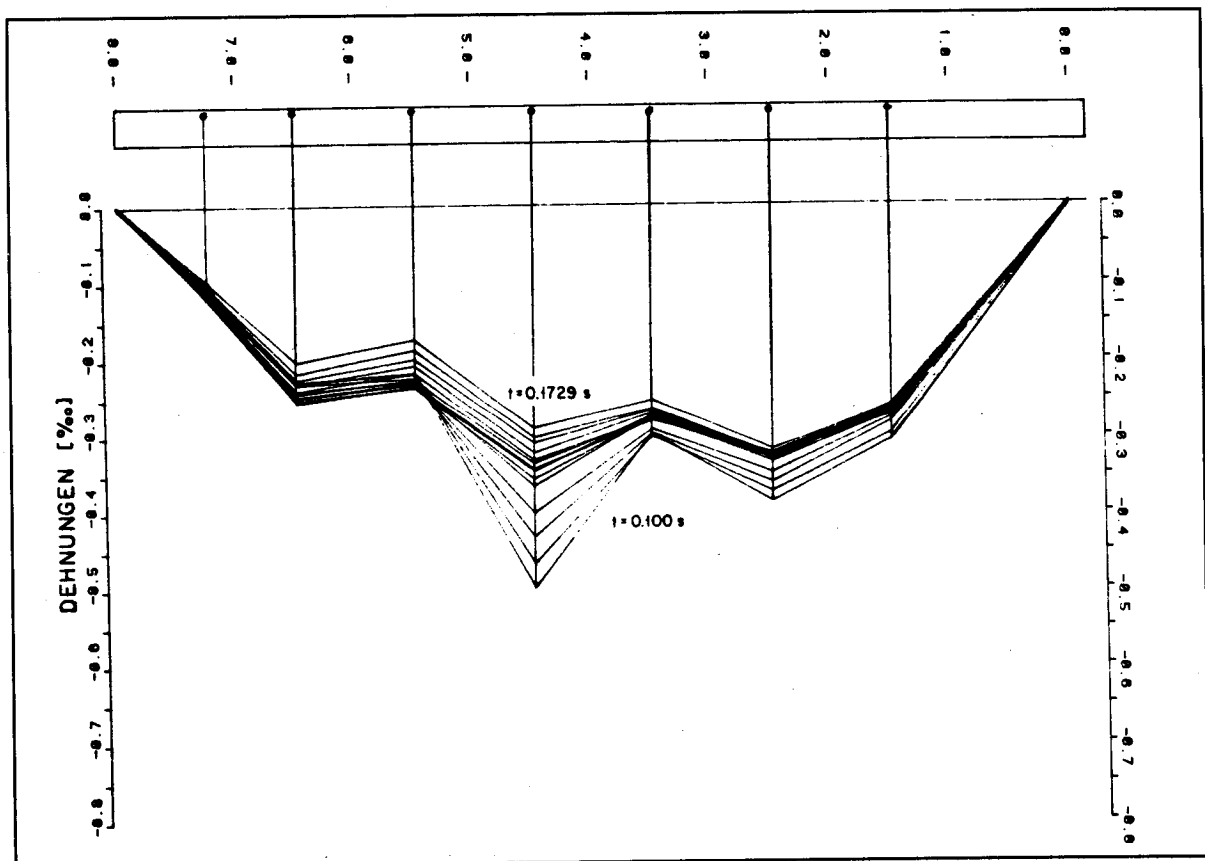


Bild B2.7-8: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $\Delta t = 0.0052\text{ sec}$ )

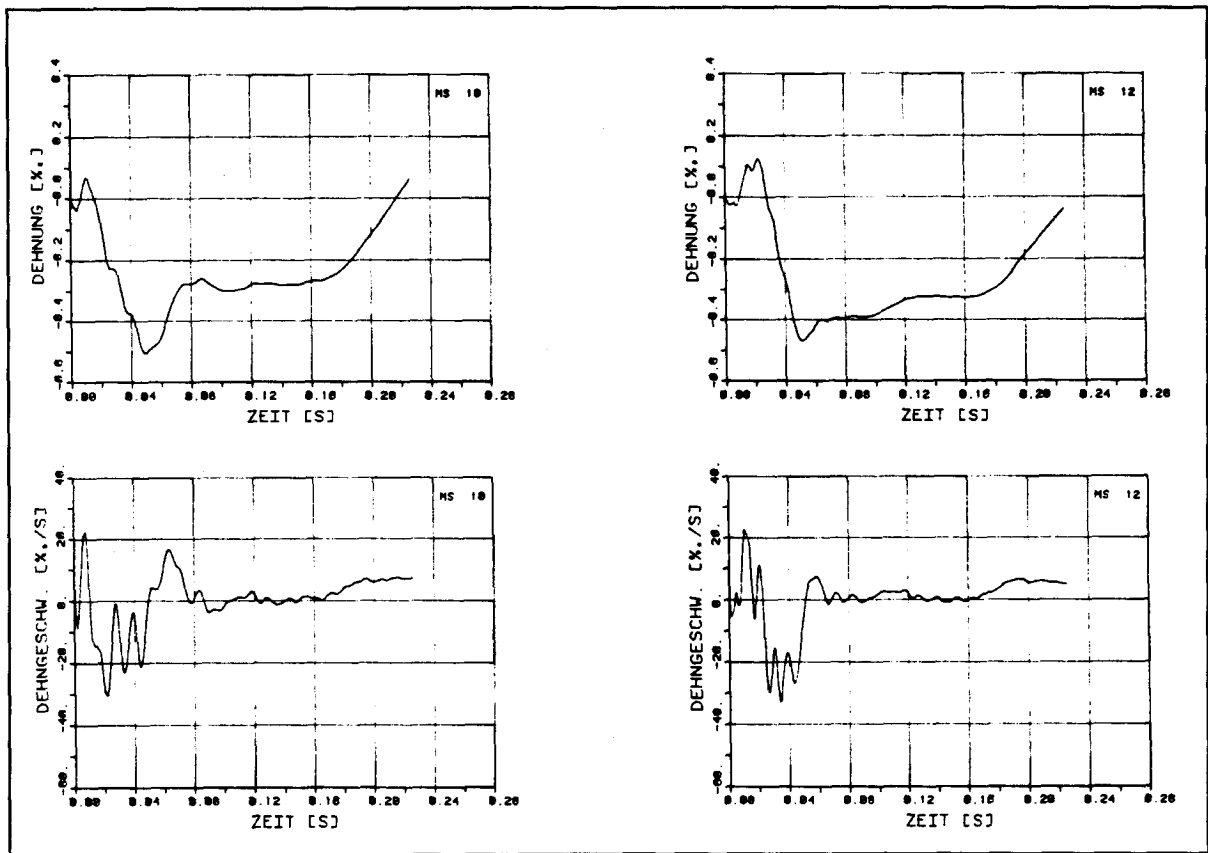
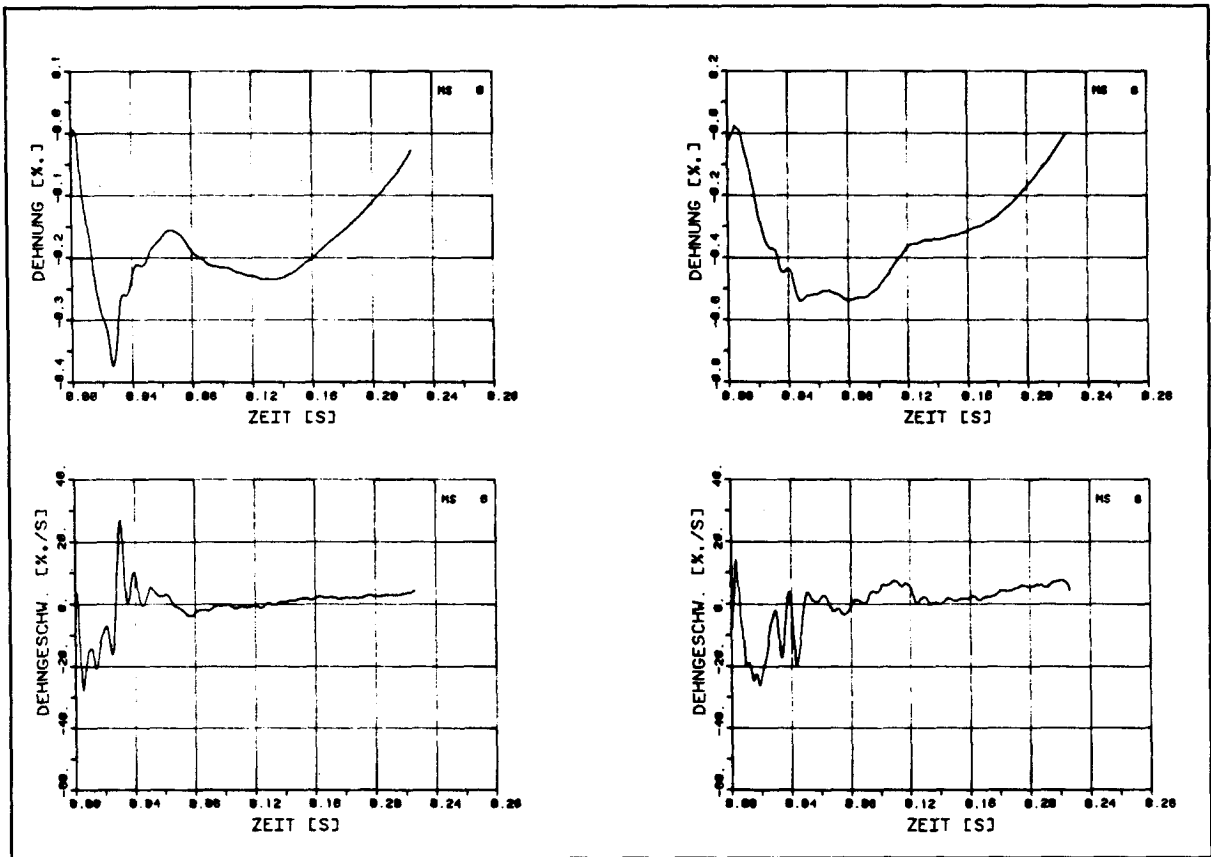


Bild B2.7-9: Zeitverläufe von Dehnmesstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

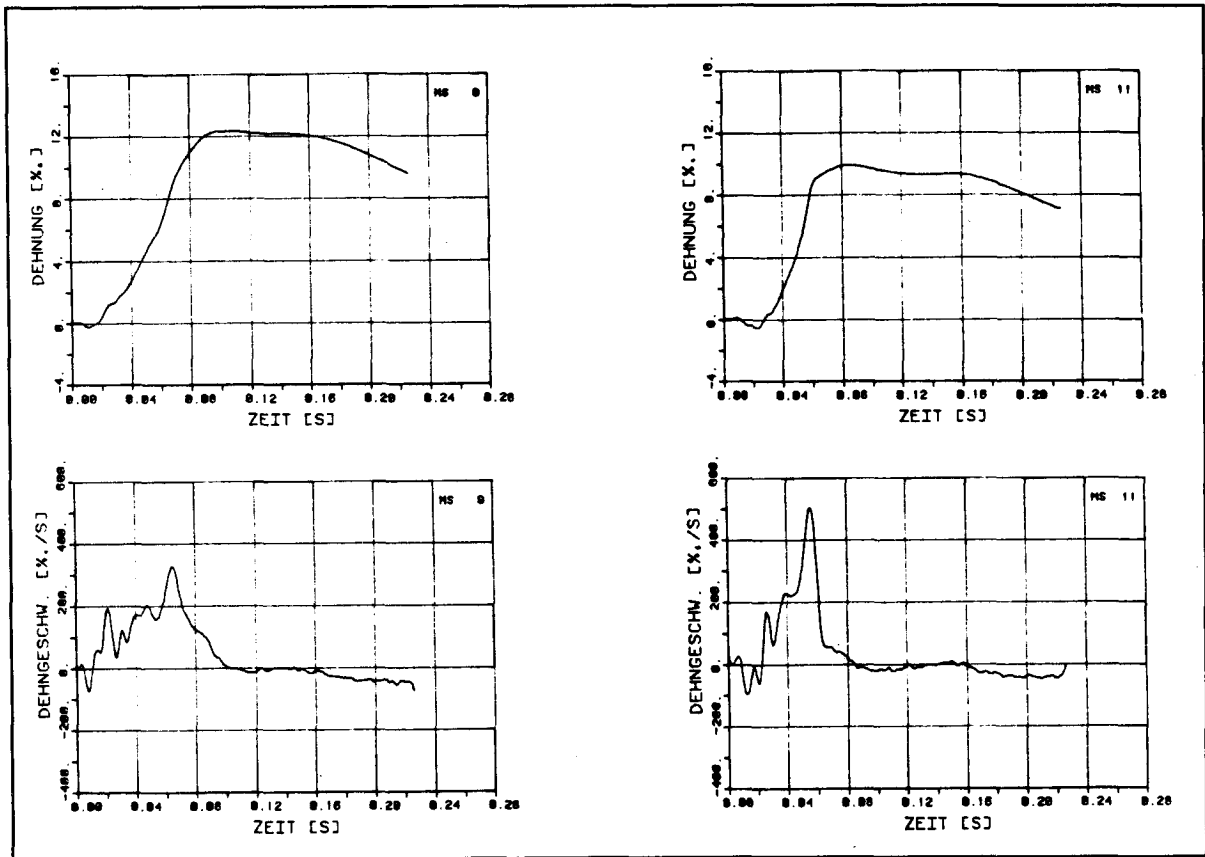


Bild B2.7-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

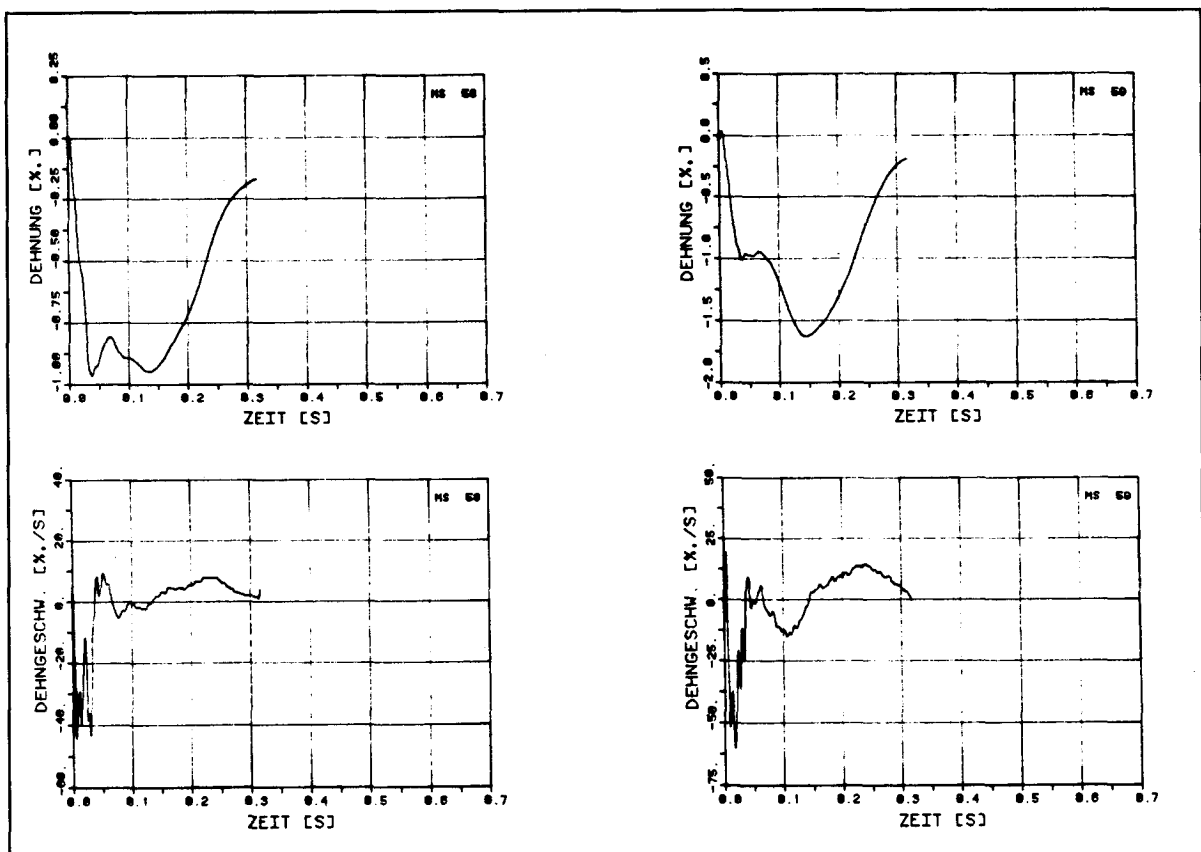


Bild B2.7-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B 2 . 8

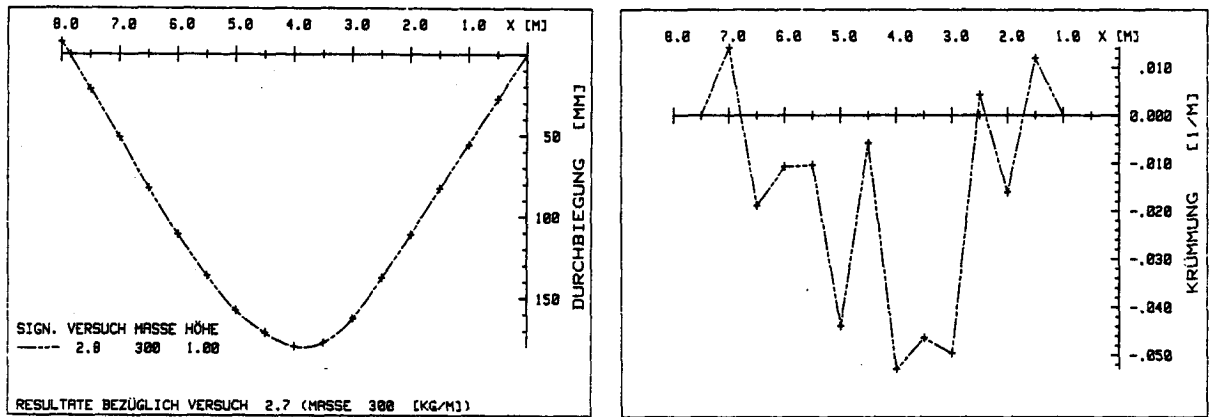


Bild B2.8-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B2.8

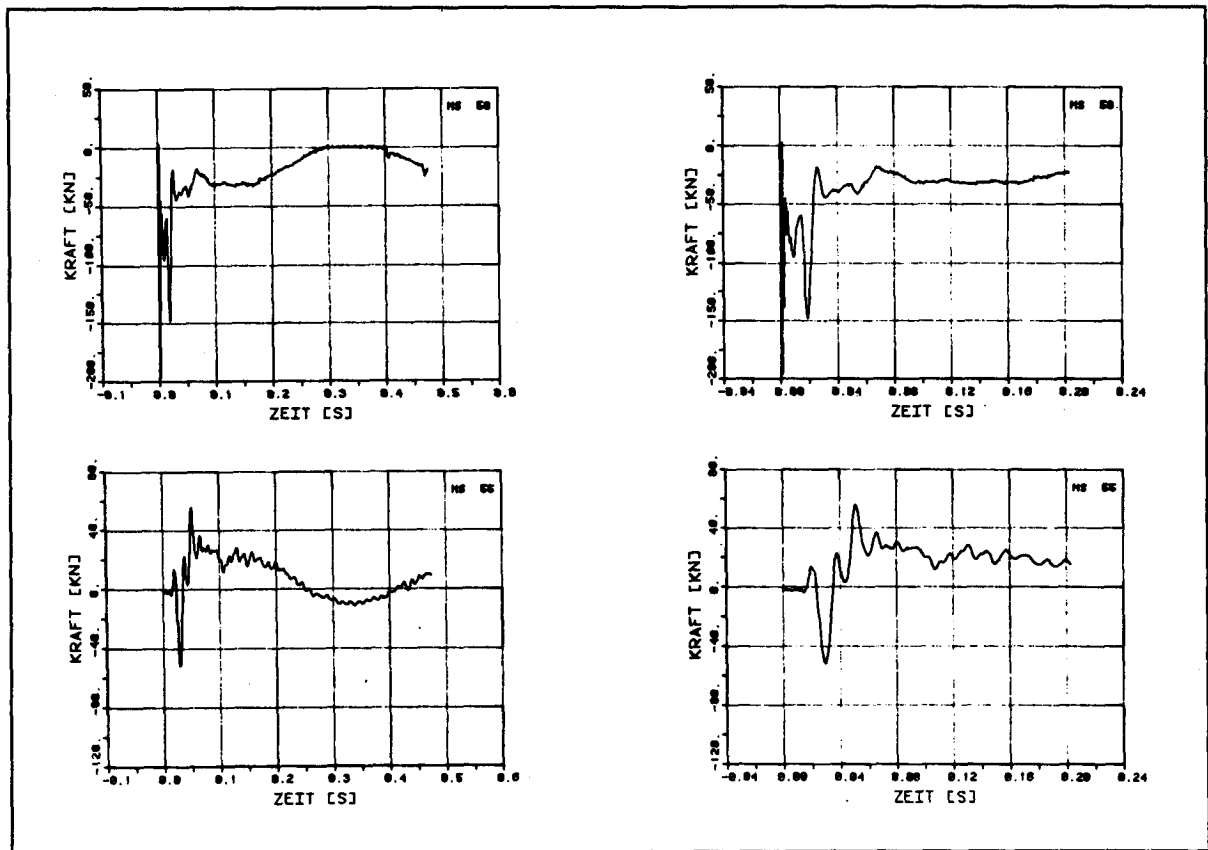


Bild B2.8-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

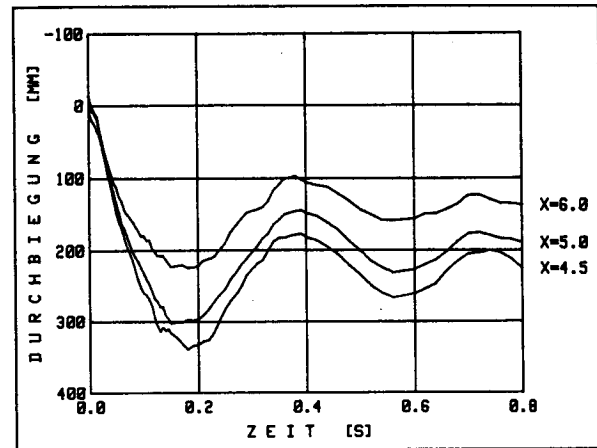
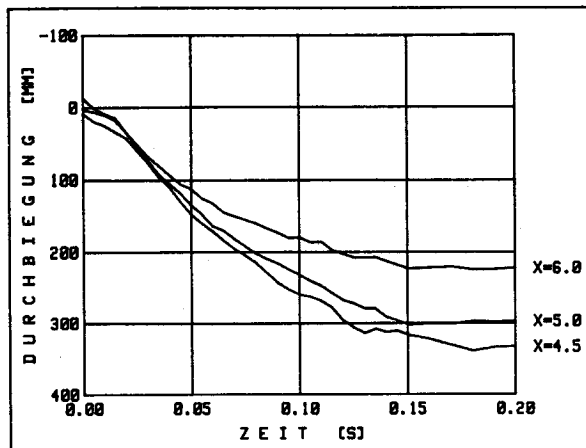
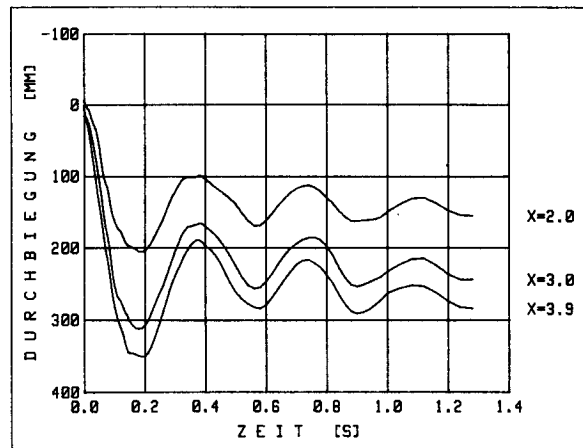
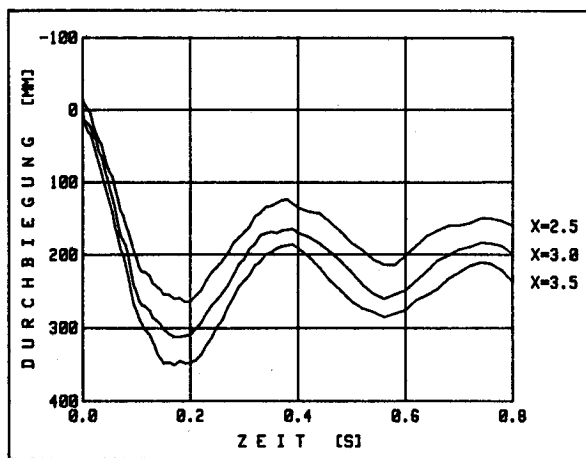
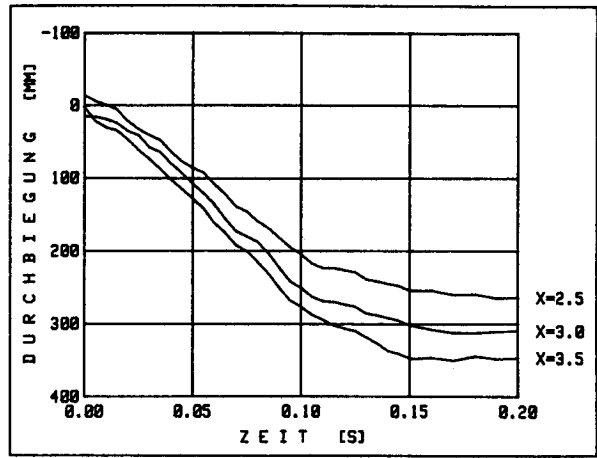
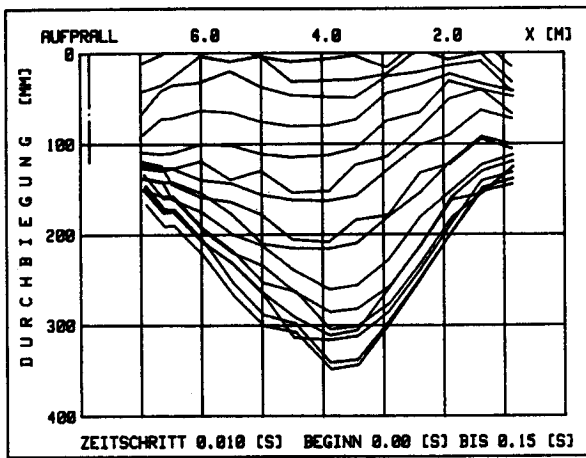


Bild B2.8-3: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

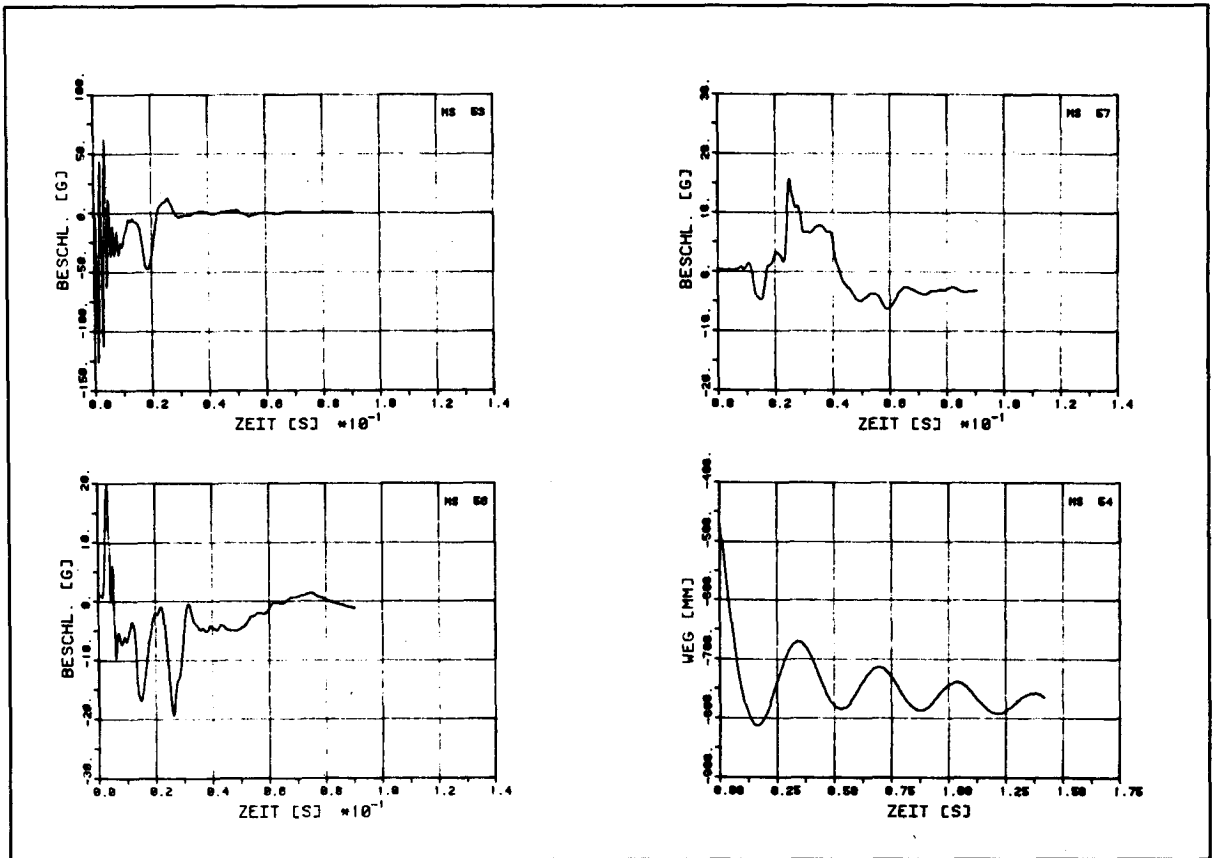


Bild B2.8-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzeldarstellungen und der Durchbiegung in Balkenmitte

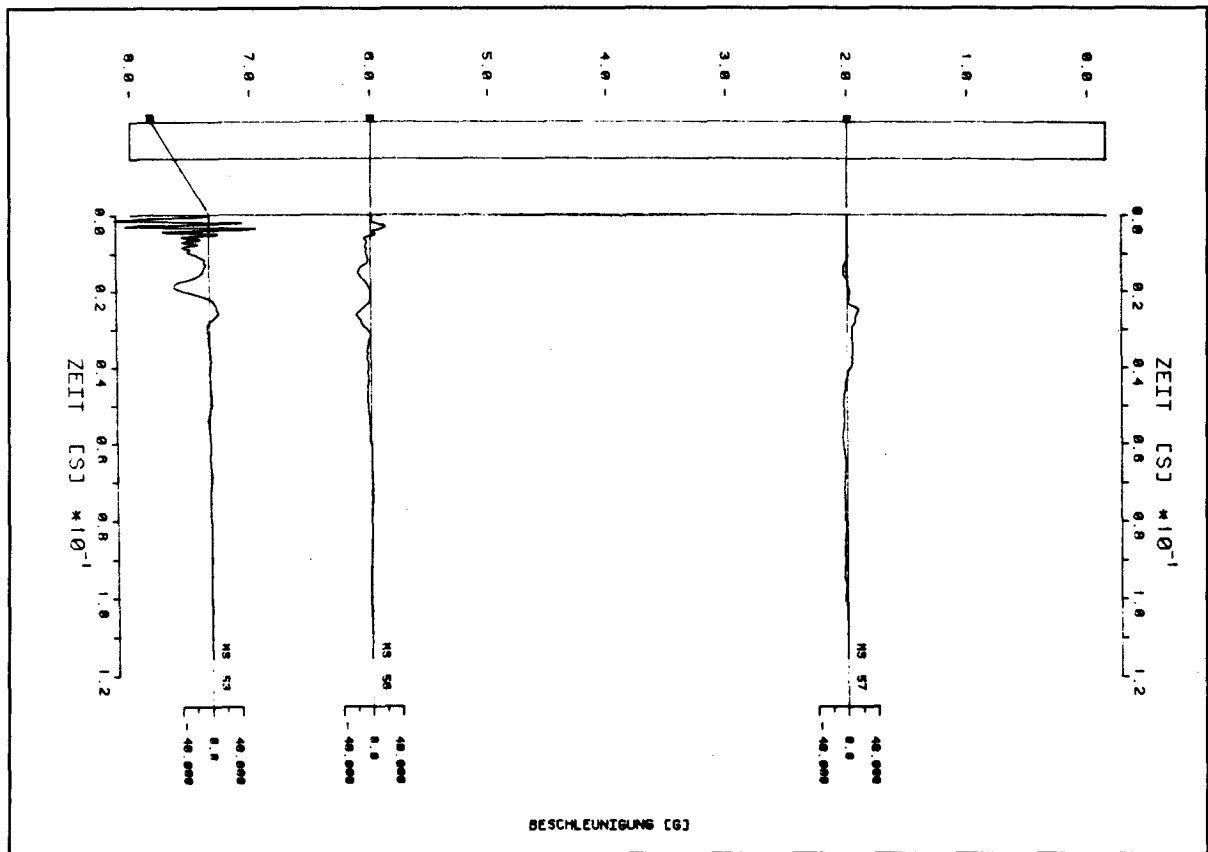


Bild B2.8-5: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

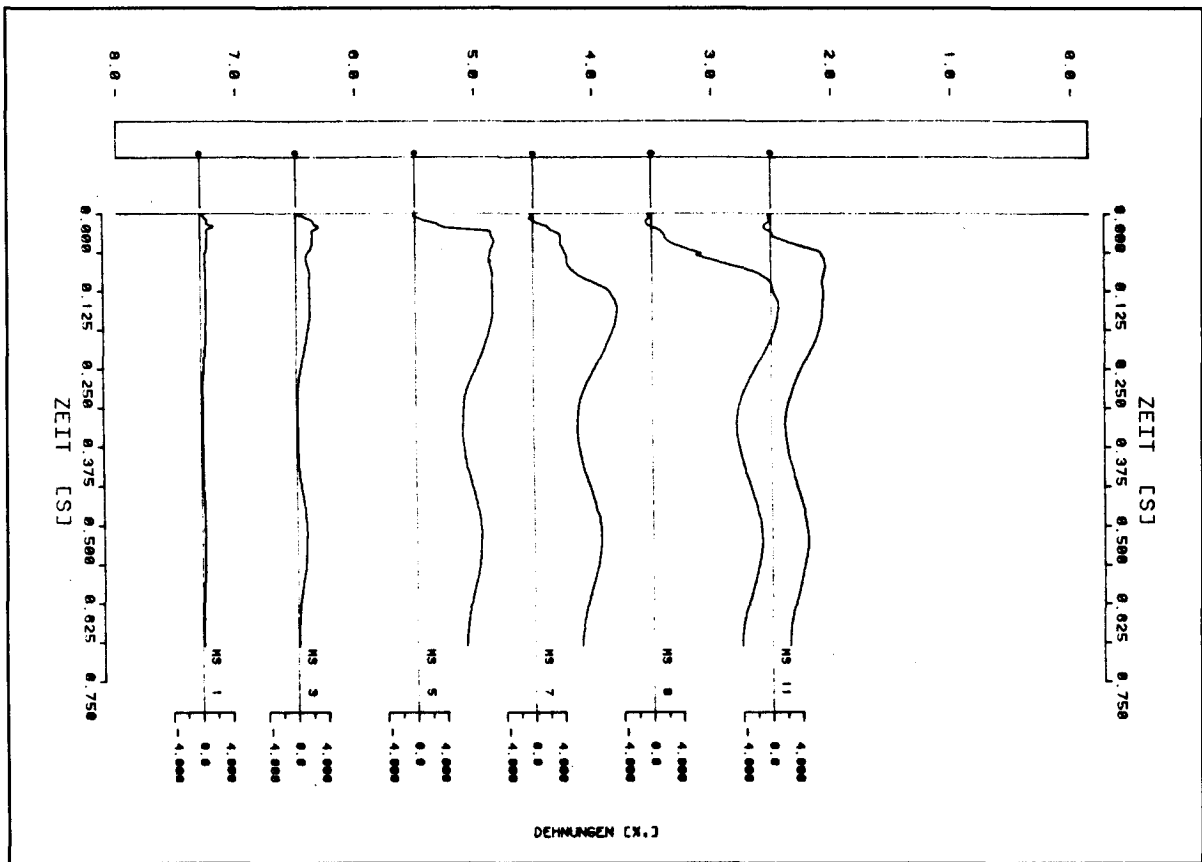


Bild B2.8-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

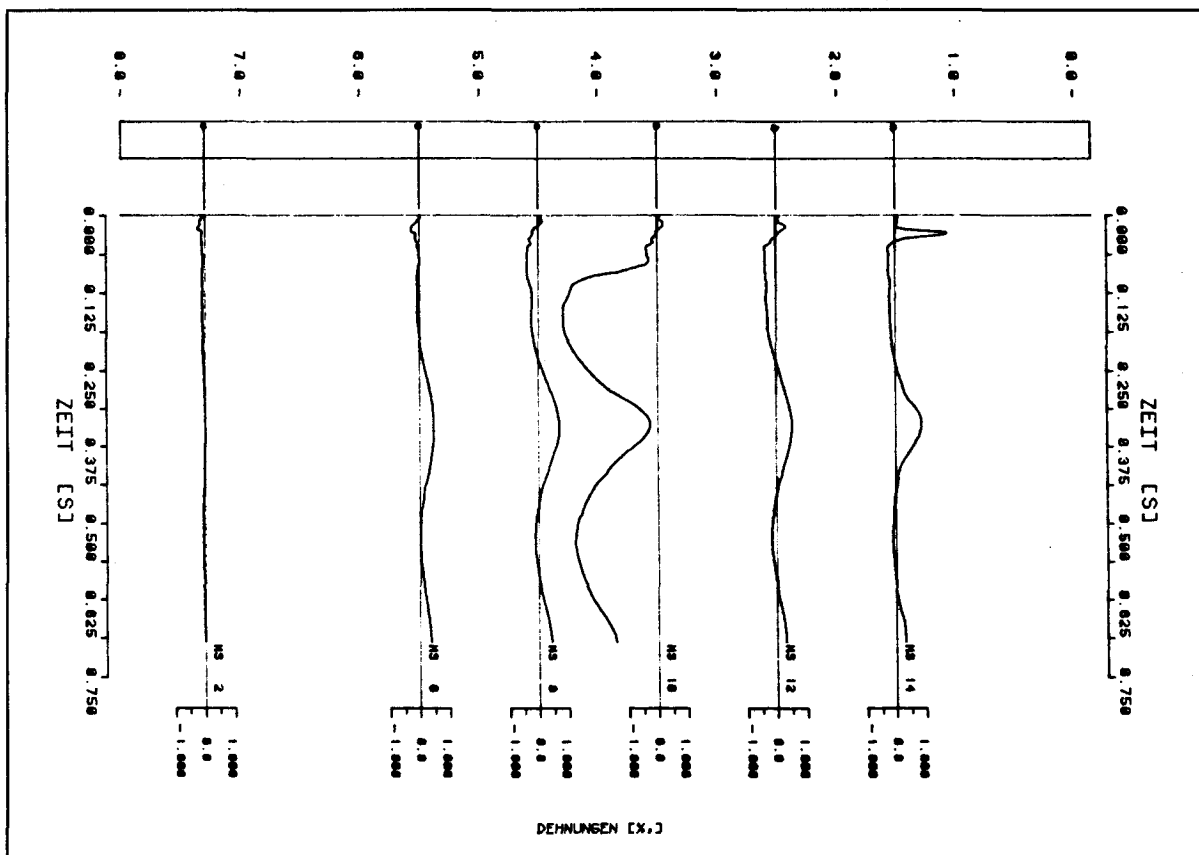


Bild B2.8-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten



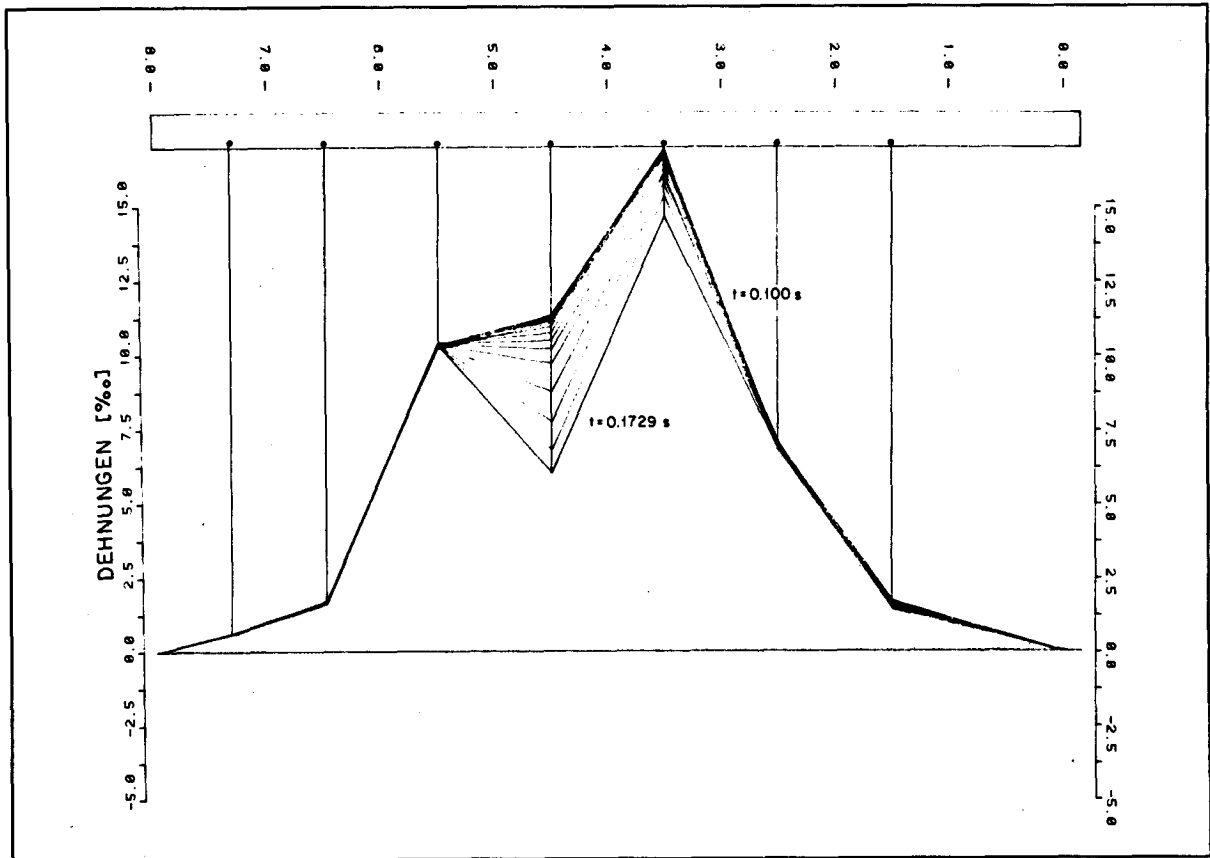


Bild B2.8-8: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $\Delta t = 0,0052 \text{ sec}$ )

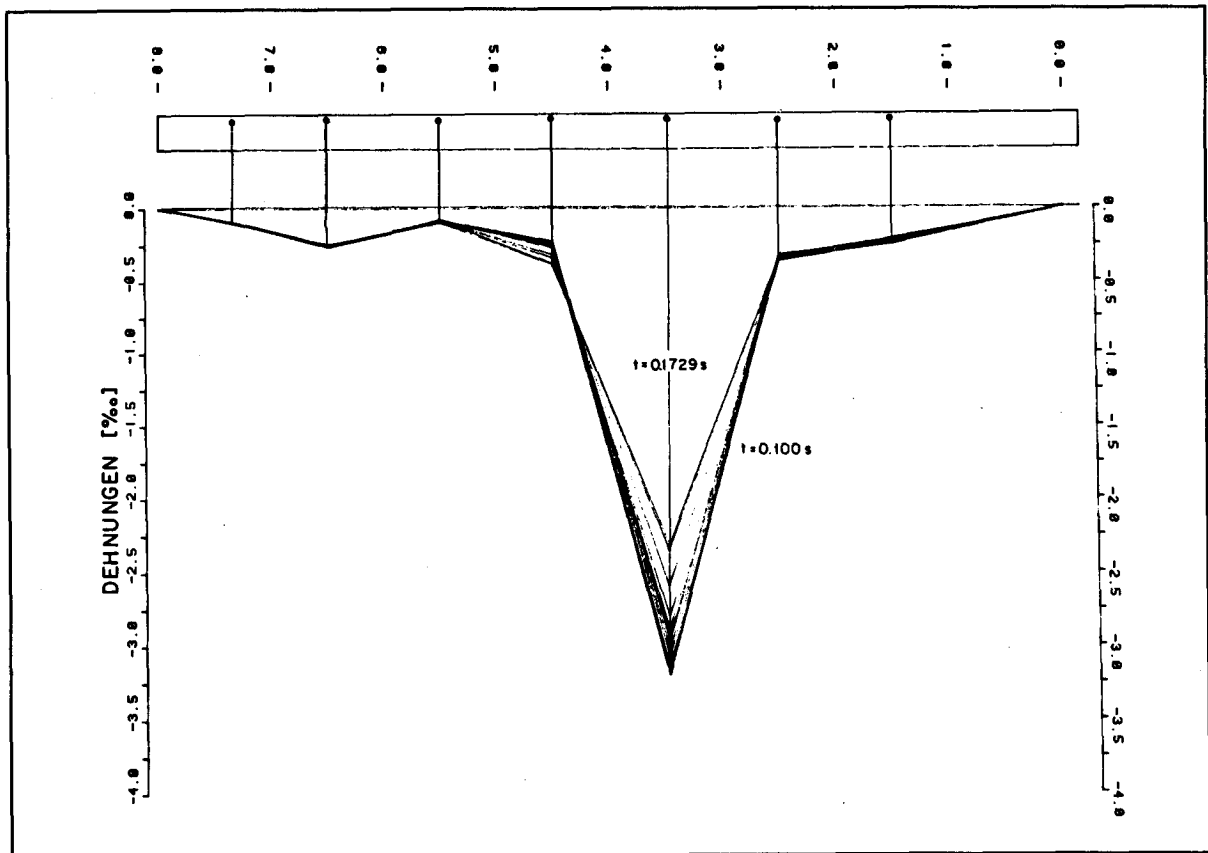


Bild B2.8-9: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $\Delta t = 0,0052 \text{ sec}$ )

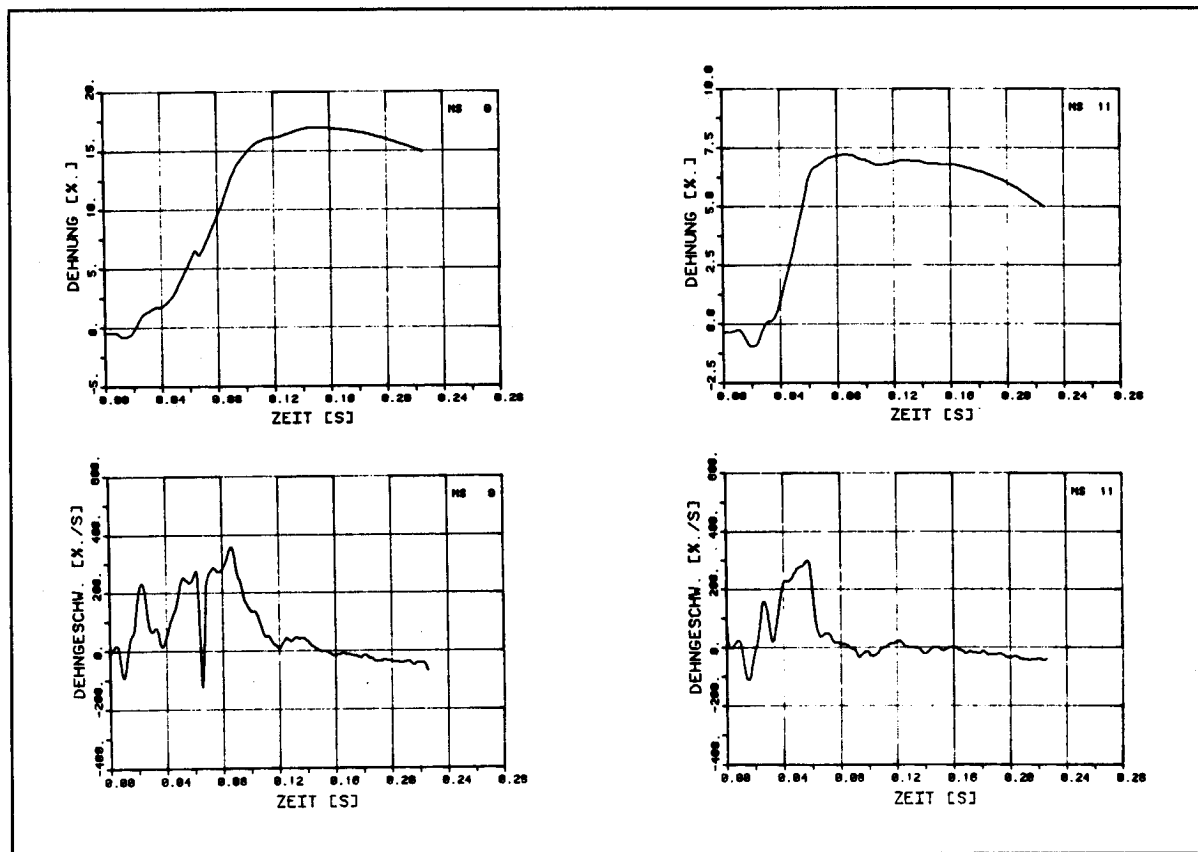
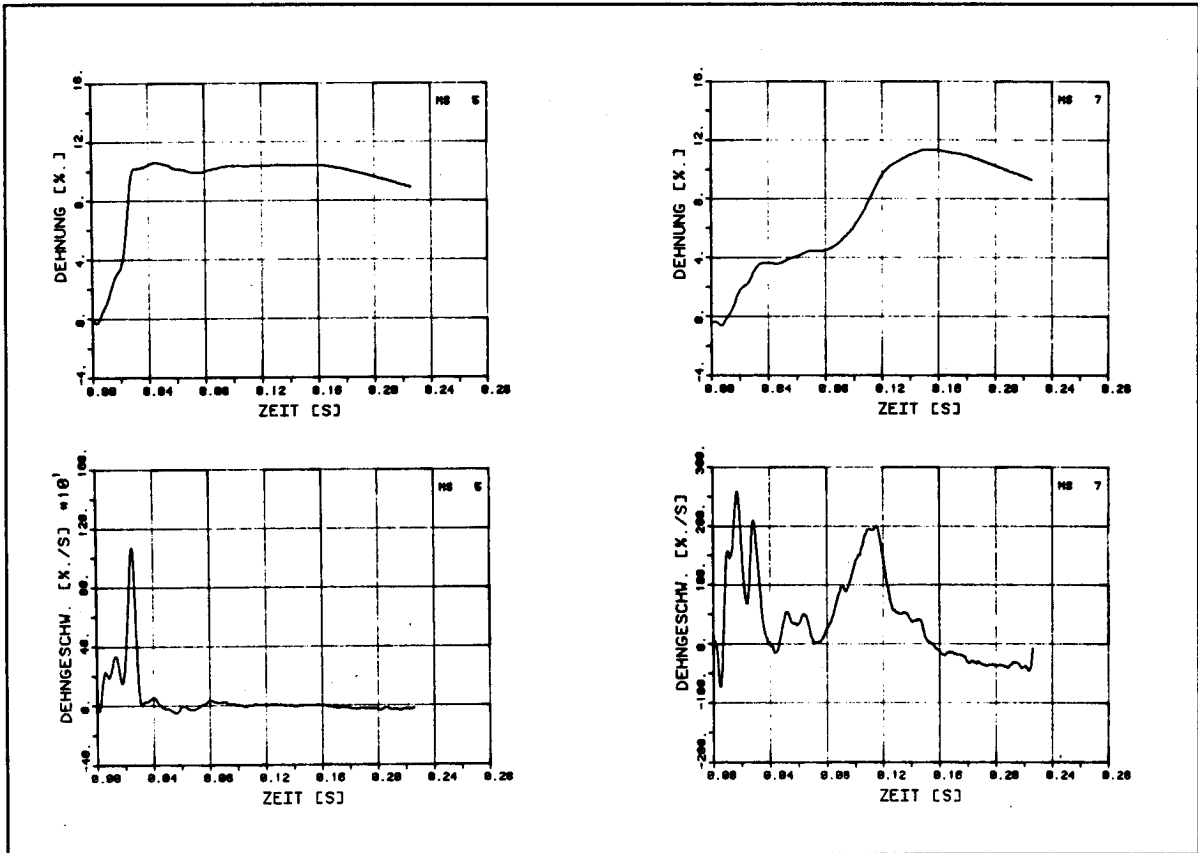


Bild B2.8-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

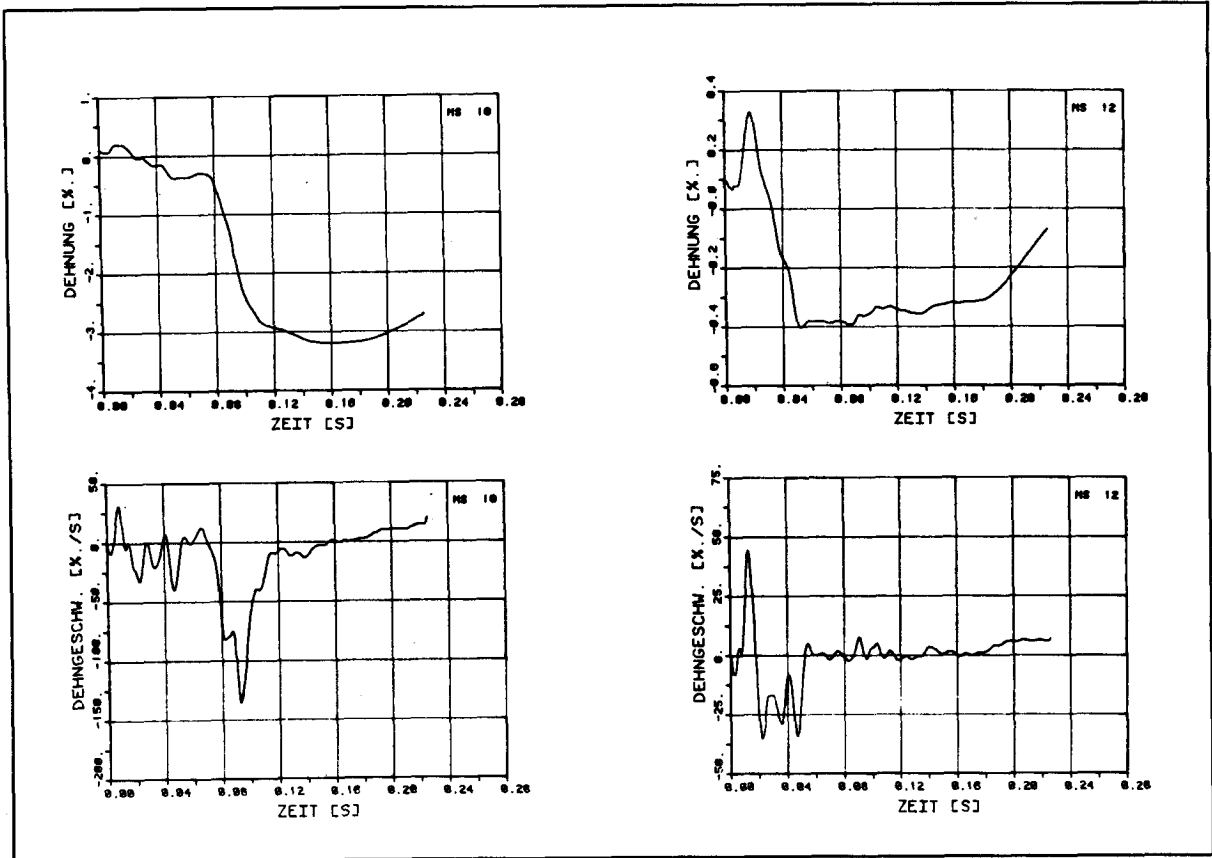


Bild B2.8-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

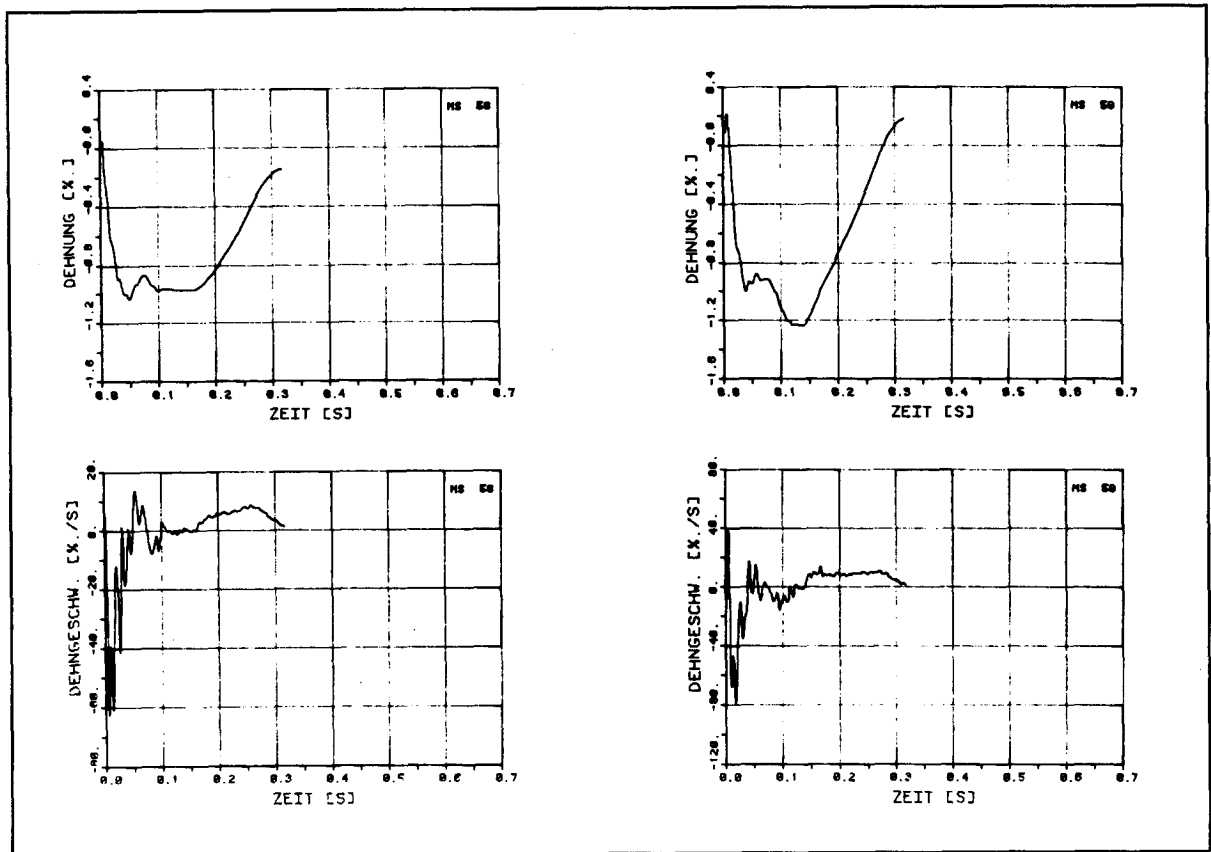


Bild B2.8-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

## VERSUCH B 2.9

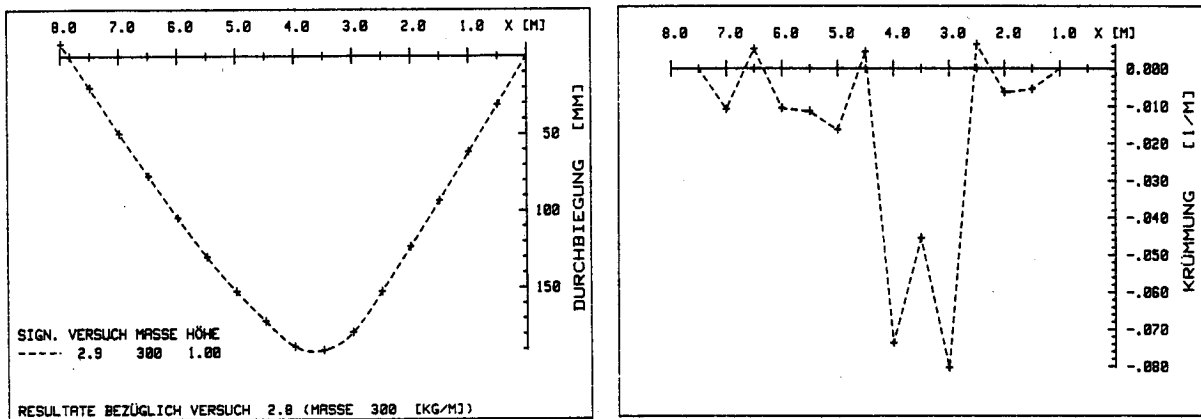


Bild B2.9-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B2.9

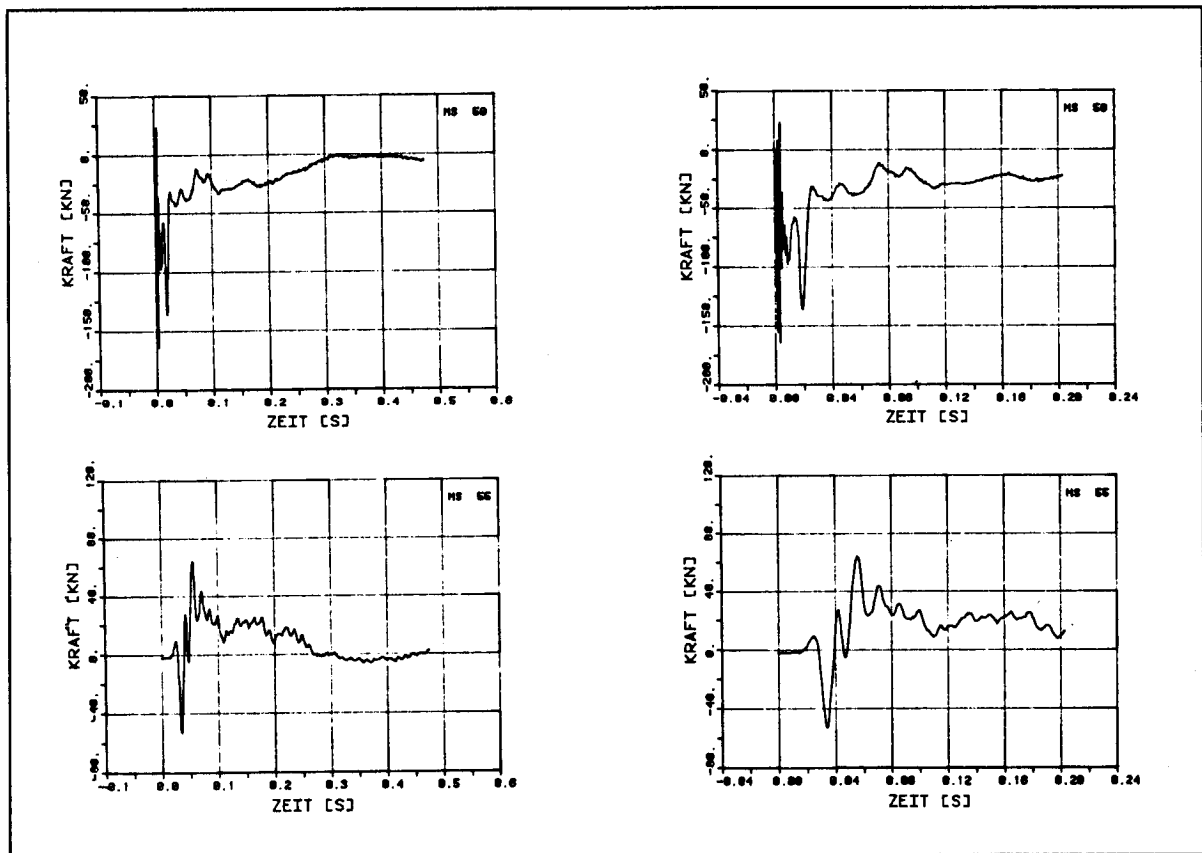


Bild B2.9-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

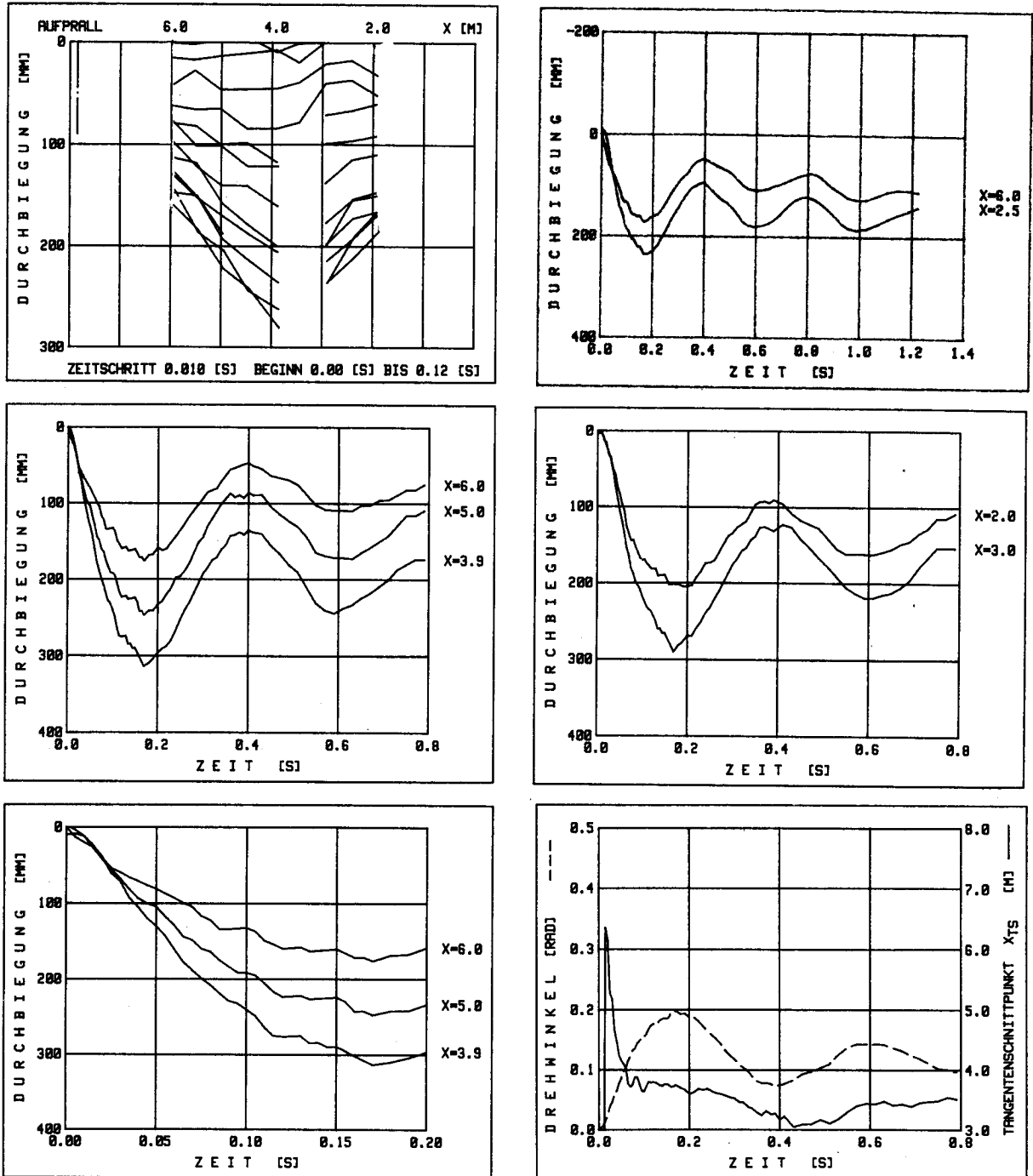


Bild B2.9-3: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

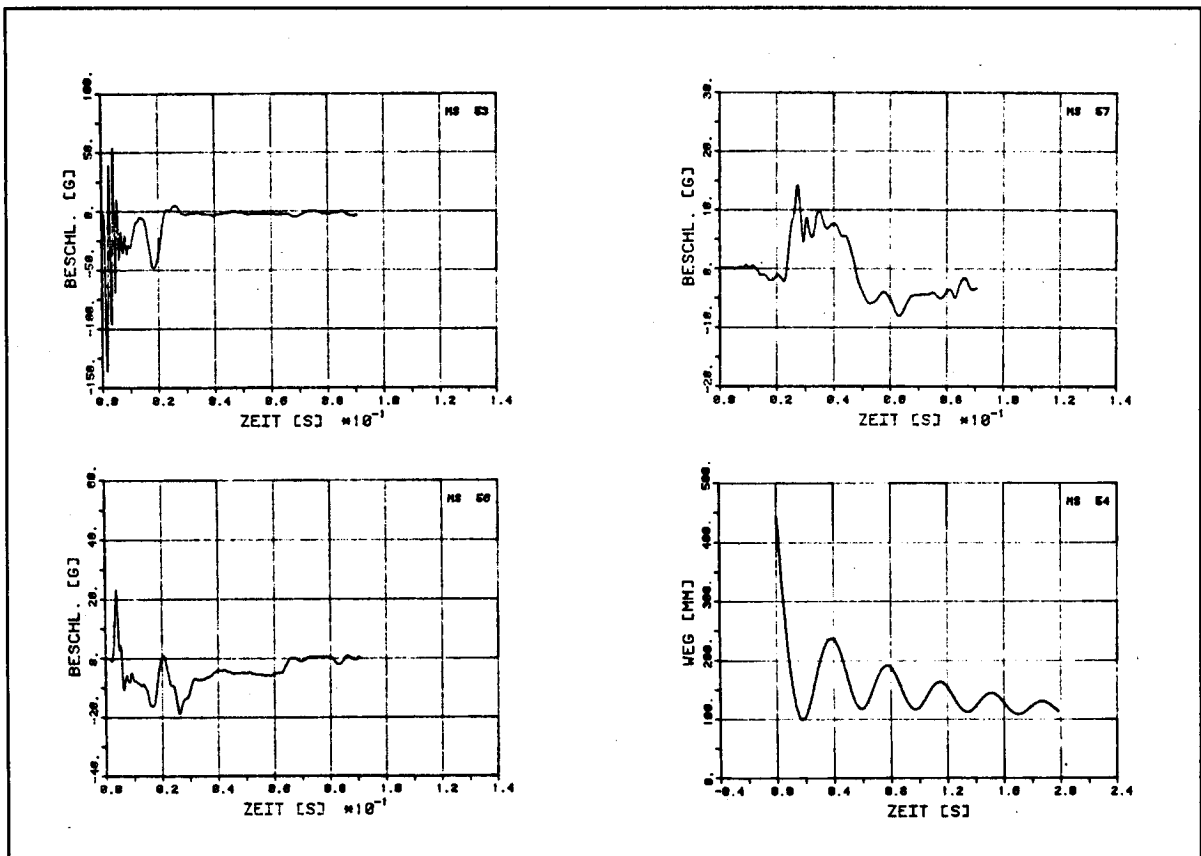


Bild B2.9-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzeldarstellungen und der Durchbiegung in Balkenmitte

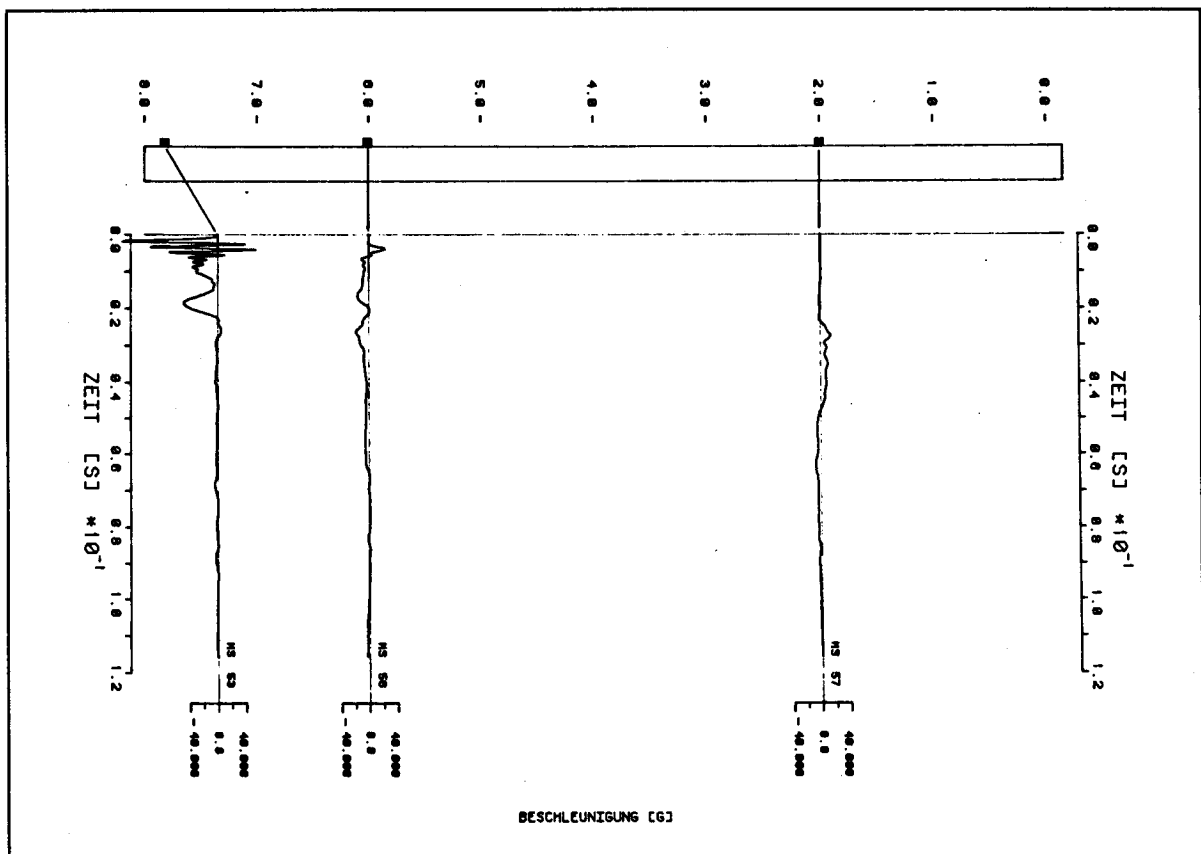


Bild B2.9-5: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

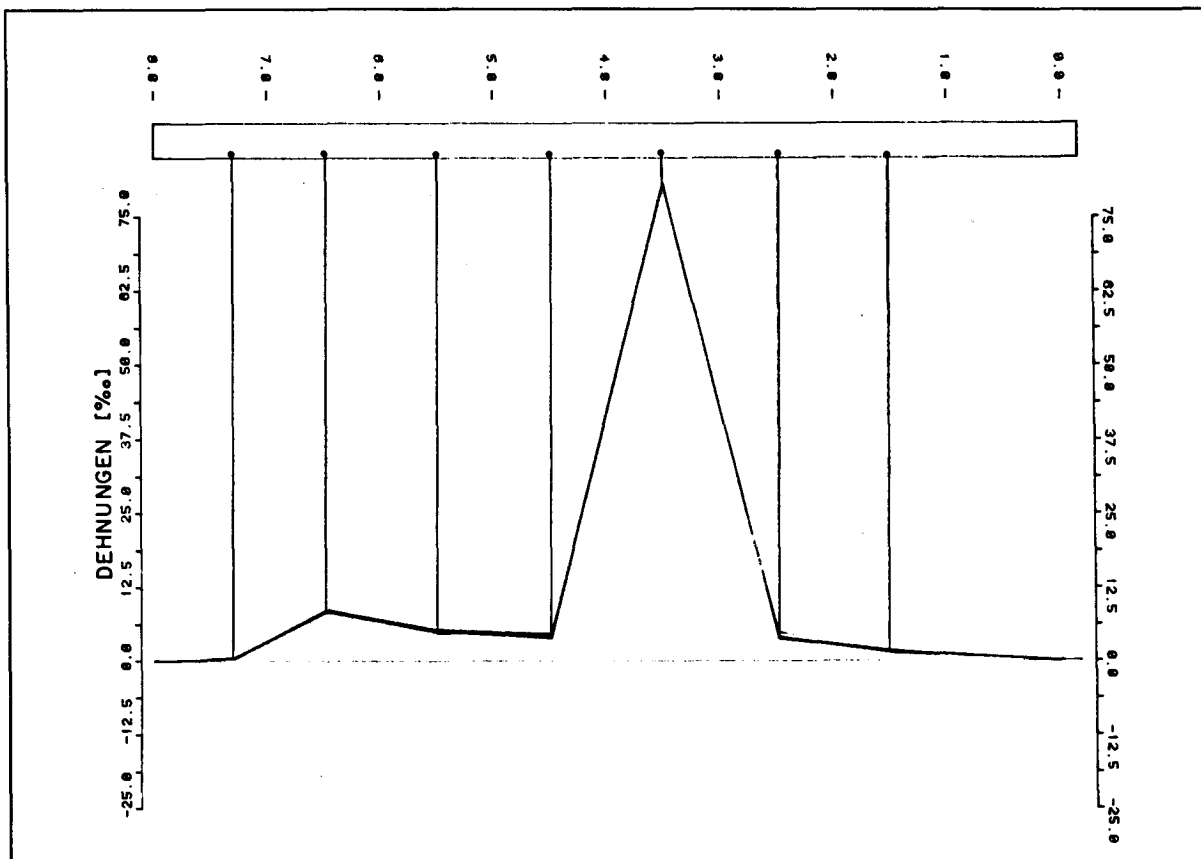


Bild B2.9-6: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $\Delta t = 0.0052 \text{ sec}$ )

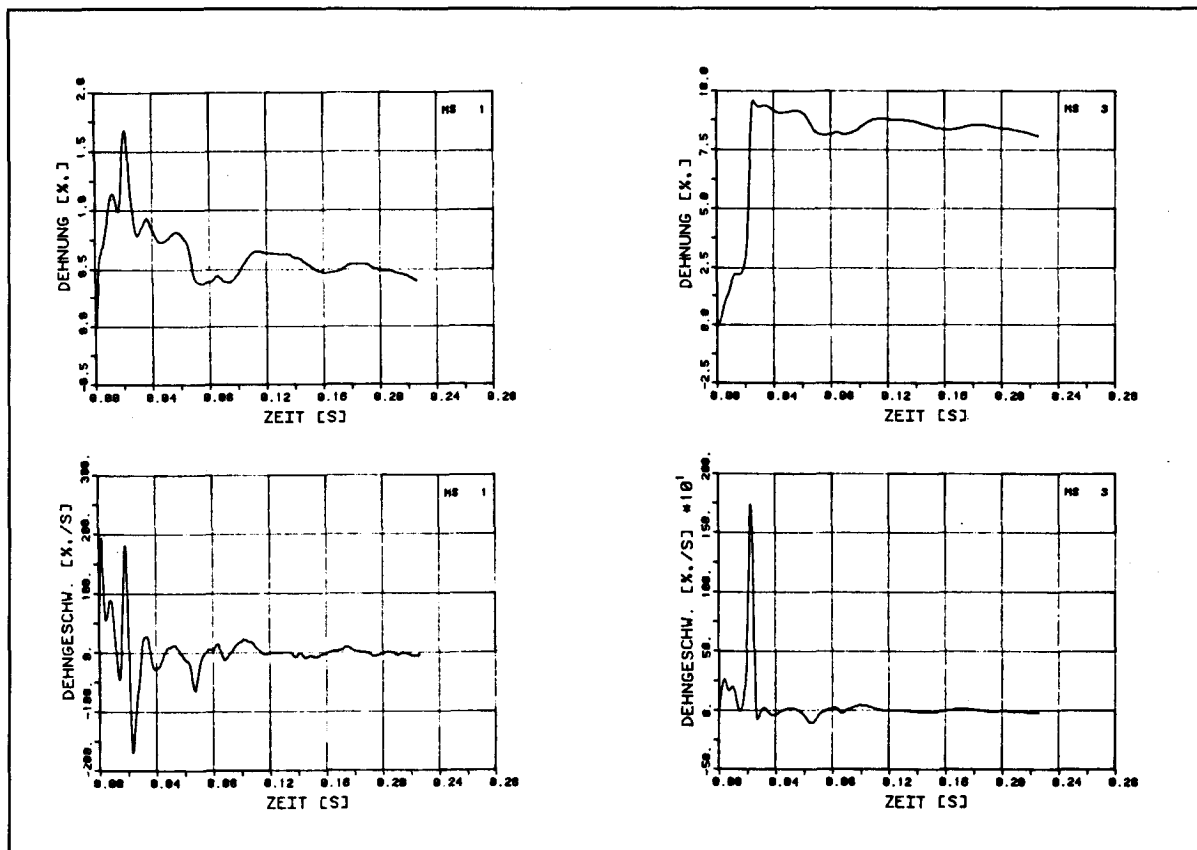


Bild B2.9-7: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

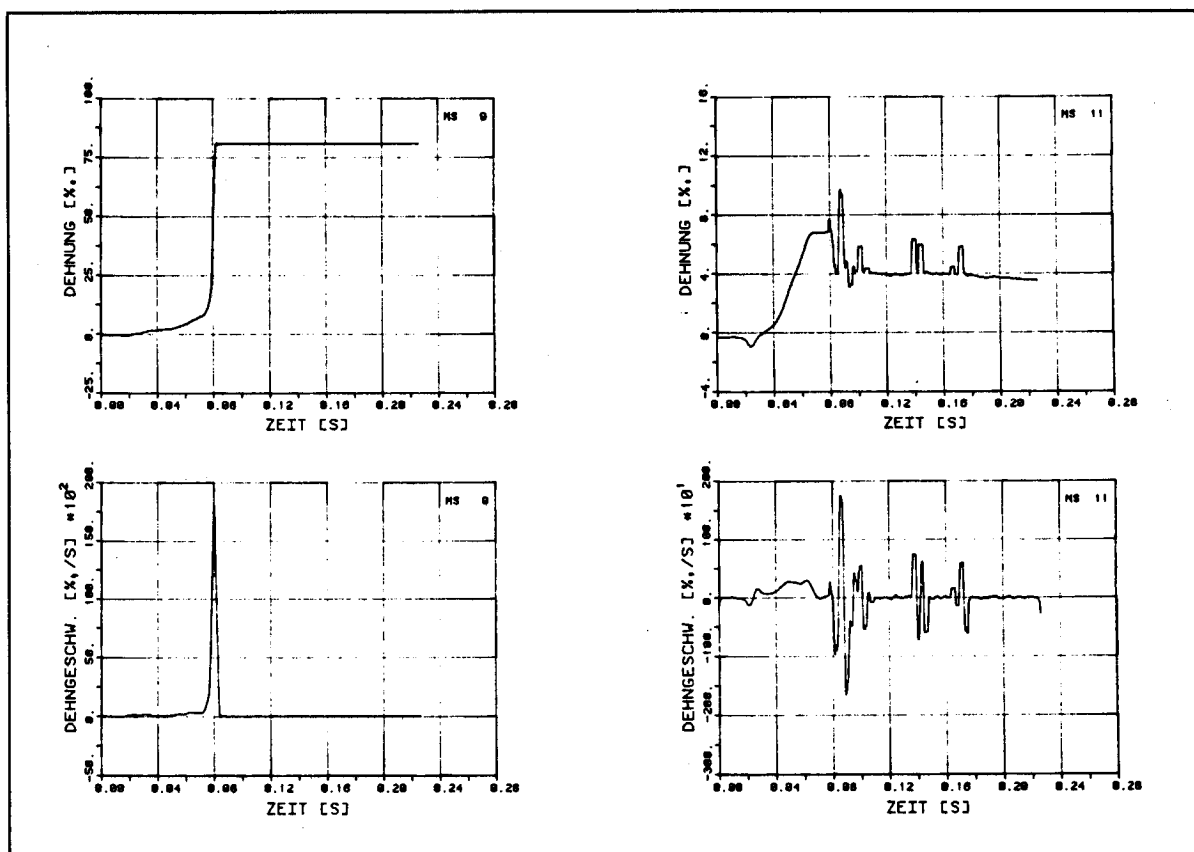
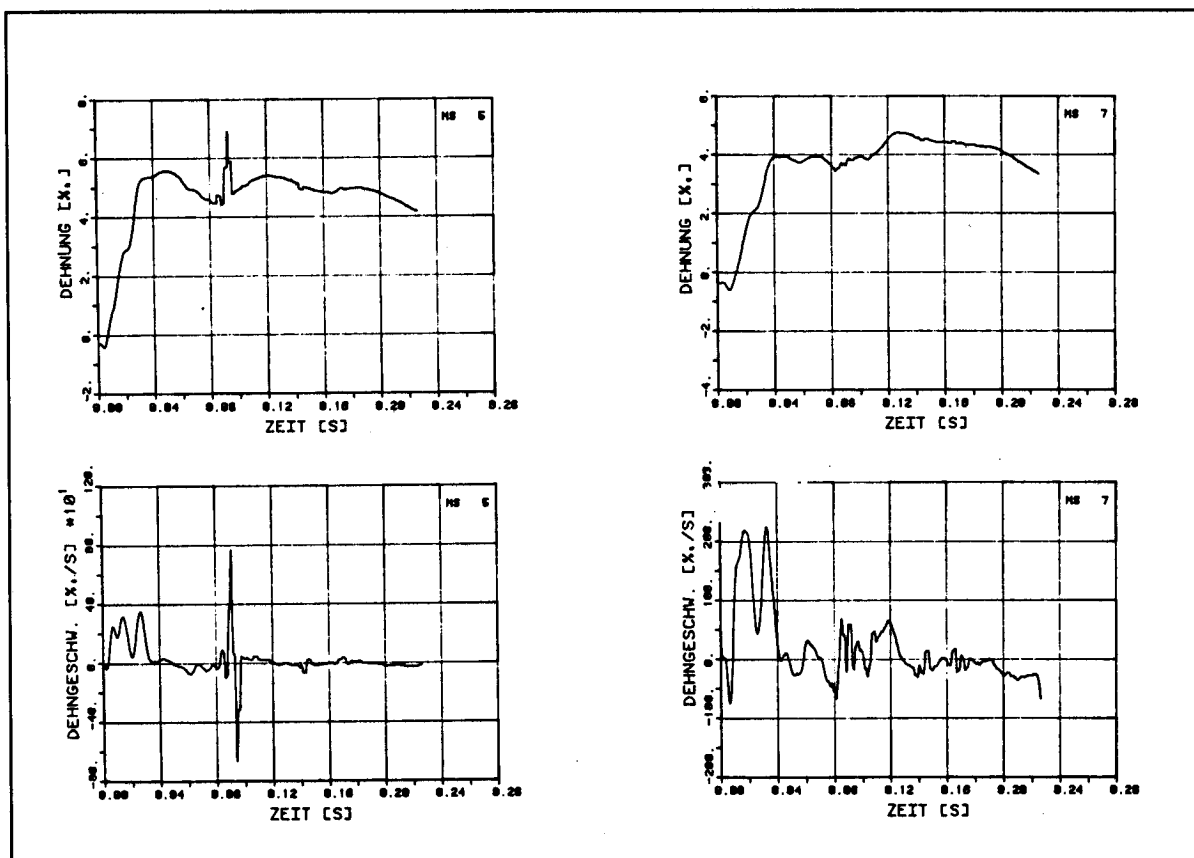


Bild B2.9-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



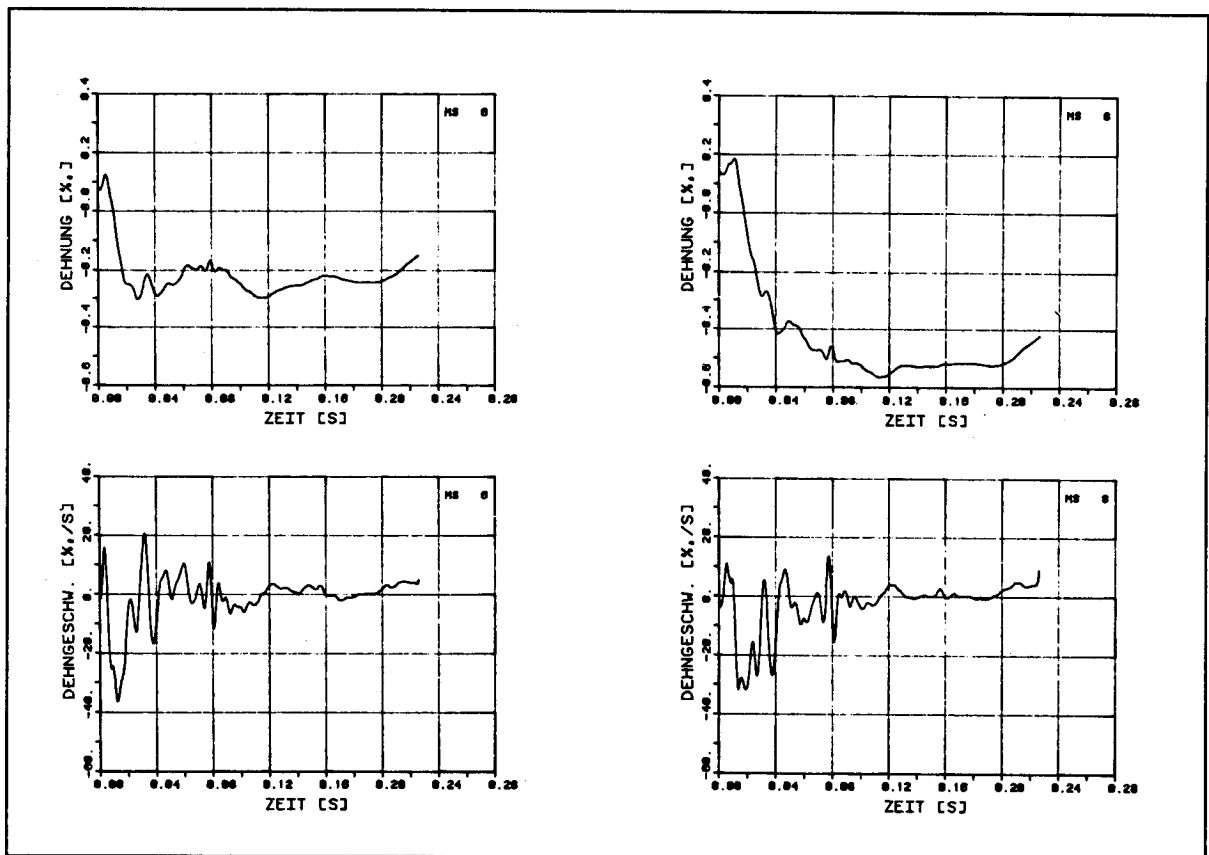
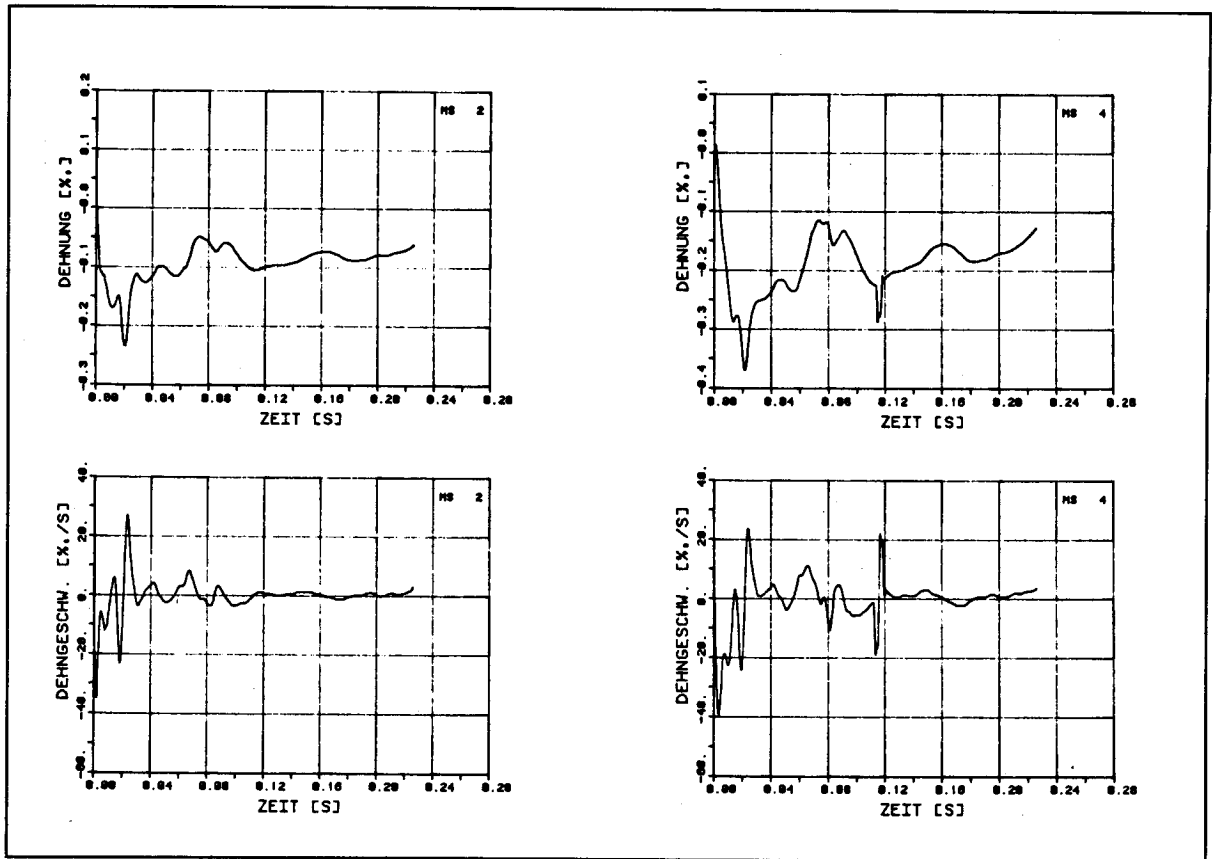


Bild B2.9-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

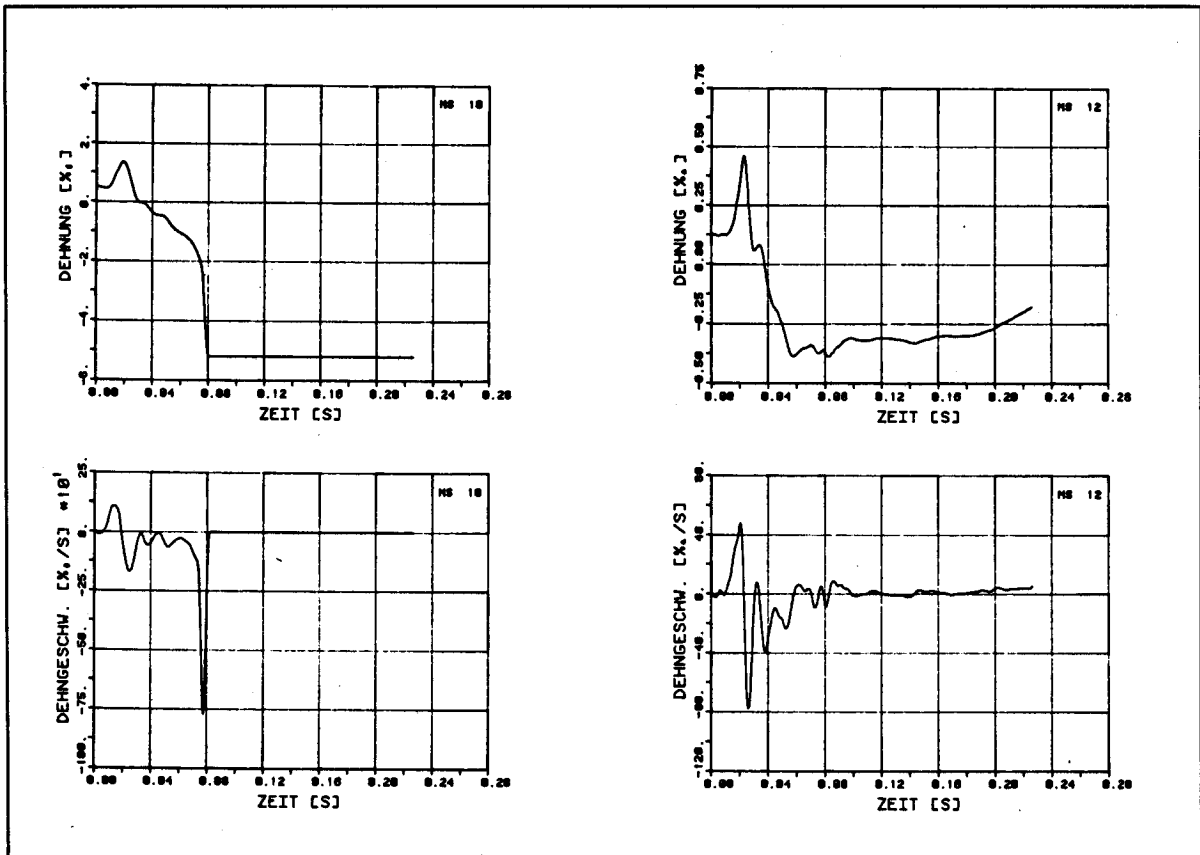


Bild B2.9-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

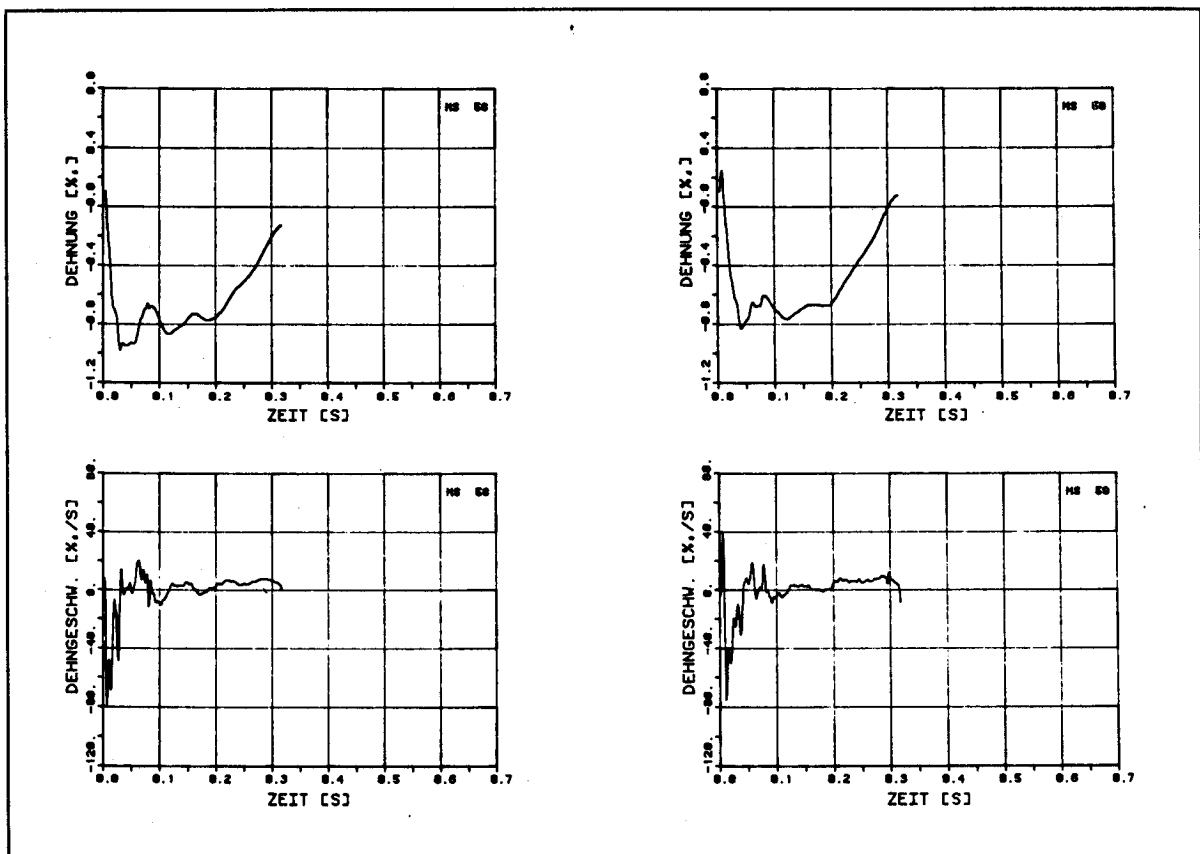


Bild B2.9-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

# BALKEN B3

## Widerstandsparameter:

Querschnitt : rechteckig  
 Längsbewehrungsgehalt : 0.42 %  
 Stahlsorte : IIIa, naturhart

## Dynamische Parameter:

Masse : 300 kg/m'  
 Gesamtlänge : 8.5 m  
 Aufprallelement : Stossdämpfer  
 Prüfungsvorgang : einmalig  
 Fallhöhen H, Einstellzahl E : Versuch B3.1 H = 3.75 m E = 5

## Ziel der Versuche:

Der Balken B3 ist analog ausgebildet wie der Balken B2. Der Unterschied besteht einzig im Prüfungsvorgang. Balken B3 soll mit einem einmaligen Versuch aus einer Fallhöhe von  $H = 3.75$  m beansprucht werden und somit die Versuche mit dem Balken B2 ergänzen.

Art und Anordnung aller Messstellen für die Aufprall- und Gelenkreaktion, die Beschleunigungen, Dehnungen und Durchbiegungen sind mit dem Balken B2 identisch.

## Resultate:

### Verformungsverhalten, Rissbild

Die mit einer Fallhöhe von  $H = 3.75$  m in einem einmaligen Fallversuch (B3.1) erreichte maximale elastisch-plastische Durchbiegung des Balkens beträgt 1037 mm, bei einem elastischen Anteil von 115 mm und einer bleibenden plastischen Durchbiegung von 922 mm. Ein Vergleich dieser maximalen bleibenden Durchbiegung mit dem entsprechenden Wert aus der linearen Extrapolation der Versuche mit dem analogen Balken B2 deutet auf eine Überbeanspruchung des Balkens B3 hin (250 mm grössere Durchbiegung als anhand der Extrapolations-Geraden zu erwarten war). Der Balken weist von  $x = 2.50$  bis etwa  $x = 6.50$  m grosse Risse auf mit Rissweiten zwischen 120/100 mm bis 600/100 mm. Die Risse stossen fast durchwegs bis knapp 20 mm unter die obere Balkenkante vor, wo sie sich - analog wie auf der Höhe der unteren Längsbewehrung - in Richtung der Längsbewehrung stark auffächern. Der Beton ist knapp links von der Balkenmitte (Seite Aufprall) auf einer Länge von 0.50 m stark gestaucht. Nach dem Versuch lässt sich eine Betonschicht von maximal etwa 50 mm Stärke ablösen, örtlich sind aber am Querschnitt Schwächungen des Betons bis gegen 100 mm Tiefe erkennbar. Die in diesem Bereich liegende, obere Längsbewehrung ist beidseits eines Bügels ausgeknickt. Die untere Längsbewehrung ist in diesem Querschnitt stark gedehnt, der äusserste Stab auf der Rückseite sogar bereits leicht eingeschnürt. Sämtliche Stäbe der unteren Längsbewehrung waren direkt nach dem Versuch beträchtlich erwärmt.

Die Resttragfähigkeit des Balkens B3 dürfte infolge dieser Schwächung von  $M_{pl} = 70$  kNm auf rund  $M_{pl} = 50$  kNm abgesunken sein.

Trotz der im Vergleich zu anderen Versuchen eher bescheidenen Aufprallreaktion von maximal 300 kNm war in der Lasteinleitungsplatte über dem Aufprallpunkt eine deutliche Kalotte eingedrückt. Der stirnseitig angeschweisste Stahlschuh vermochte trotz der starken Längsverkürzung des Balkens ein Abgleiten vom Zylinderkopf des Stossdämpfers zu verhindern, war aber im Versuch stark verformt worden. Zwei feine Schubrisse von maximal 3/100 mm Risswei-

te und einer Rissneigung von  $65^\circ$  zur Horizontalen waren nach dem Versuch festzustellen. Im Gelenkbereich traten bei diesem Balken auf der Balkenoberseite keine Risse auf.

#### Bleibende Dehnungen

Die mittels Deformeter gemessenen, bleibenden Stauchungen bzw. Dehnungen nach dem Versuch betragen auf der Balkenoberseite auf dem Beton rund 4 ‰, auf der unteren Längsbewehrung wurde der Messbereich von 25 ‰ im Bereich beidseits der Balkenmitte über eine Länge von rund 2 m deutlich überschritten.

#### Energieaufnahmevermögen

Der aus den Nivellements-Messungen abgeleitete Krümmungsverlauf zeigt zwischen  $x = 4.0$  m und  $x = 5.0$  m eine starke lokale Konzentration mit einem Maximum von rund  $0.6 \text{ m}^{-1}$ . Die beidseitig anschliessenden Balkenteile weisen aber ebenfalls eine Krümmung von im Mittel etwa  $0.1 \text{ m}^{-1}$  auf, so dass zwischen  $x = 2.50$  m und  $x = 6.50$  m ein Bereich ausgedehnt werden kann, über dem beachtliche plastische Verformungen aufgetreten sind. Der Drehwinkel der an die Balkenenden gelegten Tangenten beträgt nach dem Versuch  $0.63$  rad. Die Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformung beträgt 71 ‰ der gesamten potentiellen Energie.

Rund 15 ‰ der gesamten potentiellen Energie werden vom Stossdämpfer aufgenommen, die restlichen 14 ‰ werden durch gedämpftes Ausschwingen verbraucht.

#### Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen

Die in der Aufprallkalotte gemessene 2. Kraftspitze beträgt rund 300 kN, die Gelenkreaktion erreicht die beiden Extremalwerte von + 40 kN bzw. - 60 kN. Der direkt über dem Aufprallpunkt registrierte maximale Beschleunigungswert beträgt 171 g.

#### Dehnungsmessungen während des Versuches

Einige der auf der unteren Längsbewehrung aufgeklebten Dehnmessstreifen waren bereits nach kurzer Zeit (wenige 1/100 Sekunden) überbeansprucht und in der Folge ausgefallen. Der Bereich der grössten Zerstörungen des Balkens (ungefähr bei  $x = 4.50$  m) ist auch anhand des Verlaufes der Dehnungen entlang der unteren und oberen Längsbewehrung erklärbar, treten doch Dehnungen von extremal + 90 ‰ bzw. - 8 ‰ auf. Der in diesem Querschnitt auf der Balkenoberseite aufgeklebte Dehnmessstreifen vermochte bis zu seinem Ausfall infolge Ueberbeanspruchung auf dem Beton eine Stauchung von - 3,5 ‰ zu registrieren.

#### Dehngeschwindigkeiten

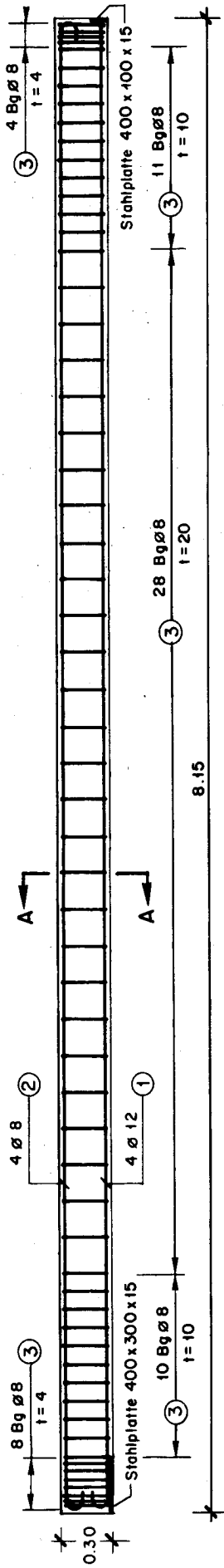
Die in der unteren Längsbewehrung auftretenden maximalen Dehngeschwindigkeiten liegen je nach Lage des Dehnmessstreifens zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.2 \text{ s}^{-1}$  und  $\dot{\epsilon} = 7.5 \text{ s}^{-1}$ . Entsprechende Dehngeschwindigkeiten in der oberen Längsbewehrung betragen maximal zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.04 \text{ s}^{-1}$  und  $\dot{\epsilon} = 0.75 \text{ s}^{-1}$ , auf dem Beton im Maximum  $\dot{\epsilon} = 0.15 \text{ s}^{-1}$ .

#### Eigenfrequenz, Dämpfung

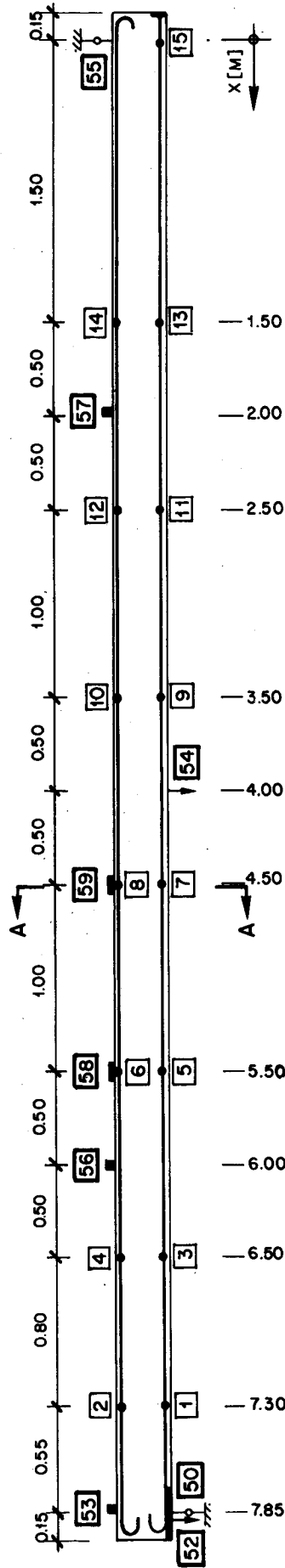
Die in Ausschwingversuchen ermittelte 1. Eigenfrequenz vor und nach dem Fallversuch beträgt  $f = 7.88$  Hz bzw.  $f = 2.76$  Hz, der entsprechende Dämpfungskoeffizient  $\xi = 0.033$  bzw.  $\xi = 0.012$ . Falls nur der 1. Schwingungszyklus nach dem Aufprall in die Berechnung einbezogen wird, resultiert ein Dämpfungskoeffizient von  $\xi = 0.14$ .

# BALKEN B3

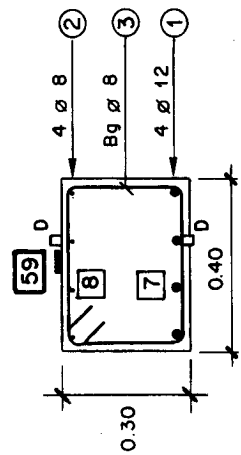
**BEWEHRUNGSPLAN**



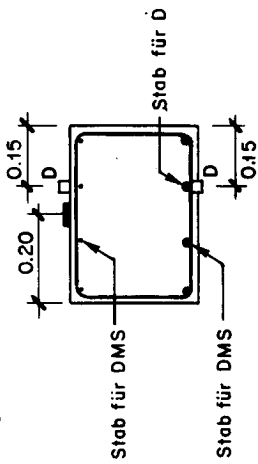
**MESSTELLENPLAN**



**SCHNITT A-A**

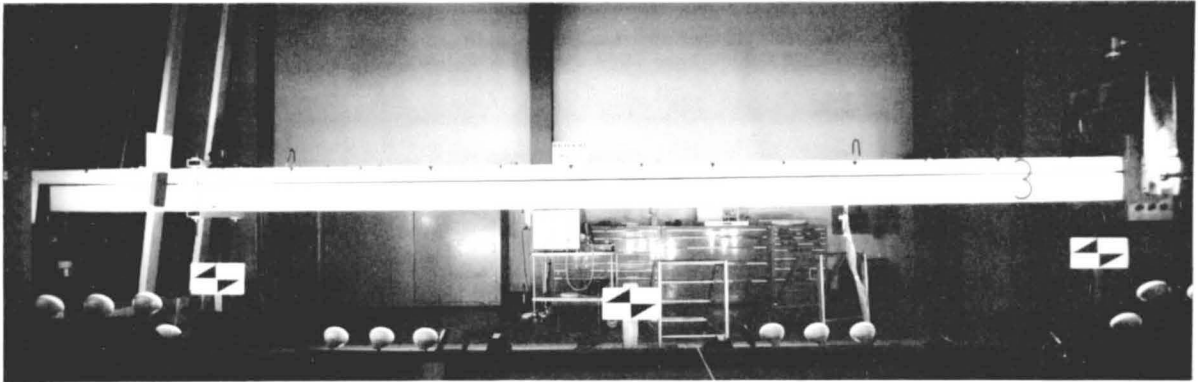


**ANORDNUNG DER MS**

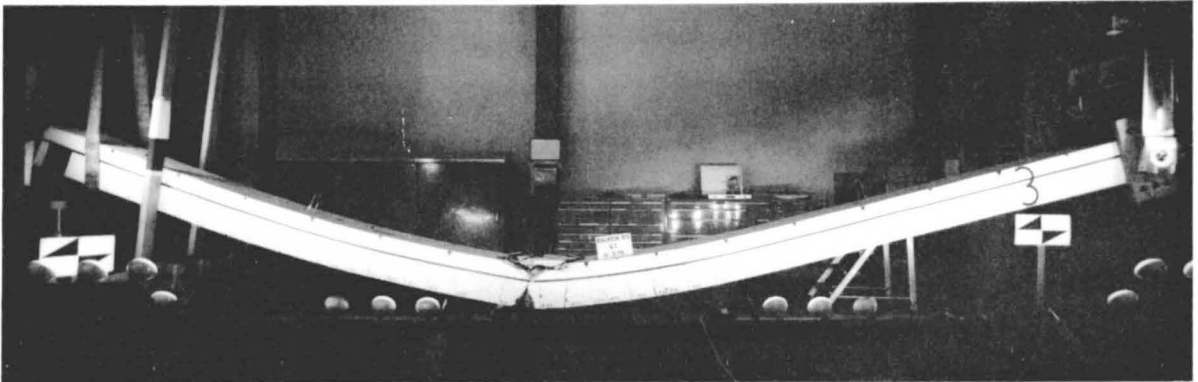


Symbol	Nummer der MS	Bezeichnung
<b>INNERE MESSTELLEN (MS)</b>		
●	1 - 15	DMS auf Stahl
<b>AUSSERE MESSTELLEN (MS)</b>		
▨	58, 59	DMS auf Beton
▧	50, 55	Kraftmessdose
▩	53, 56, 57	Beschleunigungsaufn.
⊥	52, 54	Wegaufnehmer
▧	ohne Angabe	Deformmeter

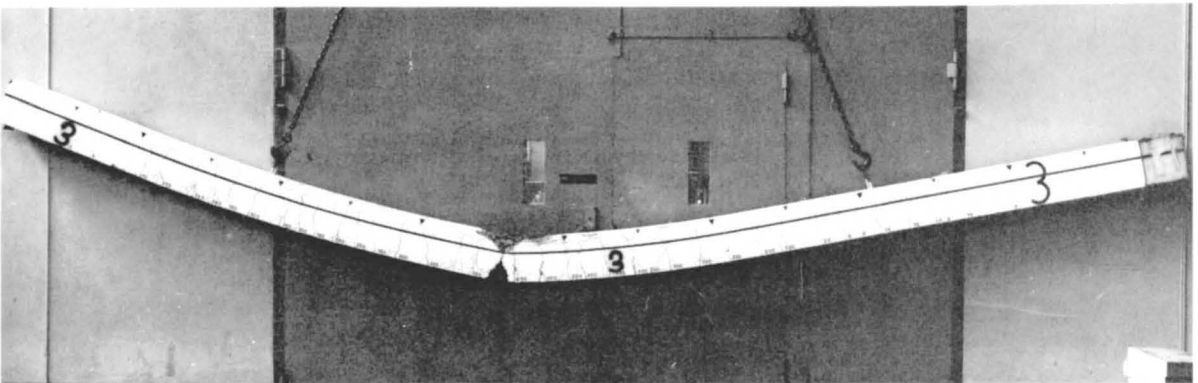
Bild B3.0-1: Bewehrungs- und Messstellenplan



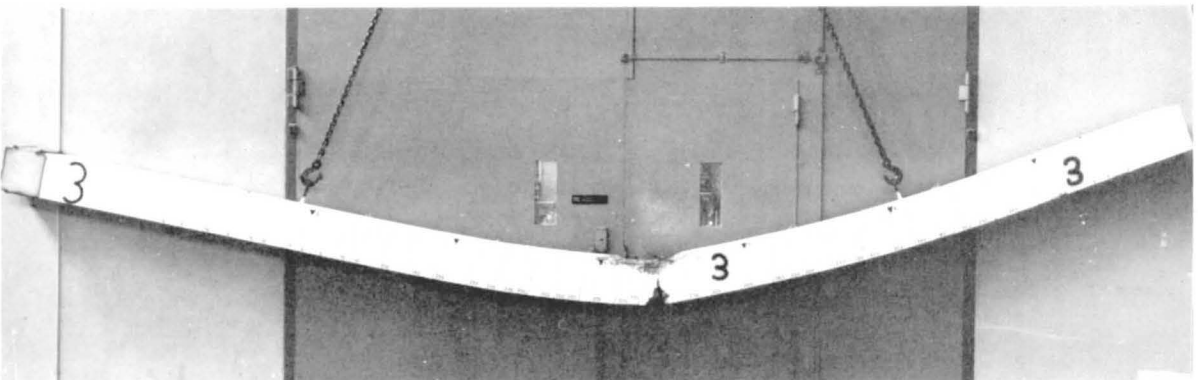
Vor Versuch B3.1



Nach Versuch B3.1 , Fallhöhe  $H = 3.75$  m

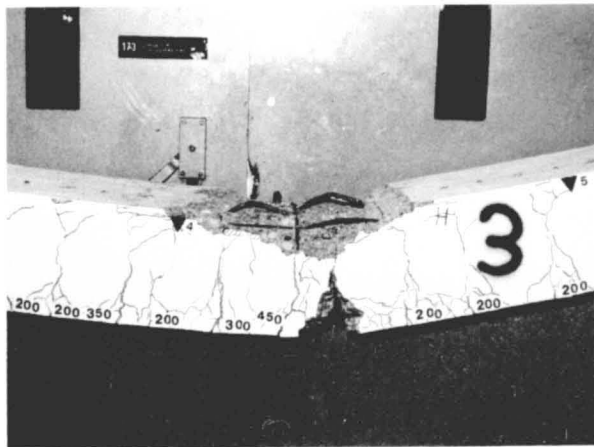
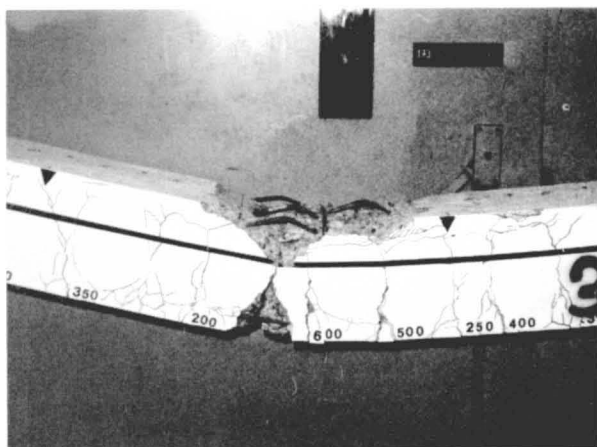


Ausgebauter Zustand , Vorderseite



Ausgebauter Zustand , Rückseite

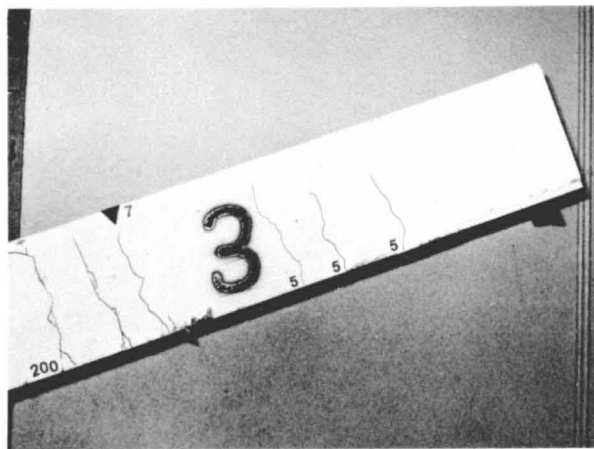
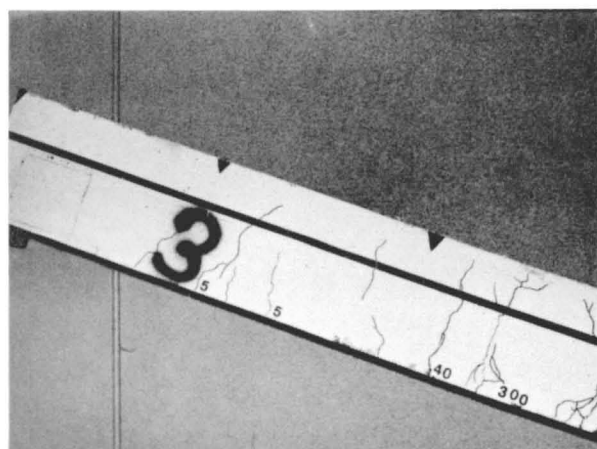
Bild B3.0-2: Uebersichtsfotos vor und nach Versuch B3.1



Vorderseite

Rückseite

Bereich der grössten Beanspruchung ungefähr in Balkenmitte



Vorderseite

Rückseite

Rissbild in der Aufprallzone des Balkens

Bild B3.0-3: Detailaufnahmen nach Versuch B3.1

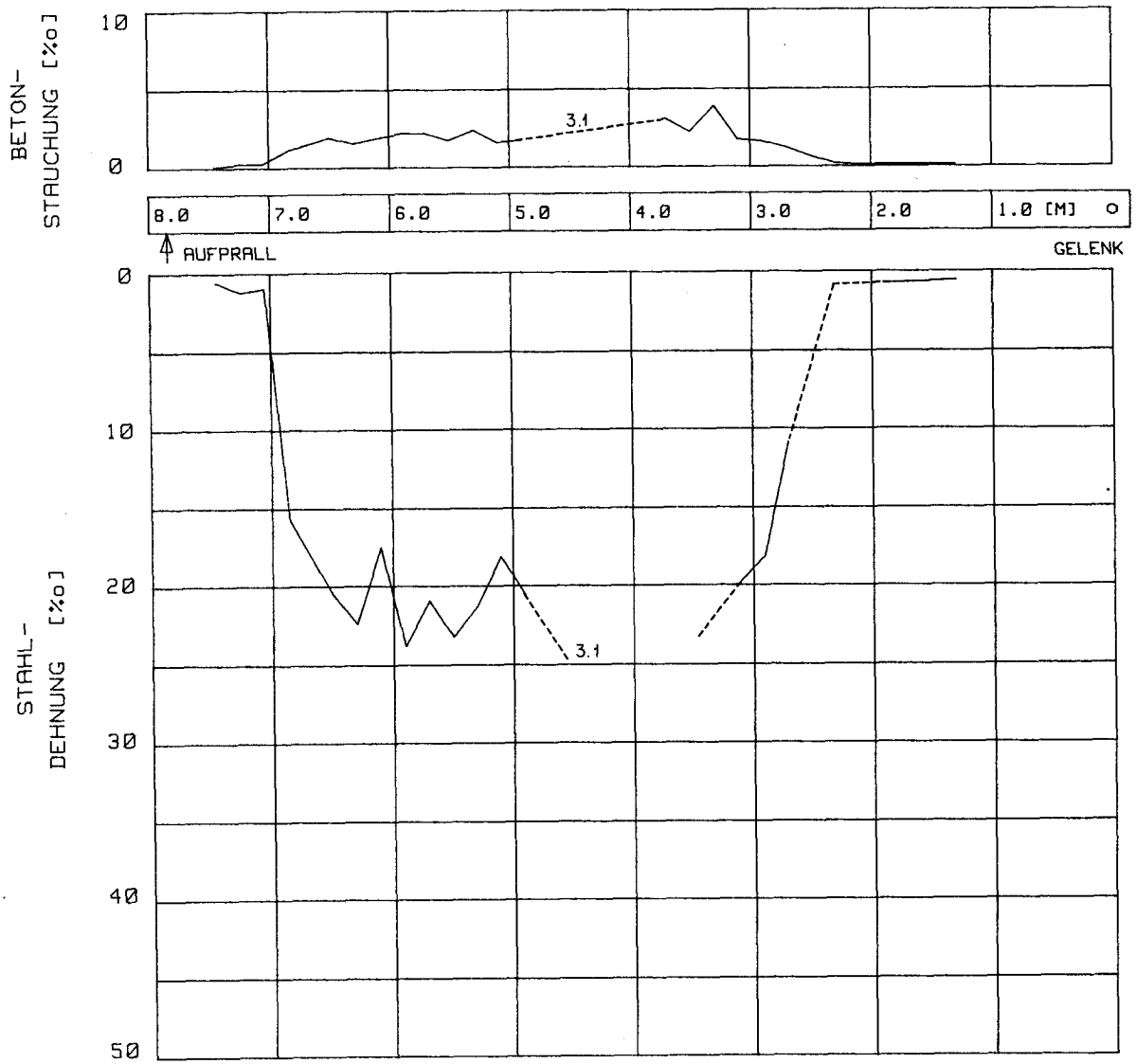


Bild B3.0-4: Dehnungsverläufe aus den Deformetermessungen für Versuch B3.1

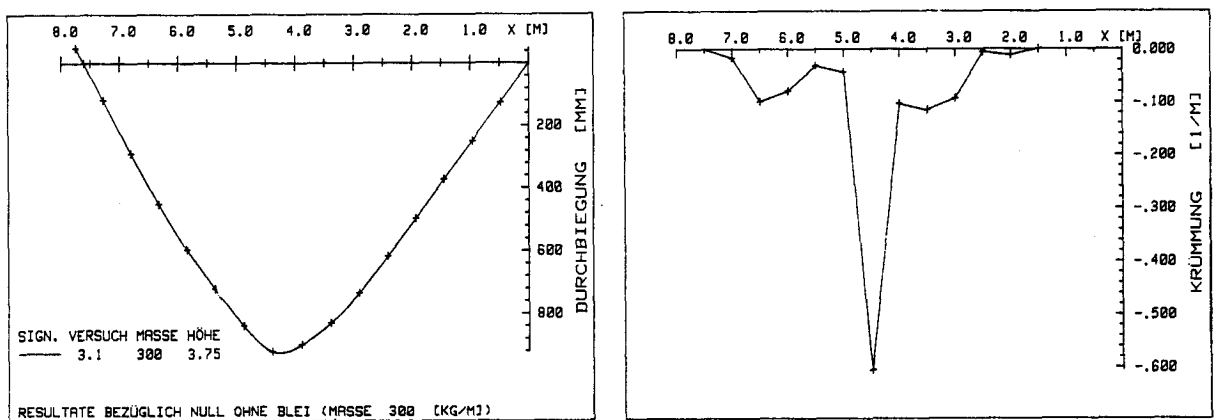


Bild B3.0-5: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B3.1



VERSUCH B3.1

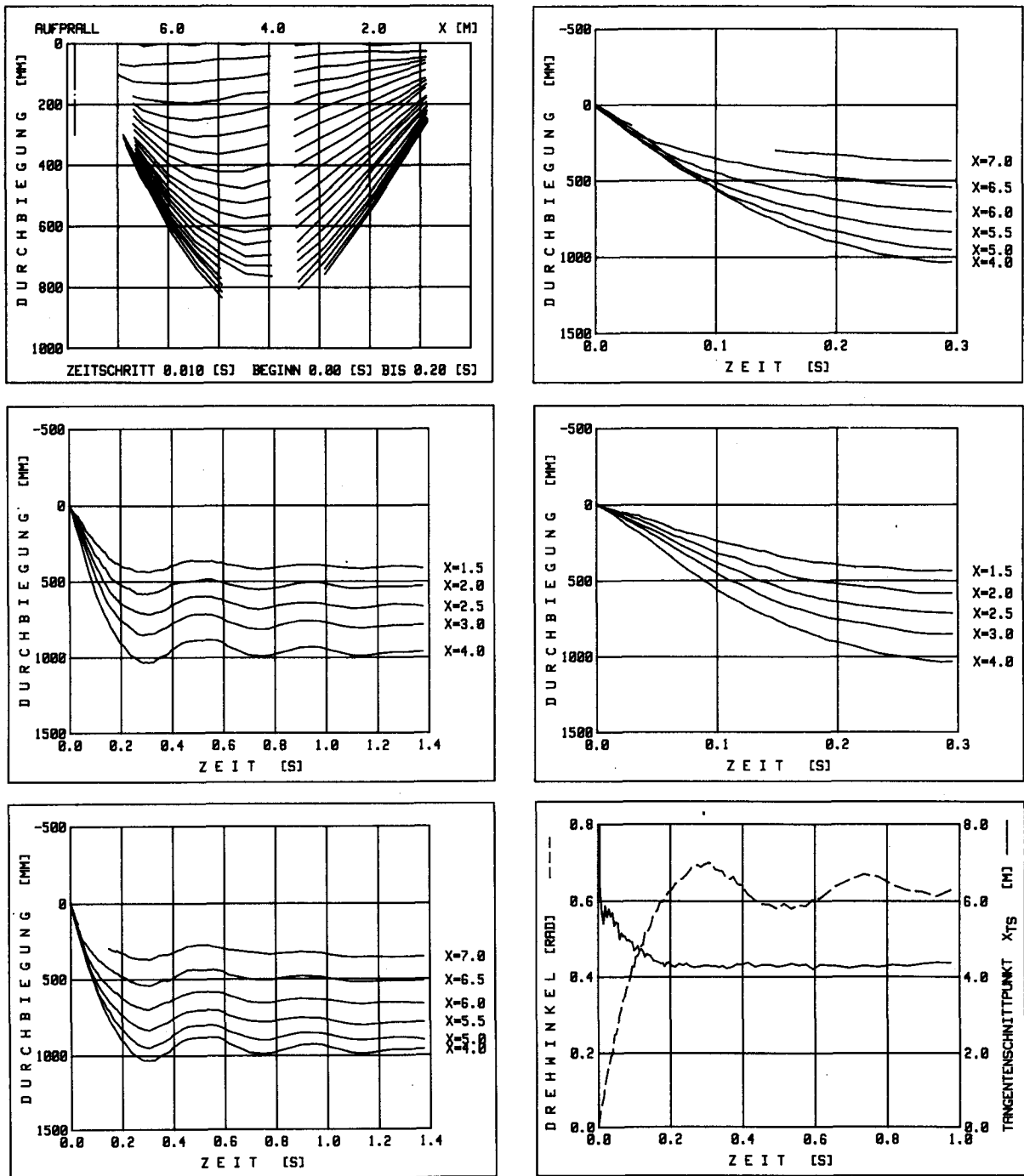


Bild B3.1-1: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

BALKEN 3 VERSUCH 1  
\*\*\*\*\*

BALKENPARAMETER :  
- FALLHOEHE: 3.75 METER  
- BRUCHMOMENT: 70 KILO-NEWTON-METER  
- MASSE: 300. KILCGRAMM / METER  
- BEMERKUNGEN:

DIGITALISIERUNGSPARAMETER: - ANZAHL SAMPLES BEI DER EICHUNG : 400.  
BEI DER MESSUNG : 10240.  
- ABTASTFREQUENZ CA. : 4420. HZ

- BANDGESCHWINDIGKEIT BEIM VERSUCH : 30.0 IPS  
BEIM DIGITALISIEREN : 3.7 IPS  
--> ZEITFAKTOR : 8.0

ZUSAMMENSTELLUNG DER EINZELNEN KANAEL

*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****	
A/D-WANDLER	I	AUFZEICHNUNG	I	UMRECHNUNG	I	EICHPARAMETER	I	F(X) = A * X + B	I	BEMERKUNGEN	I	SYNCH. LOSS 1	I	SYNCH. LOSS 2	I	SYNCH. LOSS 3	I	STOSSDAEMPFER AUS BILD	I	STOSSDAEMPFER AUS BILD	
KAN NR:	E	M	PCM NR:	MESSST. NR:	EICHGROSSE: WERT	KORR.-FAKTOR	VERST.-FAKTOR	A	B												
0	0	0	91	S	I	0.000 [ ]	0.000	0.00	0.00000			0.00000									
1	0	0	92	S	I	0.000 [ ]	0.000	0.00	1.00000			0.00000									
2	0	0	93	S	I	0.000 [ ]	0.000	0.00	1.00000			0.00000									
8	0	0	1	53	A	I	4.600 [ G ]	2.000	0.19533			0.19533									
9	0	0	2	56	A	I	1.300 [ G ]	2.000	0.09738			0.09738									
10	0	0	3	57	A	I	0.270 [ G ]	2.000	0.01960			0.01960									
11	0	0	4	50	F	I	347.420 [KN]	2.000	0.34775			0.34775									
12	0	2	5	55	F	I	159.550 [KN]	2.000	0.07935			0.07935									
13	0	0	6	52	W	I	113.600 [MM]	2.000	0.22166			0.22166									
14	0	0	7	54	W	I	0.000 [MM]	0.000	0.00000			0.00000									
15	0	1	8	58	E	I	1.000 [X.]	2.140	0.00458			0.00458									
16	0	1	9	59	E	I	1.000 [X.]	2.140	0.00457			0.00457									
17	0	3	10	2	E	I	1.000 [X.]	2.030	0.00121			0.00121									
18	0	2	11	4	E	I	1.000 [X.]	2.030	0.00248			0.00248									
19	0	3	12	6	E	I	1.000 [X.]	2.030	0.00123			0.00123									
20	0	0	13	8	E	I	1.000 [X.]	2.030	0.00989			0.00989									
21	0	2	14	10	E	I	1.000 [X.]	2.030	0.00245			0.00245									
22	0	3	15	12	E	I	1.000 [X.]	2.030	0.00121			0.00121									
23	0	3	16	14	E	I	1.000 [X.]	2.030	0.00123			0.00123									
24	3	3	17	1	E	I	10.000 [X.]	2.070	0.00464			0.00464									
25	3	2	18	3	E	I	10.000 [X.]	2.070	0.02308			0.02308									
26	3	1	19	5	E	I	10.000 [X.]	2.070	0.04625			0.04625									
27	3	0	20	7	E	I	10.000 [X.]	2.070	0.09287			0.09287									
28	3	1	21	9	E	I	10.000 [X.]	2.070	0.04636			0.04636									
29	3	3	22	11	E	I	10.000 [X.]	2.070	0.01159			0.01159									
30	3	3	23	13	E	I	10.000 [X.]	2.070	0.01159			0.01159									
31	3	3	24	15	E	I	10.000 [X.]	2.070	0.00231			0.00231									

Bild B3.1-2: Informationsblatt PCM - Daten

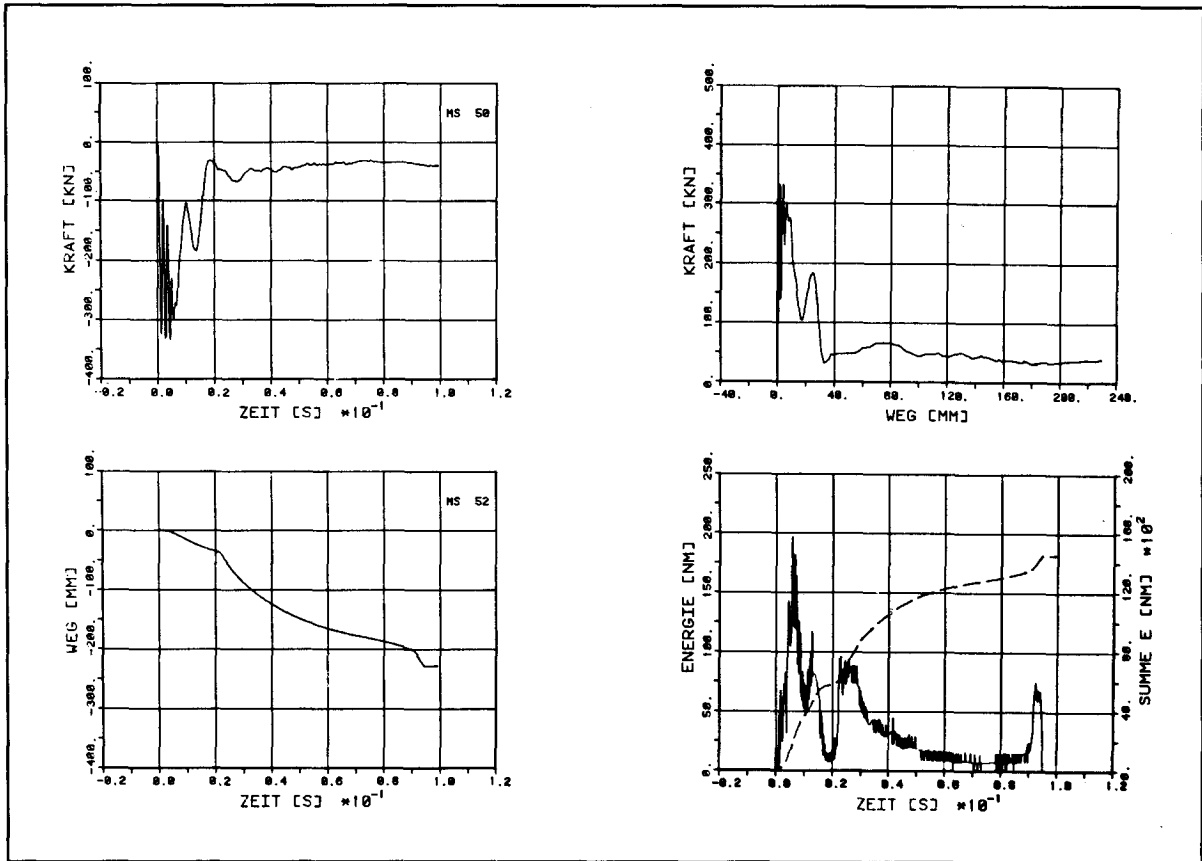


Bild B3.1-3: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

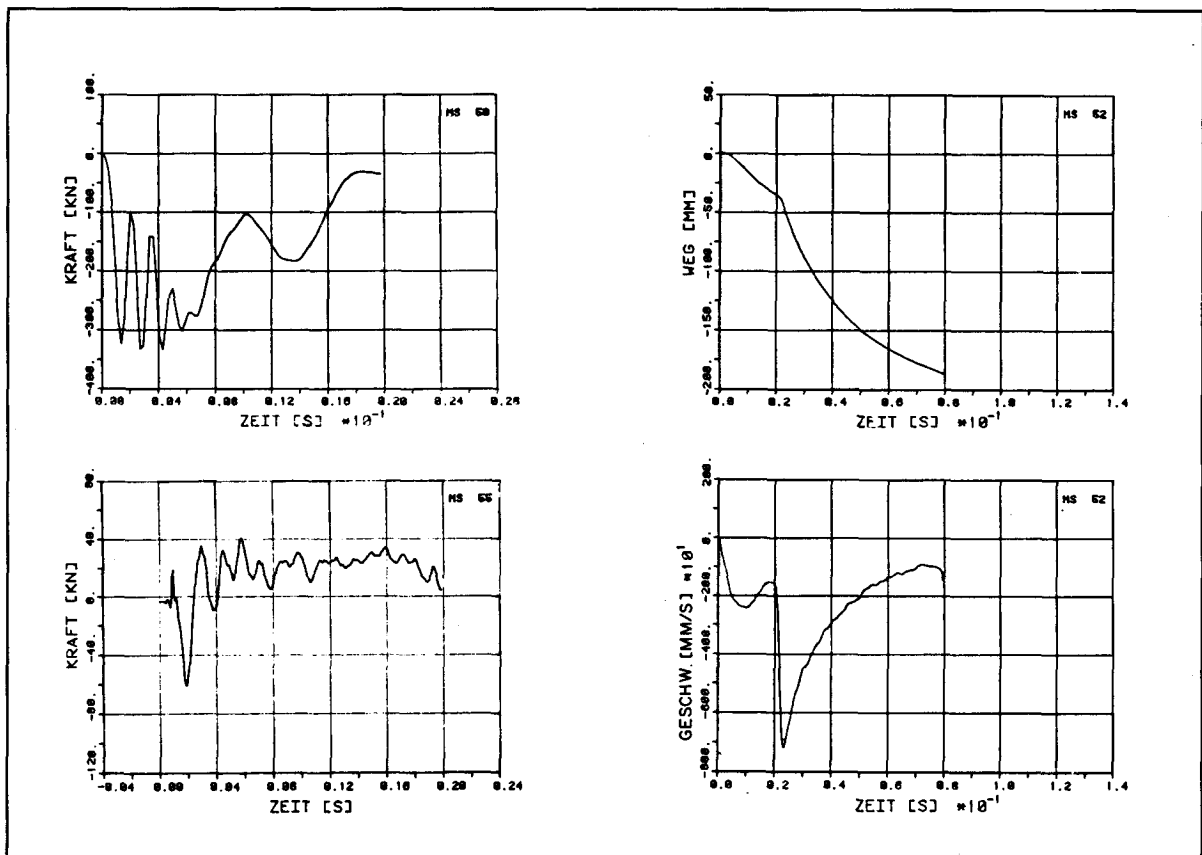


Bild B3.1-4: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion, Einsenkung und Geschwindigkeit des Stossdämpfers

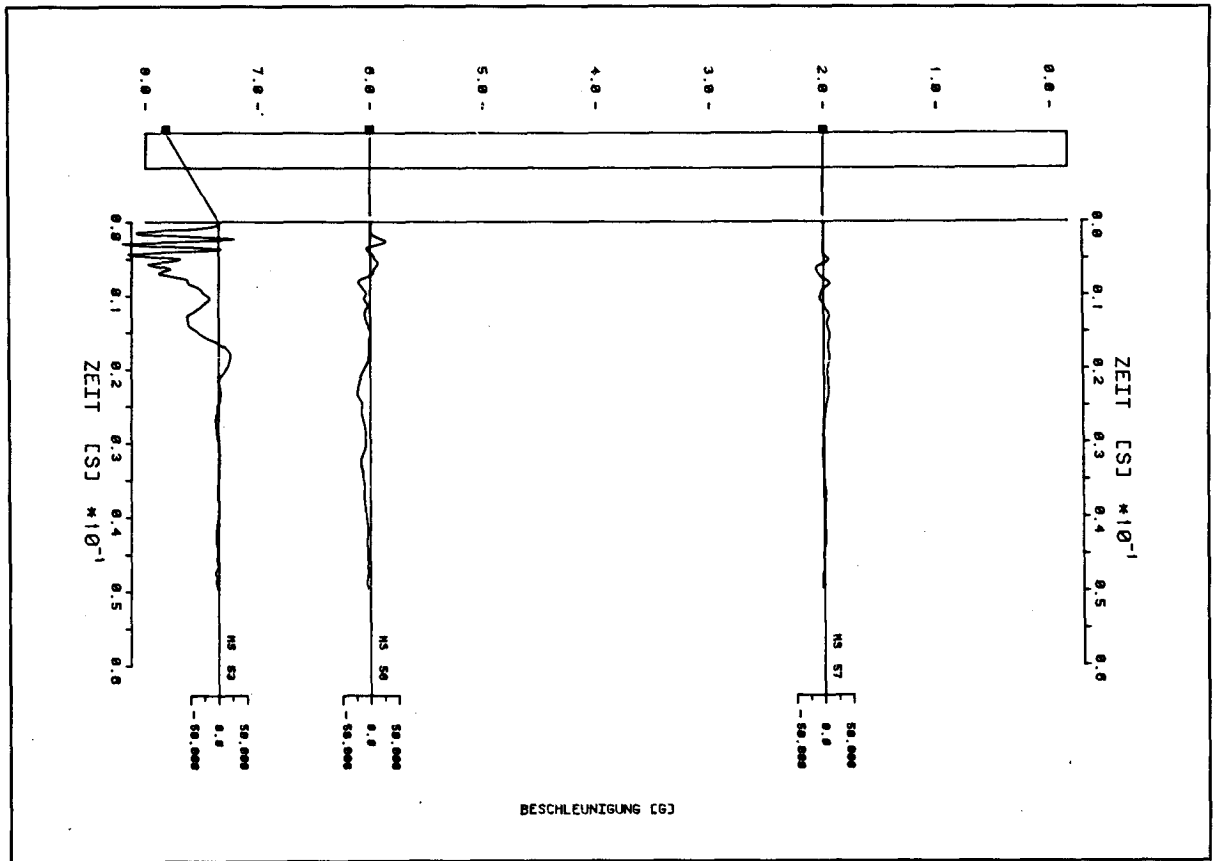


Bild B3.1-5: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

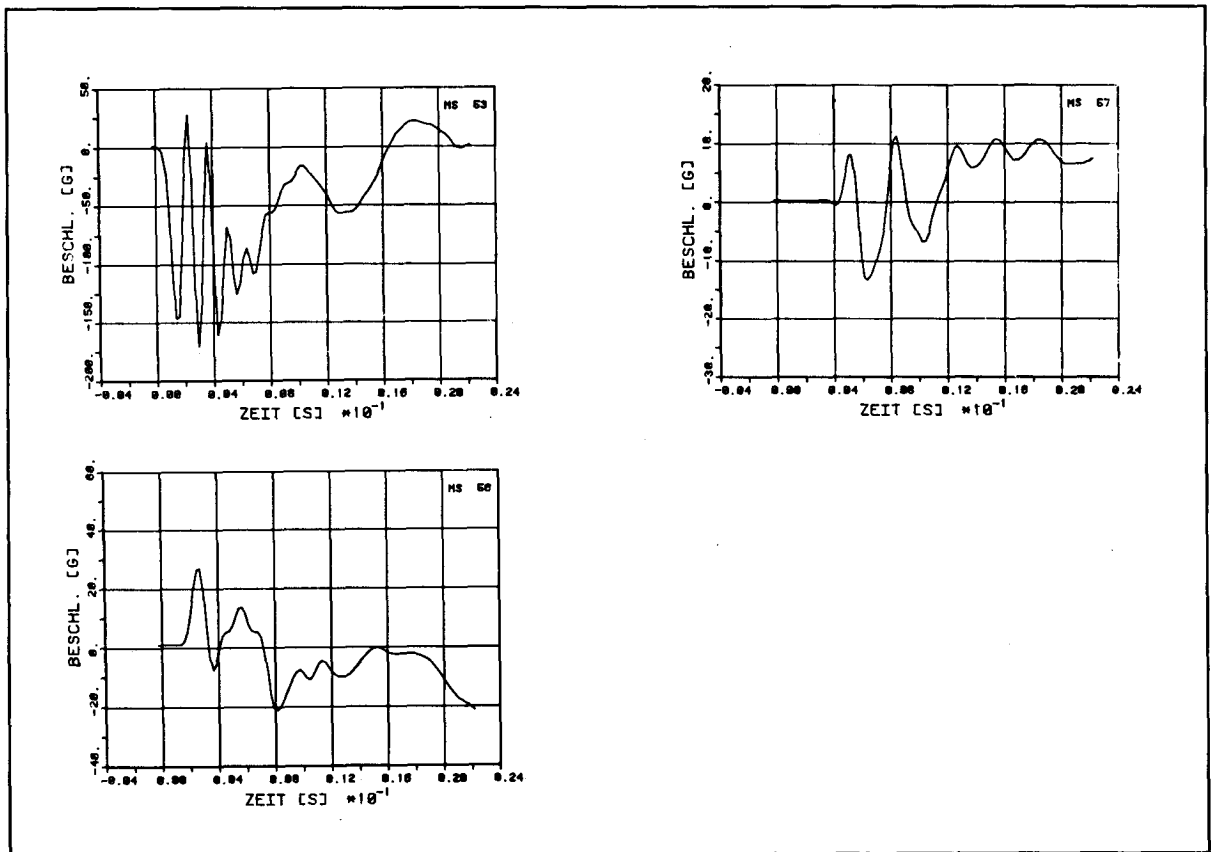


Bild B3.1-6: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel-Darstellungen

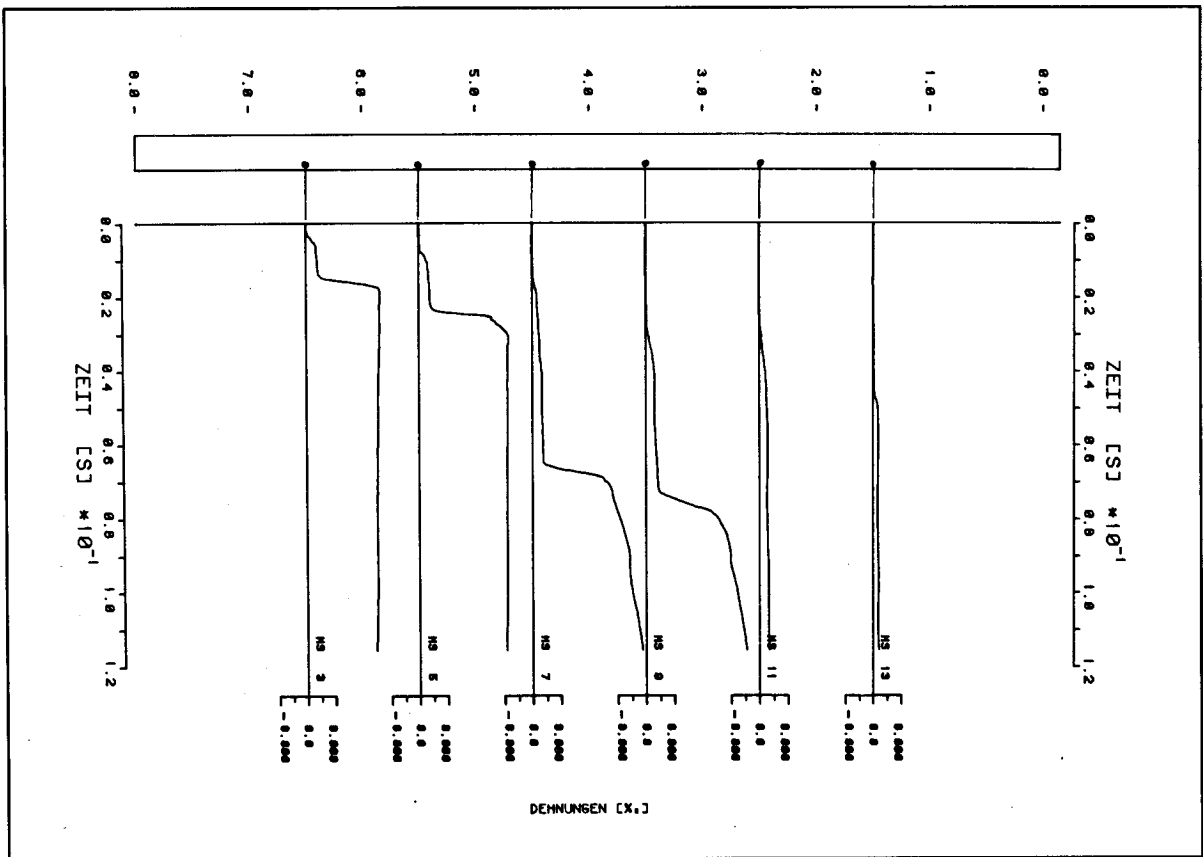


Bild 3.1-7: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

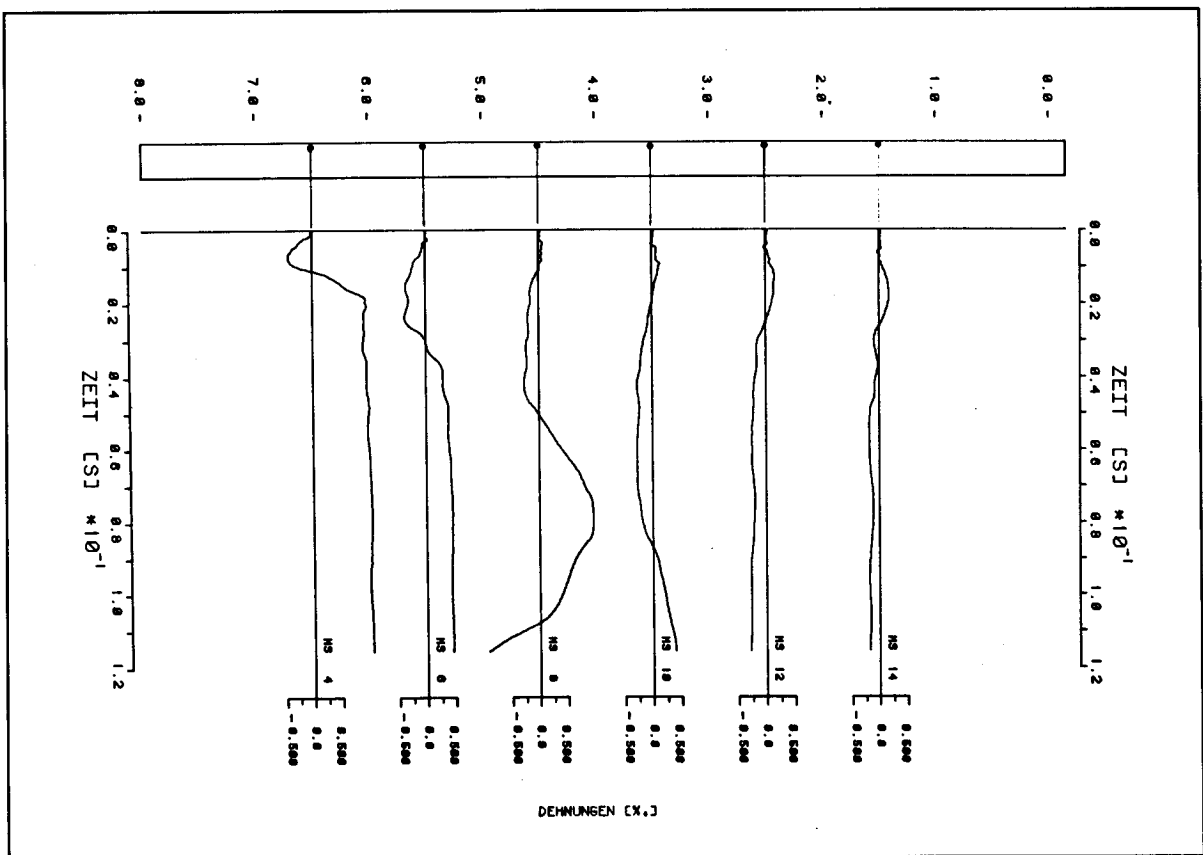


Bild B3.1-8: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

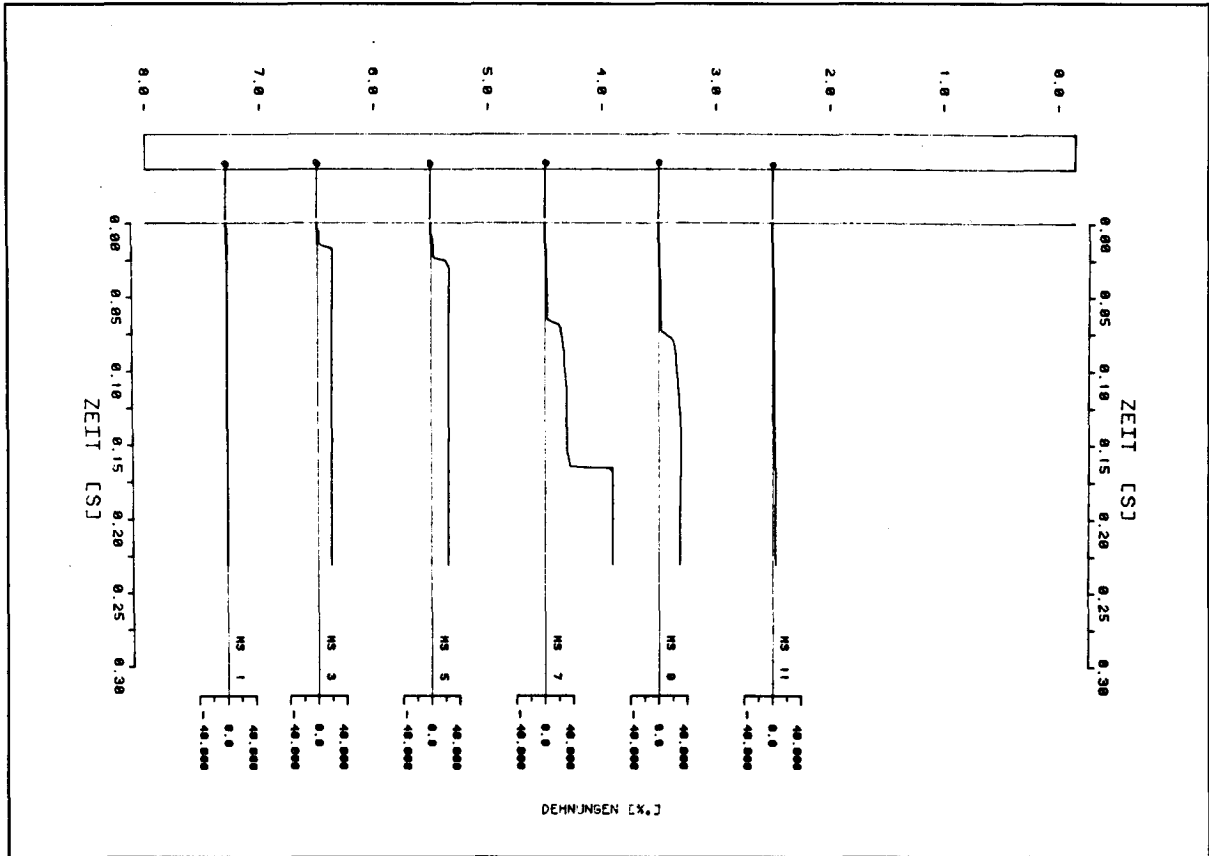


Bild 3.1-9: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

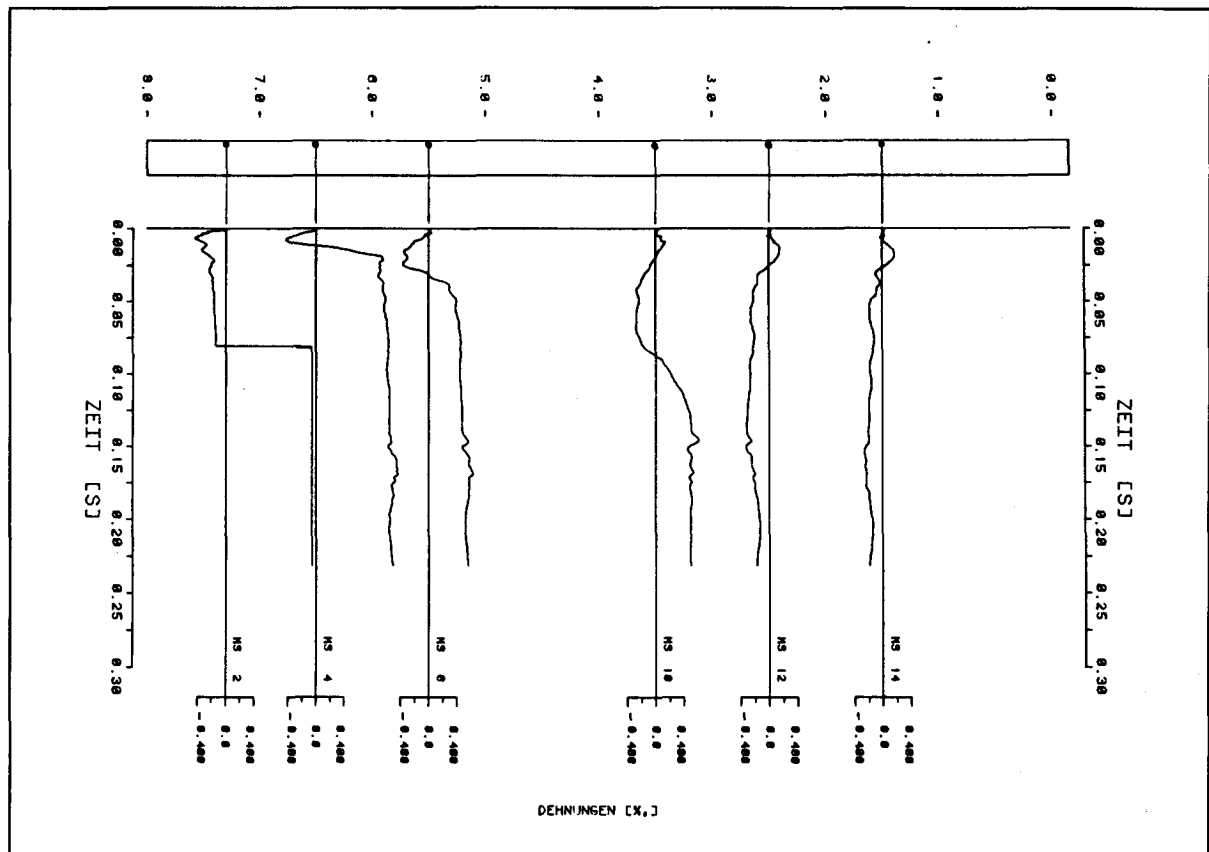


Bild 3.1-10: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

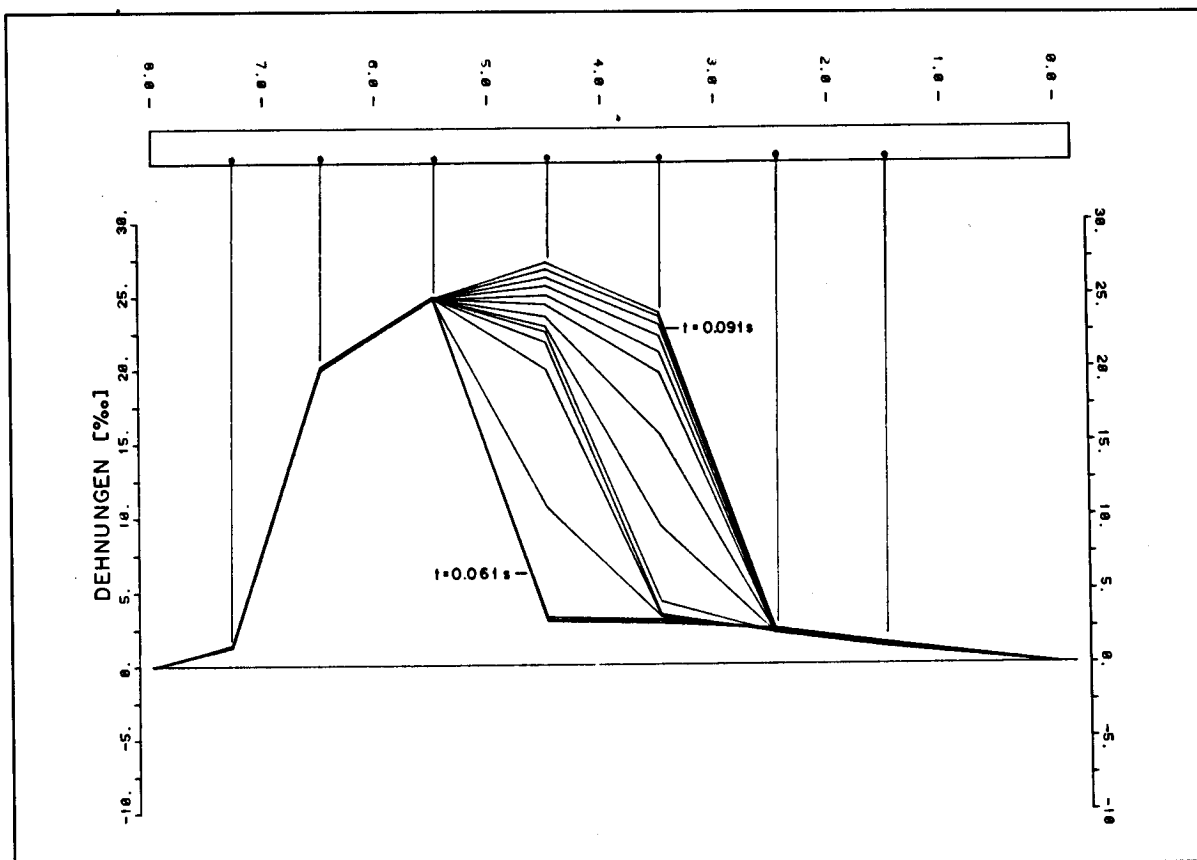


Bild 3.1-11: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.061\text{ s} - 0.091\text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.002\text{ s}$ )

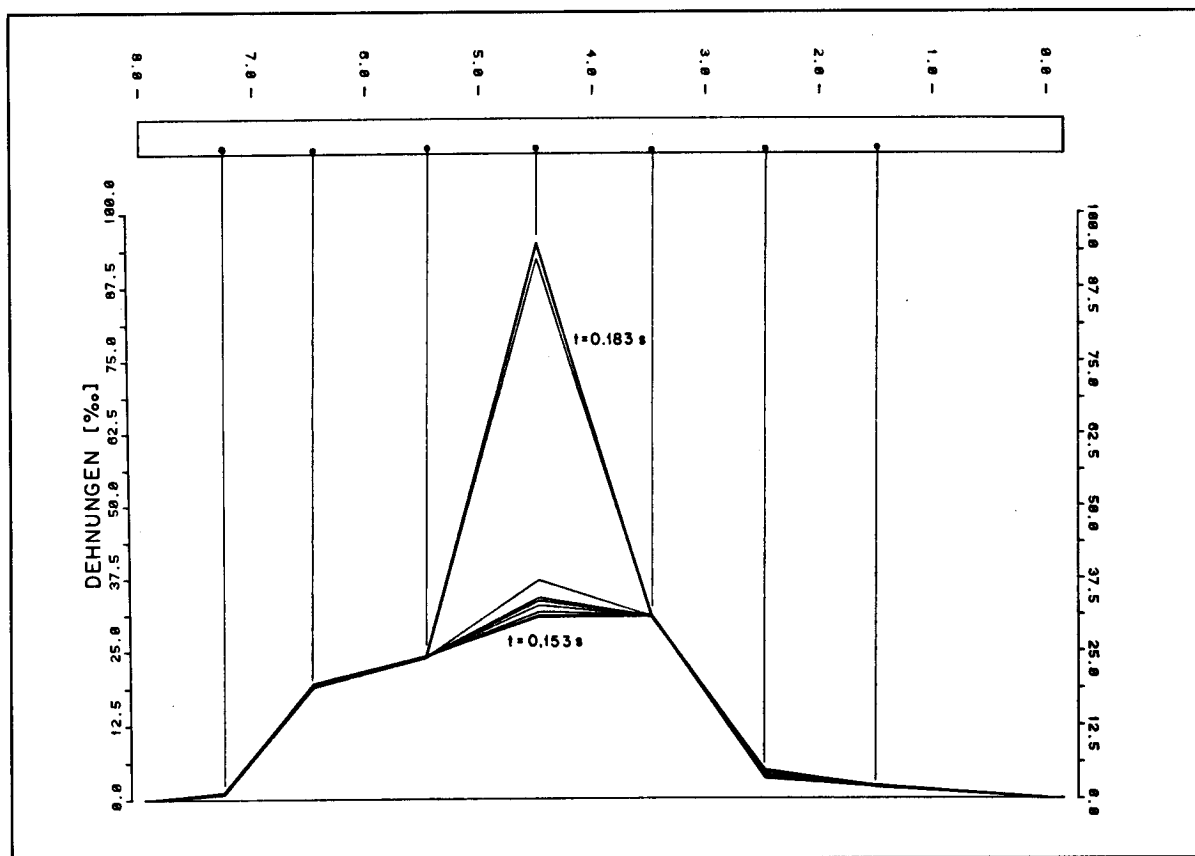


Bild 3.1-12: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.153\text{ s} - 0.183\text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.002\text{ s}$ )

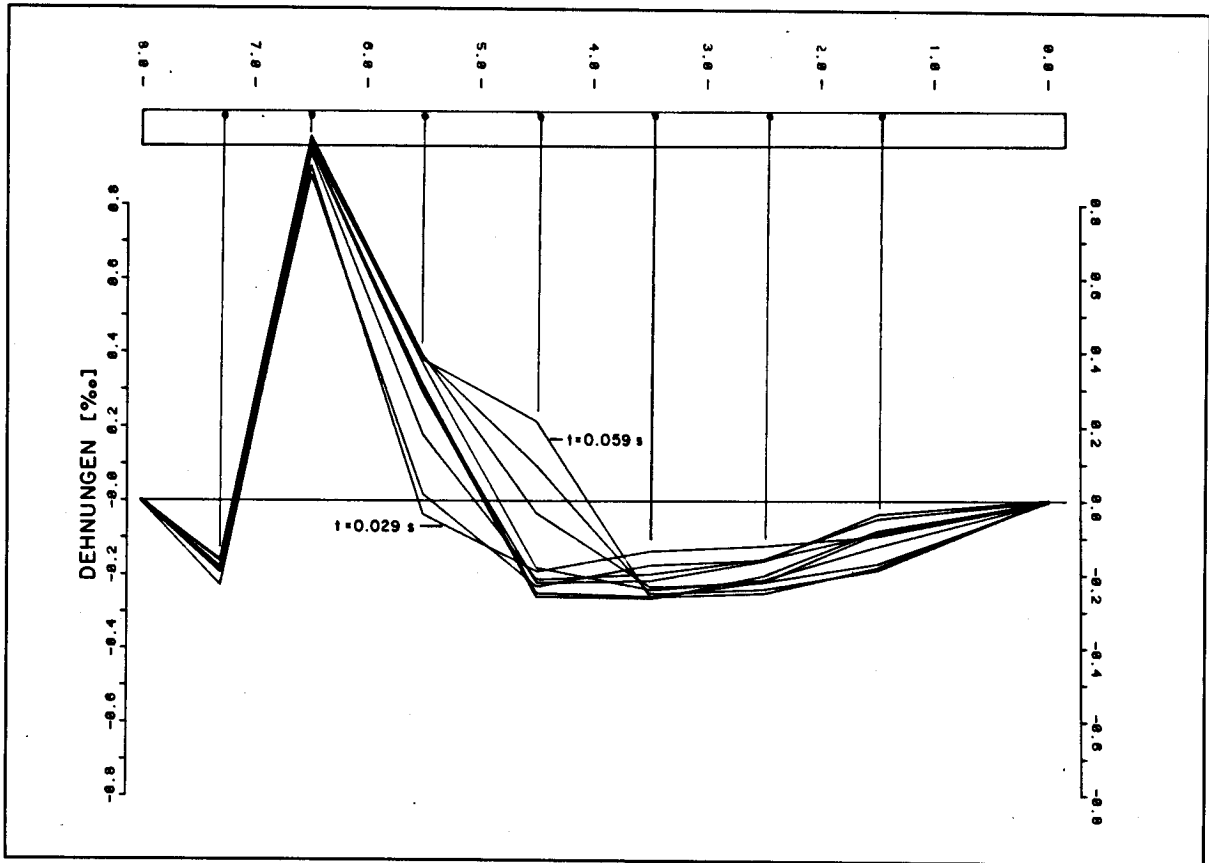


Bild B3.1-13: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.029$  s -  $0.059$  s,  $\Delta t = 0.003$  s)

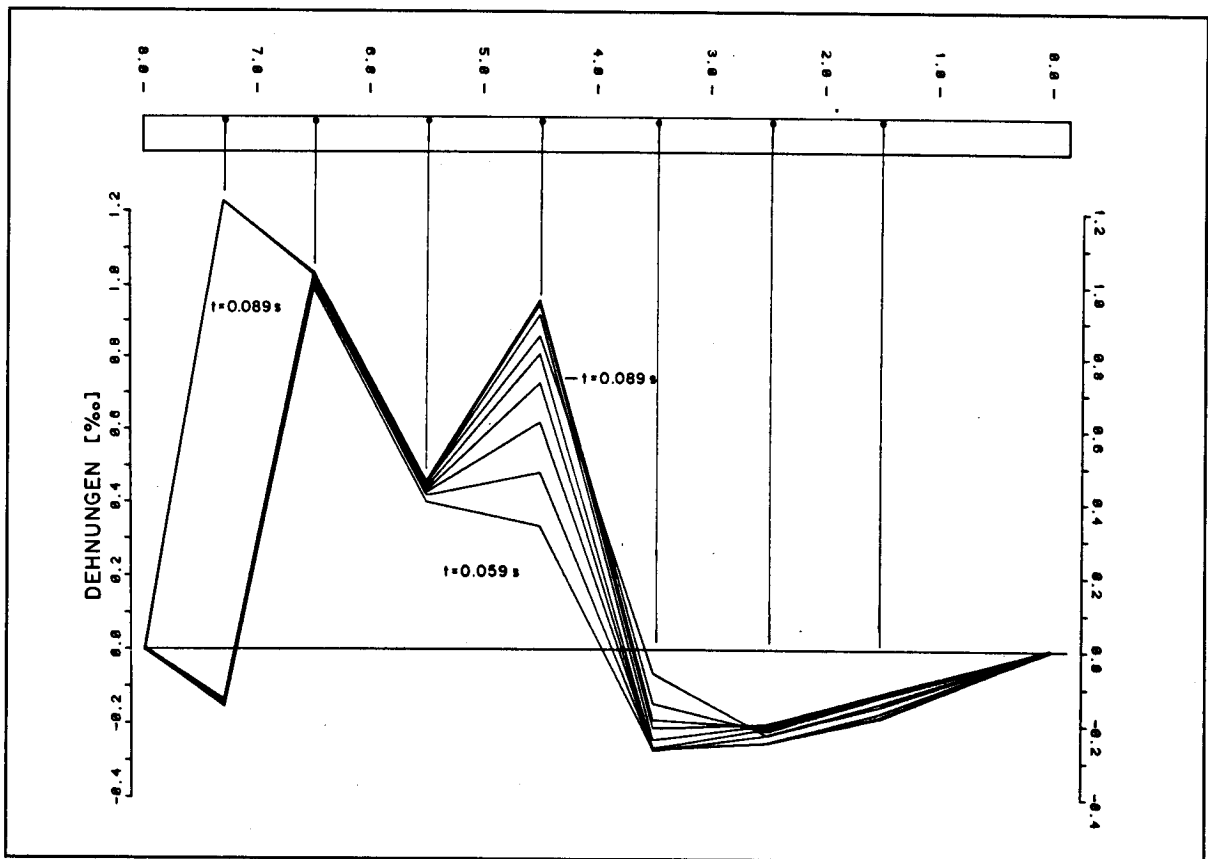


Bild B3.1-14: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.059$  s -  $0.089$  s,  $\Delta t = 0.003$  s)



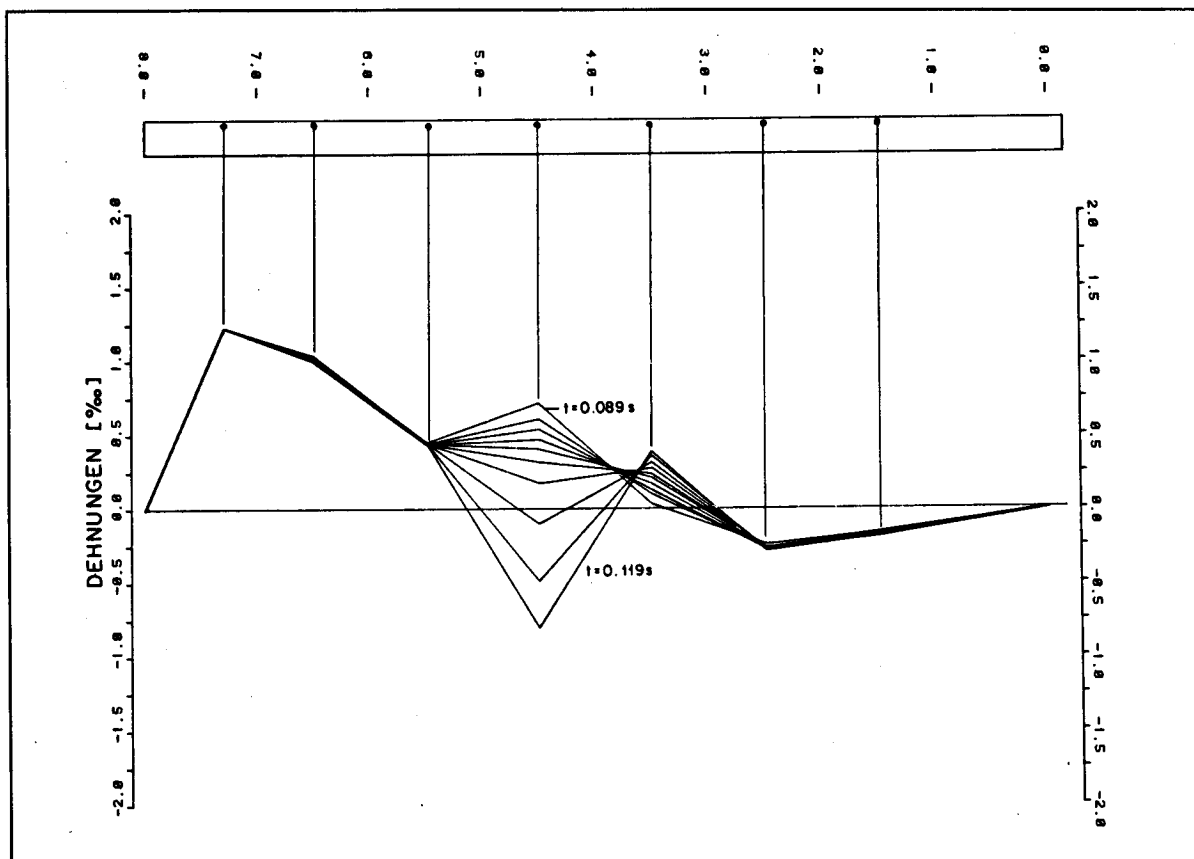


Bild B3.1-15: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.089\text{ s} - 0.119\text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.003\text{ s}$ )

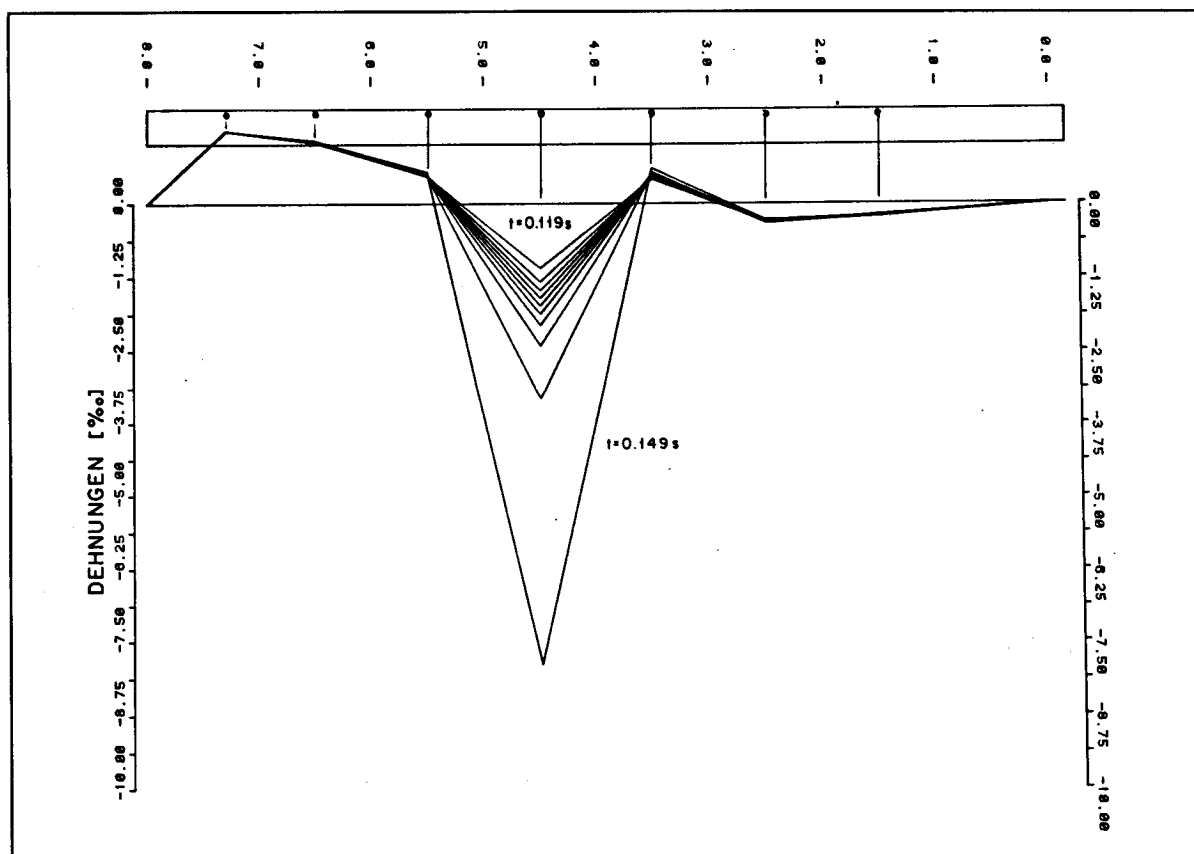


Bild B3.1-16: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.119\text{ s} - 0.149\text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.003\text{ s}$ )

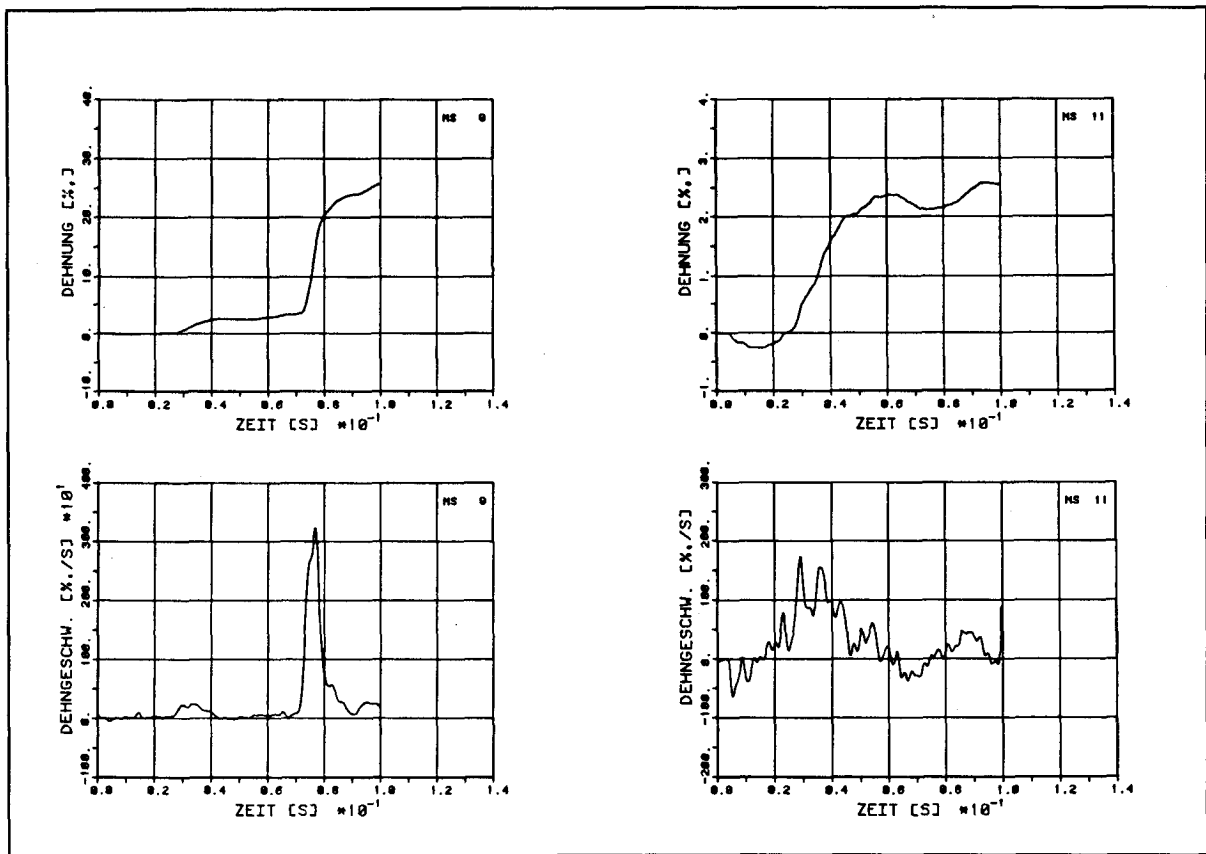
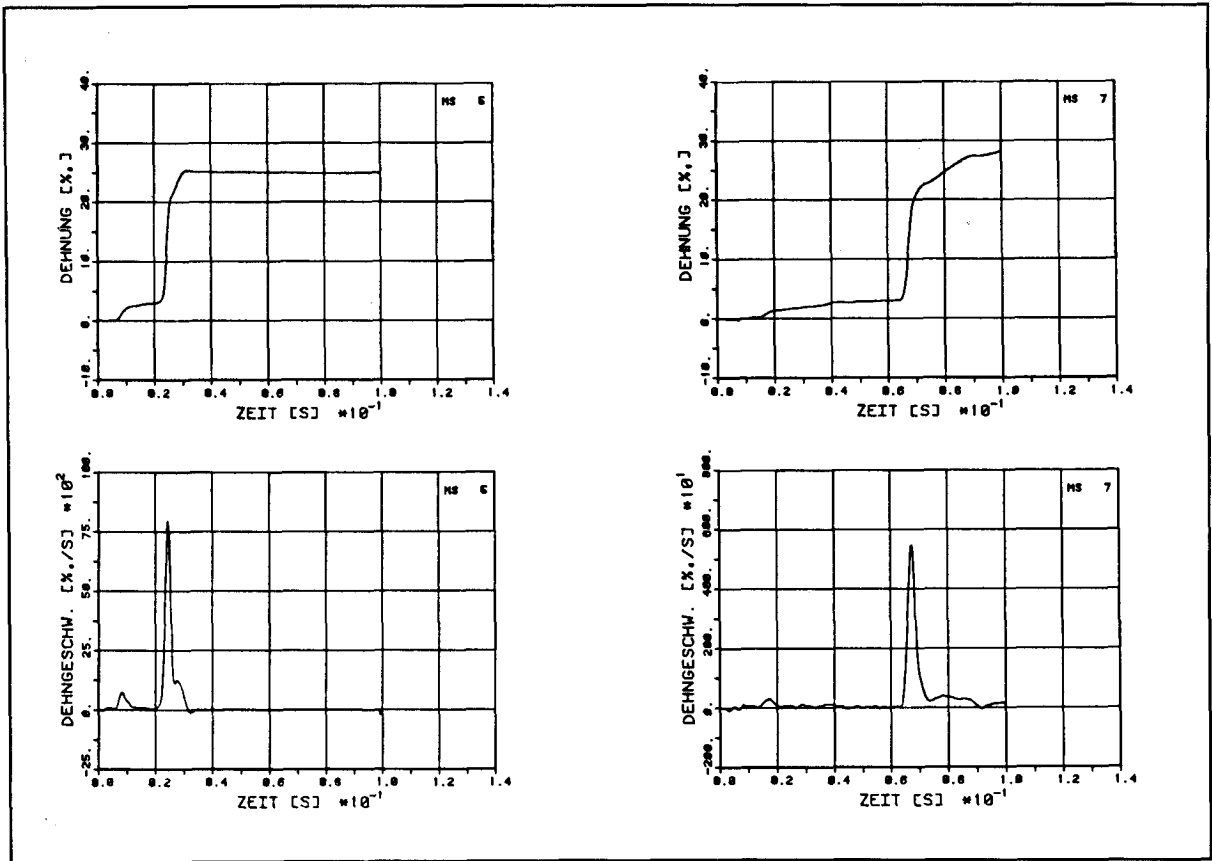


Bild B3.1-17: Zeitverläufe von Dehnmesstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

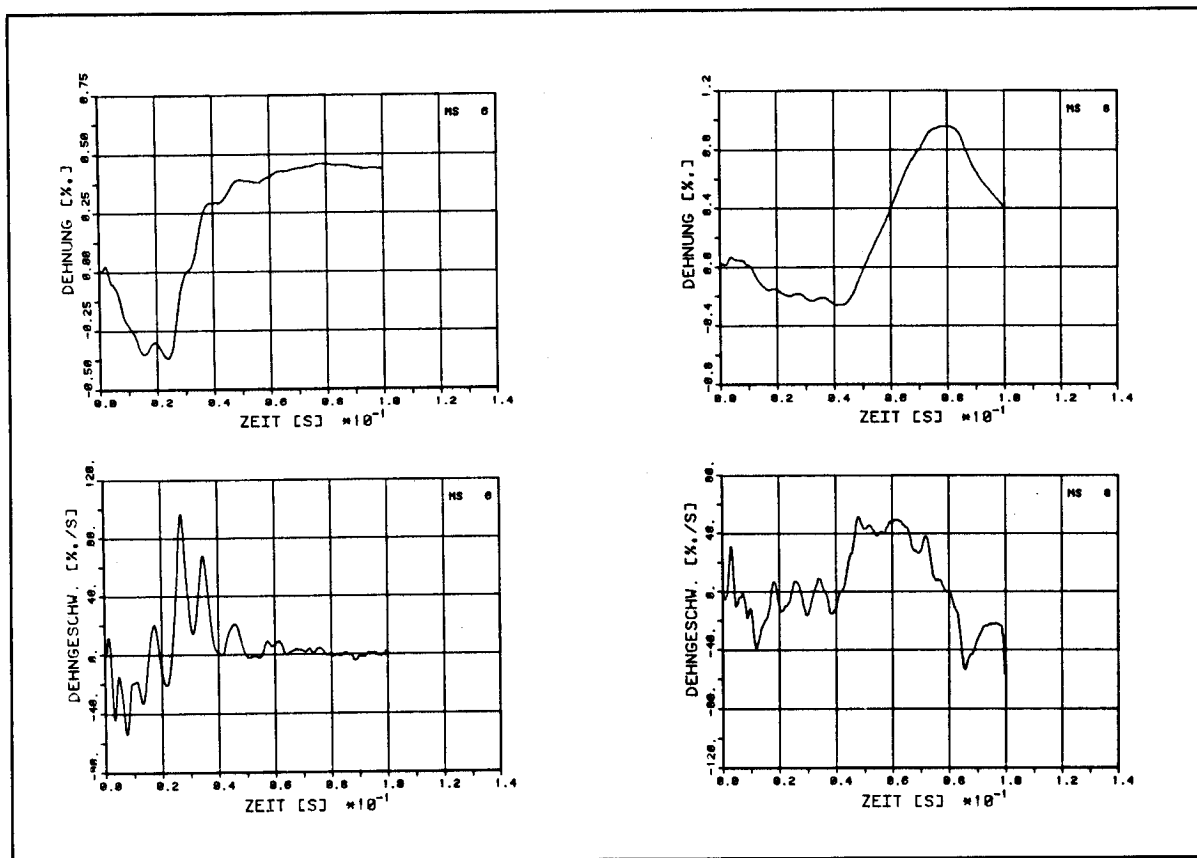
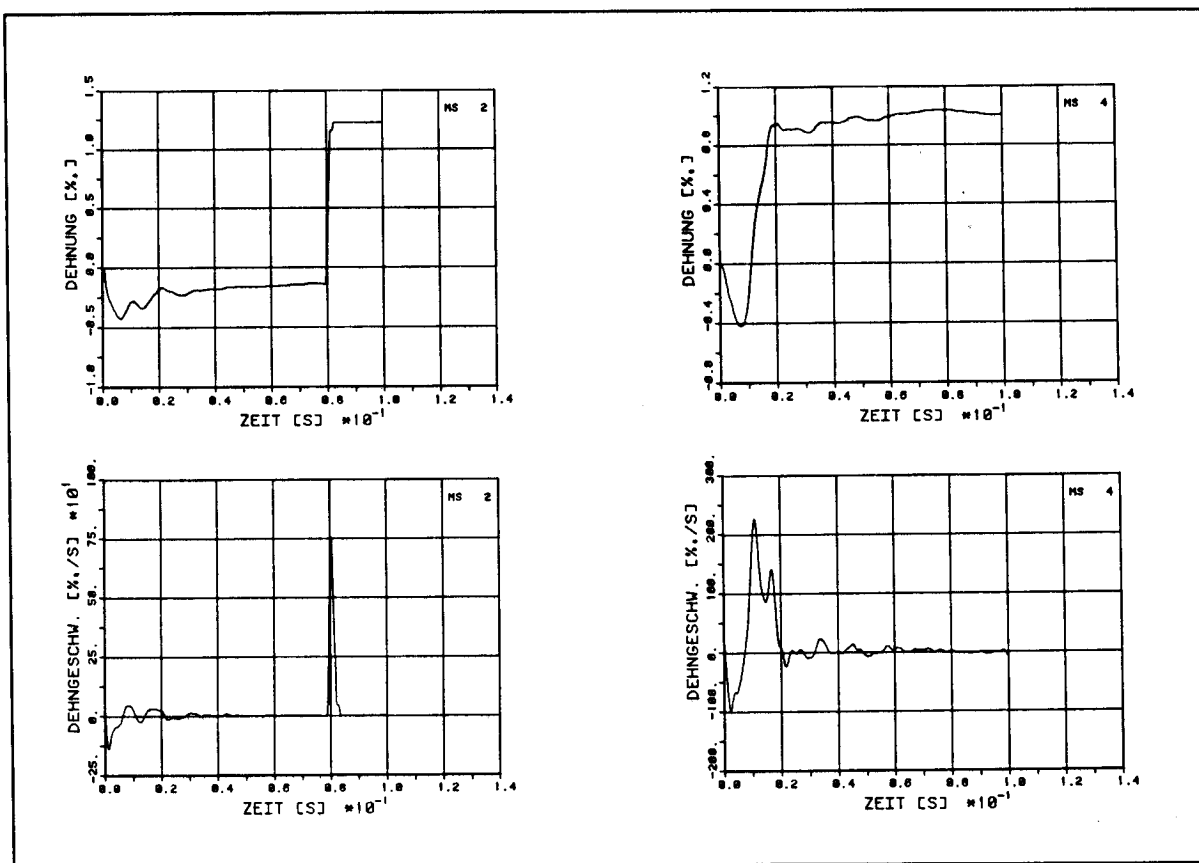


Bild B3.1-18: Zeitverläufe von Dehnmesstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

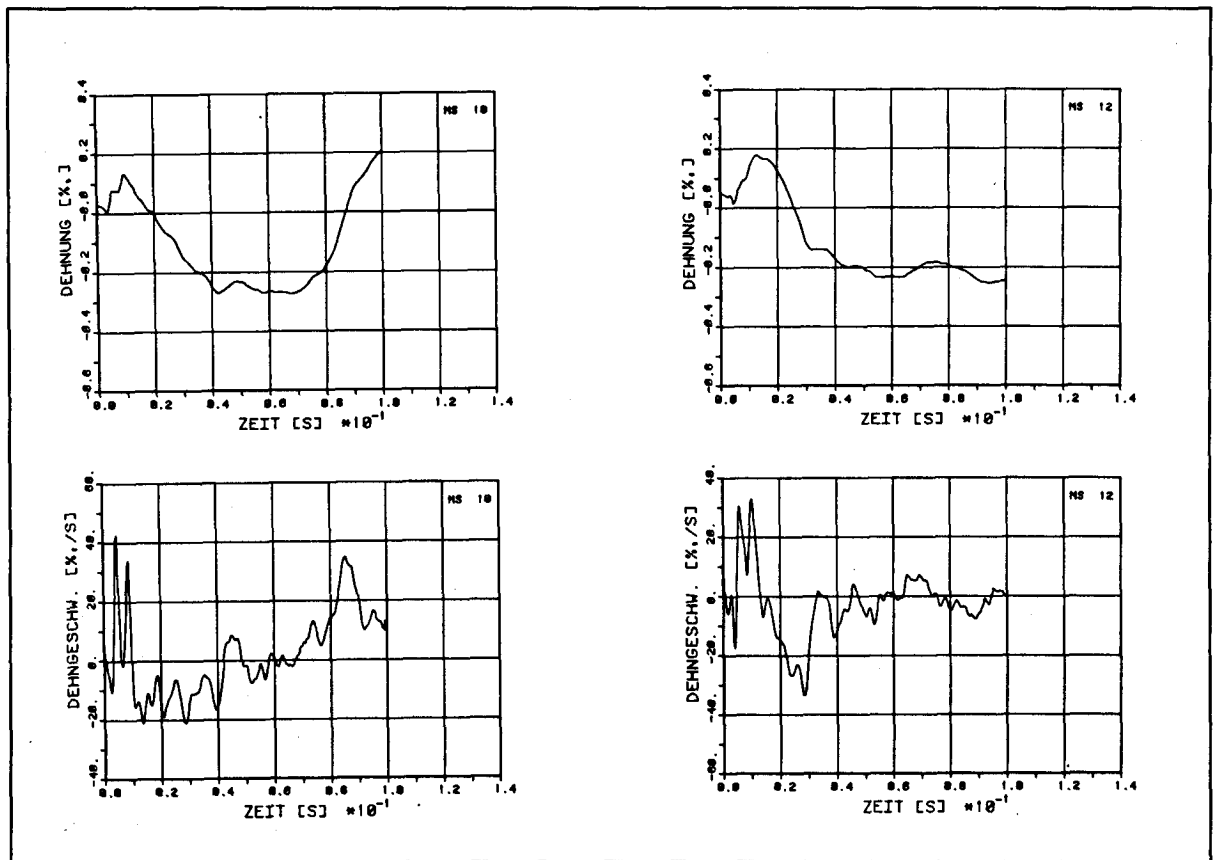


Bild B3.1-19: Zeitverläufe von Dehnmesstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

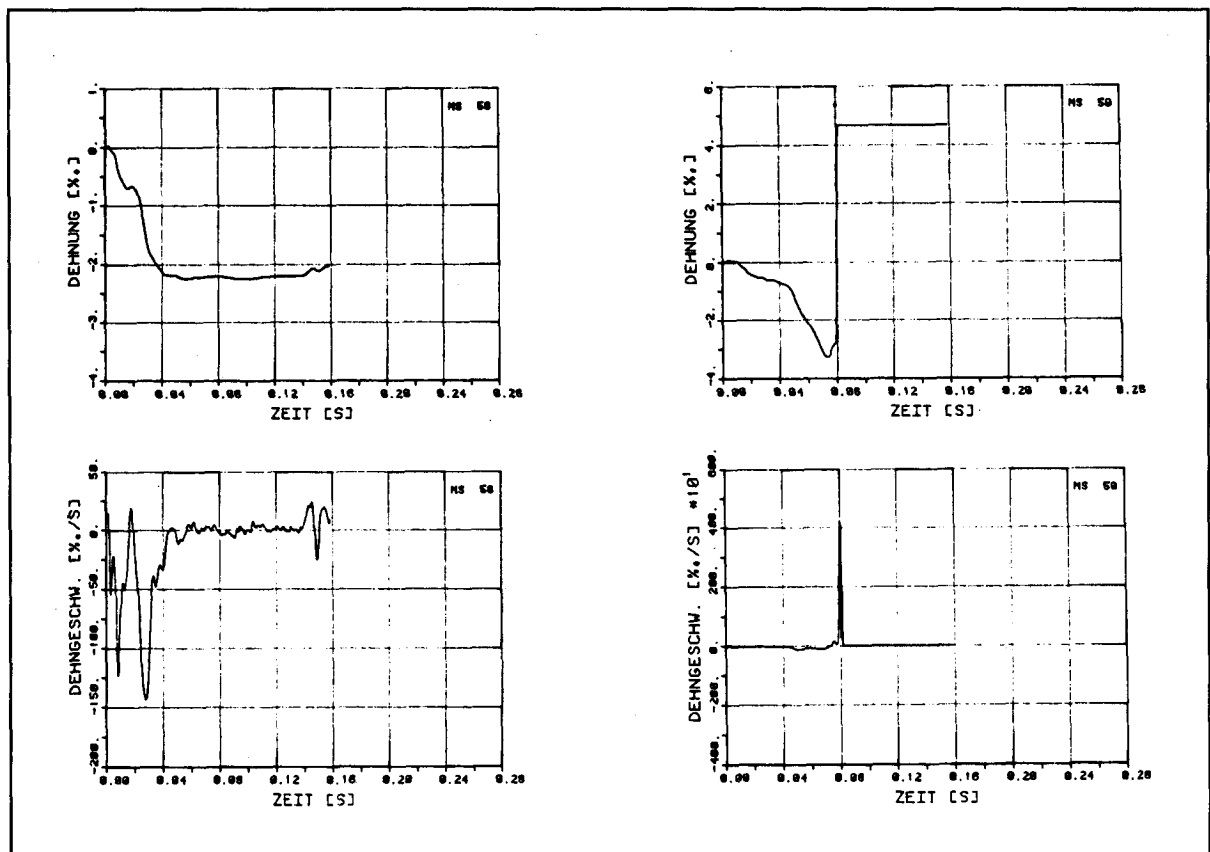


Bild B3.1-20: Zeitverläufe von Dehnmesstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



wesentlichen auf diesen Bereich beschränkt. In den Versuchen B4.7 und insbesondere B4.8 erfassen die Verformungen dann aber zunehmend auch den Bereich links der Balkenmitte, bis ungefähr  $x = 6.50$  m, so dass zum Abschluss der Versuche der Bereich zwischen  $x = 2.0$  m und  $x = 6.50$  m stark verformt ist und Rissweiten von 80/100 mm und grösser aufweist. Die maximalen Rissweiten betragen in den Bereichen, wo auf der Balkenoberseite der Beton ebenfalls sehr stark beansprucht, d.h. gestaucht ist, rund 450/100 mm.

Auf der Höhe der unteren Längsbewehrung treten bereits nach dem Versuch B4.1 erste horizontal liegende Risse auf. Mit zunehmender Anzahl Fallversuche stossen diese Risse immer weiter gegeneinander vor, und sind nach dem Versuch B4.5 zwischen  $x = 2.0$  m und  $x = 6.0$  m praktisch durchgehend. Eine Auffächerung der Biegerisse in der unteren Balkenhälfte ist - im Gegensatz zum Balken B2 - nur ansatzweise zu erkennen. Nach dem Versuch B4.3 sind auf der Balkenoberseite auch vereinzelt Zugrisse festzustellen, eine Tendenz, die sich in den nachfolgenden Versuchen zunehmend verstärkt. Nach Abschluss der Versuche sind sogar viele Risse - nicht nur im Gelenkbereich - über die gesamte Balkenhöhe durchgehend.

Nach Abschluss aller Versuche ist auf der Balkenoberseite der Beton zwischen  $x = 2.90$  m und  $x = 3.70$  m sehr stark, in den angrenzenden Bereichen zwischen  $x = 2.40$  m und  $x = 4.70$  m deutlich gestaucht. Insbesondere seitlich und zwischen den aufgeschraubten Bleiplatten sind diese Stauchungserscheinungen ausgeprägt. Die obere Längsbewehrung ist in diesen Zonen leicht gestaucht und ausgeknickt. Die Resttragfähigkeit des Balkens dürfte infolge dieser Schwächungen auf rund 145 kNm abgesunken sein.

Im Aufprallbereich sind trotz des mehrfachen Aufpralles auf den Stossdämpfer auch nach dem Versuch B4.8 nur unbedeutende Risse auszumachen. In der unteren Balkenhälfte verlaufen sie praktisch vertikal und werden dann umgelenkt und verlaufen zunehmend flacher. Die Rissweiten sind maximal 5/100 mm.

#### Bleibende Dehnungen

Die mittels Deformeter gemessenen, mittleren Dehnungen betragen - nach Abschluss sämtlicher Versuche - auf der Balkenoberseite rund 5 ‰, auf der unteren Längsbewehrung wurde der mögliche Messbereich von 25 ‰ über eine Länge von etwa 2.0 m gerade erreicht.

#### Energieaufnahmevermögen

Der aus den Nivellements-Messungen abgeleitete Krümmungsverlauf zeigt nach dem letzten Versuch (B4.8) bei  $x = 3.0$  m eine starke lokale Konzentration mit einem Maximum von  $0.18 \text{ m}^{-1}$ . Die beidseitig anschliessenden Balkenteile weisen aber ebenfalls eine Krümmung von im Mittel rund  $0.07 \text{ m}^{-1}$  auf. Aufgrund des Krümmungsverlaufes kann ein Bereich zwischen  $x = 2.0$  m und  $x = 5.0$  m ausgeschieden werden, in dem beachtliche plastische Verformungen aufgetreten sind. Der Drehwinkel der an die Balkenenden gelegten Tangenten beträgt nach Abschluss der Versuche 0.15 rad. Bezogen auf die gesamte potentielle Energie beträgt die Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformungen je nach Fallhöhe und Versuchsabfolge zwischen rund 5 % und 45 %. Bereits beim Versuch B4.1 mit einer Fallhöhe von  $H = 0.00$  m werden 10 % der nur aus der negativen Lageenergie (Einsenkung des Stossdämpfers, verformte Lage des Balkens) bestehenden potentiellen Energie verbraucht. Bei aufeinanderfolgenden Versuchen mit gleicher Fallhöhe weist der 2. Versuch stets die kleinere Energieaufnahme auf (Anteil der elastischen Formänderungsenergie dafür grösser).

#### Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen

Ein Vergleich sämtlicher mit dem Balken B4 durchgeführten Versuche - wie auch mit dem analog ausgebildeten Balken B5 - zeigt eine lineare Abhängigkeit der in der Aufprallkalotte des Stossdämpfers gemessenen, maximalen Aufprallreaktion in Funktion der Fallhöhe in der Form  $(H)^{3/5}$ .

Bei der Grösse der maximalen Gelenkreaktion lassen sich keine eindeutigen Abhängigkeiten von bestimmten Grössen ableiten. Immerhin kann - im Gegensatz zu den Versuchen mit dem Balken B2 - mit steigender Fallhöhe auch eine Zunahme sowohl der maximalen Zug- wie auch Druckkräfte festgestellt werden. Zudem scheint es, dass bei aufeinanderfolgenden Versuchen mit gleicher Fallhöhe, im zweiten Versuch eher kleinere Gelenkreaktionen (sowohl Zug- wie auch Druckkraft) gemessen werden.

Die an drei Orten auf der Balkenoberseite gemessenen Beschleunigungen (bei  $x = 7.85$  m,  $x = 6.00$  m und  $x = 2.00$  m) zeigen wiederum einen starken Abfall vom Aufprallpunkt gegen das Gelenk hin. Die gemessenen Spitzenbeschleunigungen lassen ebenfalls keine eindeutigen Abhängigkeiten von bestimmten Grössen erkennen.

#### Dehnungsmessungen während der Versuche

In den verschiedenen Versuchen kann aufgrund der zahlreichen Dehnmessstellen auf der unteren und oberen Längsbewehrung wiederum eine vom Aufprallpunkt gegen das Gelenk hin wandernde Beanspruchungswelle beobachtet werden. Die gemessenen Maximalwerte der Dehnungen der unteren Längsbewehrung liegen für Fallhöhen von  $H = 0.50$  m bis  $H = 1.50$  m zwischen 10 % und 20 %, auf der oberen Längsbewehrung maximal  $\pm 3$  %. Der auf der Balkenoberseite auf dem Beton aufgeklebte Dehnmessstreifen fiel schon beim dritten Versuch (B4.3) infolge eines den Messstreifen kreuzenden Risses aus.

#### Dehngeschwindigkeiten

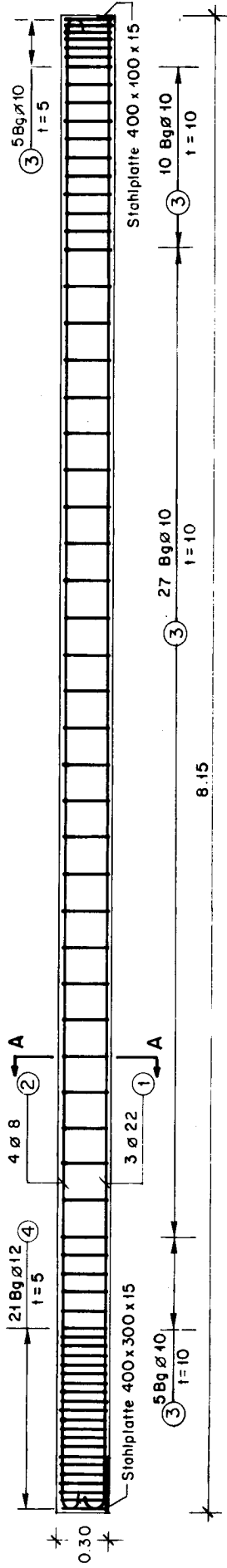
Die in der unteren Längsbewehrung auftretenden Dehngeschwindigkeiten betragen zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.1$  s<sup>-1</sup> und 2.7 s<sup>-1</sup>, in der oberen Längsbewehrung liegen sie zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.03$  s<sup>-1</sup> und maximal 0.4 s<sup>-1</sup> und auf dem Beton maximal  $\dot{\epsilon} = 0.06$  s<sup>-1</sup> (nur bis Versuch B4.3 messbar), wobei keine Abhängigkeit von der Fallhöhe festgestellt werden kann.

#### Eigenfrequenz, Dämpfung

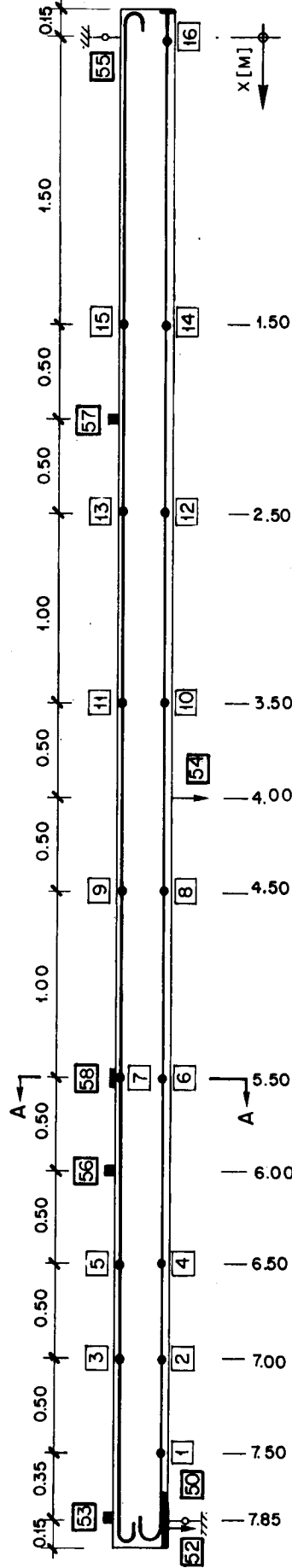
Die in den Ausschwingversuchen ermittelte Eigenfrequenz sinkt im Verlauf der Versuche kontinuierlich von  $f = 4.41$  Hz auf 3.02 Hz. Der nach Abschluss der Versuchsserie ohne die Bleizusatzmassen durchgeführte Versuch erbrachte eine Frequenz von nur  $f = 4.08$  Hz, d.h. die Biegesteifigkeit des Balkens war im letzten Versuch (B4.8) infolge der aufgeschraubten Bleiplatten rund 9 % höher (versteifender Einfluss). Der gleichzeitig aus den Ausschwingversuchen ermittelte Dämpfungskoeffizient steigt wiederum - ausgehend von  $\xi = 0.03$  vor dem ersten Versuch - in den folgenden Versuchen (bis B4.4) an bis auf maximal  $\xi = 0.045$  und fällt dann erneut stark ab auf minimal  $\xi = 0.012$ . In den nach Abschluss der Fallversuche mit und ohne Bleizusatzmassen durchgeführten Ausschwingversuchen konnte beim Dämpfungskoeffizienten praktisch kein Unterschied festgestellt werden ( $\xi = 0.016$  bzw. 0.018). Die aus den PCM-Aufzeichnungen, d.h. aus der Auswertung von Dehnungsverläufen und dem Durchbiegungsverlauf in Balkenmitte erhaltenen Dämpfungskoeffizienten ergeben ungefähr gleiche Grössenordnungen, wobei wiederum - falls nur die erste Schwingung nach dem Aufprall betrachtet wird - Dämpfungskoeffizienten zwischen  $\xi = 0.07$  und  $\xi = 0.13$  resultieren.

# BALKEN B4

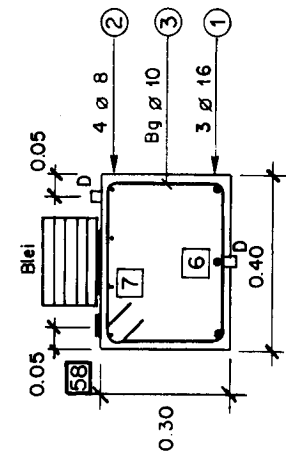
BEWEHRUNGSPLAN



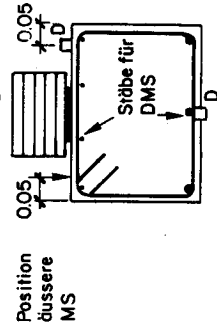
MESSTELLENPLAN



SCHNITT A - A



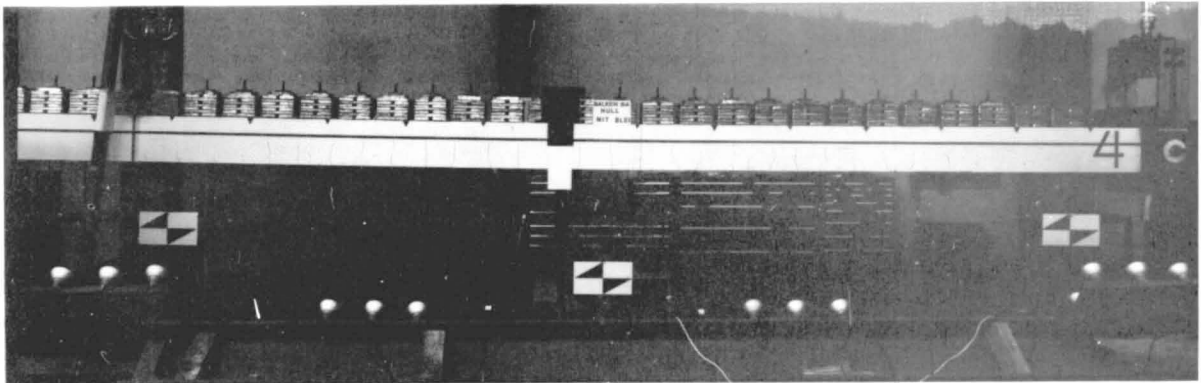
ANORDNUNG DER MS



Symbol	Nummer der MS	Bezeichnung
<b>INNERE MESSTELLEN (MS)</b>		
●	1 - 16	DMS auf Stahl
<b>AUSSERE MESSTELLEN (MS)</b>		
▨	58	DMS auf Beton
○	50, 55	Kraftmessdose
▨	53, 56, 57	Beschleunigungsaufn.
↑	52, 54	Wegaufnehmer
▨	ohne Angabe	Deformmeter

Bild B4.0-1: Bewehrungs- und Messstellenplan





Vor Versuch B4.1

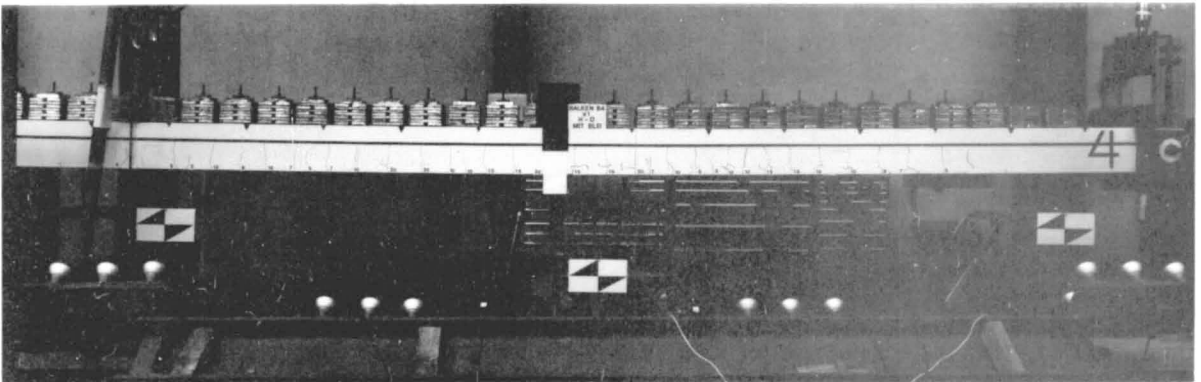
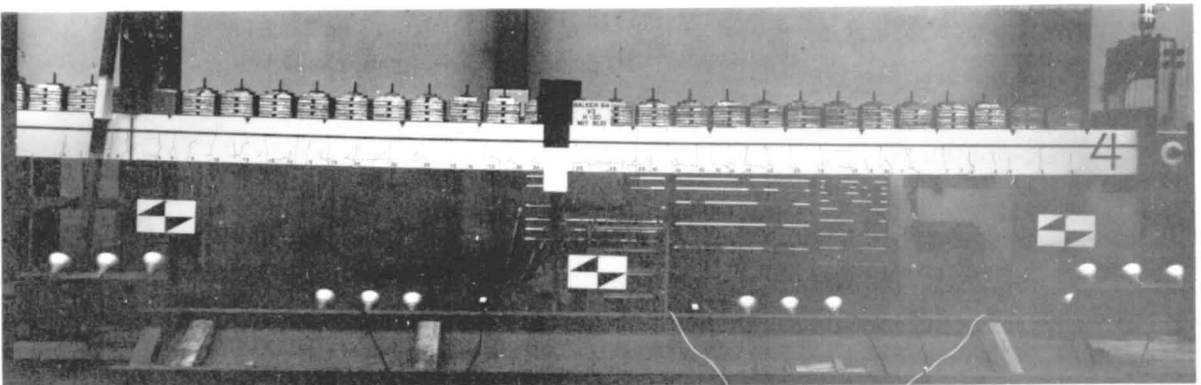
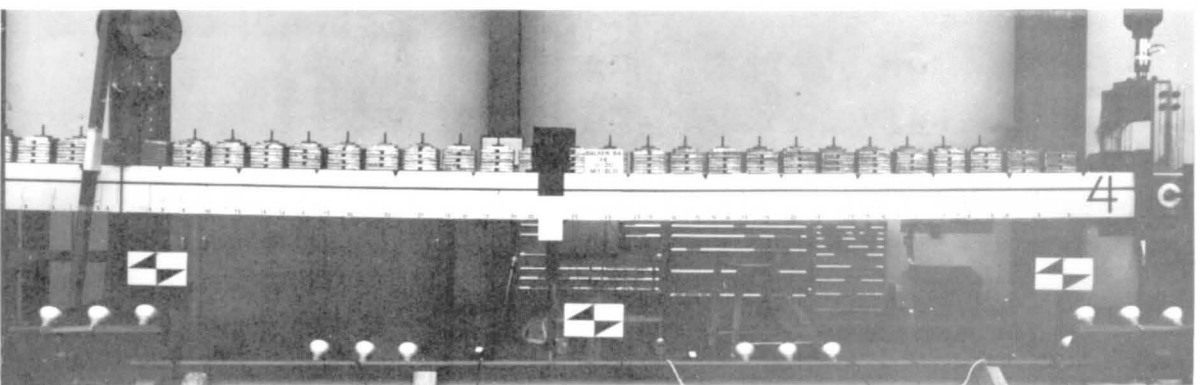
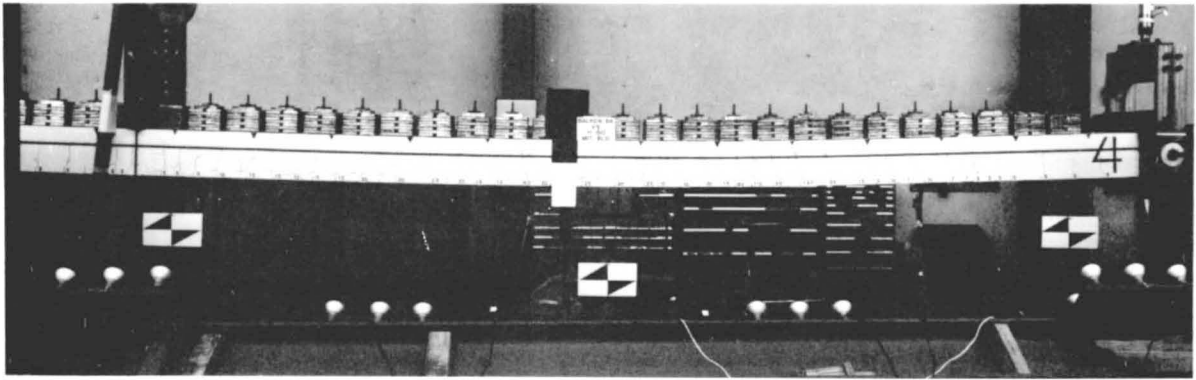
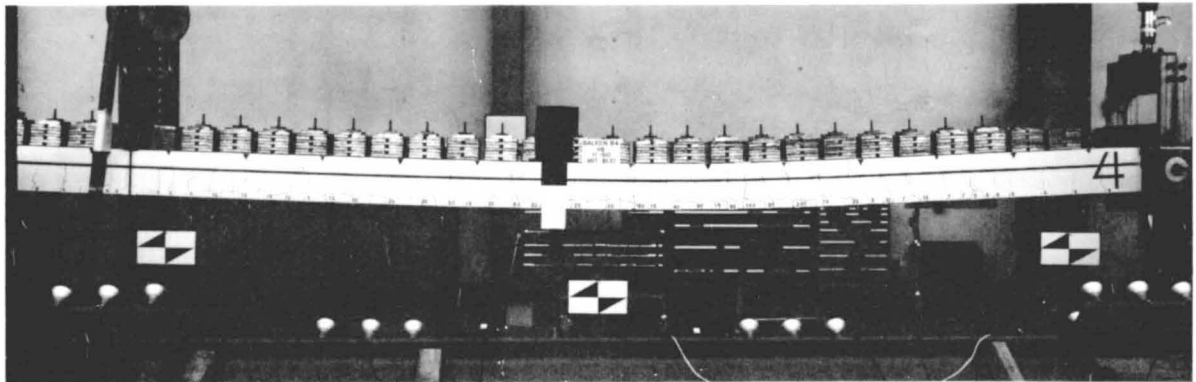
Nach Versuch B4.1 , Fallhöhe  $H = 0.00$  mNach Versuch B4.3 , Fallhöhe  $H = 0.20$  mNach Versuch B4.4 , Fallhöhe  $H = 0.20$  m

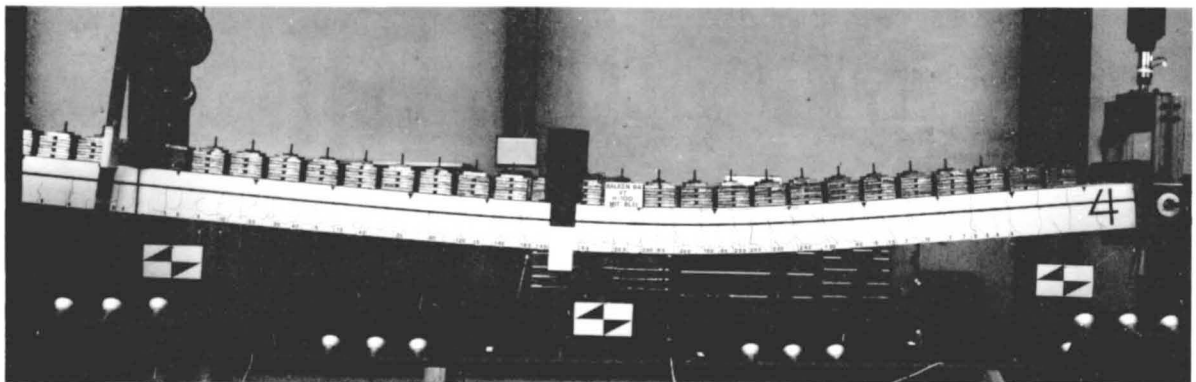
Bild B4.0-2: Uebersichtsfotos vor Versuch B4.1 und nach den Versuchen B4.1, B4.3 und B4.4



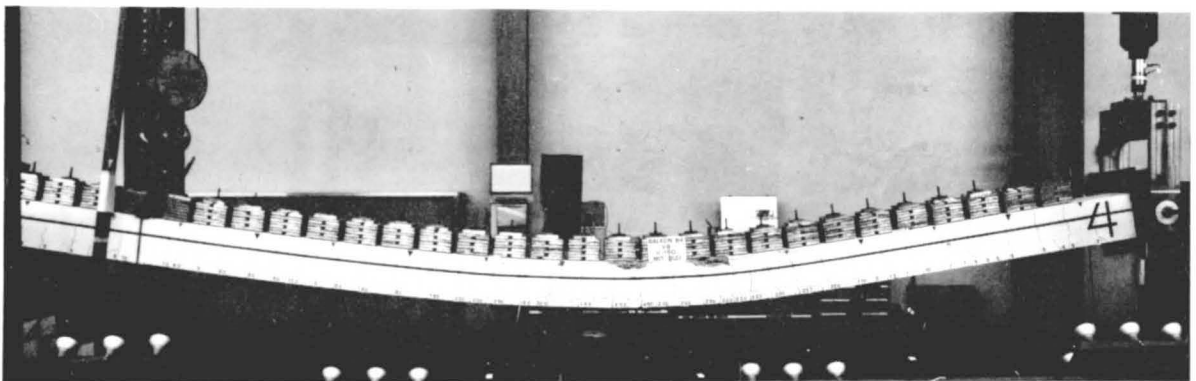
Nach Versuch B4.5 , Fallhöhe  $H = 0.50$  m



Nach Versuch B4.6 , Fallhöhe  $H = 0.50$  m

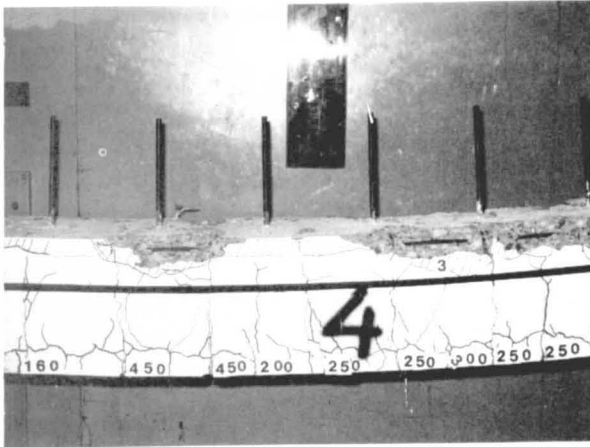


Nach Versuch B4.7 , Fallhöhe  $H = 1.00$  m

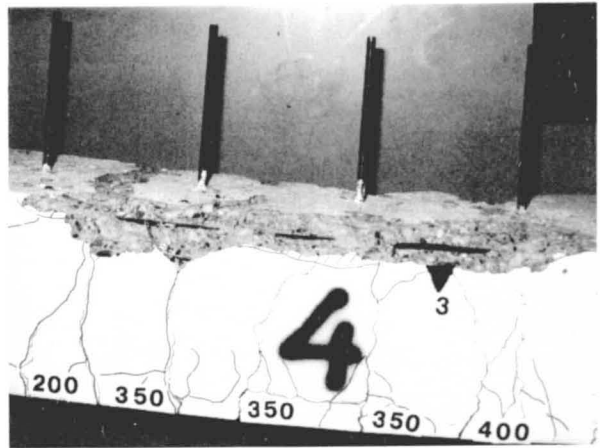


Nach Versuch B4.8 , Fallhöhe  $H = 1.50$  m

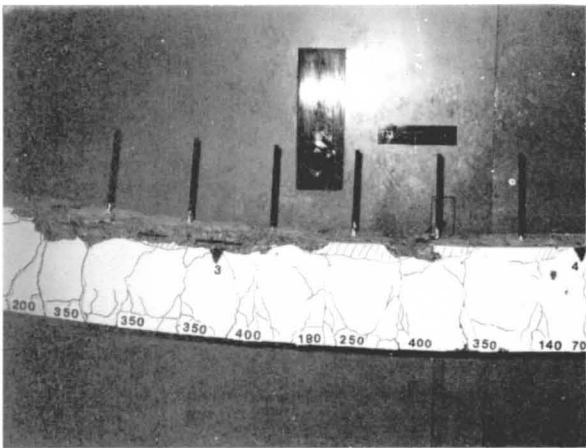
Bild B4.0-3: Uebersichtsfotos nach den Versuchen B4.5 bis B4.8



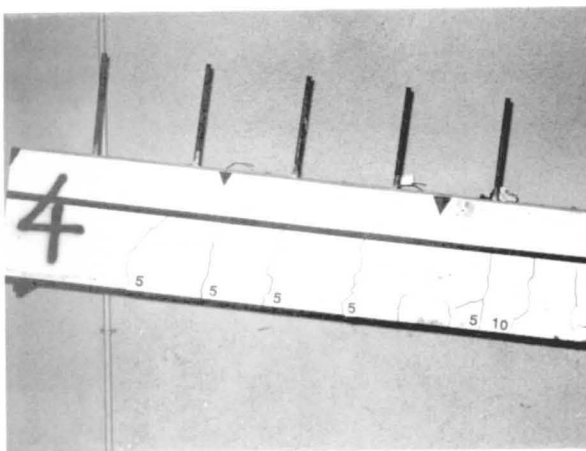
Vorderseite,  $x = 2.5 - 4.0$  m  
Bereich der grössten Beanspruchung



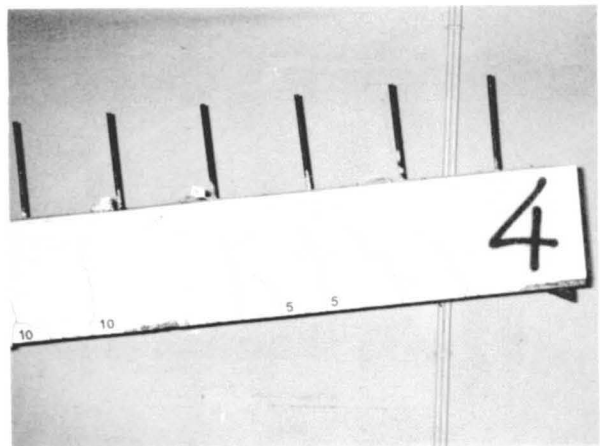
Rückseite,  $x = 3.0$  m



Rückseite,  $x = 2.5 - 4.2$  m  
Bereich der grössten Beanspruchung



Vorderseite  
Rissbild in der Aufprallzone des Balkens



Rückseite

Bild B4.0-4: Detailaufnahmen nach den Versuchen

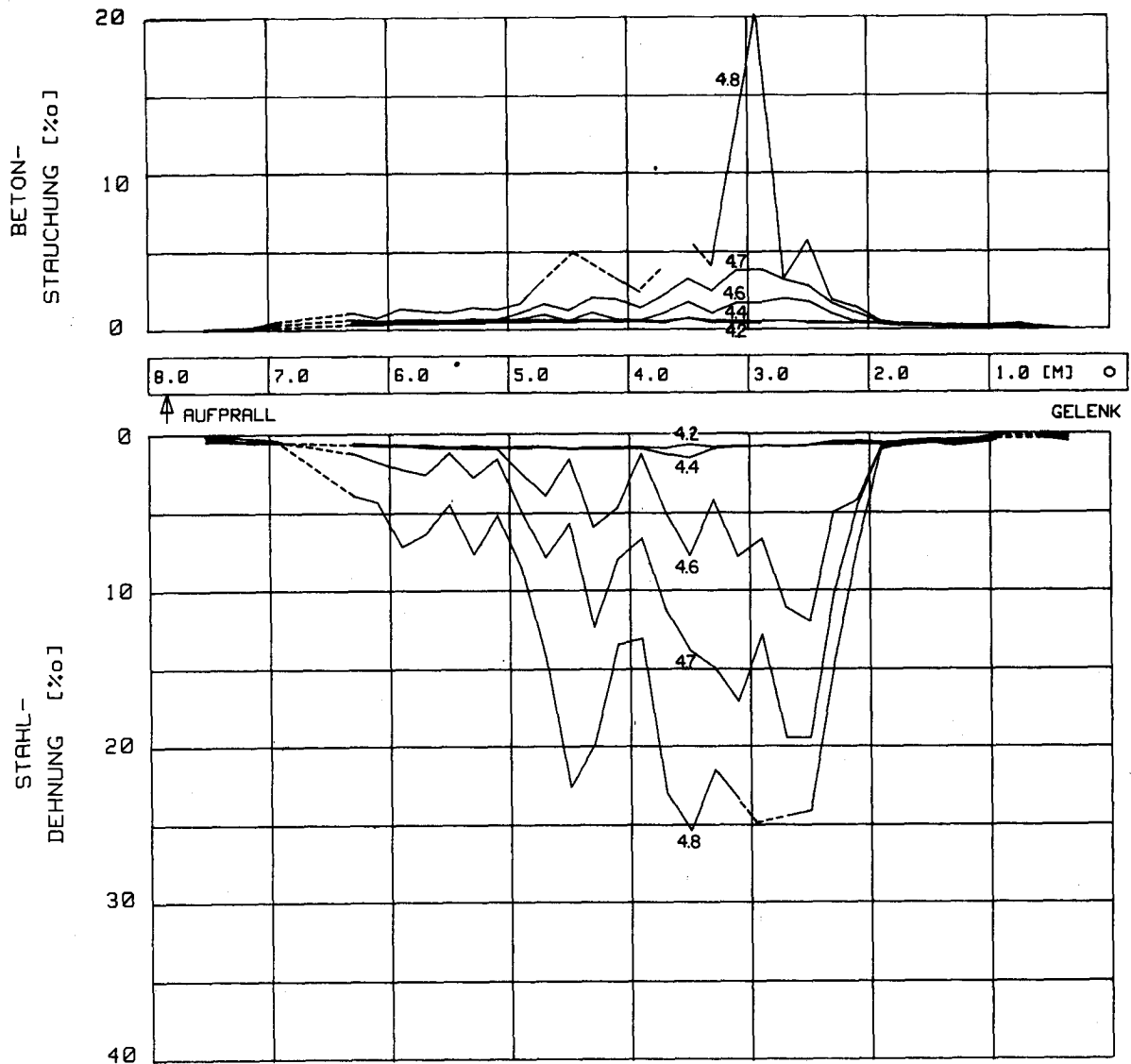


Bild B4.0-5: Dehnungsverläufe aus den Deformetermessungen für die Versuche B4.2, B4.4 B4.6, B4.7 und B4.8

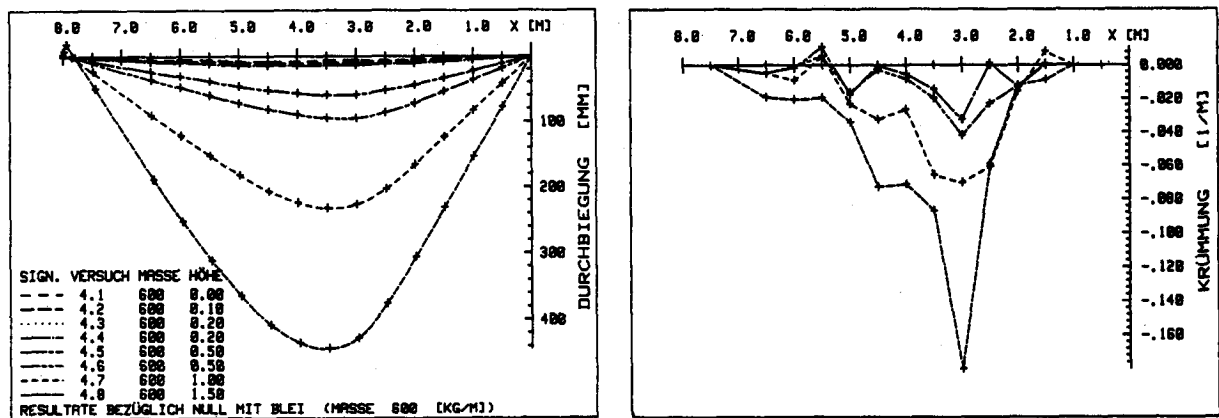


Bild B4.0-6: Biegelinien und Krümmungsverläufe aus den Nivellements - Messungen für die Versuche B4.1 bis B4.8

VERSUCH B4.1

BALKEN 4 VERSUCH 1  
\*\*\*\*\*

BALKENPARAMETER :  
- FALLHOEHE: 0. METER  
- BRUCHMOMENT: 600. KILO-NEWTON-METER  
- MASSE: 600. KILOGRAMM / METER  
- BEMERKUNGEN: EICHUNG SIEHE DATENBLATT

DIGITALISIERUNGSPARAMETER: - ANZAHL SAMPLES BEI DER EICHUNG : 400.  
- ABTASTFREQUENZ CA. : 4420. HZ  
- BEI DER MESSUNG : 10240.

- BANDGESCHWINDIGKEIT BEIM VERSUCH : 30.0 IPS  
- BEIM DIGITALISIEREN : 3.7 IPS  
--> ZEITFAKTOR : 8.0

ZUSAMMENSTELLUNG DER EINZELNEN KANAELE

*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****			
A/D-WANDLER	AUFZEICHNUNG	UMRECHNUNG	KORR.-FAKTOR	VERST.-FAKTOR	EICHPARAMETER	F(X) = A * X + B	BEMERKUNGEN	SYNCH.-LOSS 1	SYNCH.-LOSS 2	SYNCH.-LOSS 3							
NR:	E	M	NR:	BEZ	I	NR:	BEZ	I	NR:	BEZ	I	NR:	BEZ	I	NR:	BEZ	I
0	0	0	91	S	I	0.000	[ J	0.000	0.00	I	1.00000	0.00000	0.00000	I			
1	0	0	92	S	I	0.000	[ J	0.000	0.00	I	1.00000	0.00000	0.00000	I			
2	0	0	93	S	I	0.000	[ J	0.000	0.00	I	1.00000	0.00000	0.00000	I			
8	0	1	53	A	I	4.600	[ G]	2.000	2.00	I	0.00978	-0.01848	0.00000	I			
9	0	1	56	A	I	1.300	[ G]	2.000	4.00	I	0.00488	-0.00485	0.00000	I			
10	0	0	57	A	I	0.270	[ G]	2.000	5.00	I	0.00491	-0.00737	0.00000	I			
11	0	0	50	F	I	347.420	[KN]	2.000	2.00	I	0.68878	3.94674	0.00000	I			
12	0	0	55	F	I	159.550	[KN]	2.000	0.20	I	0.03173	-0.02436	0.00000	I			
13	0	0	6	W	I	0.000	[MM]	2.000	0.00	I	0.00000	0.00000	0.00000	I			
14	1	1	7	W	I	262.160	[MM]	2.000	1.00	I	0.25649	-0.04489	0.00000	I			
15	0	0	8	E	I	1.000	[X.J]	2.140	0.50	I	0.00046	-0.00031	0.00000	I			
16	0	3	9	E	I	1.000	[X.J]	2.060	0.10	I	0.00001	-0.00002	0.00000	I			
17	0	0	10	E	I	1.000	[X.J]	2.030	0.20	I	0.00019	0.00019	0.00000	I			
18	0	0	11	E	I	1.000	[X.J]	2.030	0.50	I	0.00050	0.00454	0.00000	I			
19	0	0	12	E	I	1.000	[X.J]	2.030	0.50	I	0.00049	0.00427	0.00000	I			
20	0	0	13	E	I	1.000	[X.J]	2.030	0.50	I	0.00050	0.00446	0.00000	I			
21	0	0	14	E	I	1.000	[X.J]	2.030	0.50	I	0.00049	0.00245	0.00000	I			
22	0	0	15	E	I	1.000	[X.J]	2.030	0.50	I	0.00048	-0.00048	0.00000	I			
23	0	0	16	E	I	1.000	[X.J]	2.030	0.20	I	0.00020	0.00079	0.00000	I			
24	3	3	17	E	I	10.000	[X.J]	2.060	0.40	I	0.00465	-0.05116	0.00000	I			
25	3	3	18	E	I	10.000	[X.J]	2.030	1.00	I	0.01175	-0.06656	0.00000	I			
26	3	3	19	E	I	10.000	[X.J]	2.060	1.00	I	0.01158	-0.08779	0.00000	I			
27	3	3	20	E	I	10.000	[X.J]	2.060	1.00	I	0.01159	-0.07554	0.00000	I			
28	3	3	21	E	I	10.000	[X.J]	2.060	1.00	I	0.01163	-0.12749	0.00000	I			
29	3	3	22	E	I	10.000	[X.J]	2.060	1.00	I	0.01155	-0.04605	0.00000	I			
30	3	3	23	E	I	10.000	[X.J]	2.060	1.00	I	0.01159	-0.04824	0.00000	I			
31	3	3	24	E	I	10.000	[X.J]	2.060	1.00	I	0.01157	-0.04381	0.00000	I			

Bild B4.1-1: Informationsblatt PCM - Daten

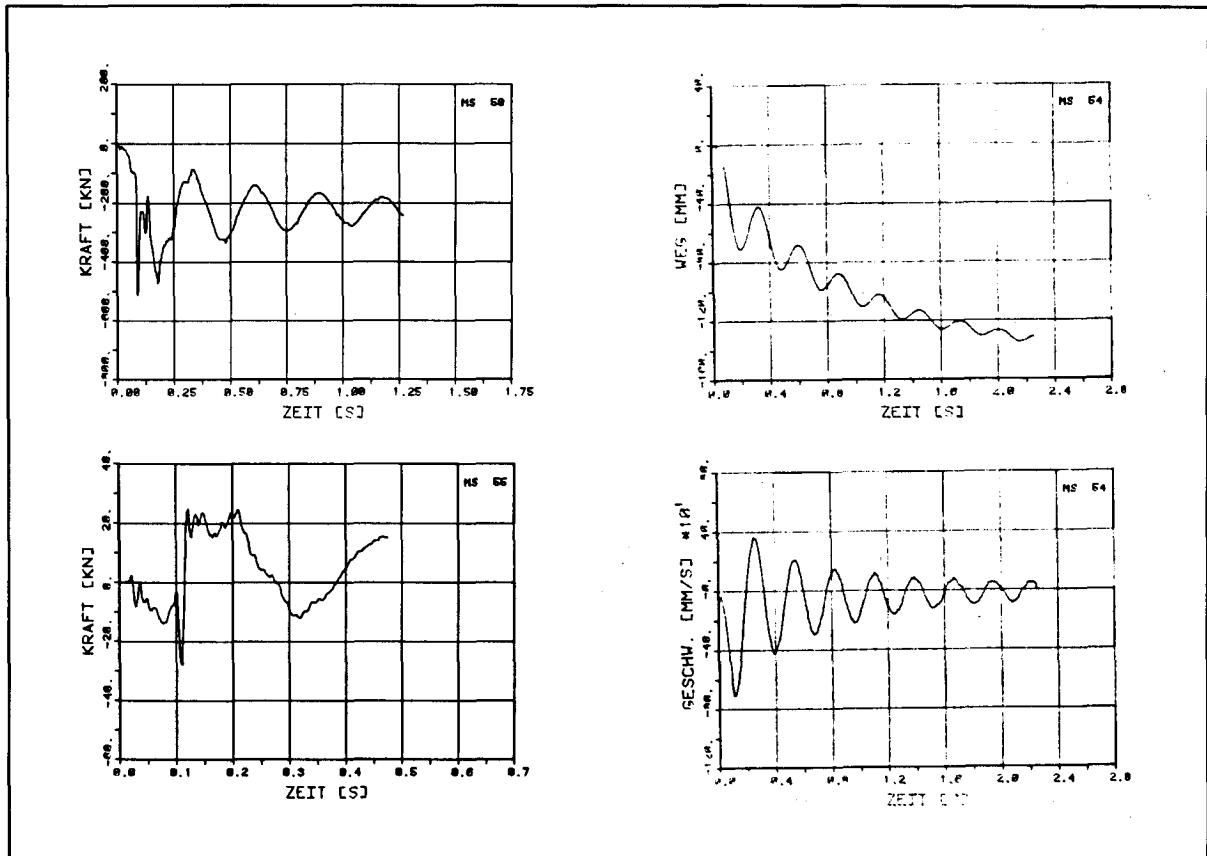


Bild B4.1-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion, Durchbiegung und Geschwindigkeit in Balkenmitte

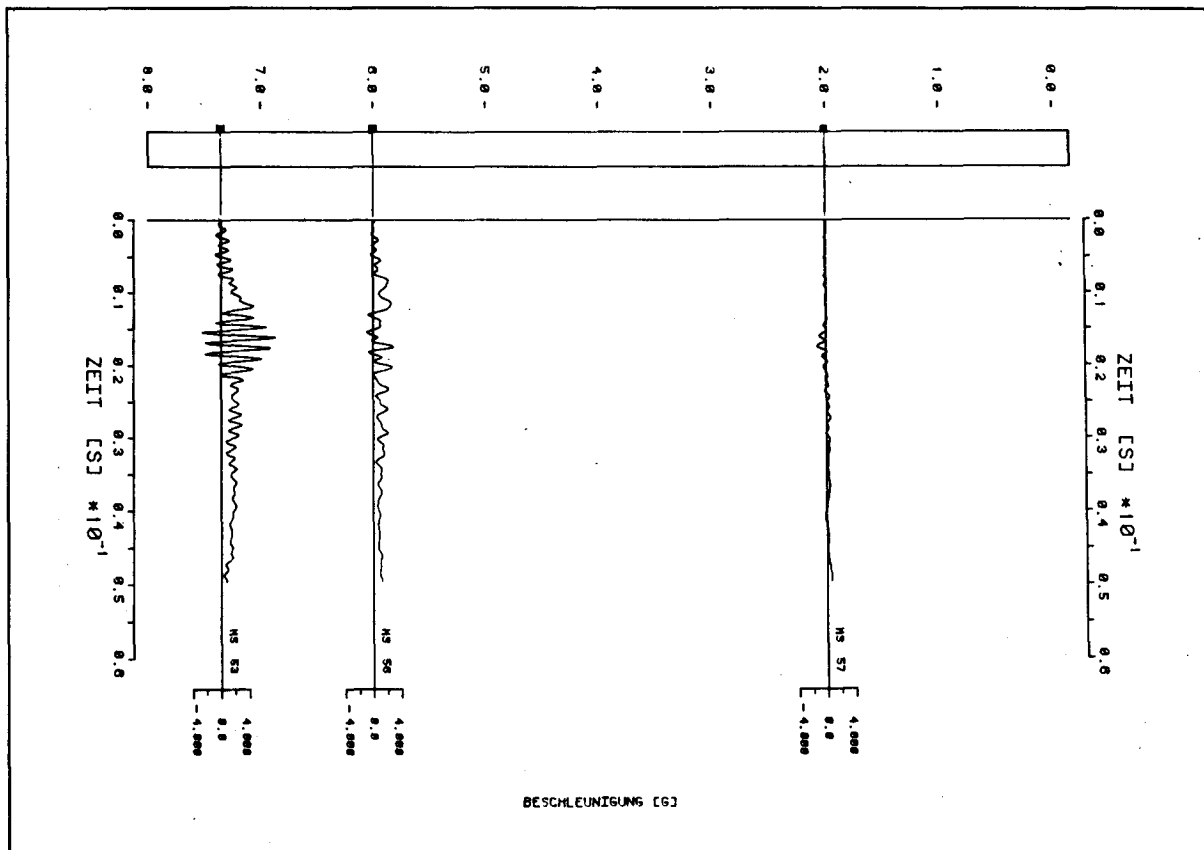


Bild B4.1-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

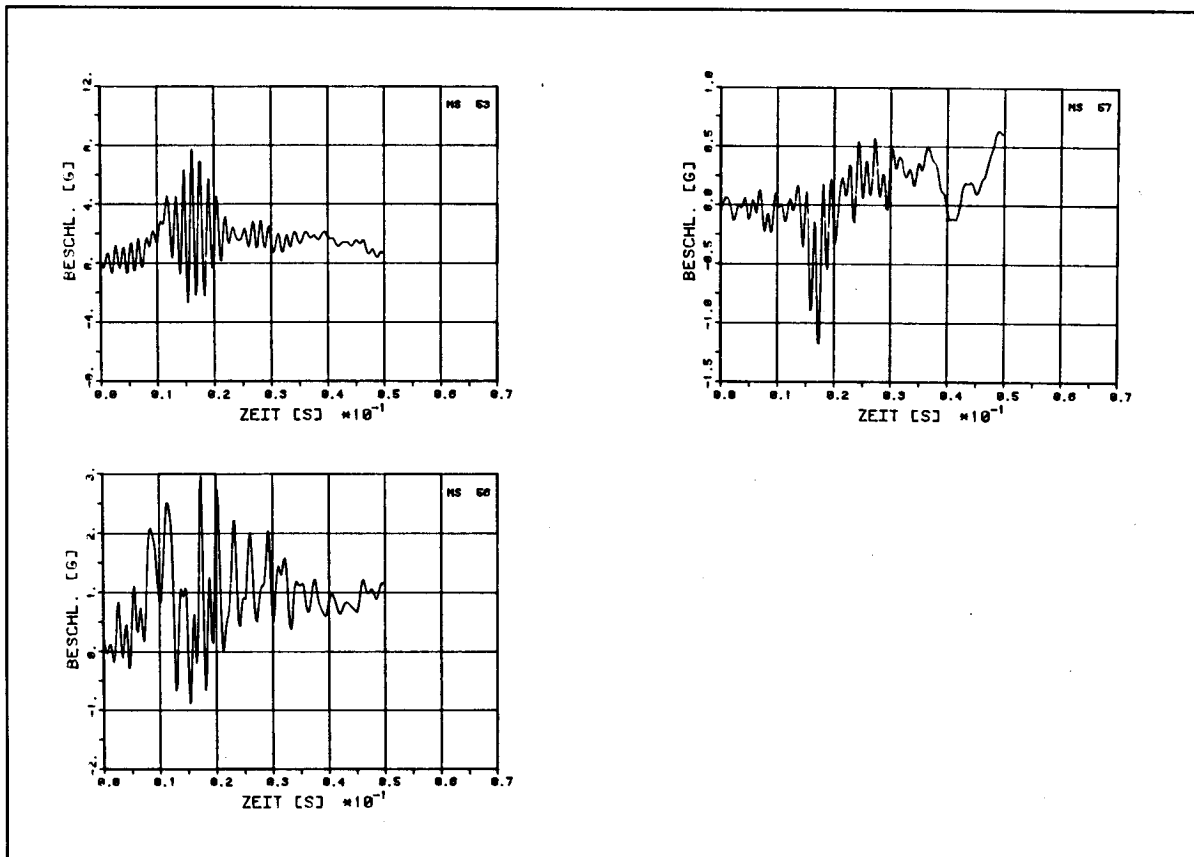


Bild B4.1-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel- Darstellungen

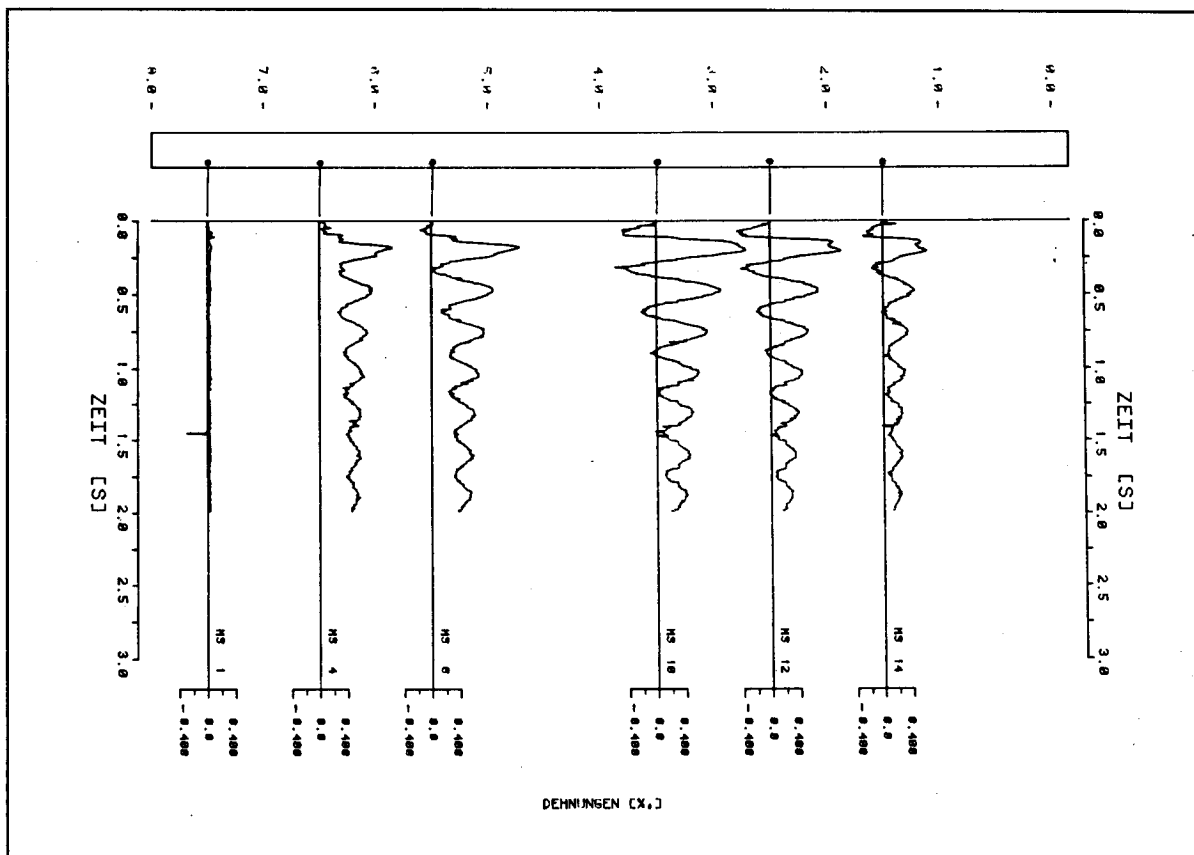


Bild B4.1-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

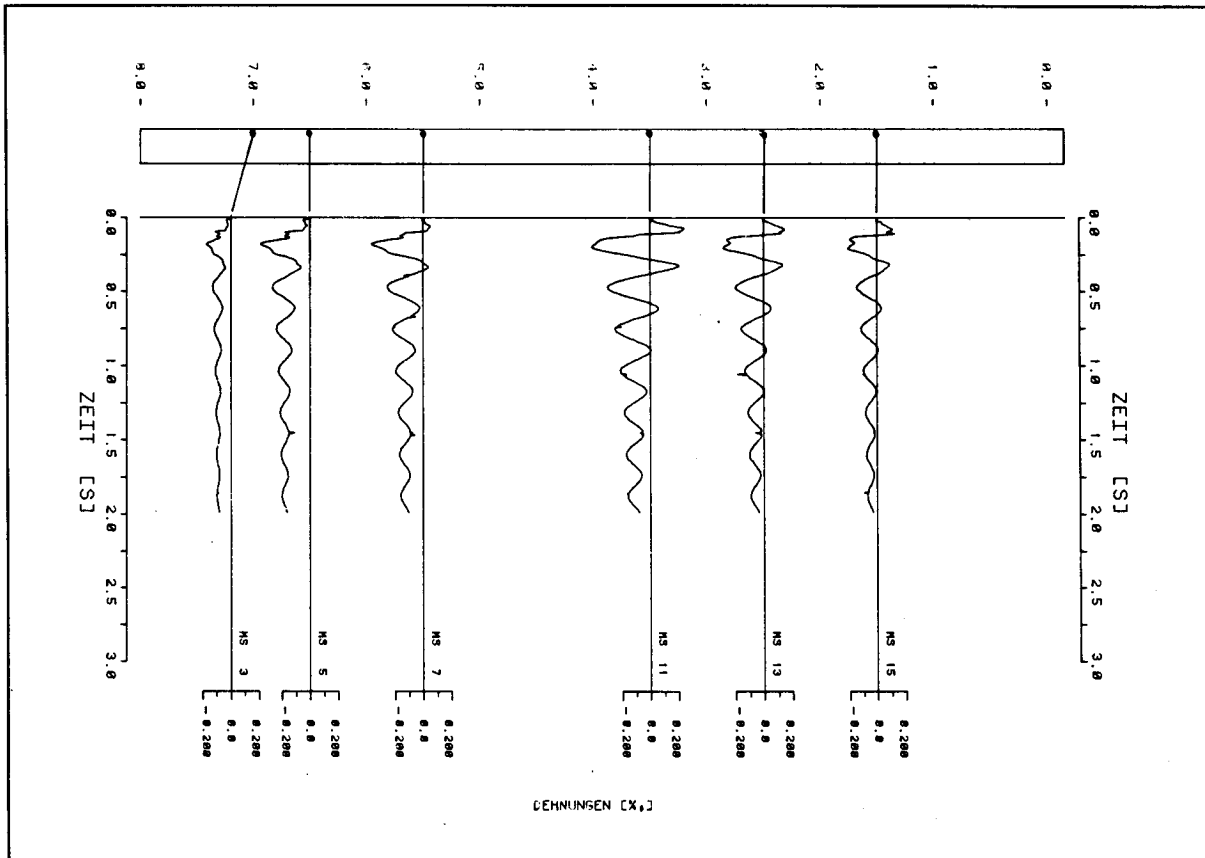


Bild B4.1-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

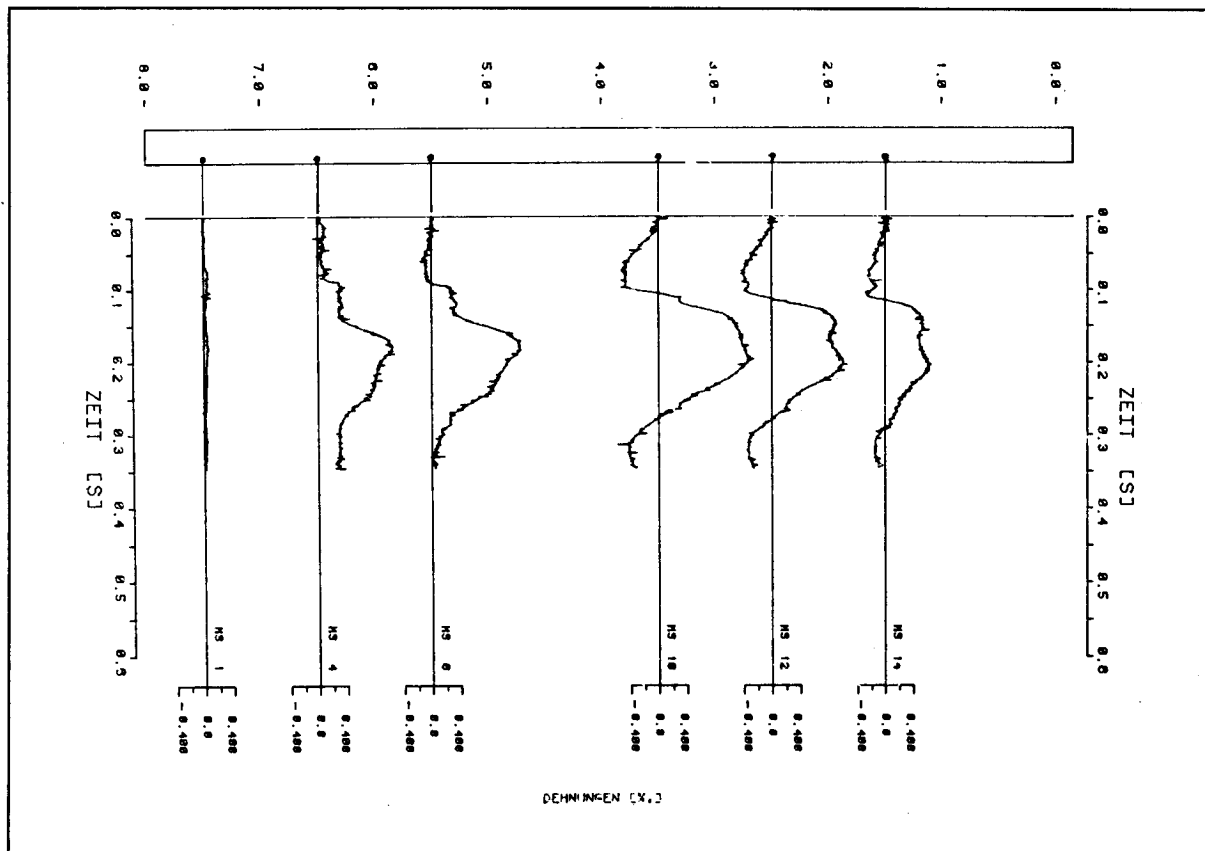


Bild B4.1-7: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten



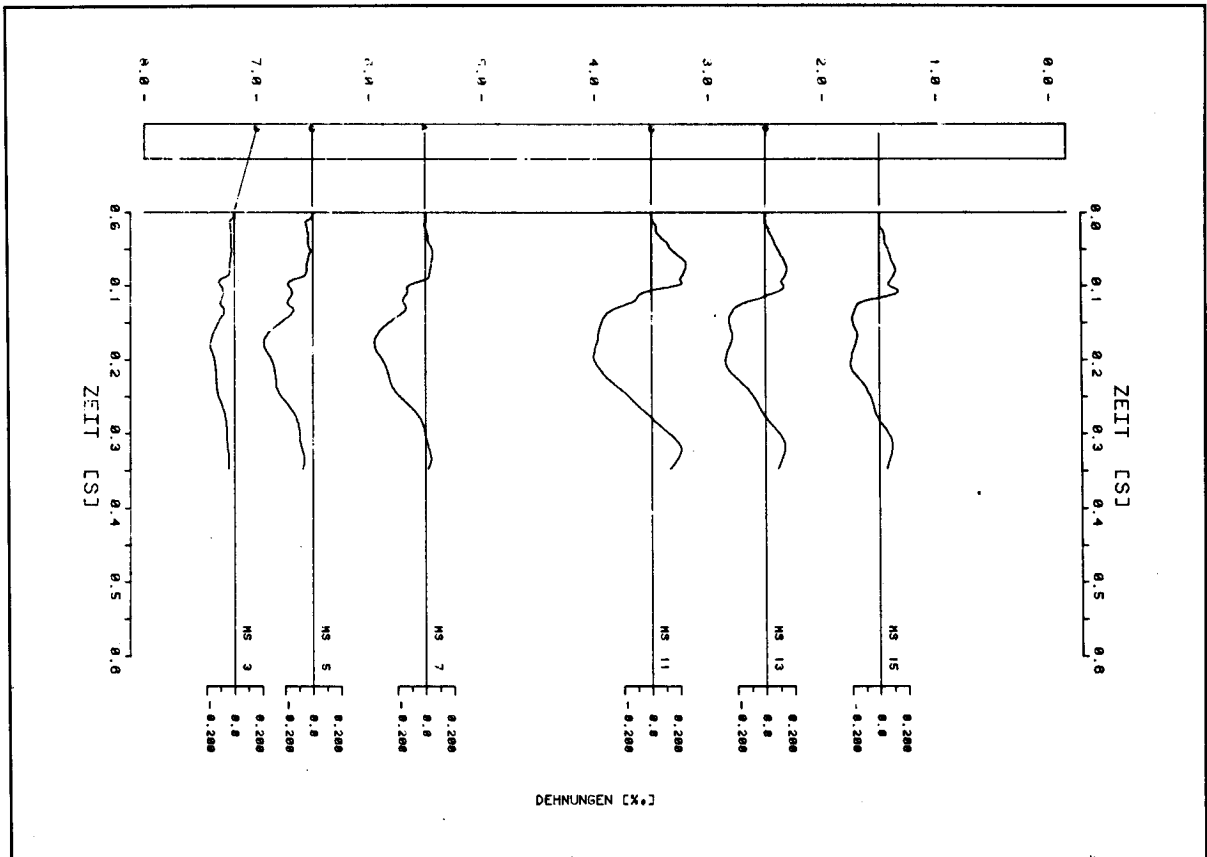


Bild B4.1-8: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

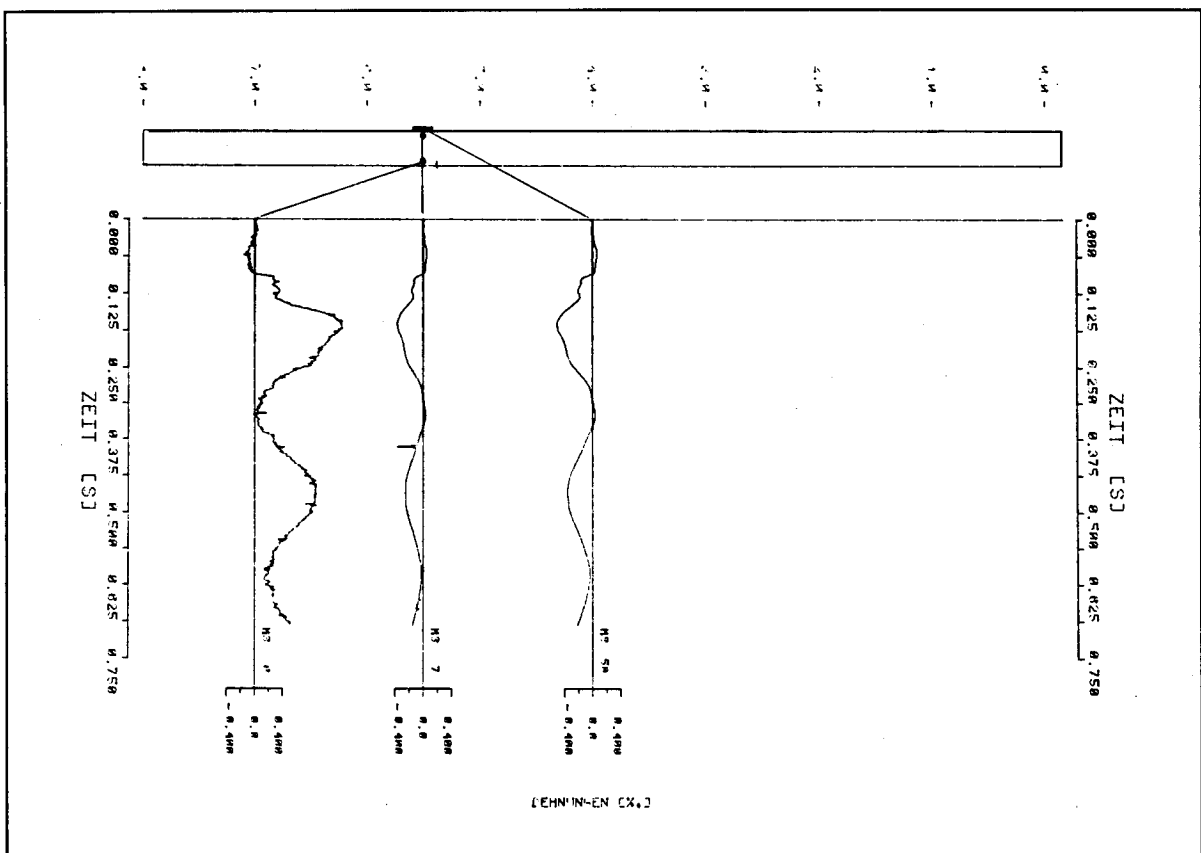


Bild B4.1-9: Zeitverläufe der Dehnungen der Längsbewehrung und des Betons in einem Balkenquerschnitt

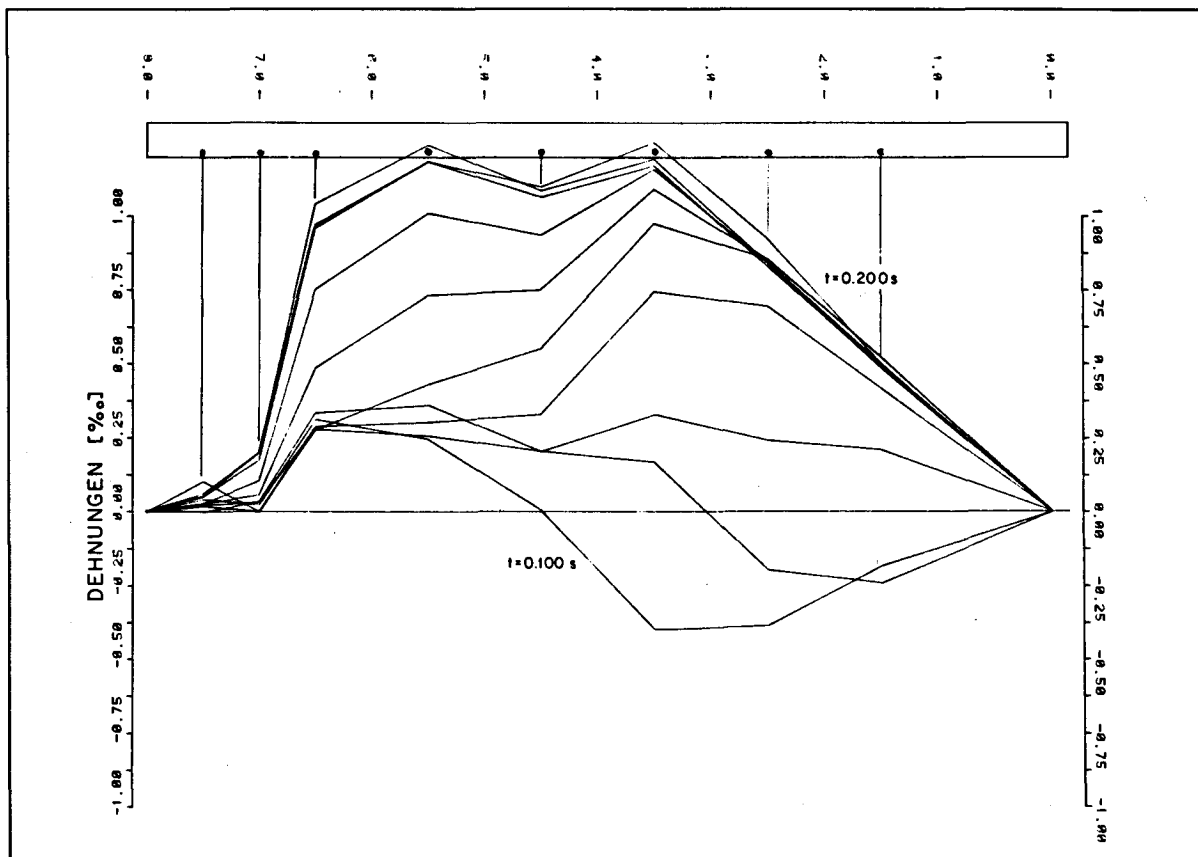


Bild B4.1-10: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.100 \text{ s} - 0.200 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.01 \text{ s}$ )

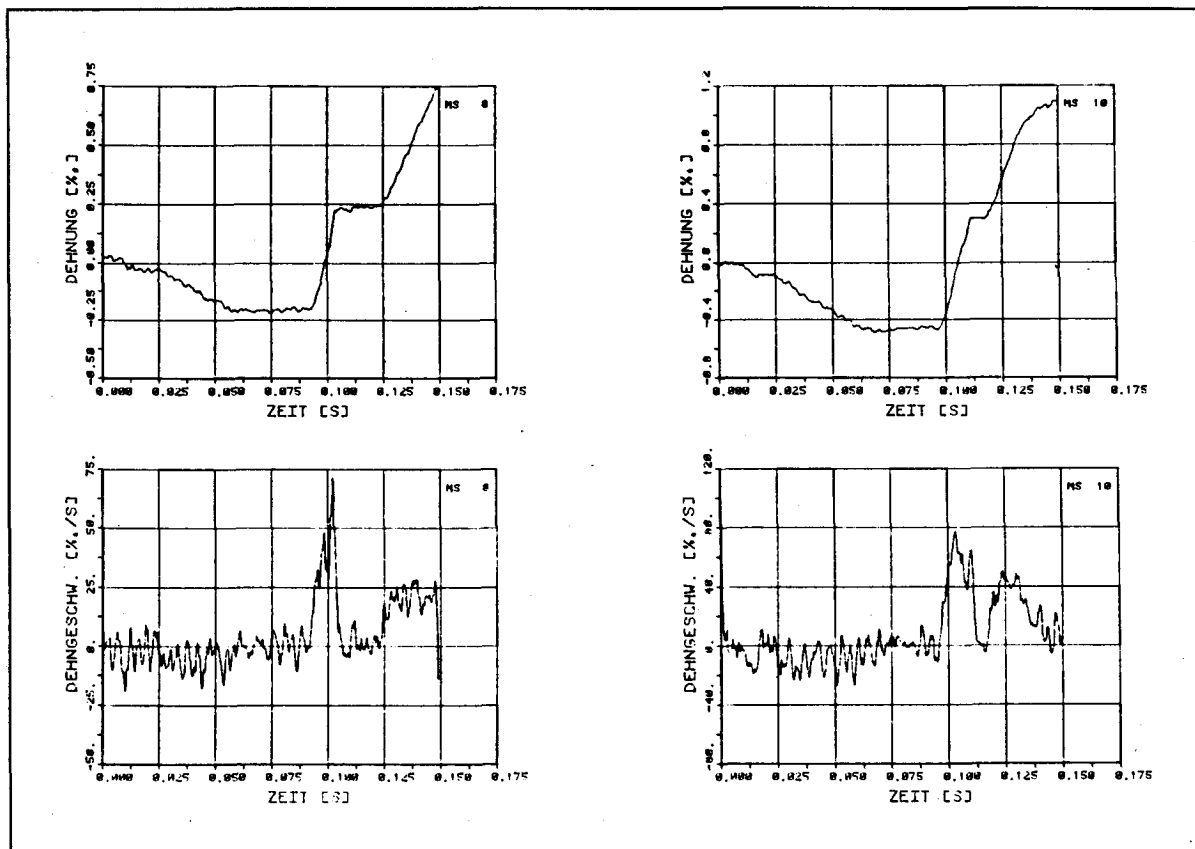


Bild B4.1-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

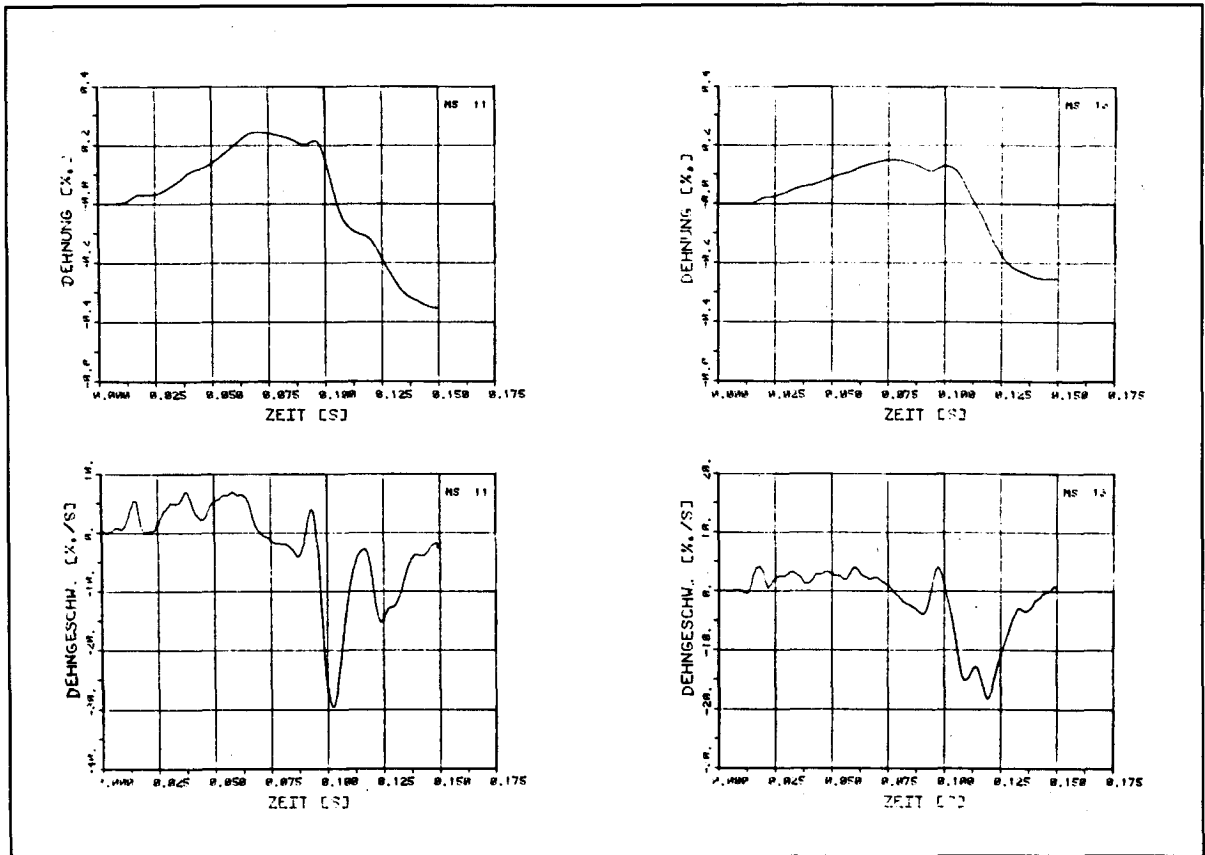


Bild B4.1-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

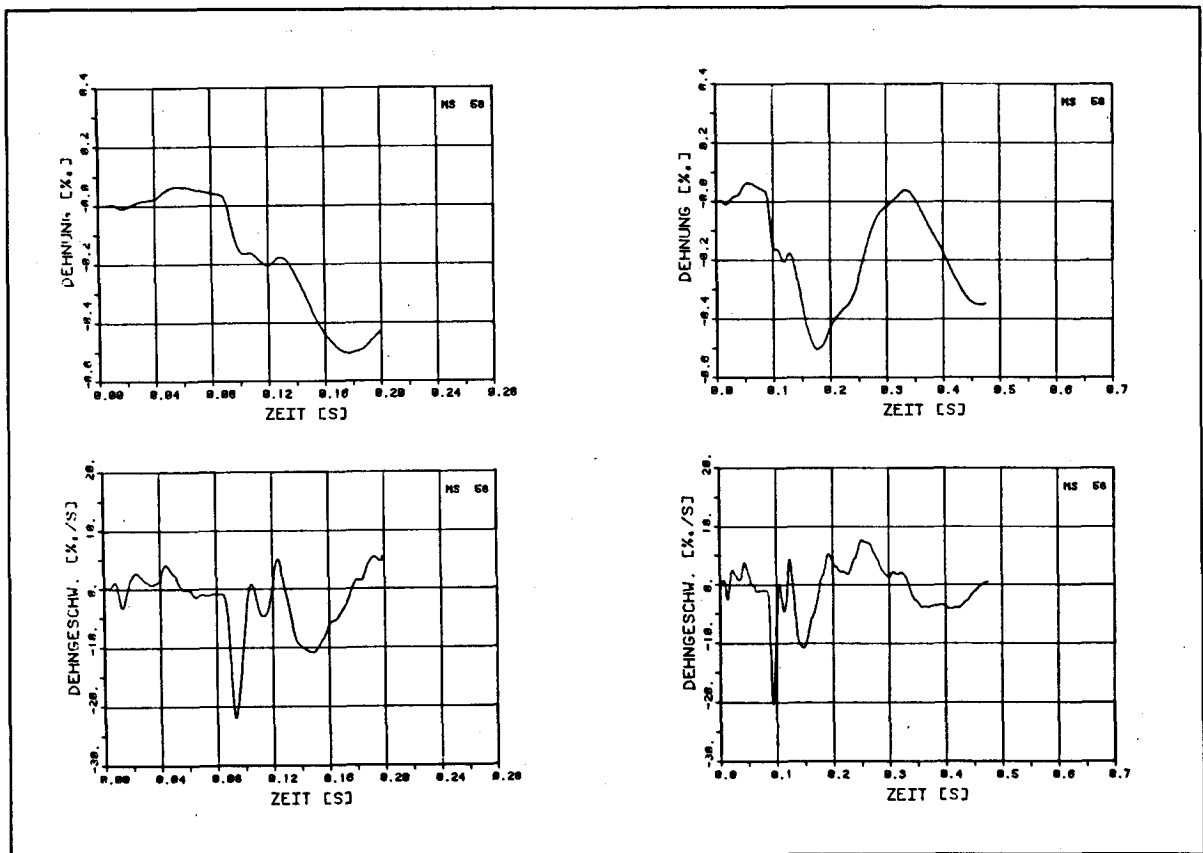


Bild B4.1-13: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

## VERSUCH B 4 . 2

Der Versuch B4.2, ausgeführt mit einer Fallhöhe von  $H = 0.10$  m, erbringt für den Balken eine gegenüber dem Versuch B4.1 nur unwesentliche zusätzliche Beanspruchung: Die zusätzliche, maximale plastische Durchbiegung beträgt 4 mm, und die Rissweiten bleiben im wesentlichen unverändert. Die bleibende Dehnung beträgt auf der unteren Längsbewehrung rund 1 ‰. Bezogen auf die gesamte potentielle Energie beträgt die Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformung nur knapp 6 ‰. Die maximale Aufprallreaktion lässt sich gut in die lineare Beziehung zwischen Aufprallreaktion und Fallhöhe (bzw.  $(H)^{3/5}$ ) einfügen. Die auf der unteren Längsbewehrung gemessenen extremalen Dehnungswerte betragen rund 2.5 ‰, auf der oberen Längsbewehrung - 0.75 ‰ und auf dem Beton - 1 ‰. Die 1. Eigenfrequenz hat gegenüber dem Versuch B4.1 um 5 ‰, auf  $f = 3.58$  Hz, abgenommen.

VERSUCH B4.3

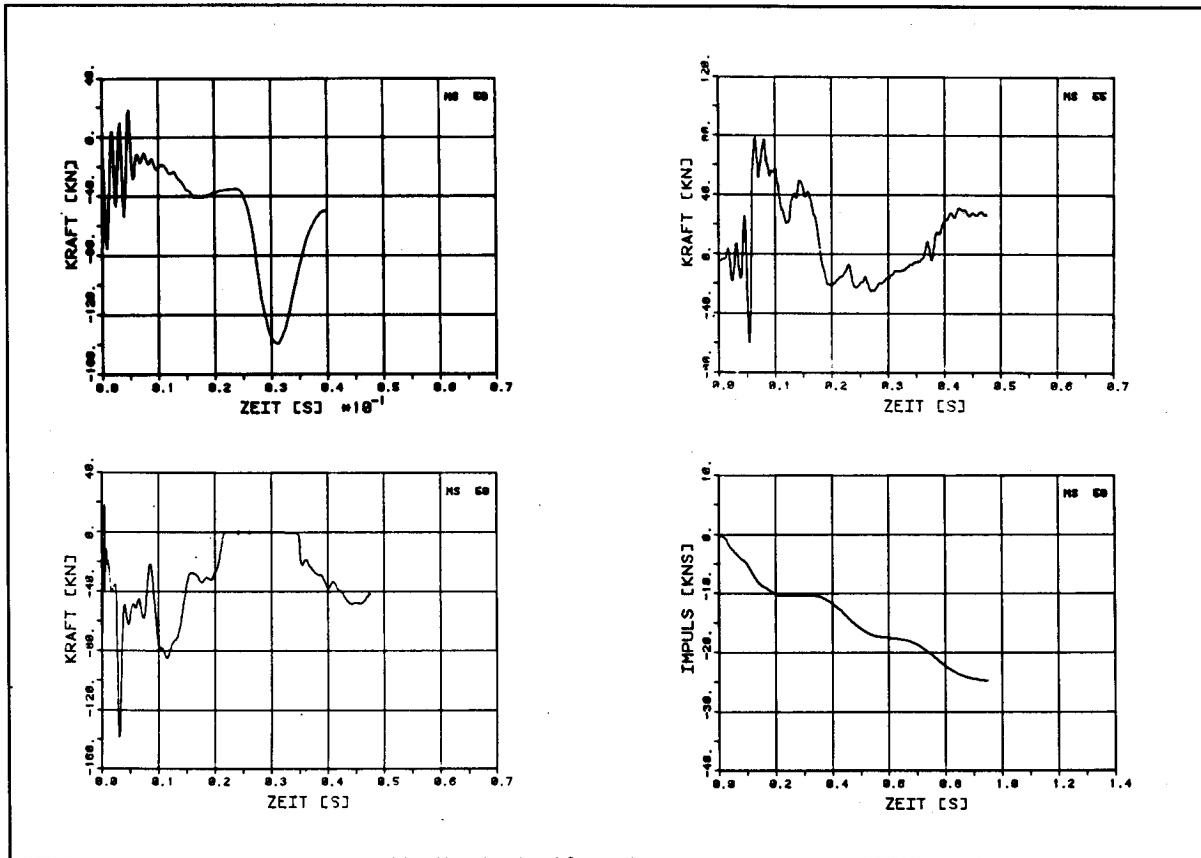


Bild B4.3-1: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion, Impuls

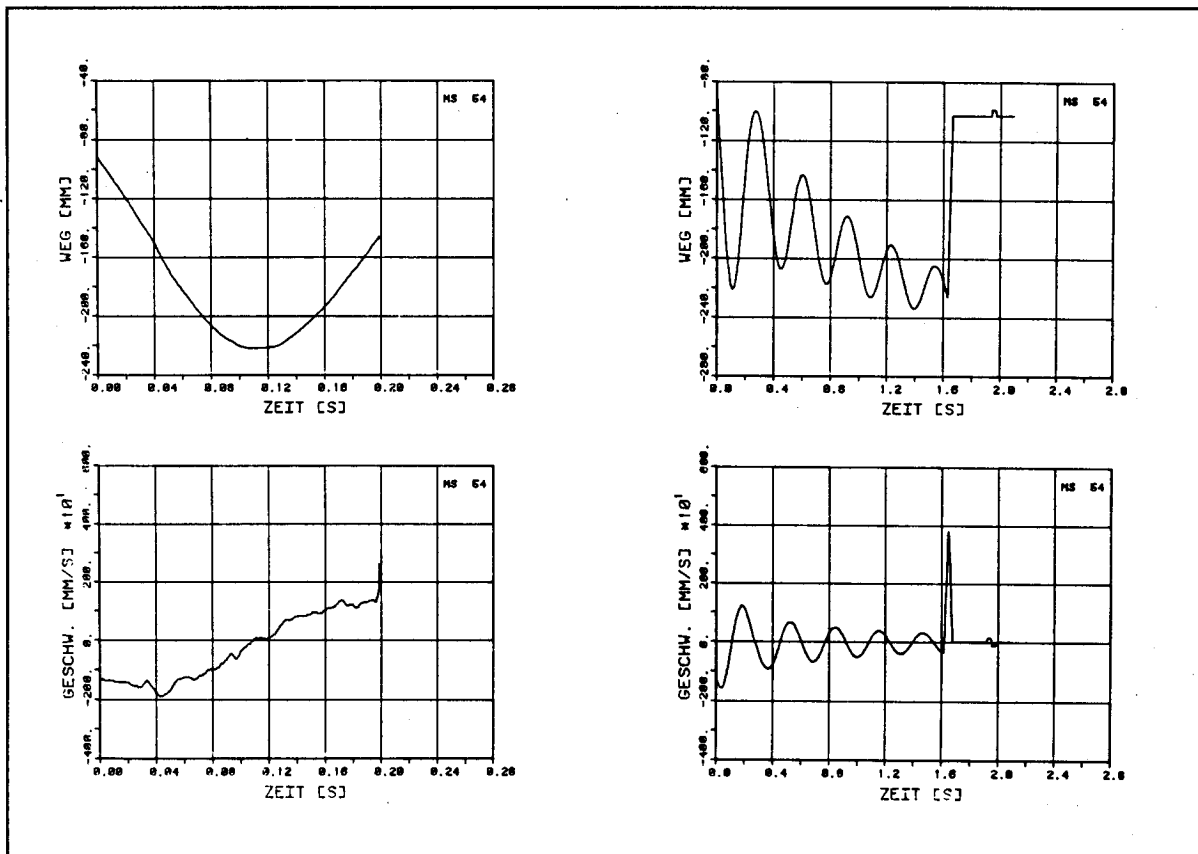


Bild B4.3-2: Zeitverläufe der Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit

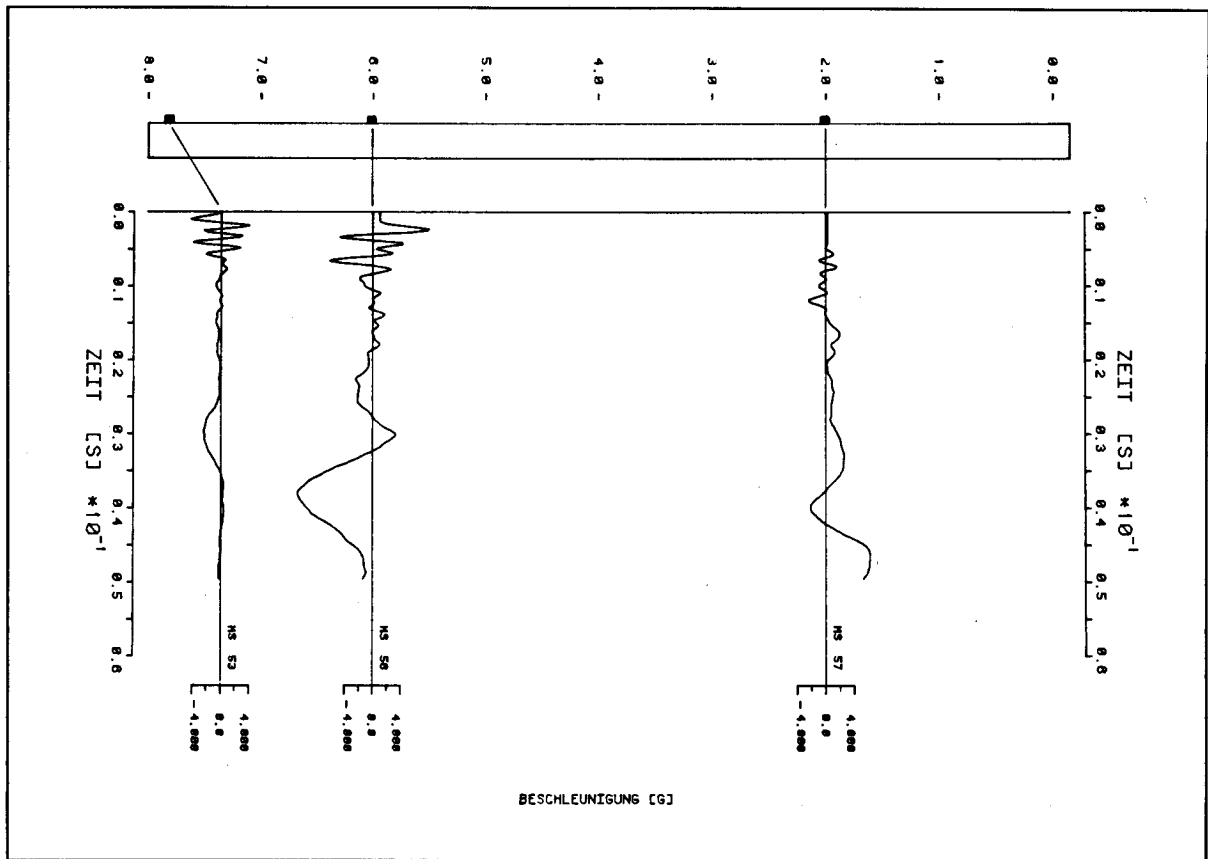


Bild B4.3-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

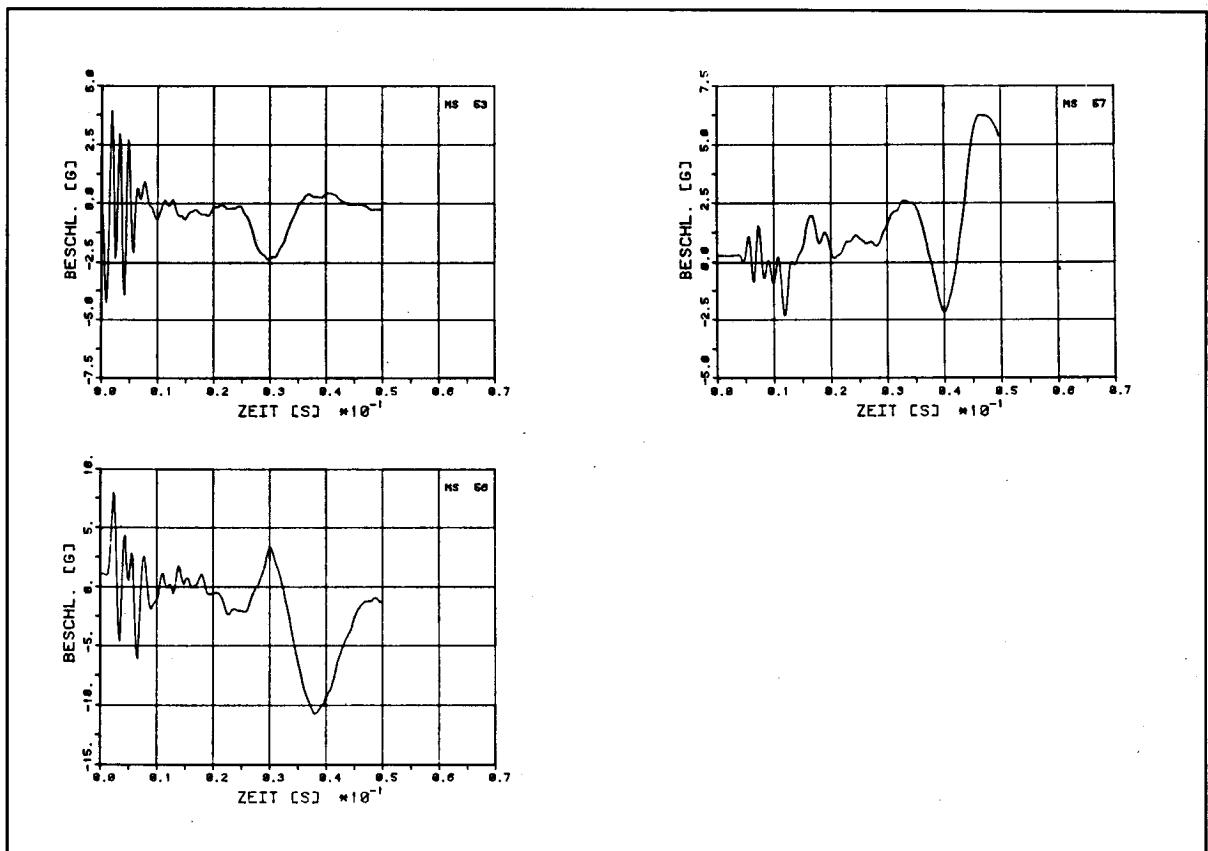


Bild B4.3-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel- Darstellungen

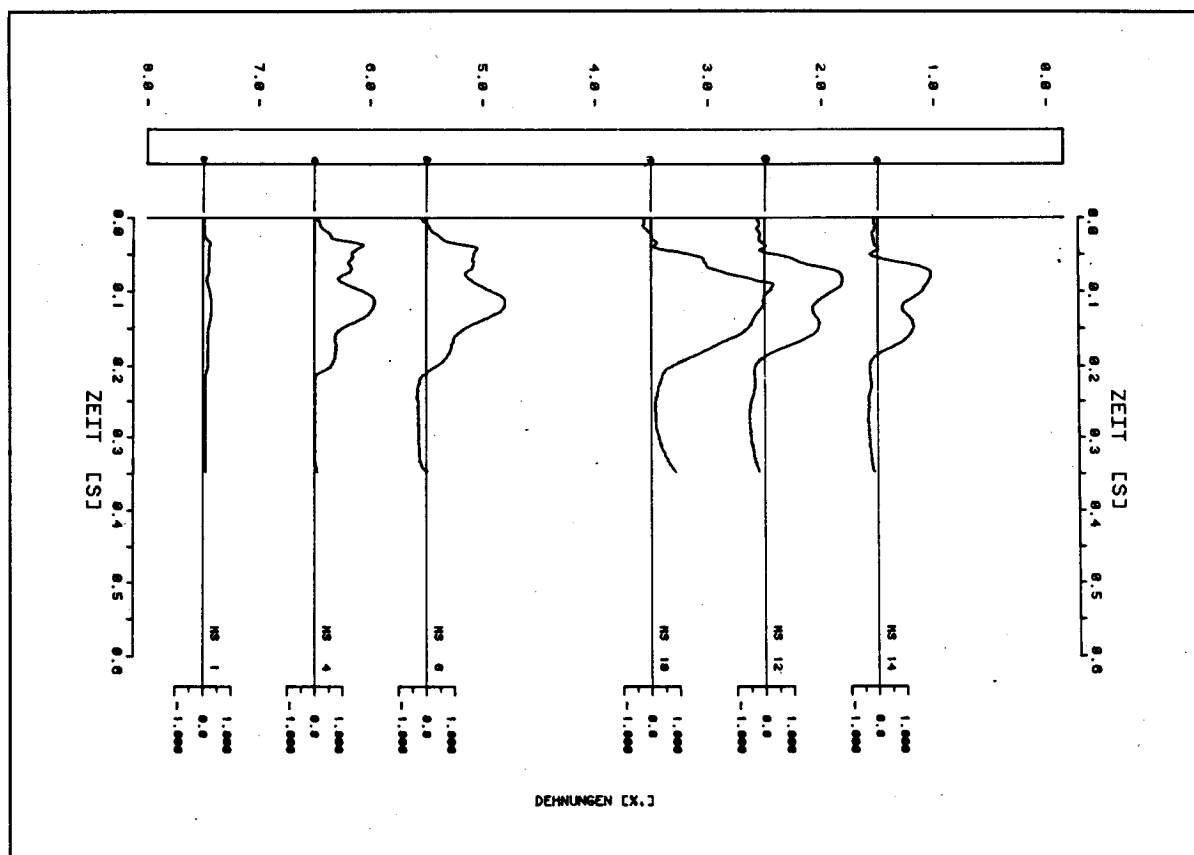
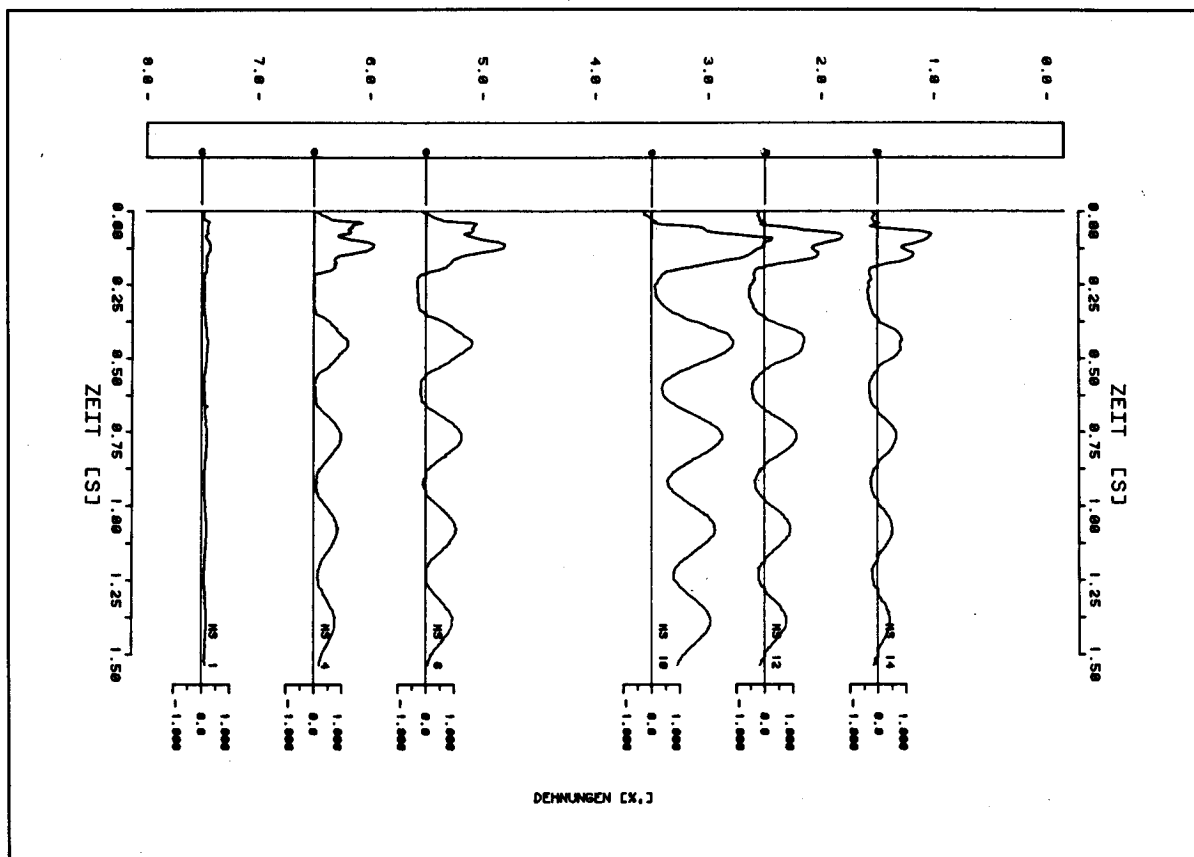


Bild B4.3-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

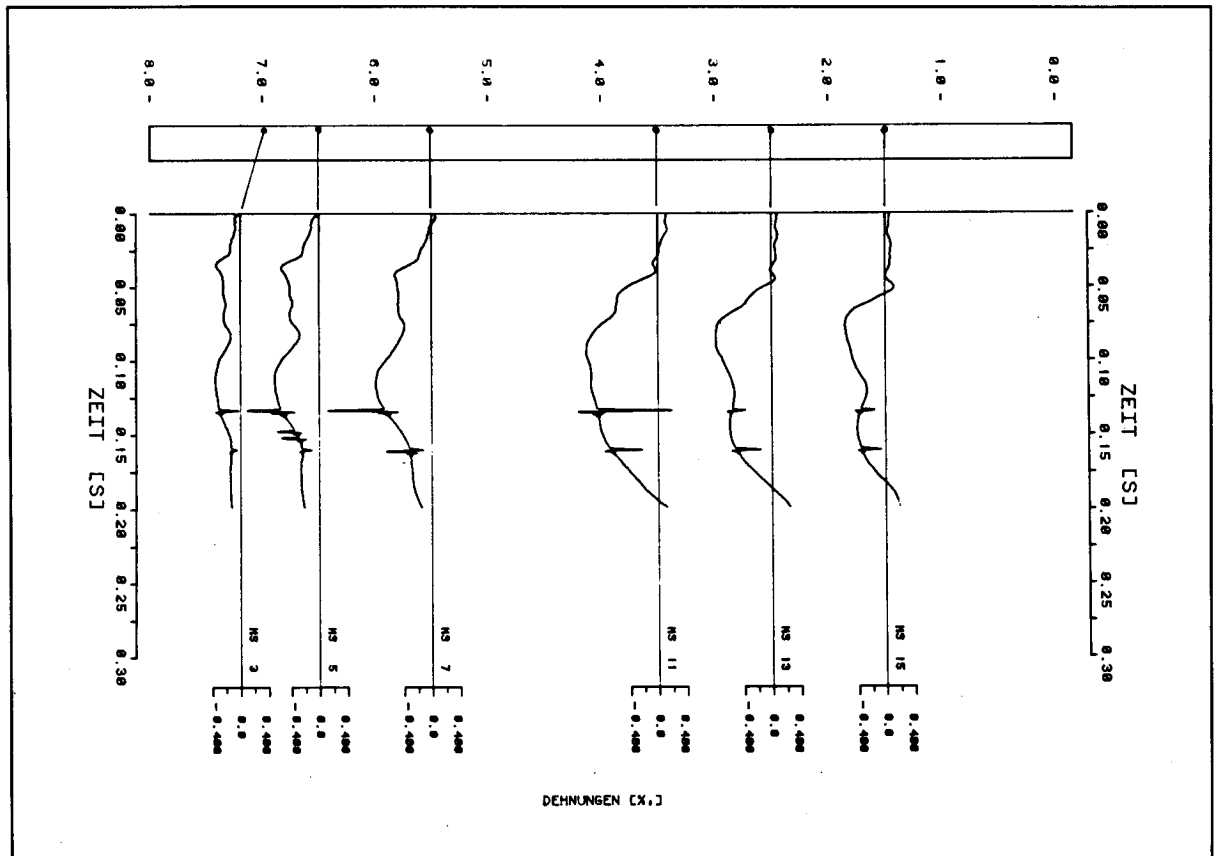


Bild B4.3-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

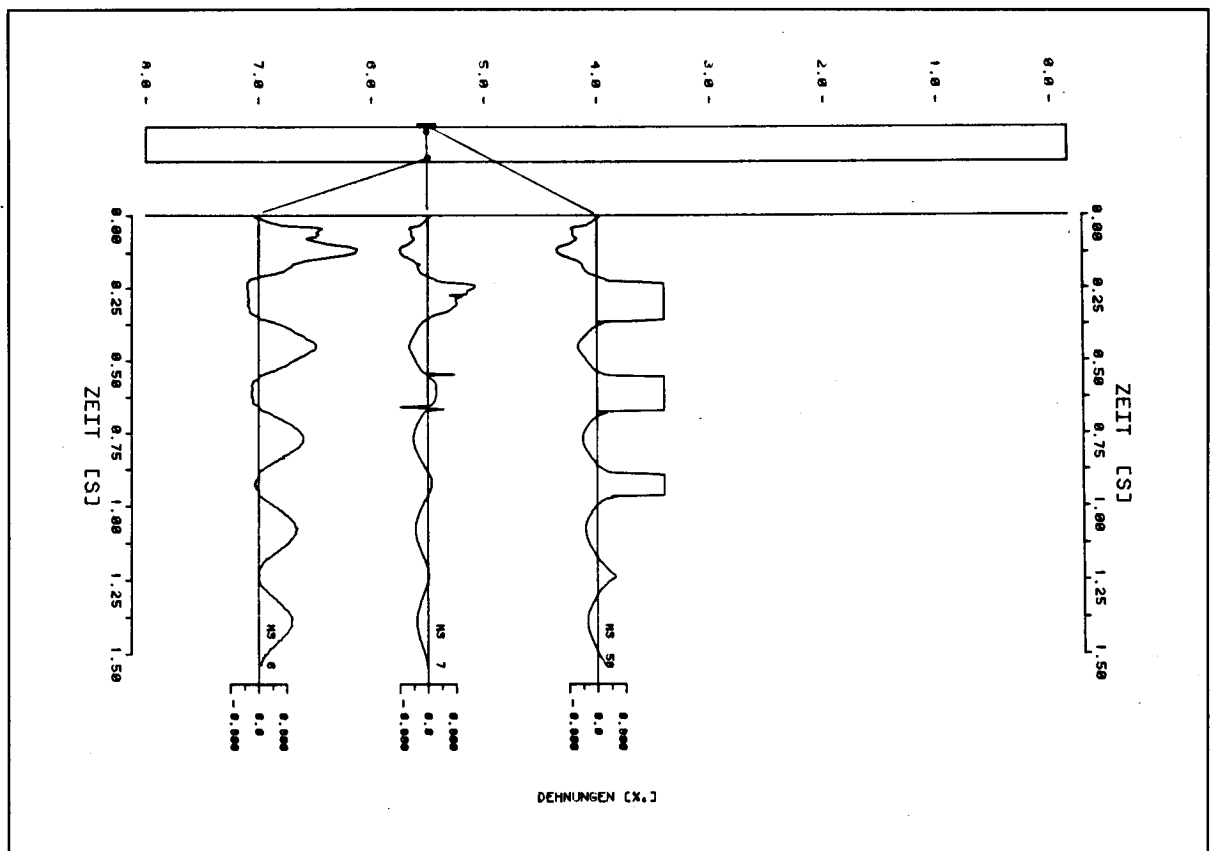


Bild B4.3-7: Zeitverläufe der Dehnungen der Längsbewehrung und des Betons in einem Balkenquerschnitt



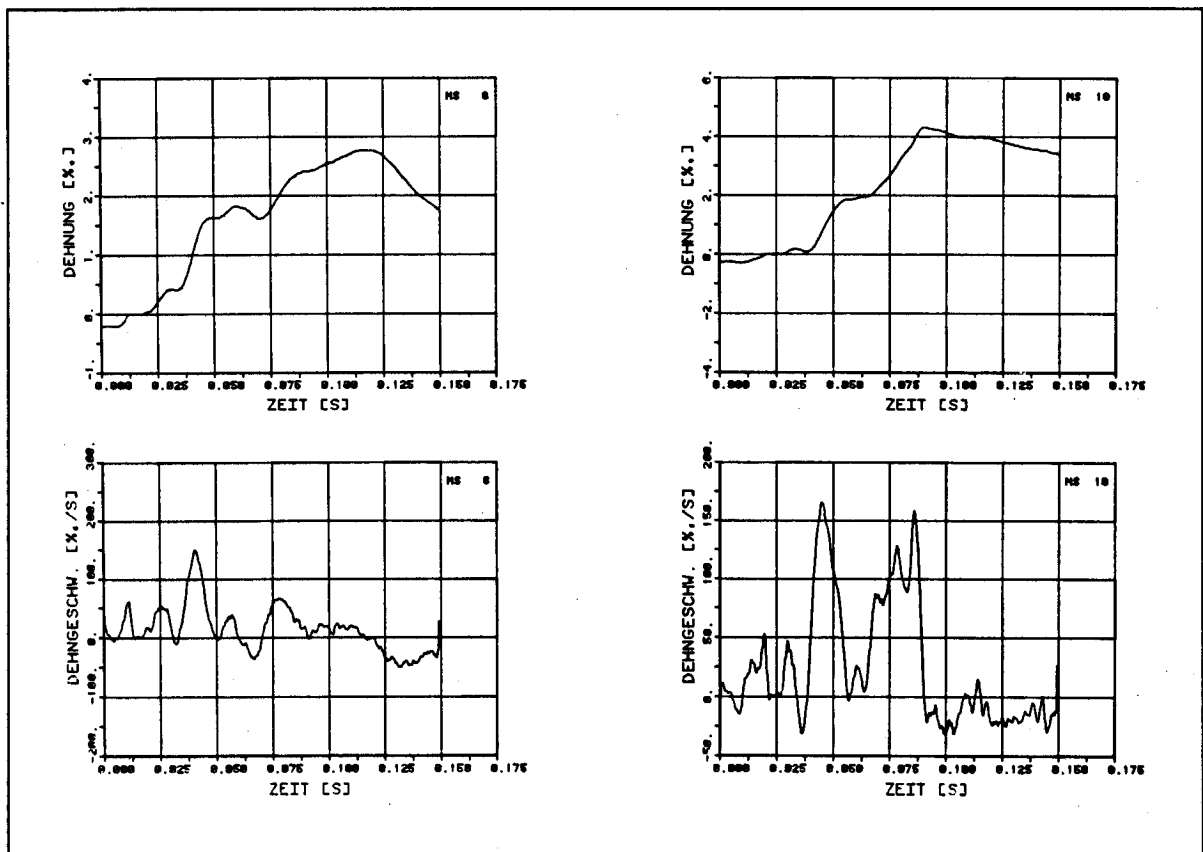
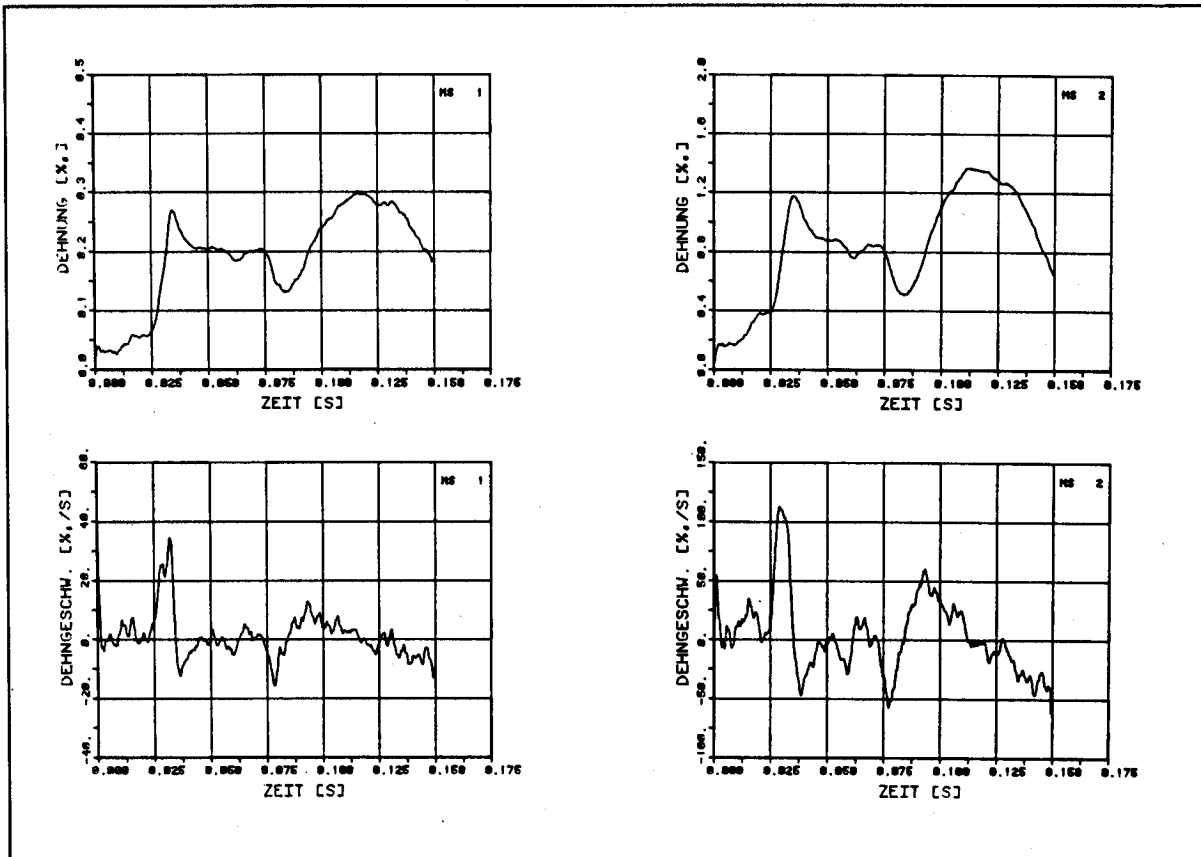


Bild B4,3-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

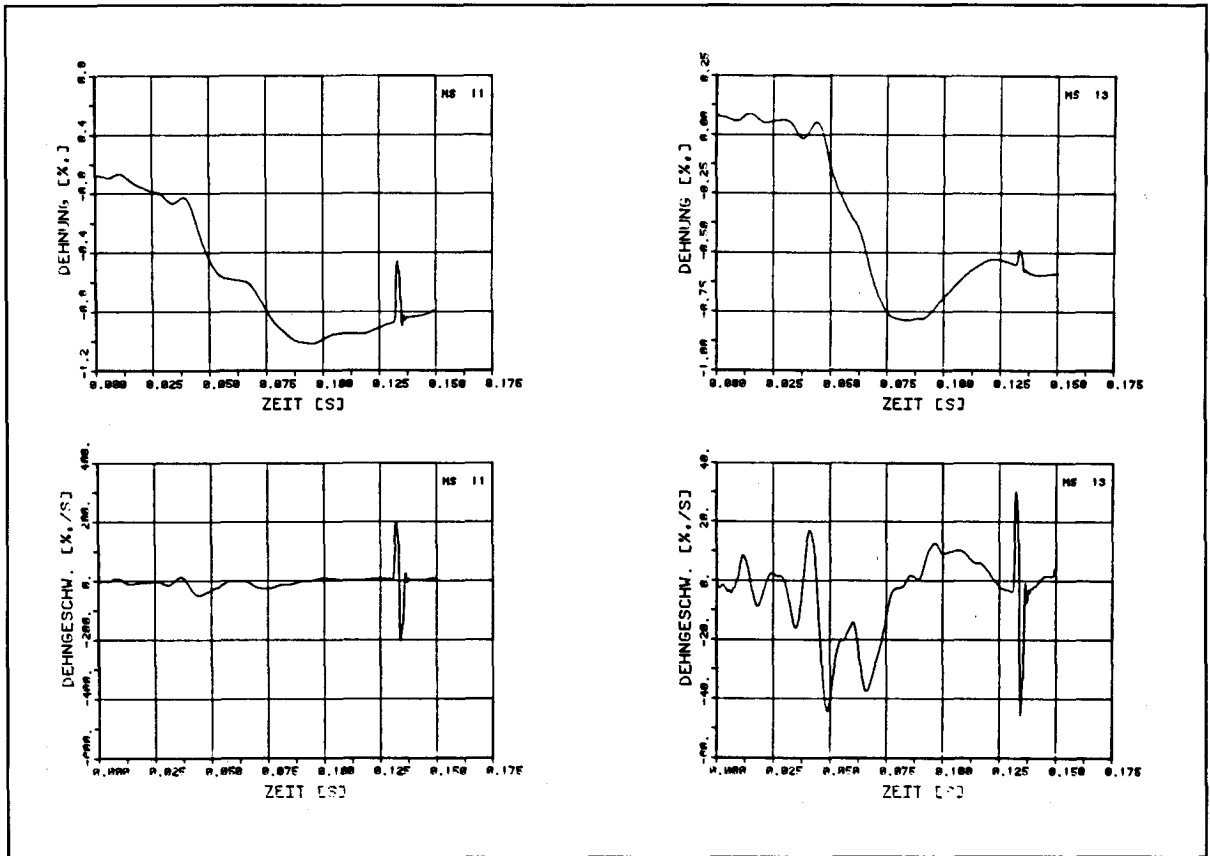


Bild B4.3-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

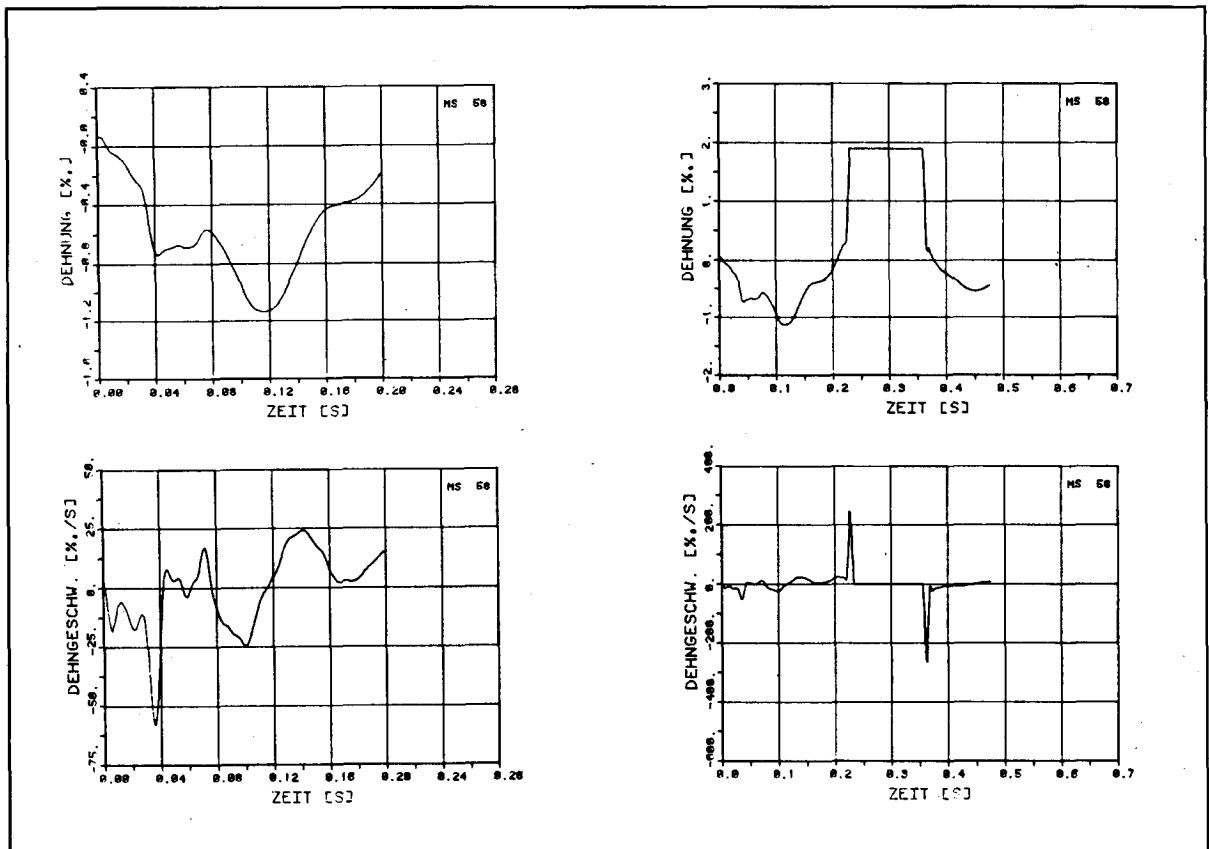


Bild B4.3-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B4.4

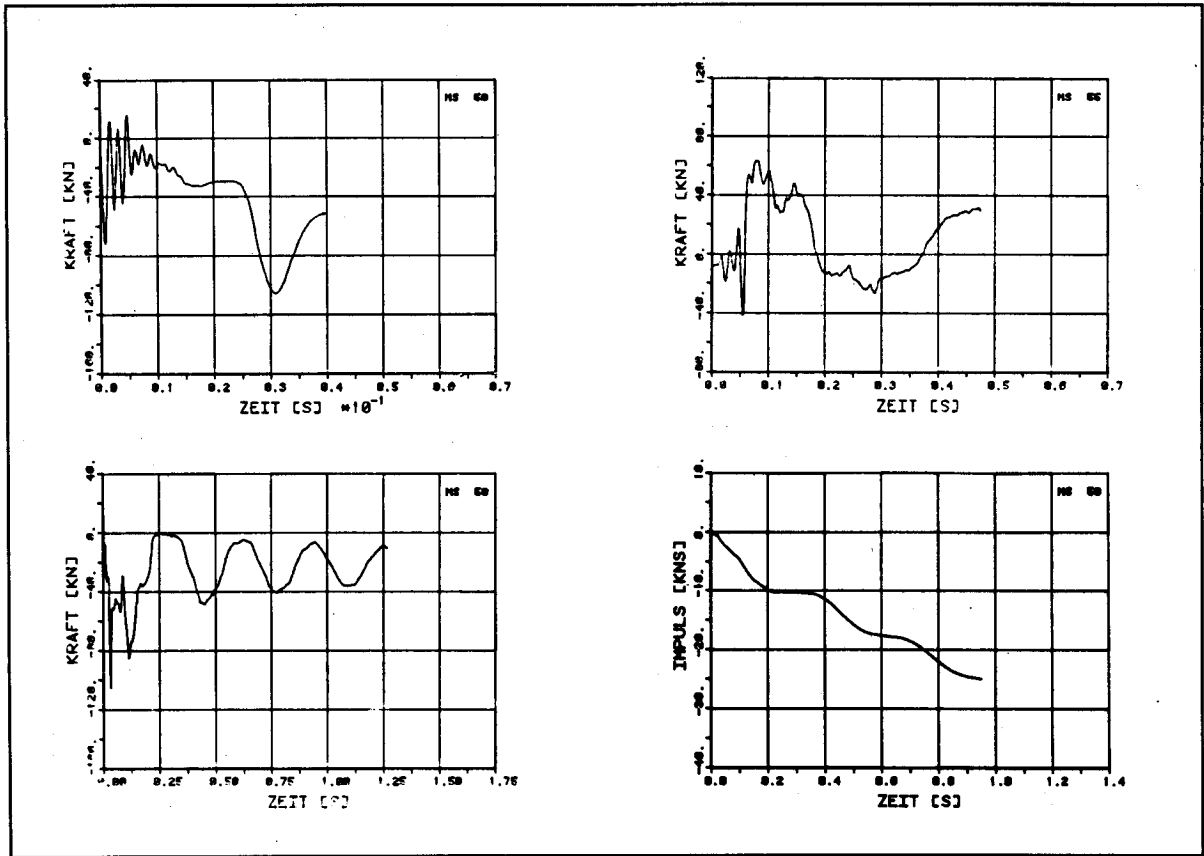


Bild B4.4-1: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion, Impuls

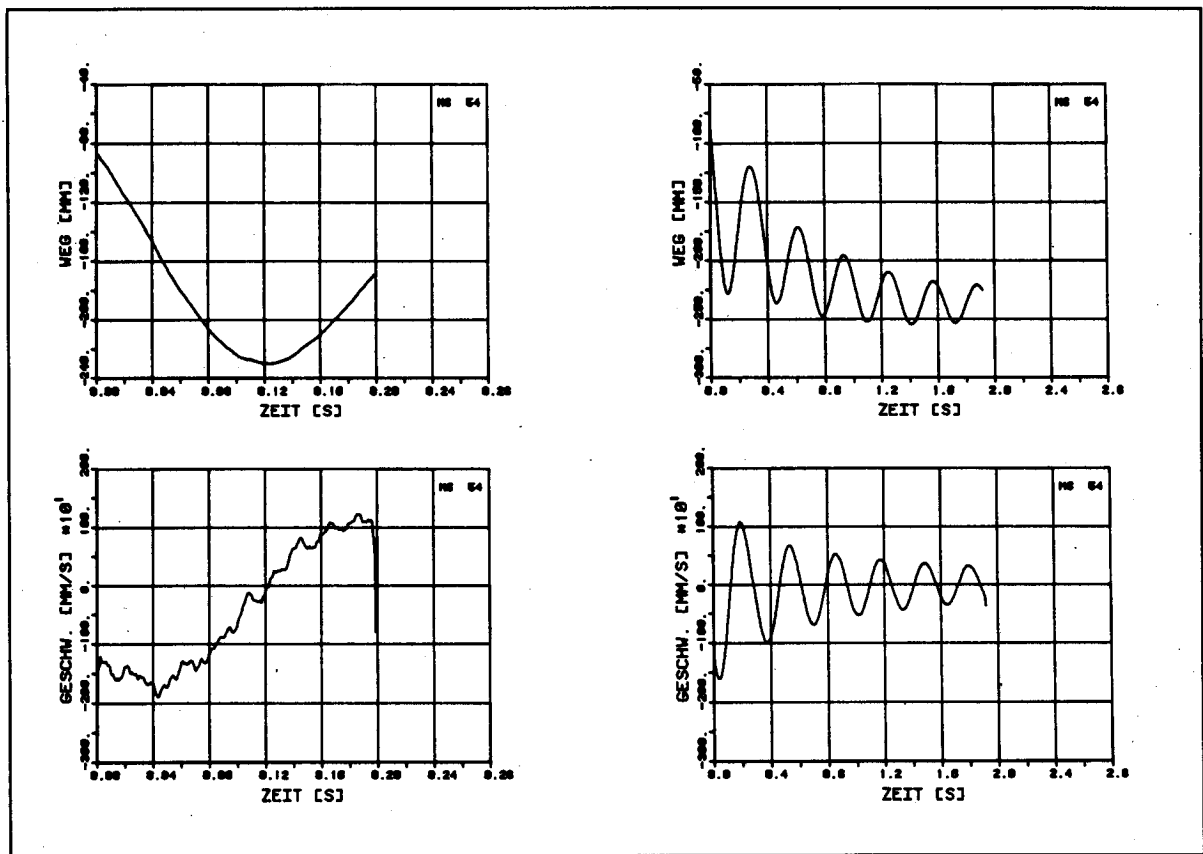


Bild B4.4-2: Zeitverläufe der Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit

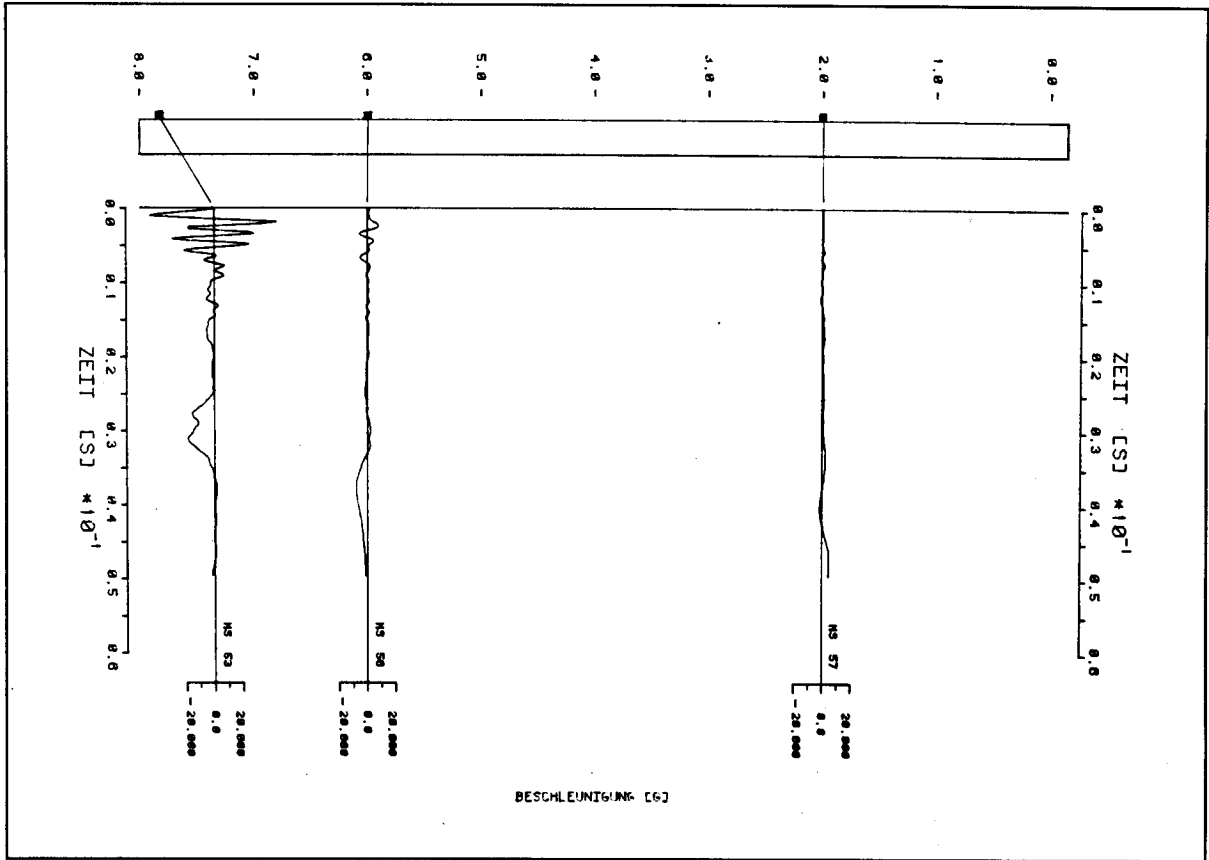


Bild B4.4-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

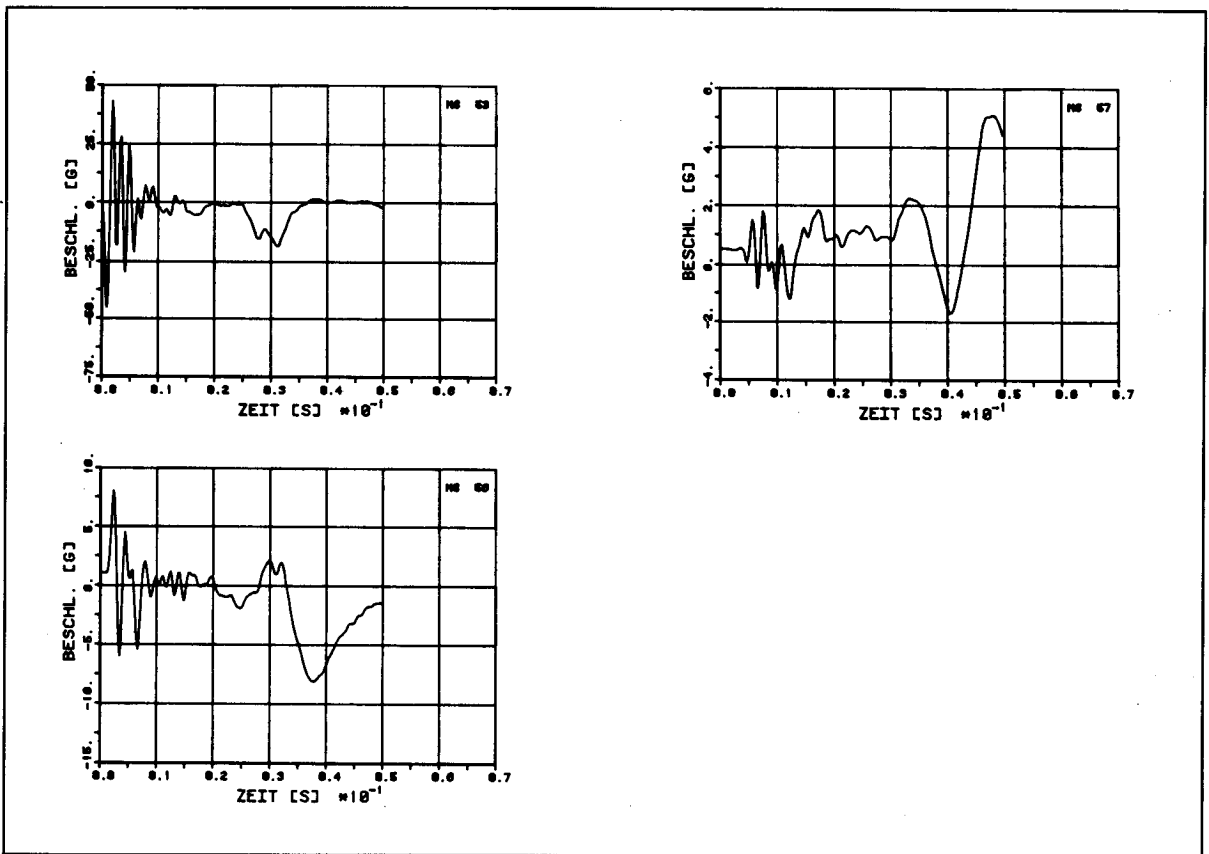


Bild B4.4-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel- Darstellungen

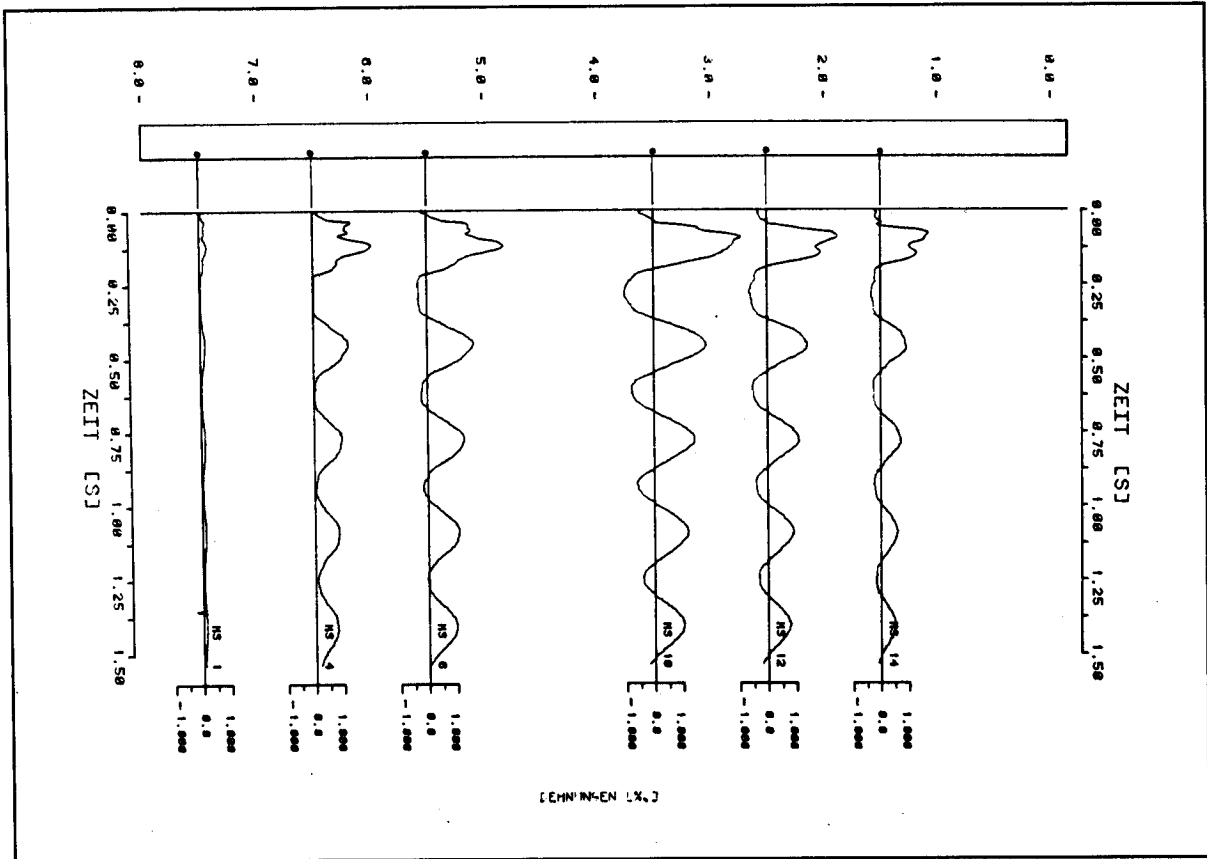


Bild B4.4-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unterern Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

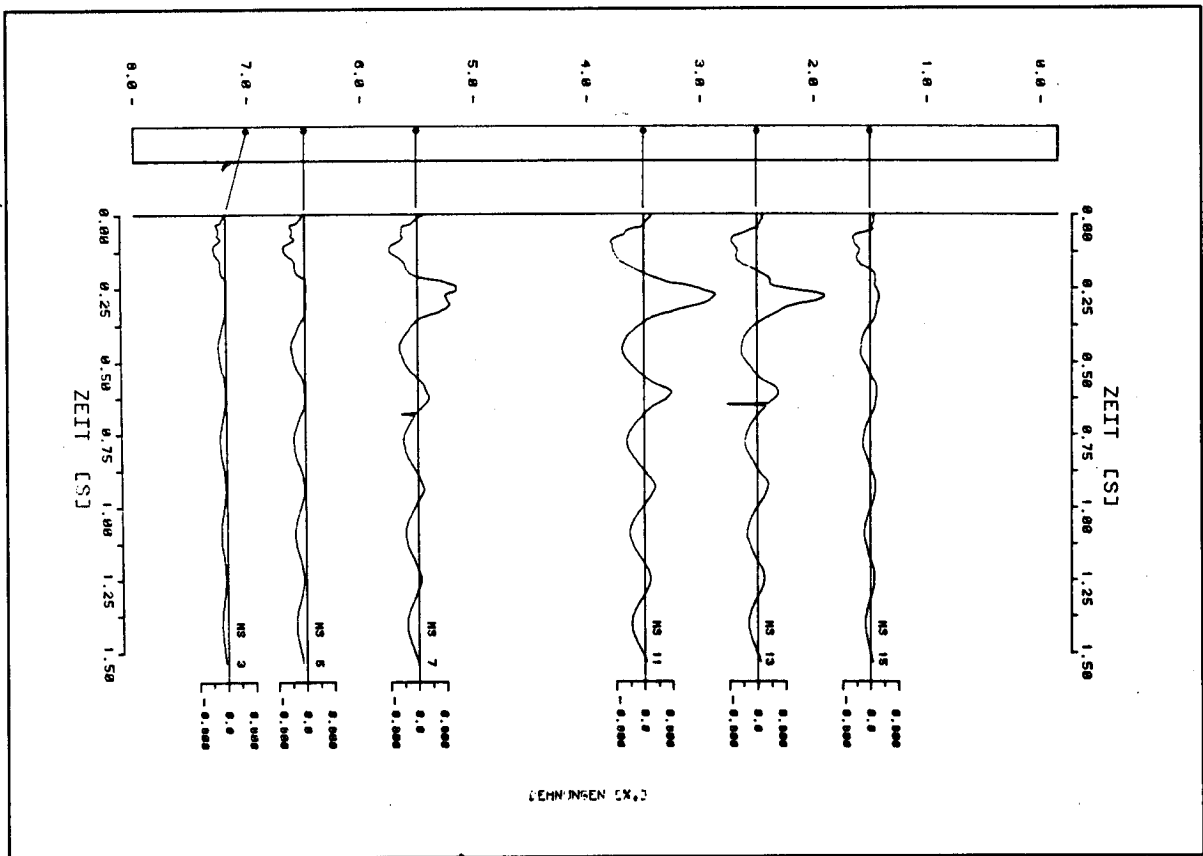


Bild B4.4-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

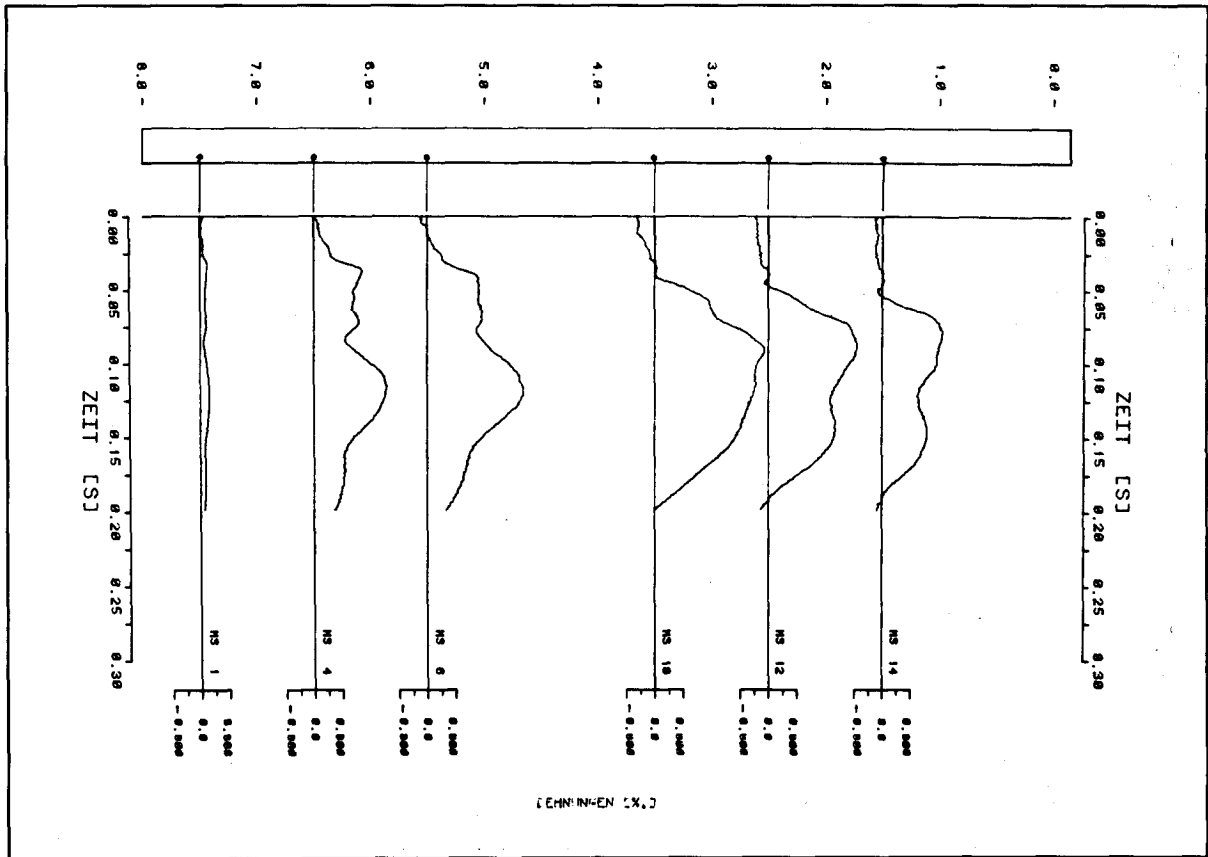


Bild B4.4-7: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

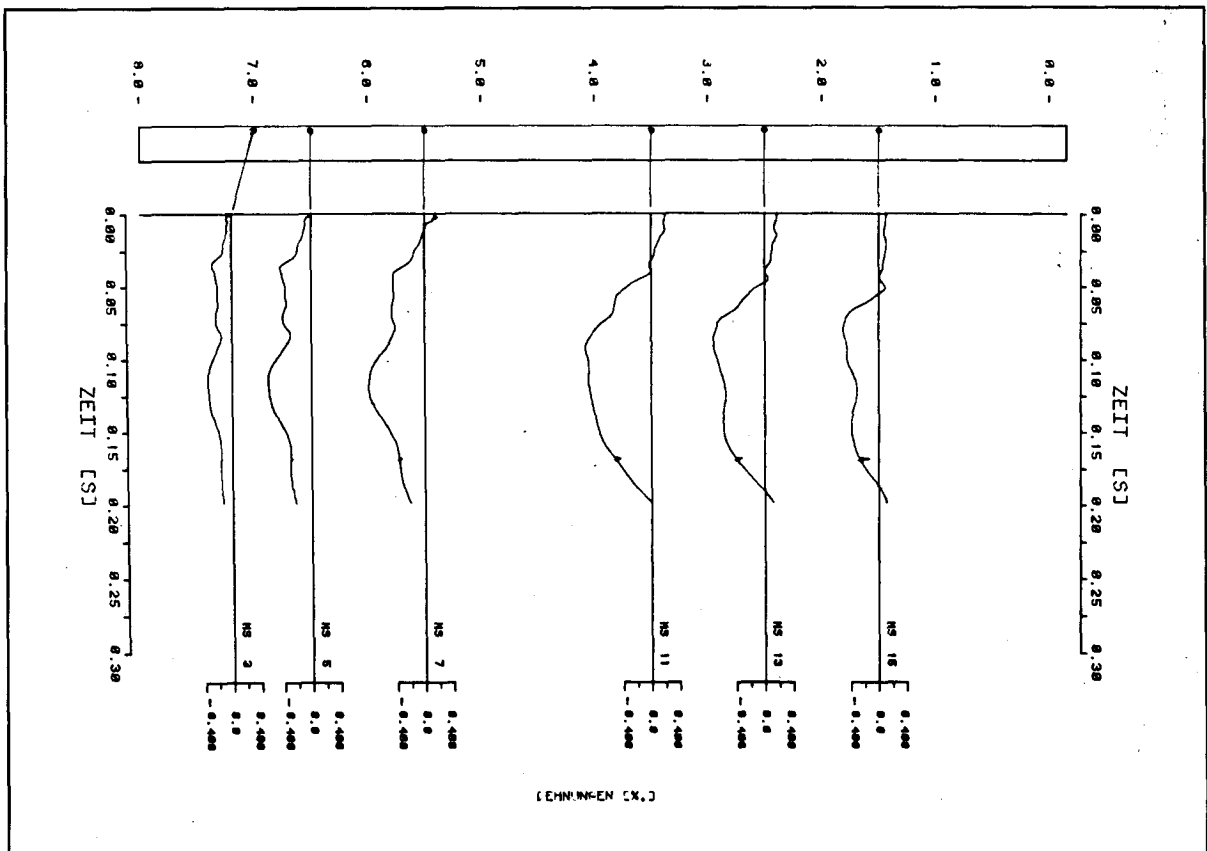


Bild B4.4-8: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

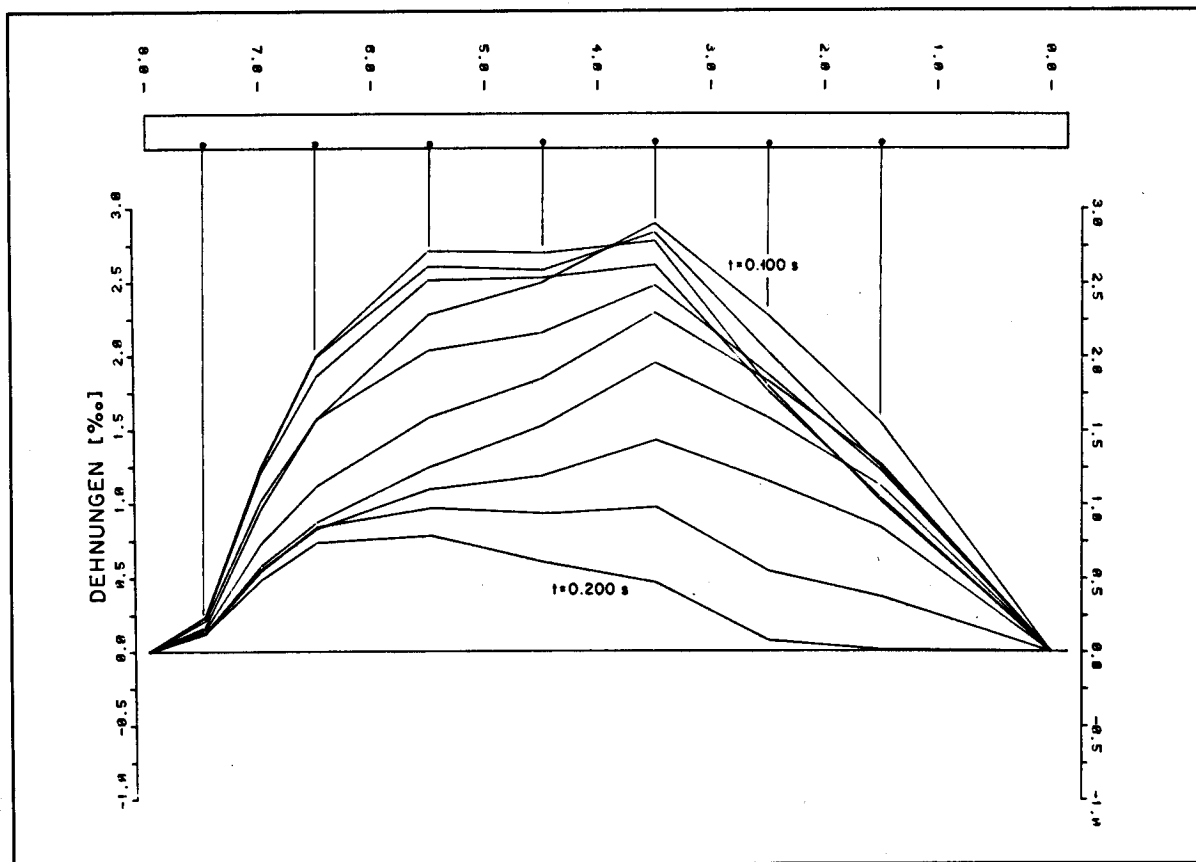


Bild B4.4-9: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0,223 \text{ s} - 0,323 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0,01 \text{ s}$ )

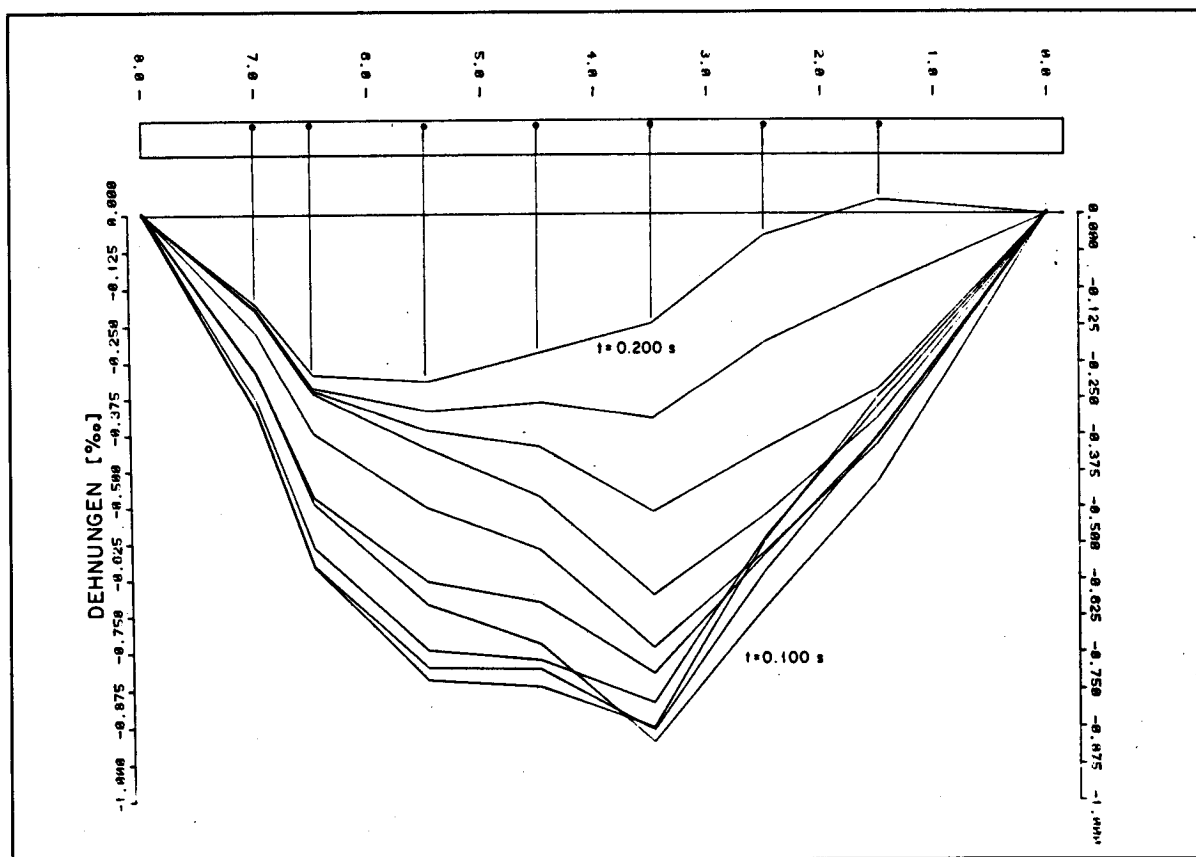


Bild B4.4-10: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0,223 \text{ s} - 0,323 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0,01 \text{ s}$ )

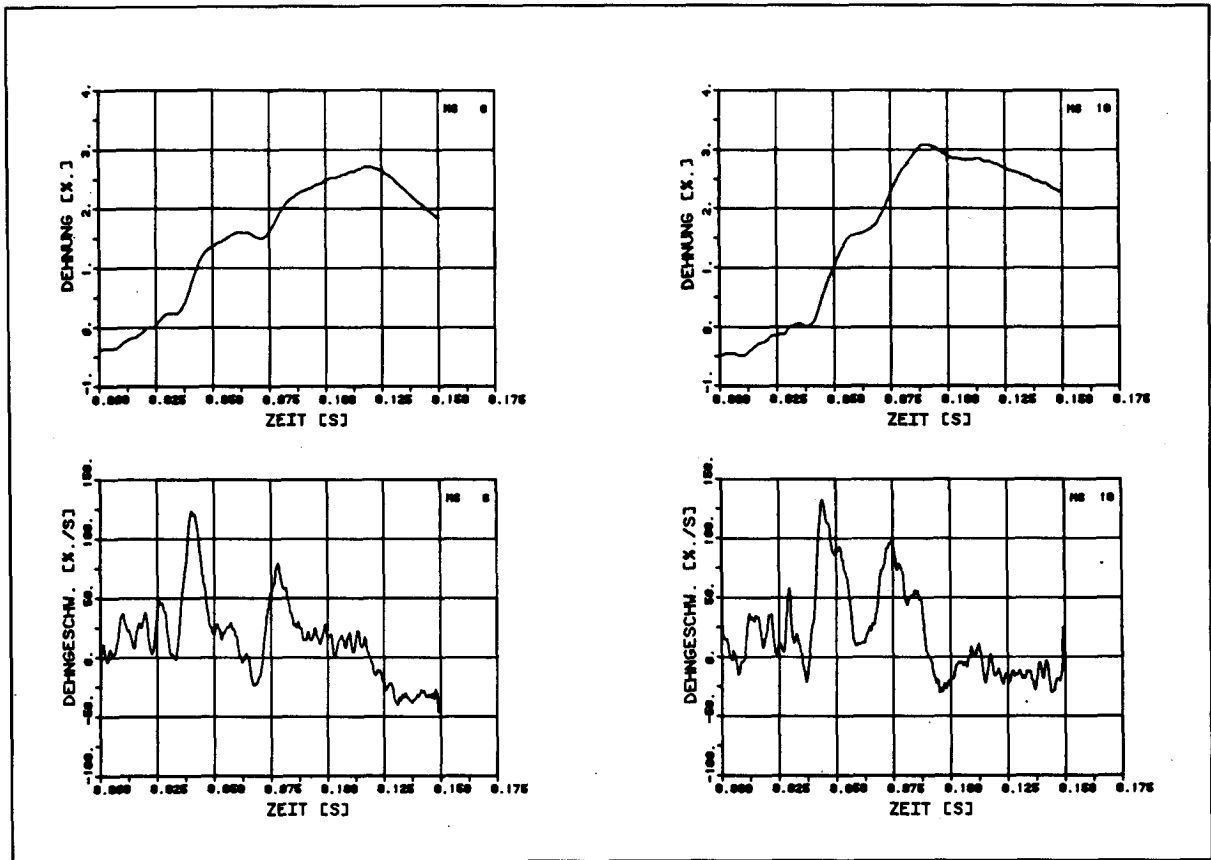


Bild B4.4-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

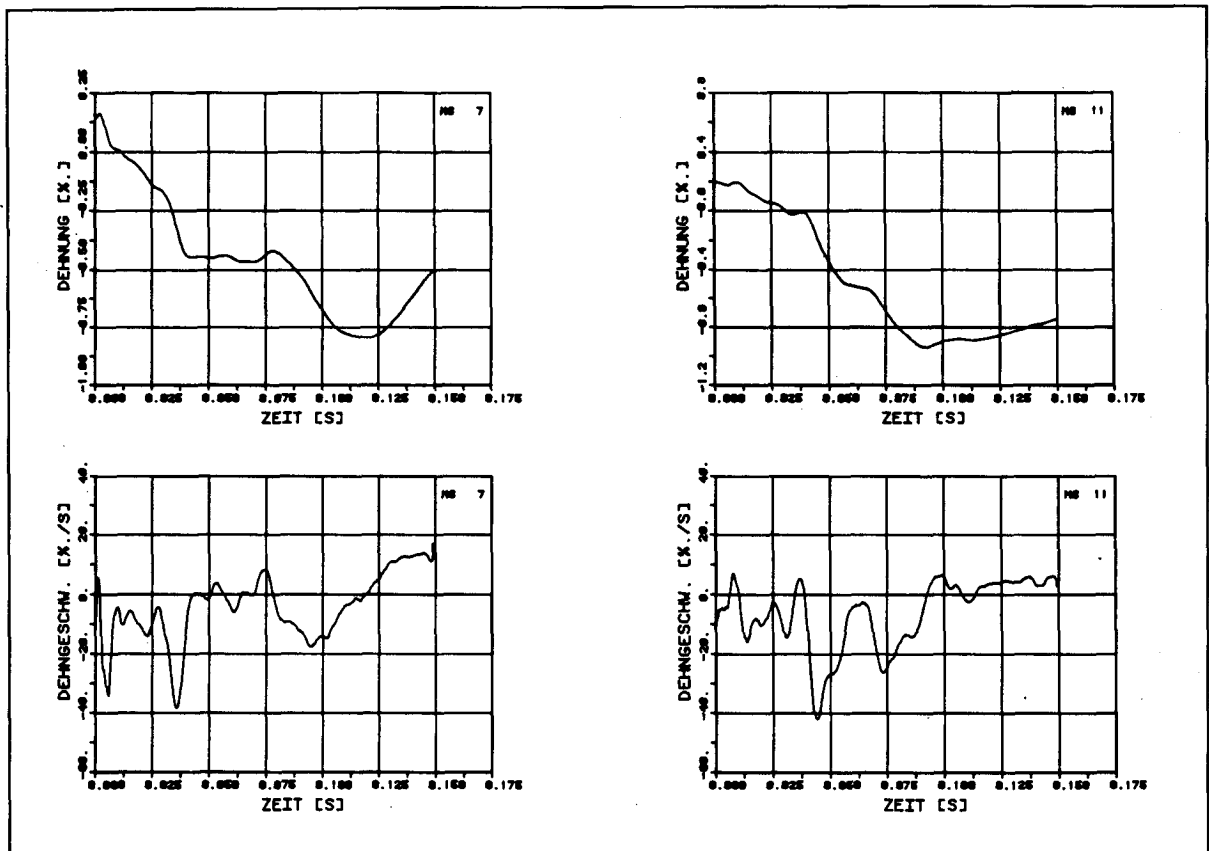


Bild B4.4-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



VERSUCH B4.5

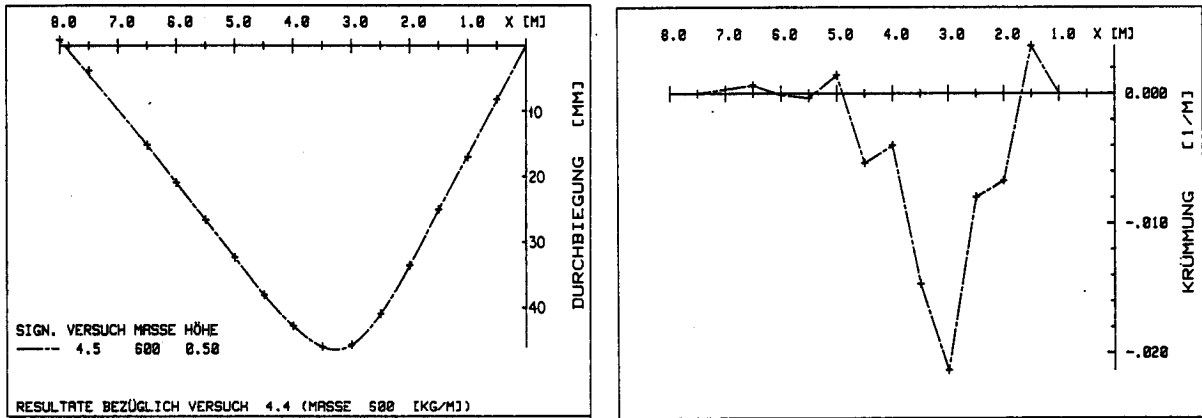


Bild B4.5-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B4.5

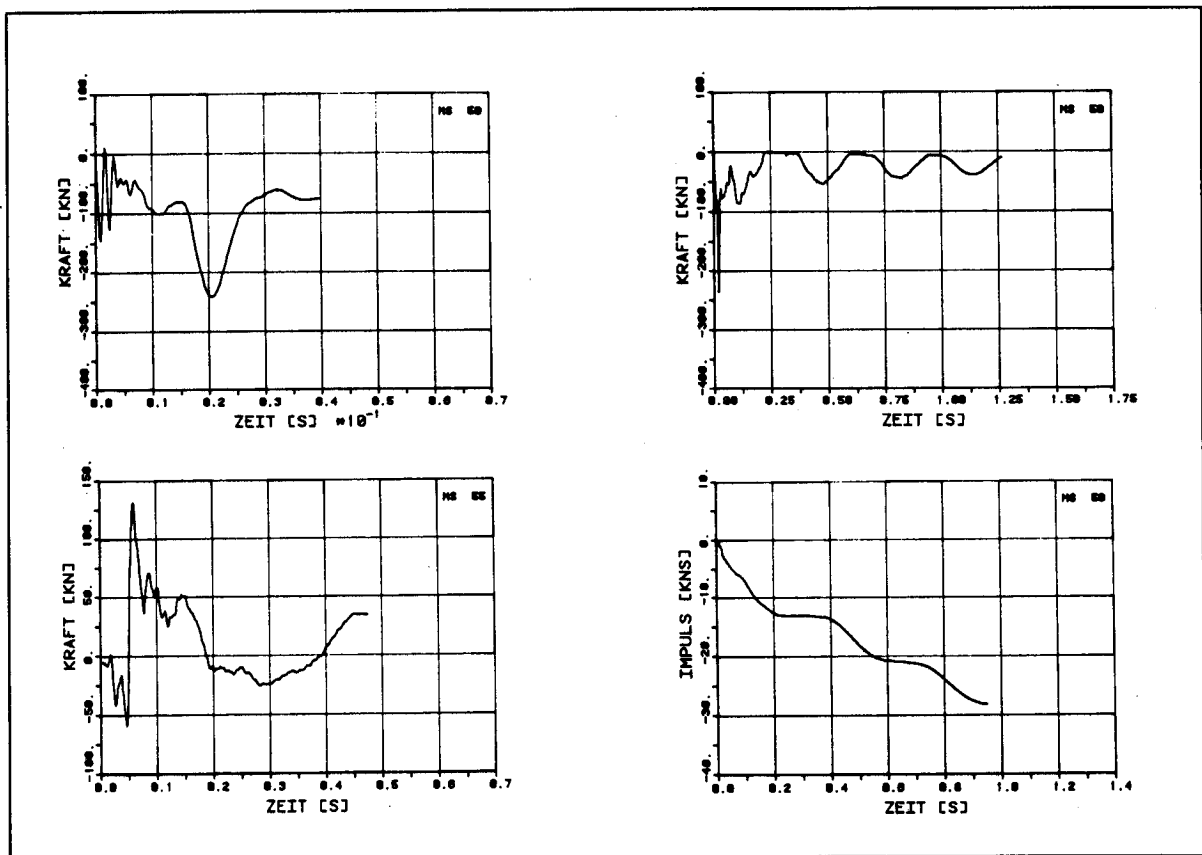


Bild B4.5-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion, Impuls

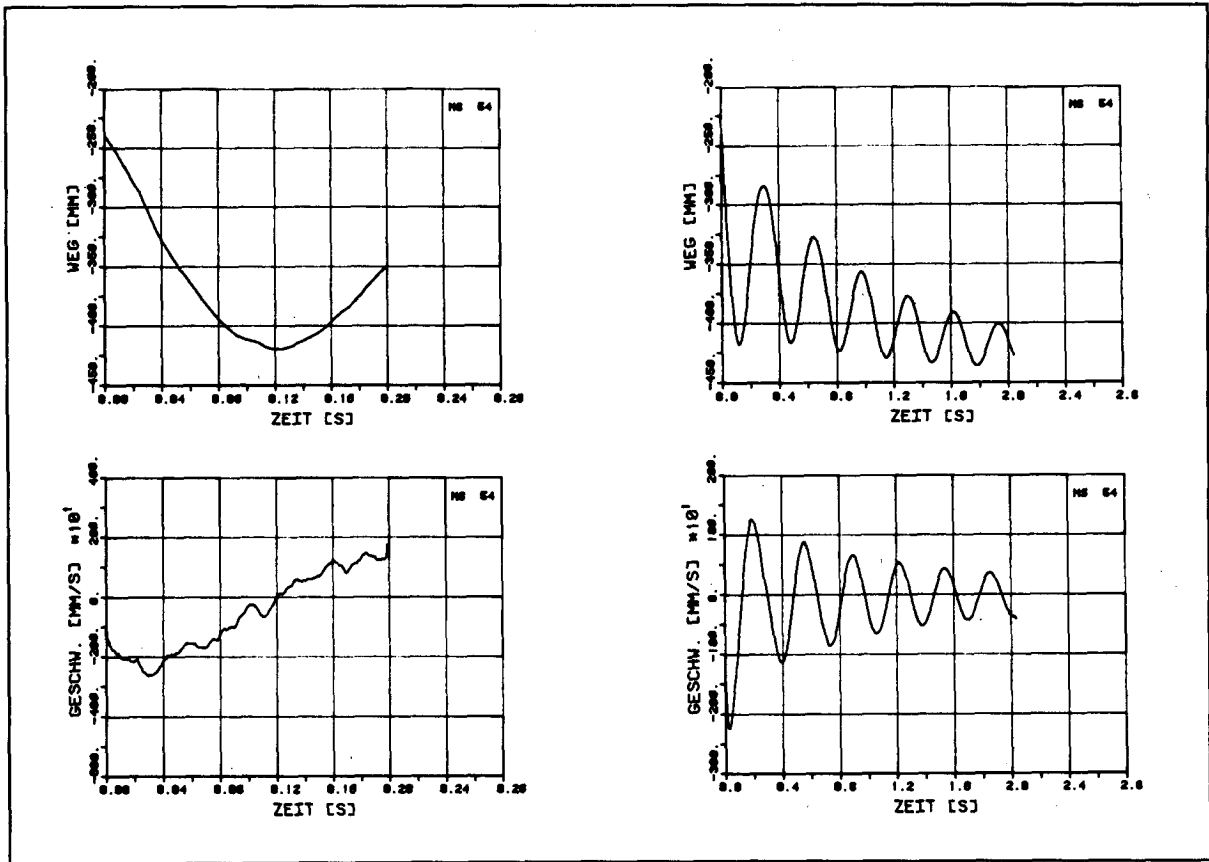


Bild B4.5-3: Zeitverläufe der Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit

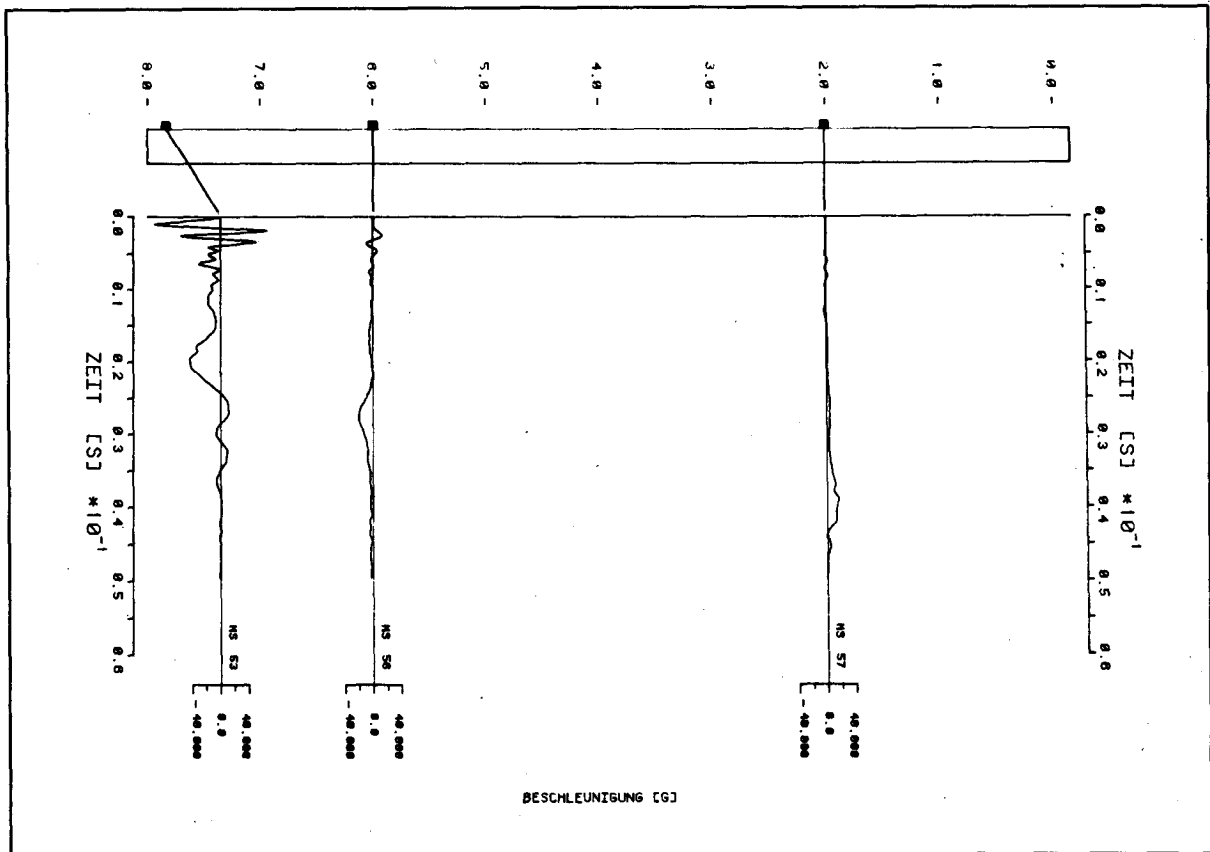


Bild B4.5-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

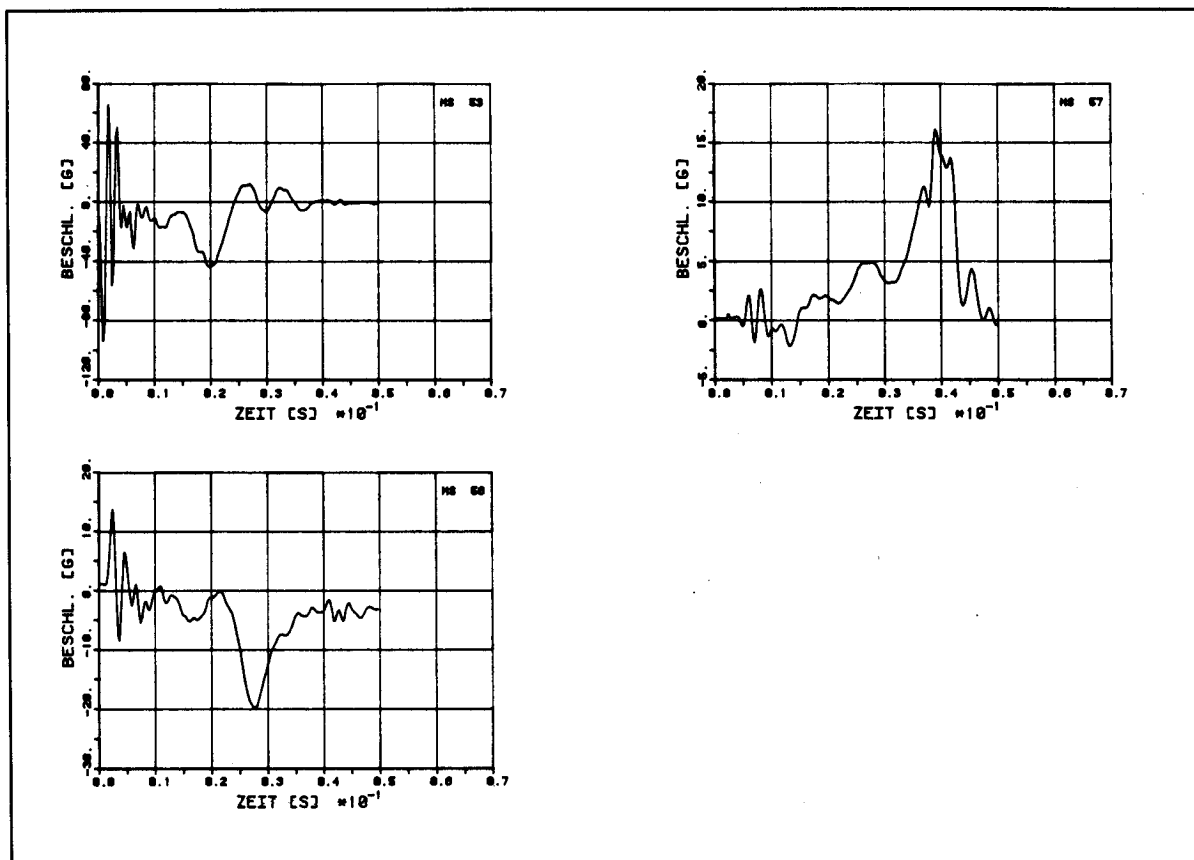


Bild B4.5-5: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel- Darstellungen

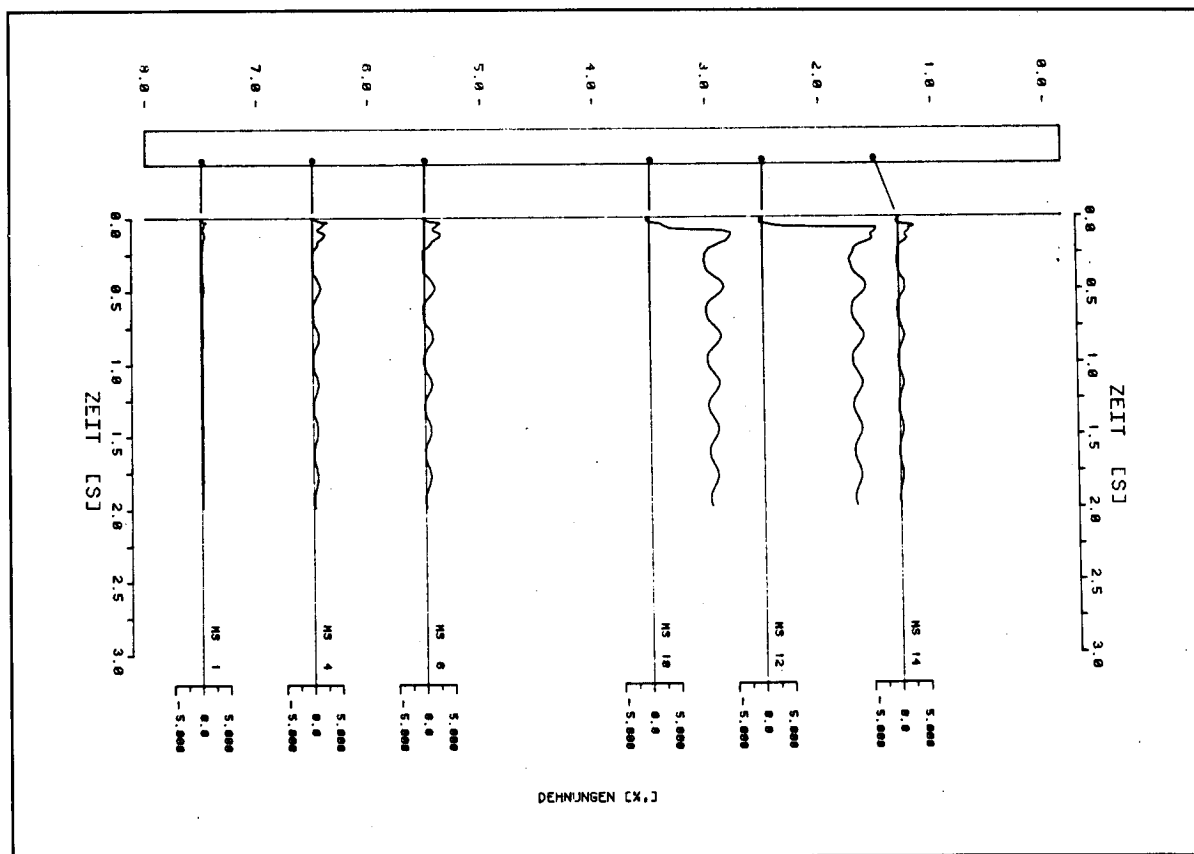


Bild B4.5-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

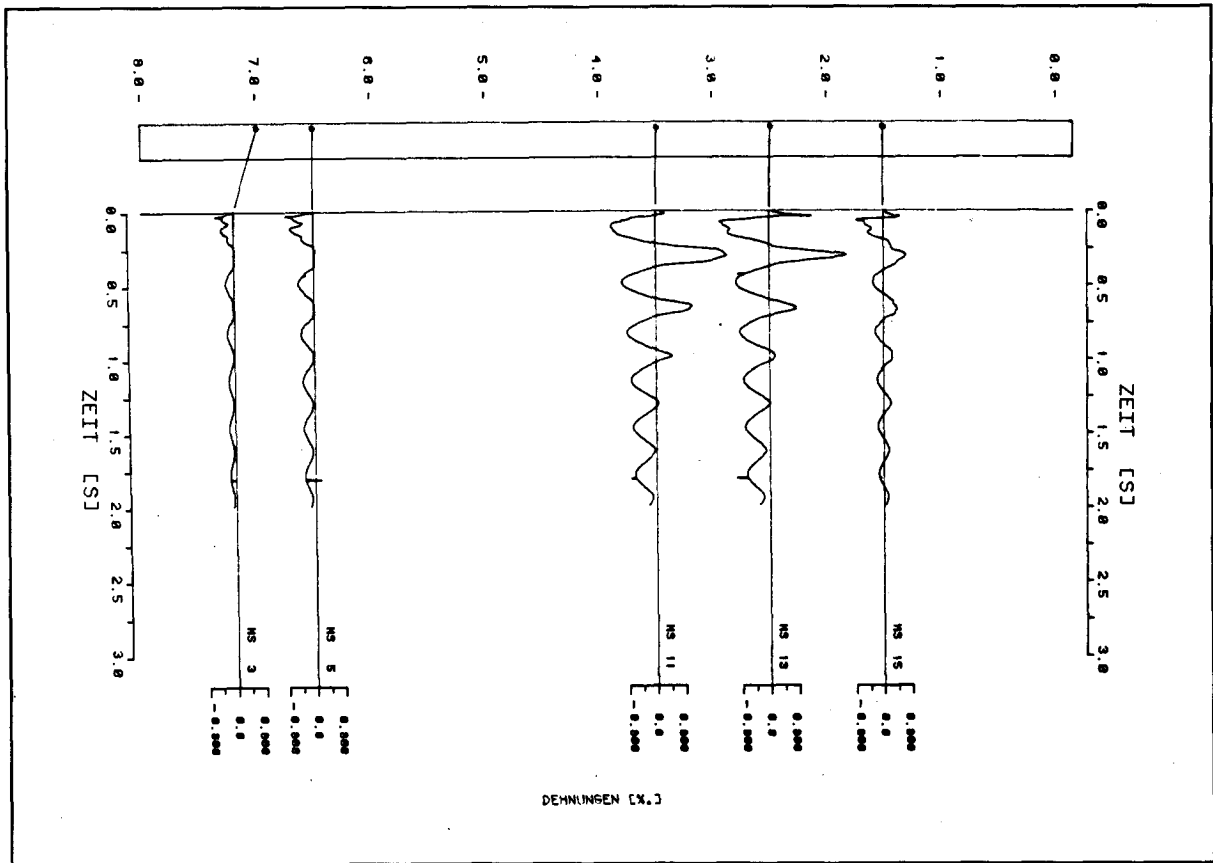


Bild B4.5-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

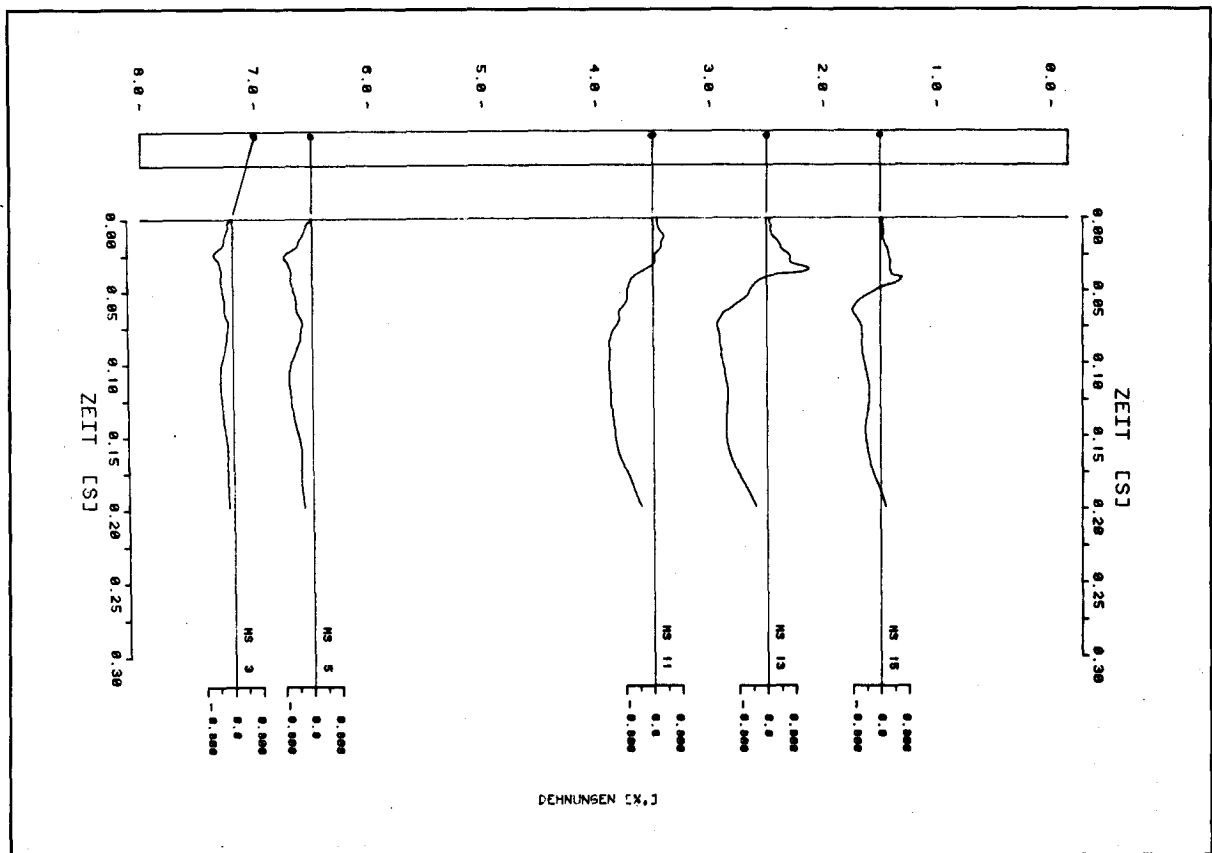


Bild B4.5-8: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

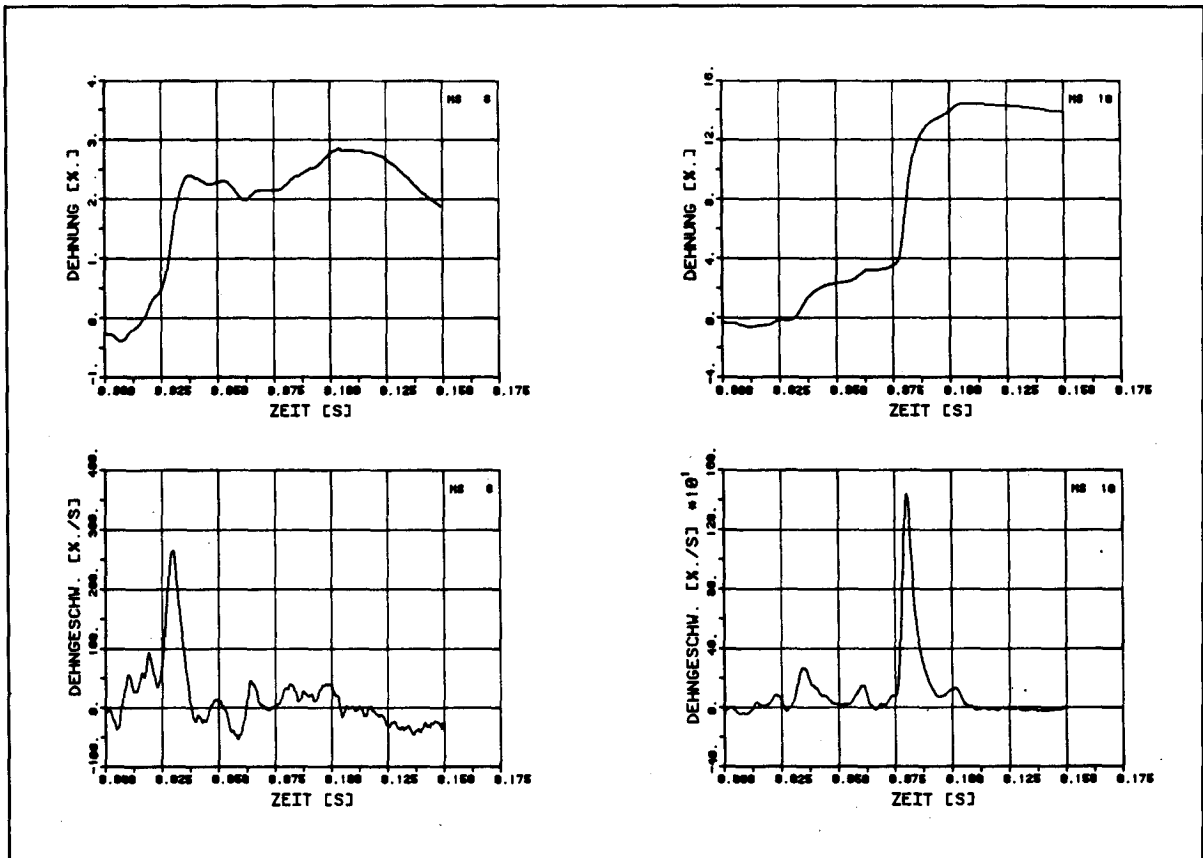


Bild B4.5-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

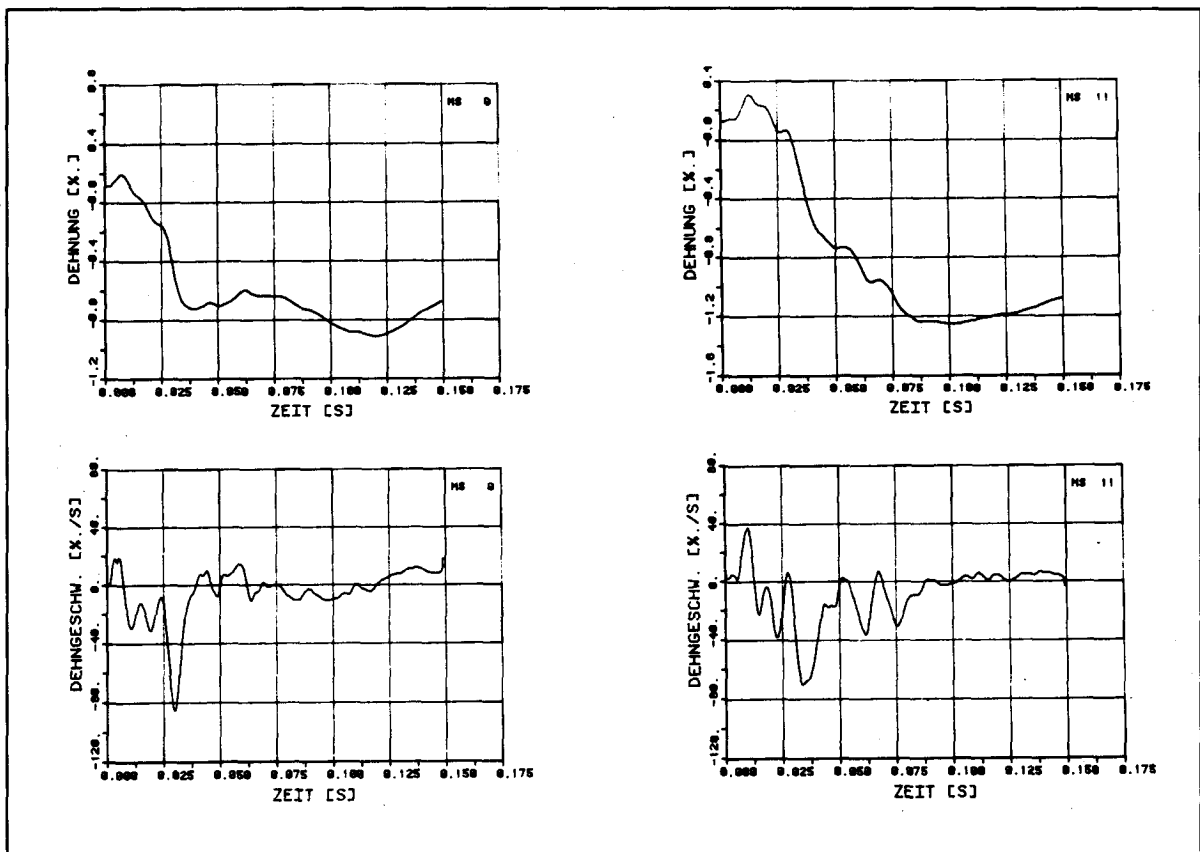


Bild B4.5-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B 4 . 6

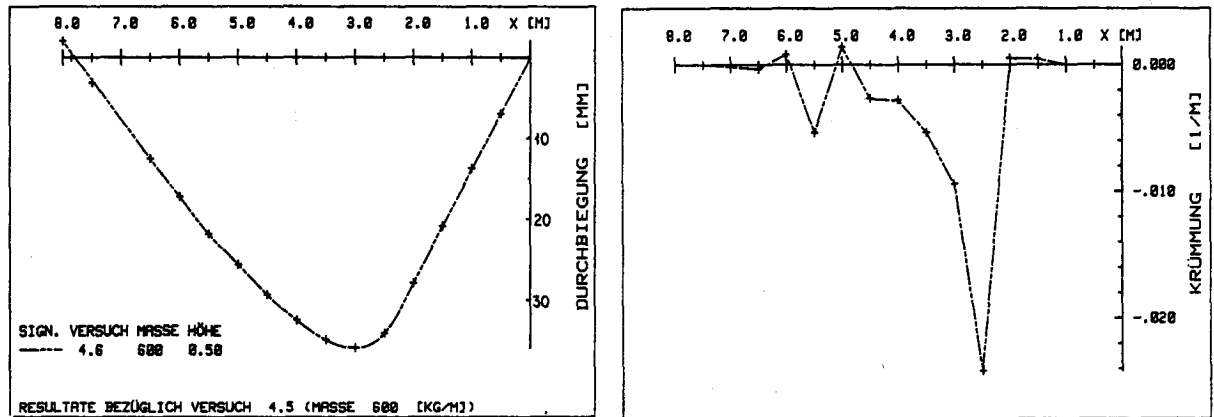


Bild B4.6-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B4.6

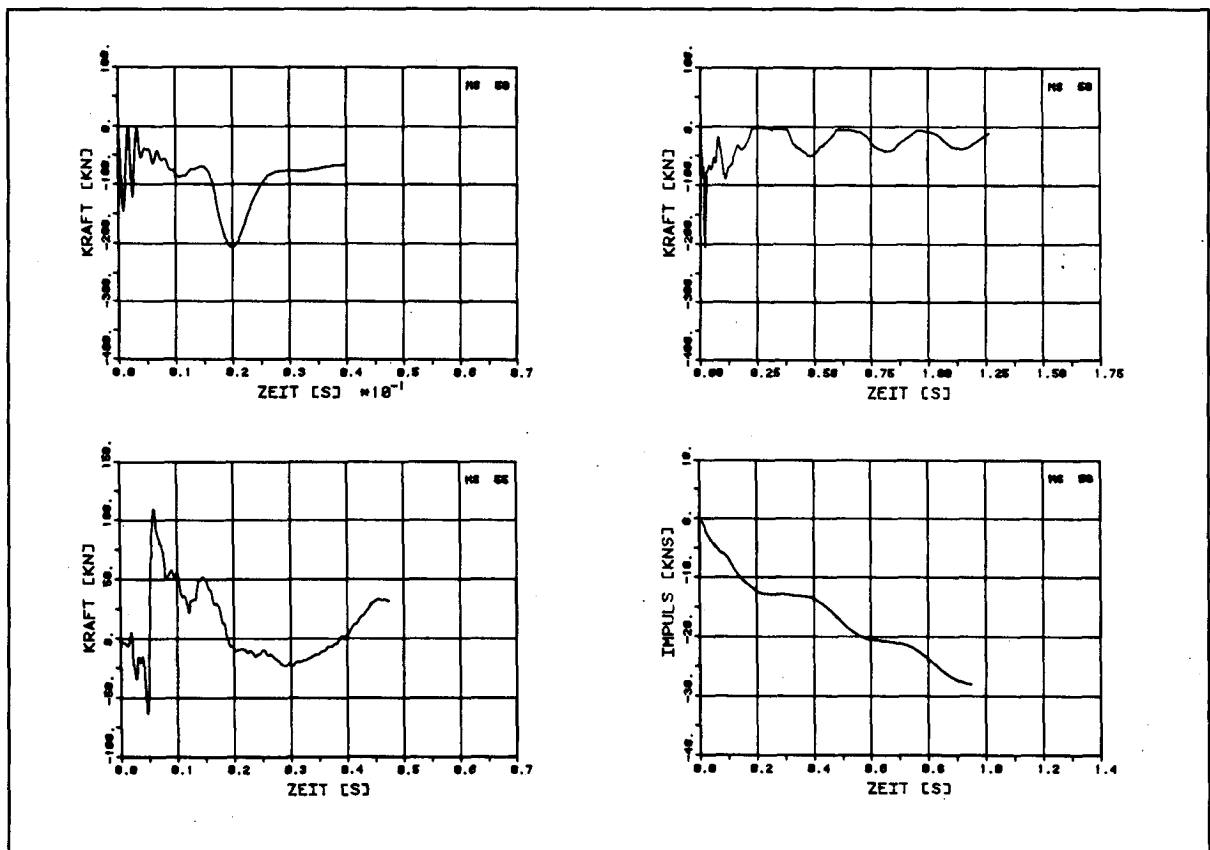


Bild B4.6-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion, Impuls

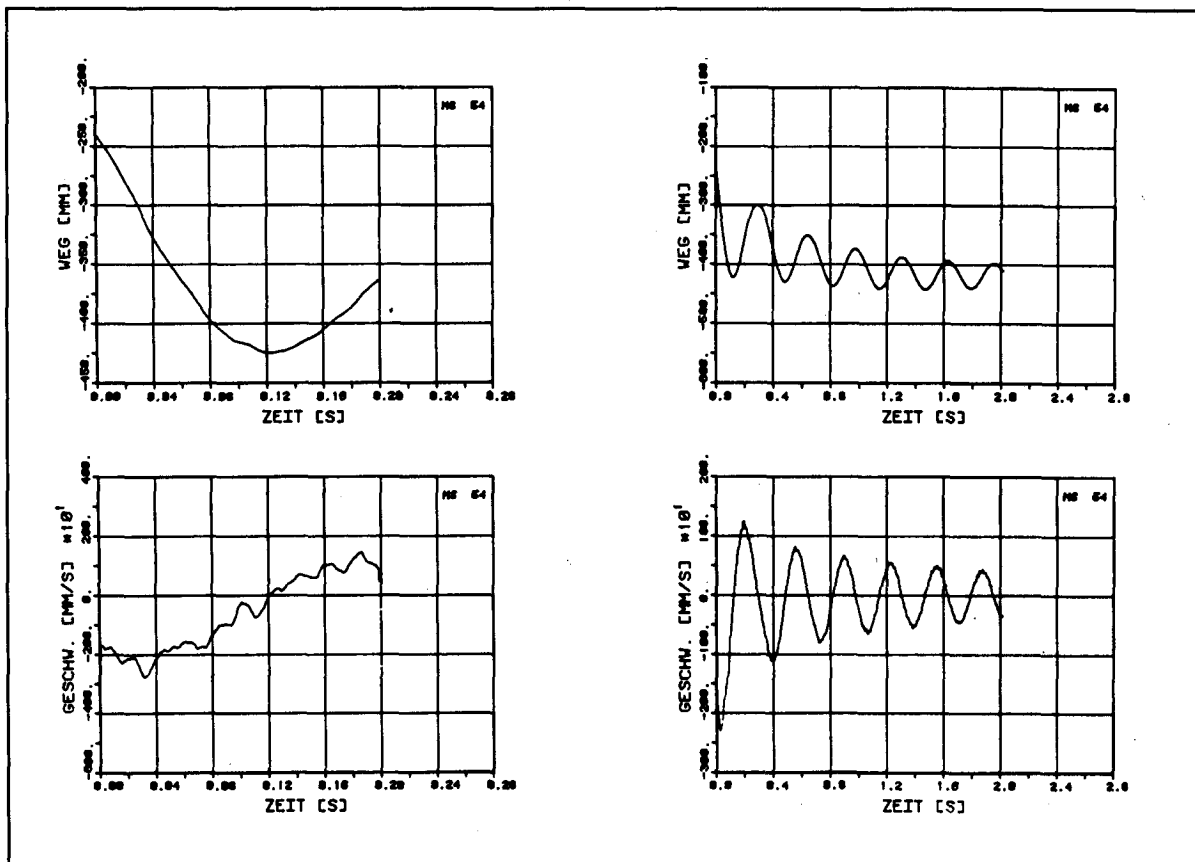


Bild B4.6-3: Zeitverläufe der Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit

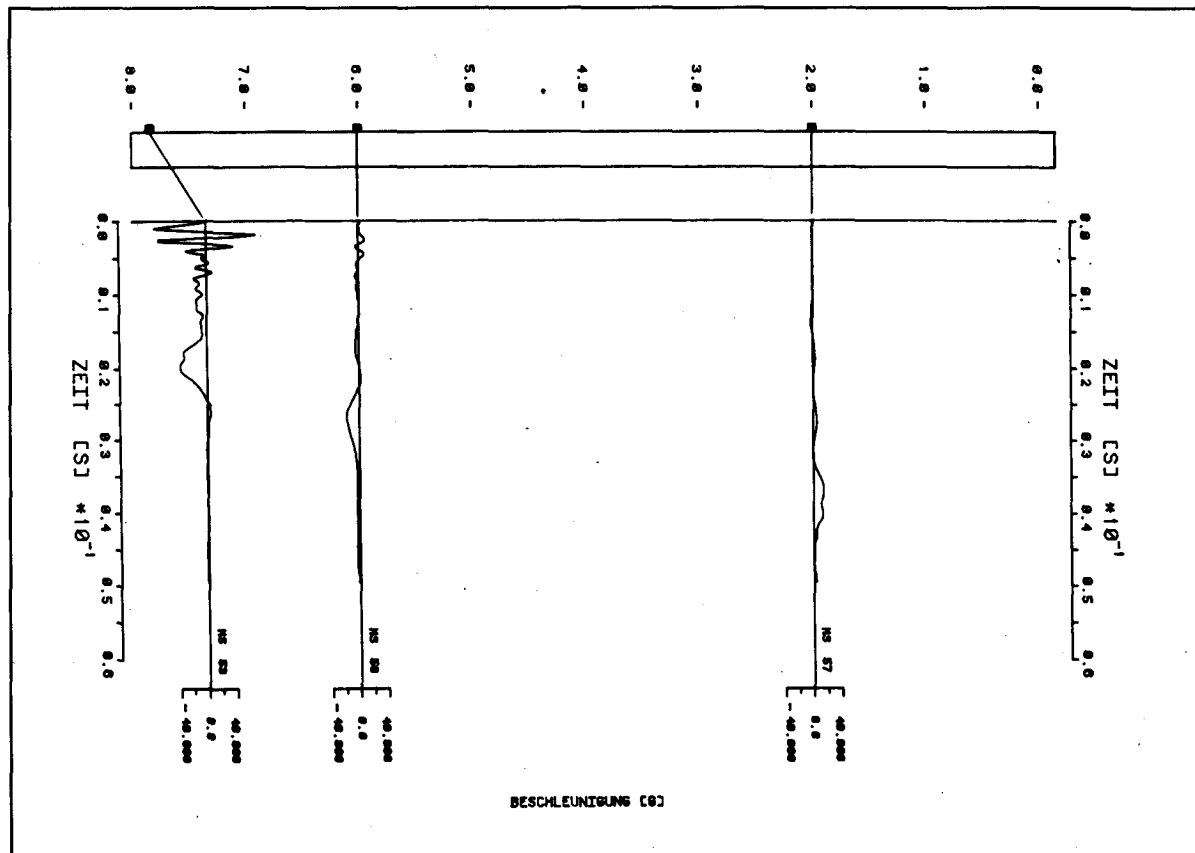


Bild B4.6-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

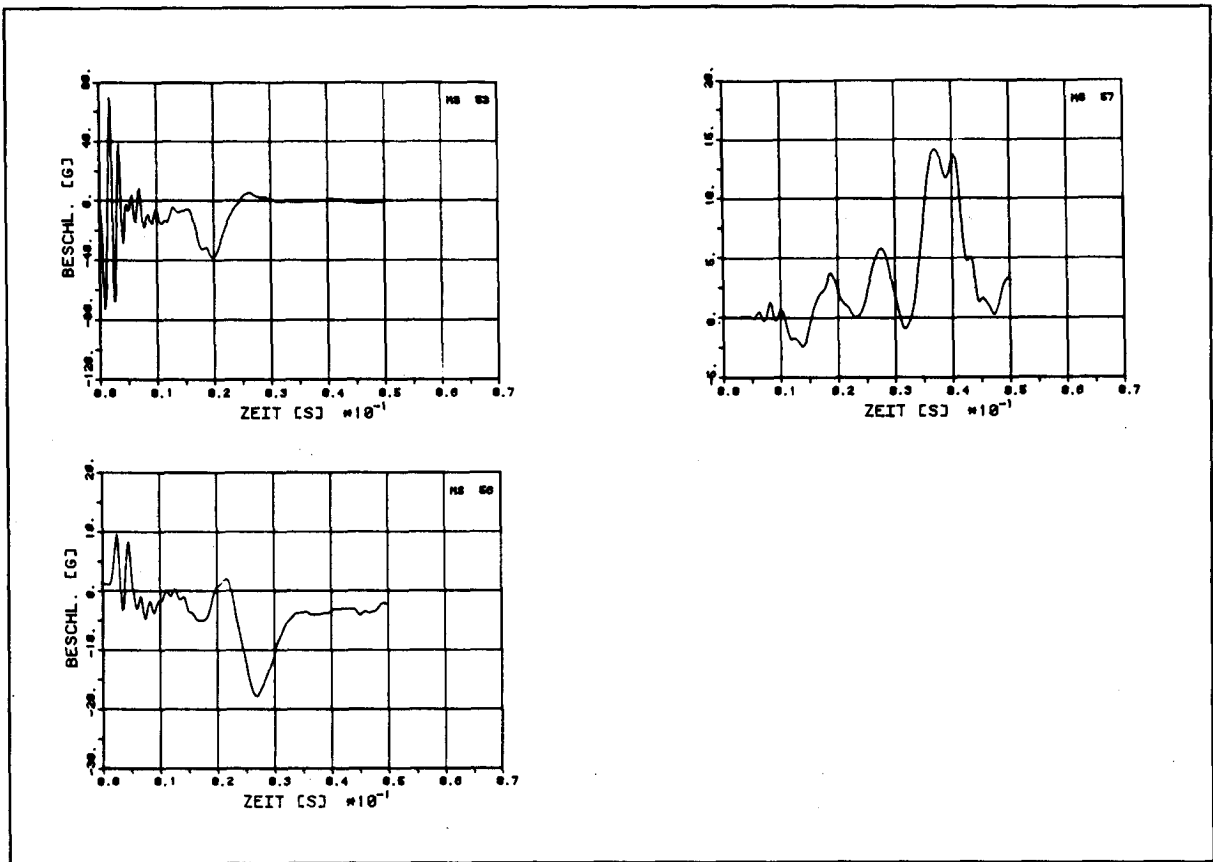


Bild B4.6-5: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel - Darstellungen

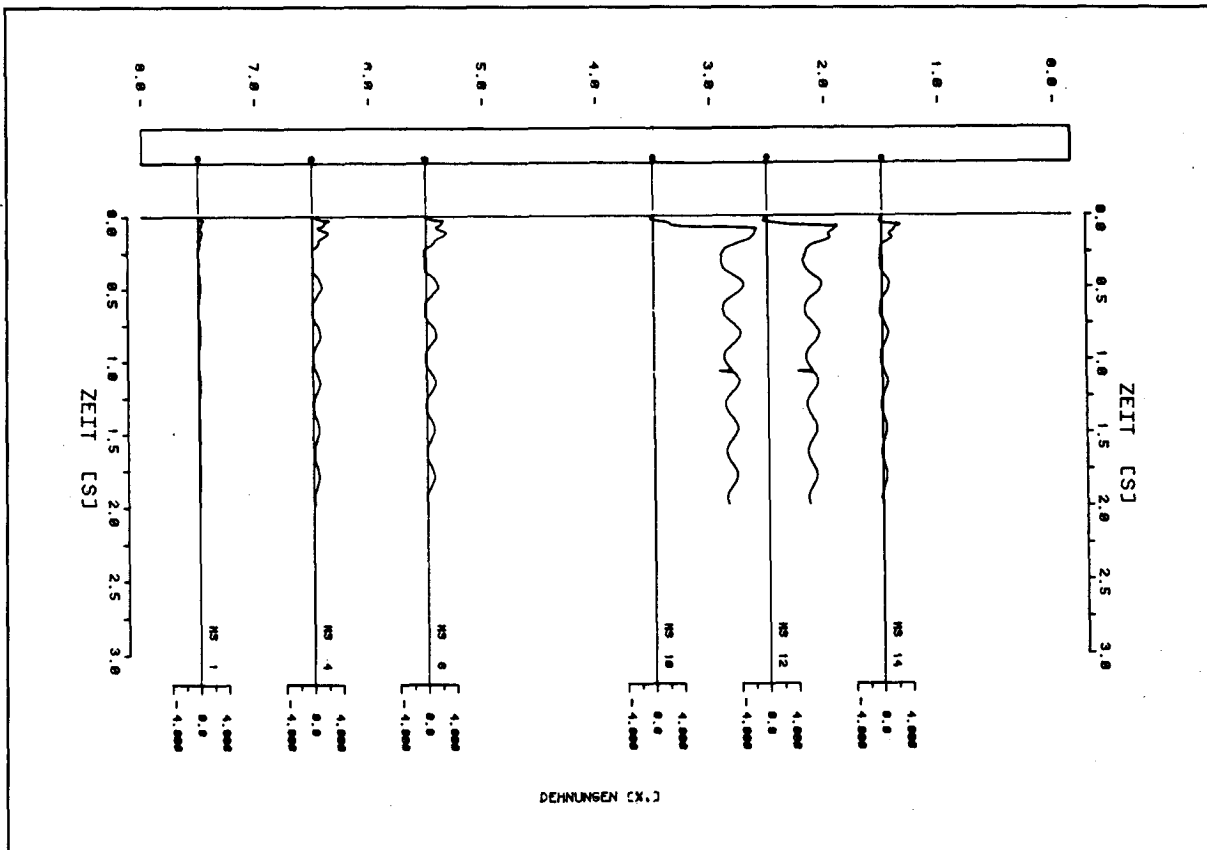


Bild B4.6-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten



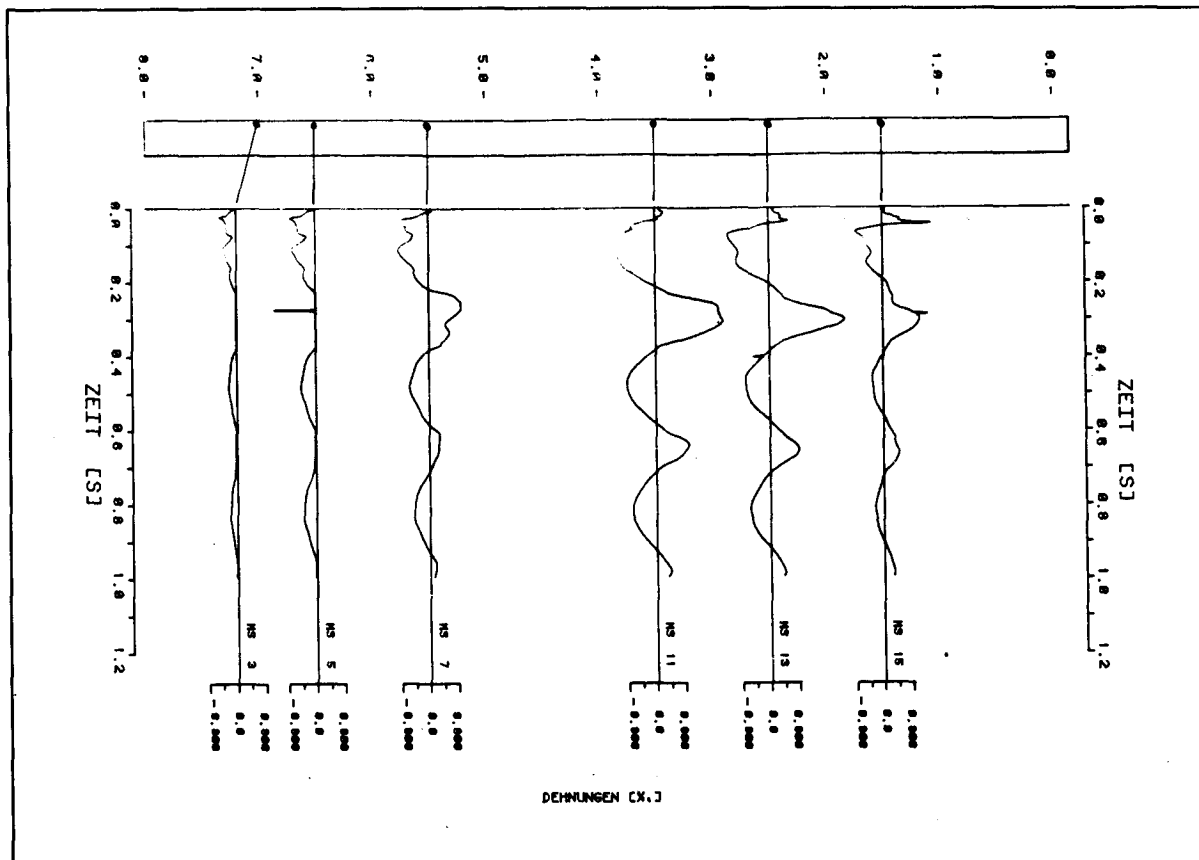


Bild B4.6-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

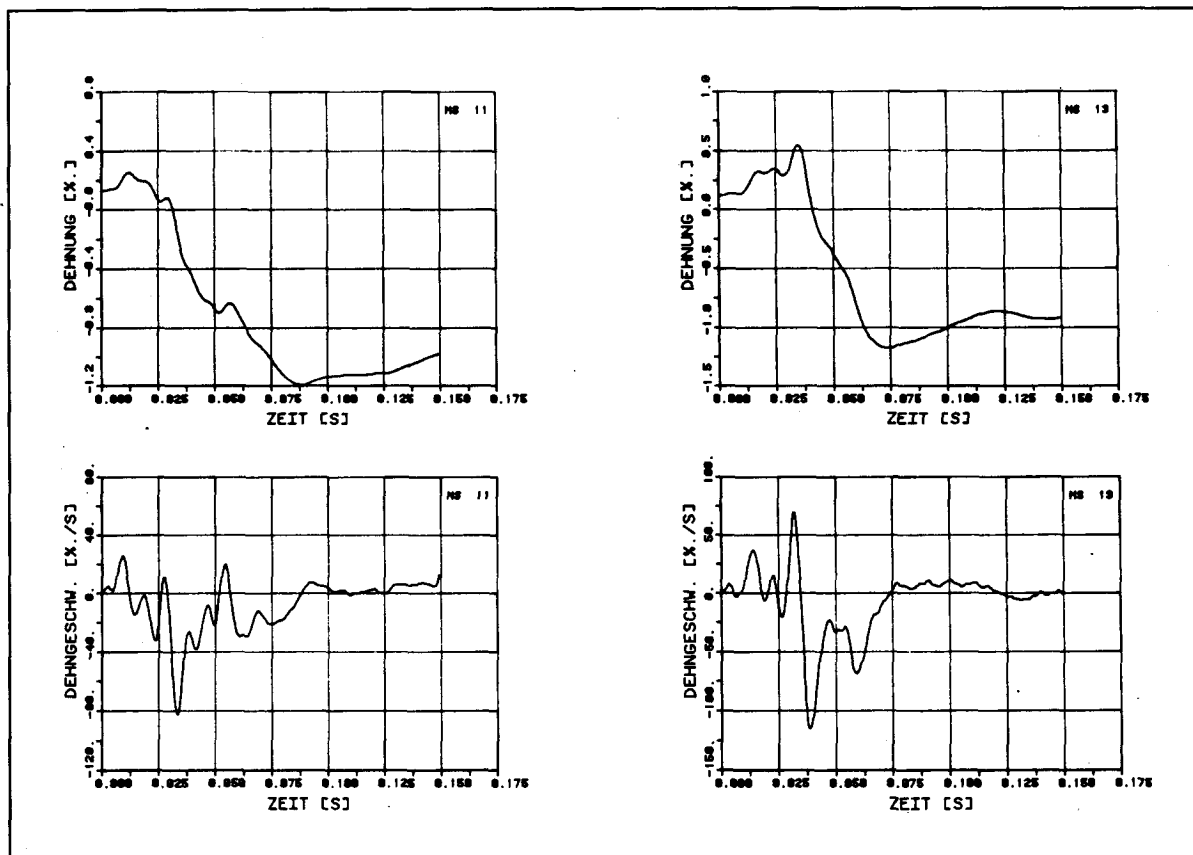


Bild B4.6-8: Zeitverläufe der Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

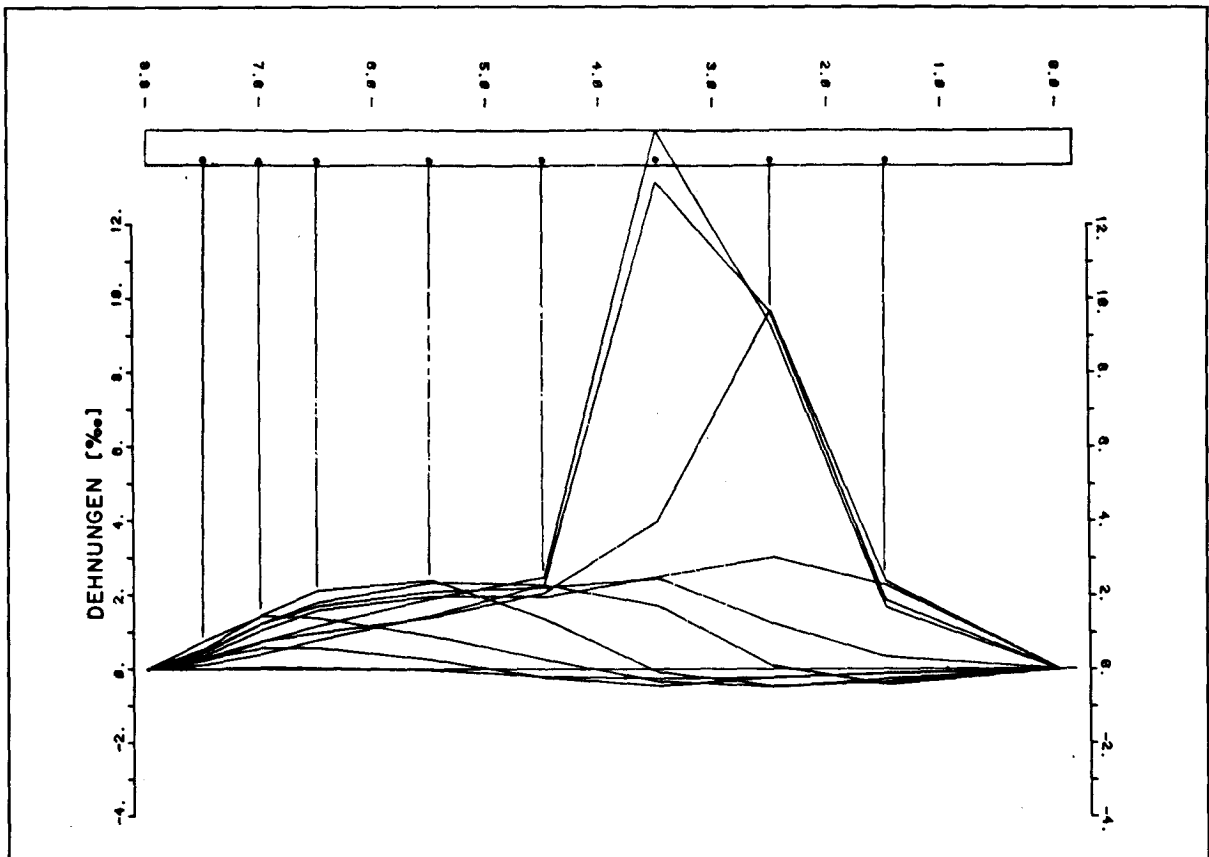


Bild B4.6-9: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.000 \text{ s} - 0.100 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.01 \text{ s}$ )

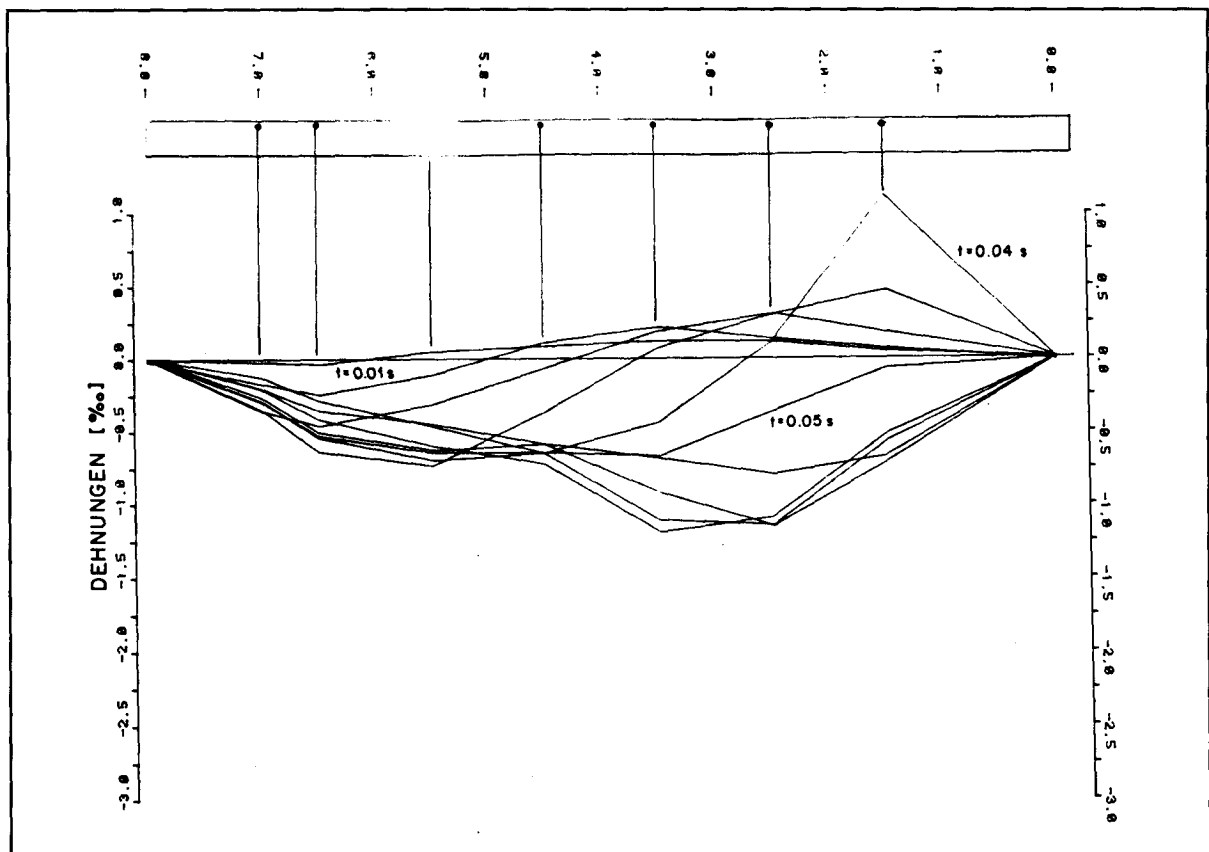


Bild B4.6-10: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.000 \text{ s} - 0.100 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.01 \text{ s}$ )

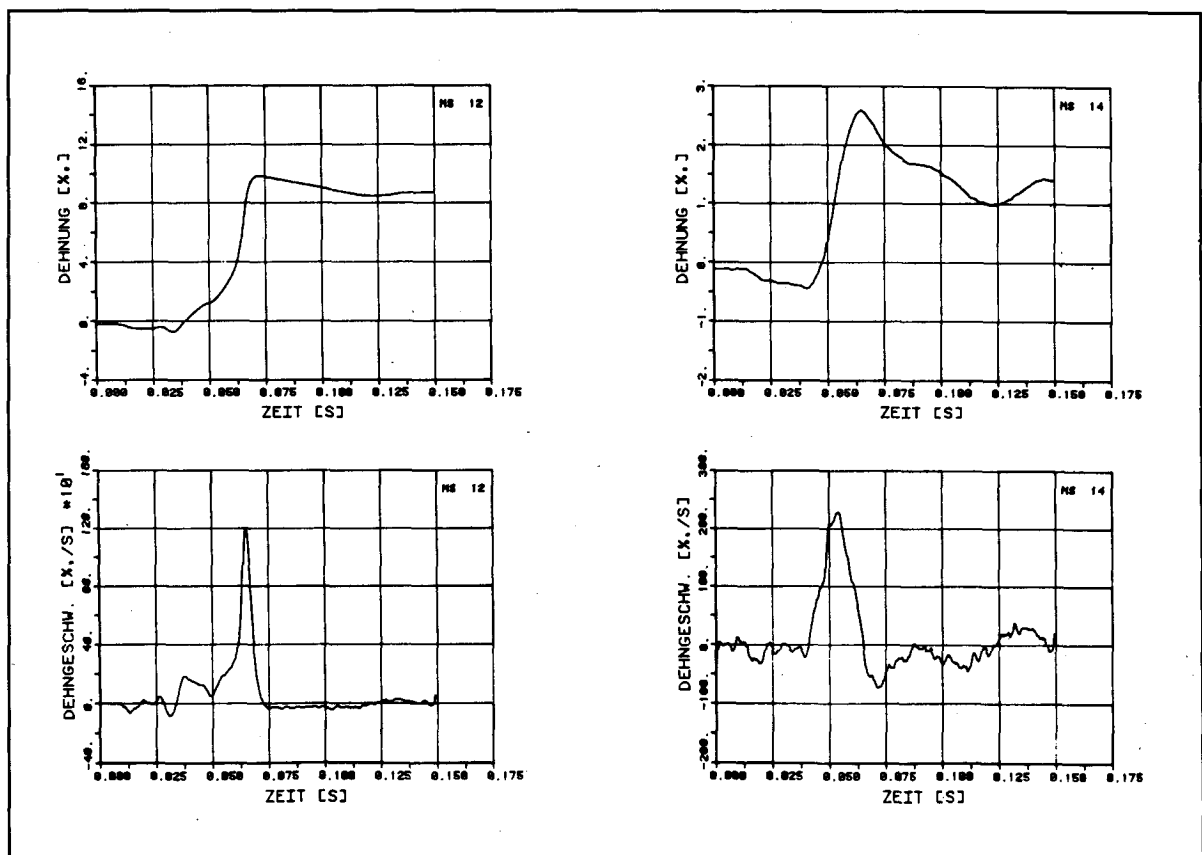
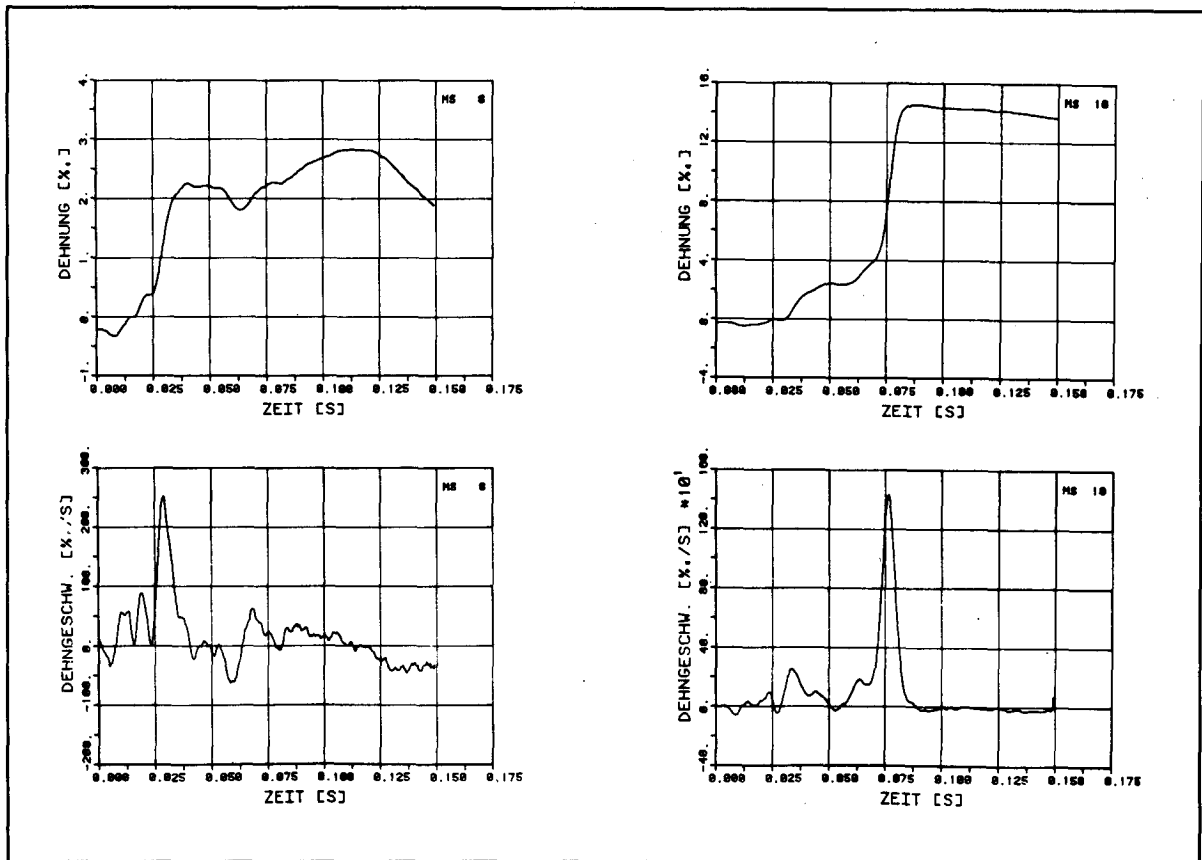


Bild B4.6-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

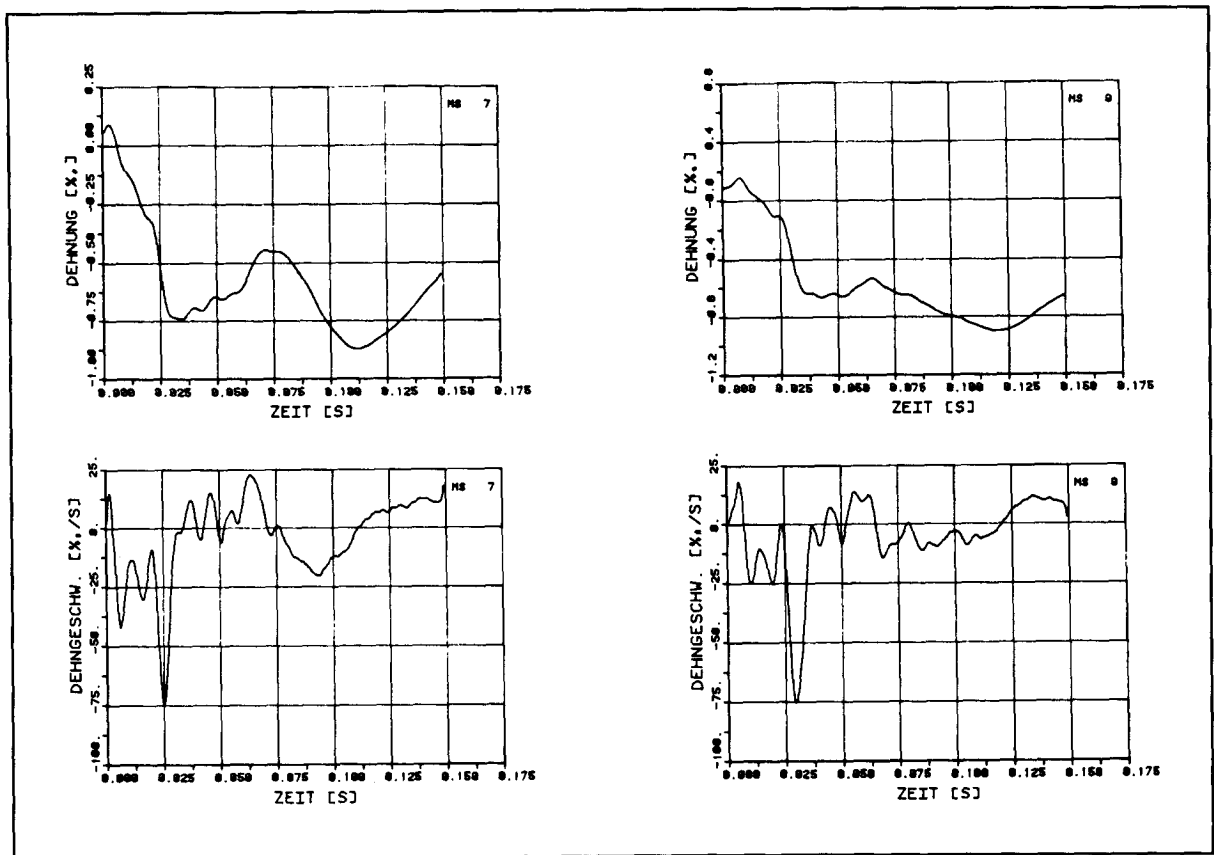
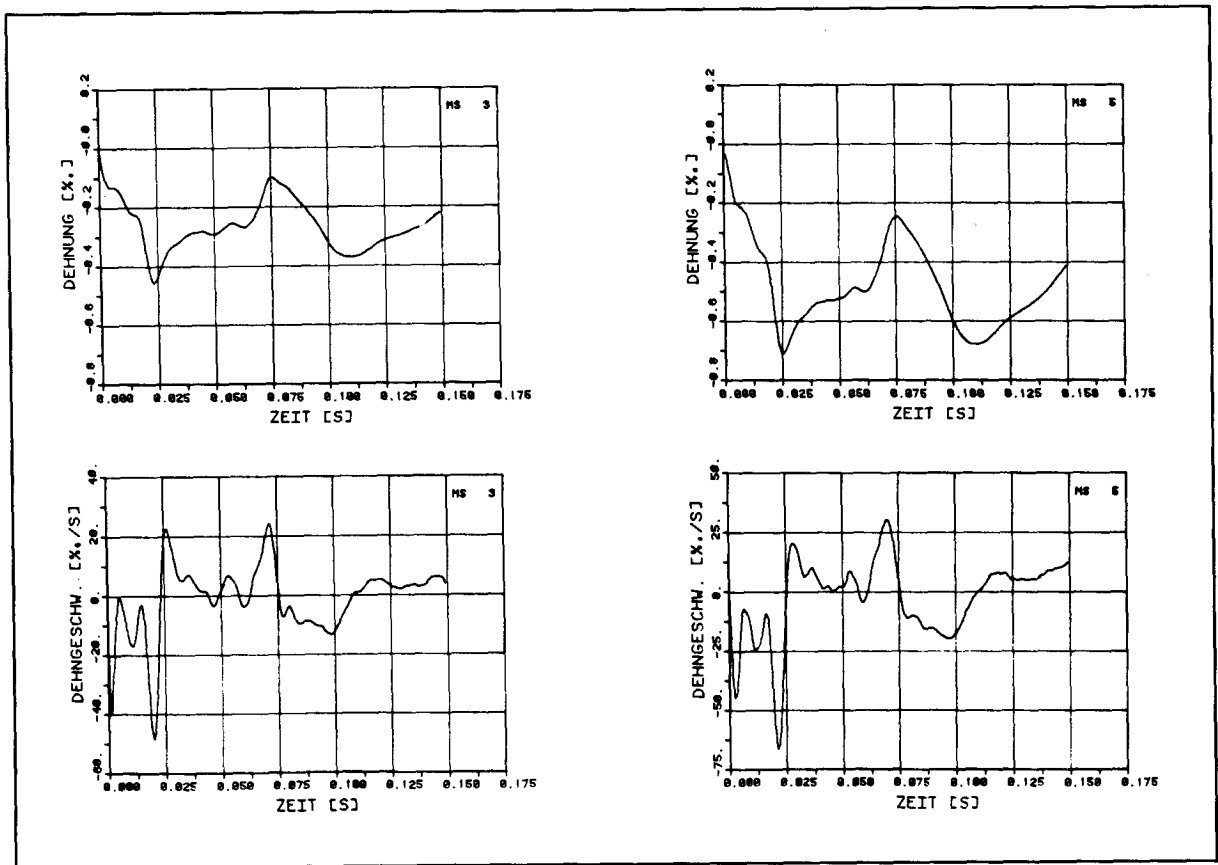


Bild B4.6-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

## VERSUCH B4.7

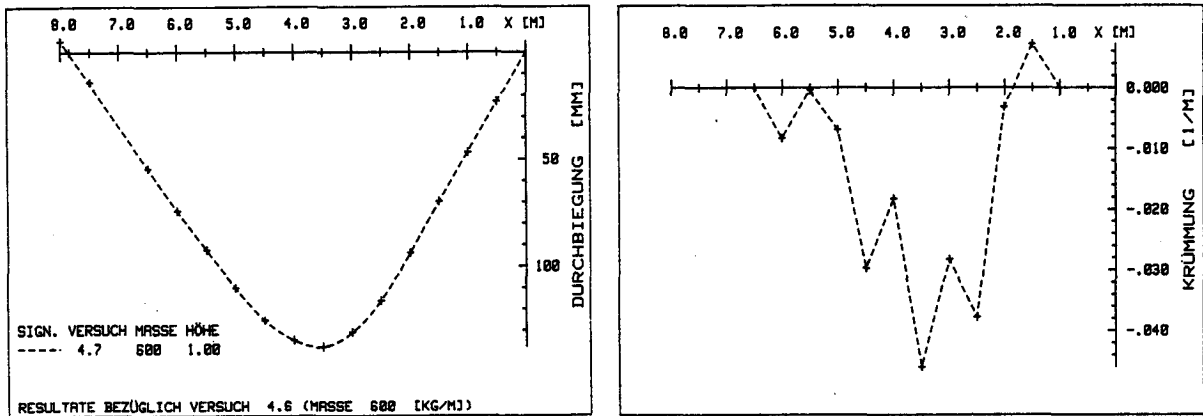


Bild B4.7-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B4.7

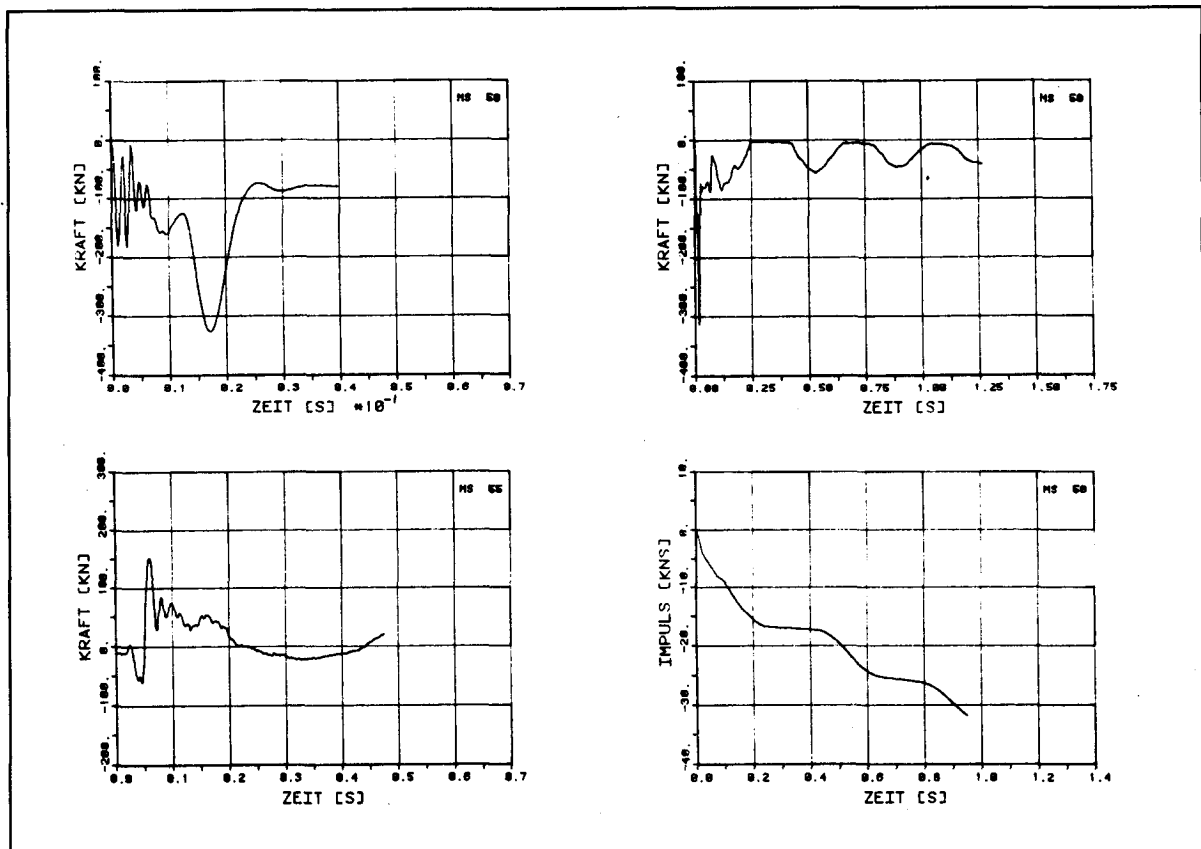


Bild B4.7-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion, Impuls

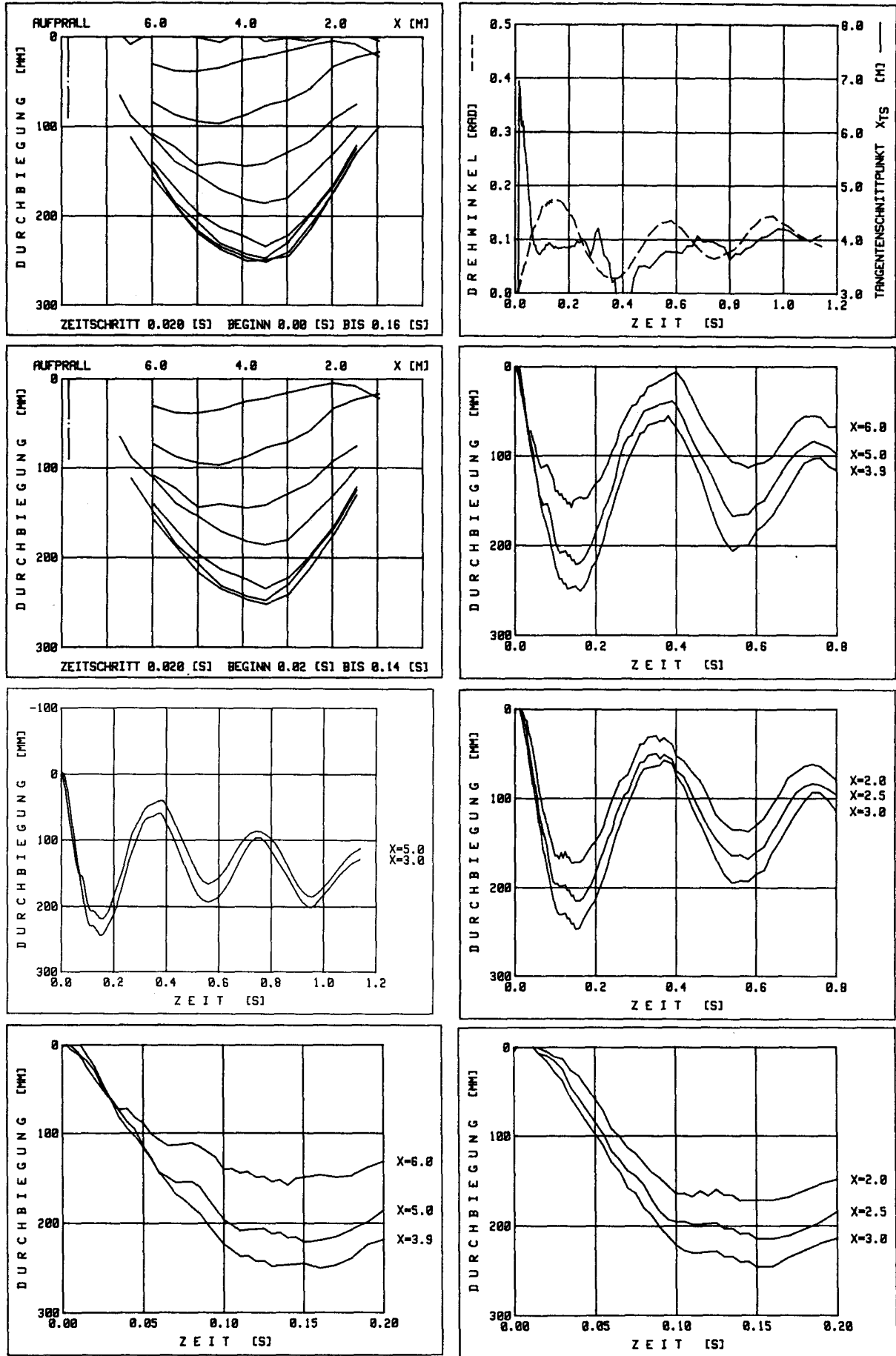


Bild B4.7-3: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

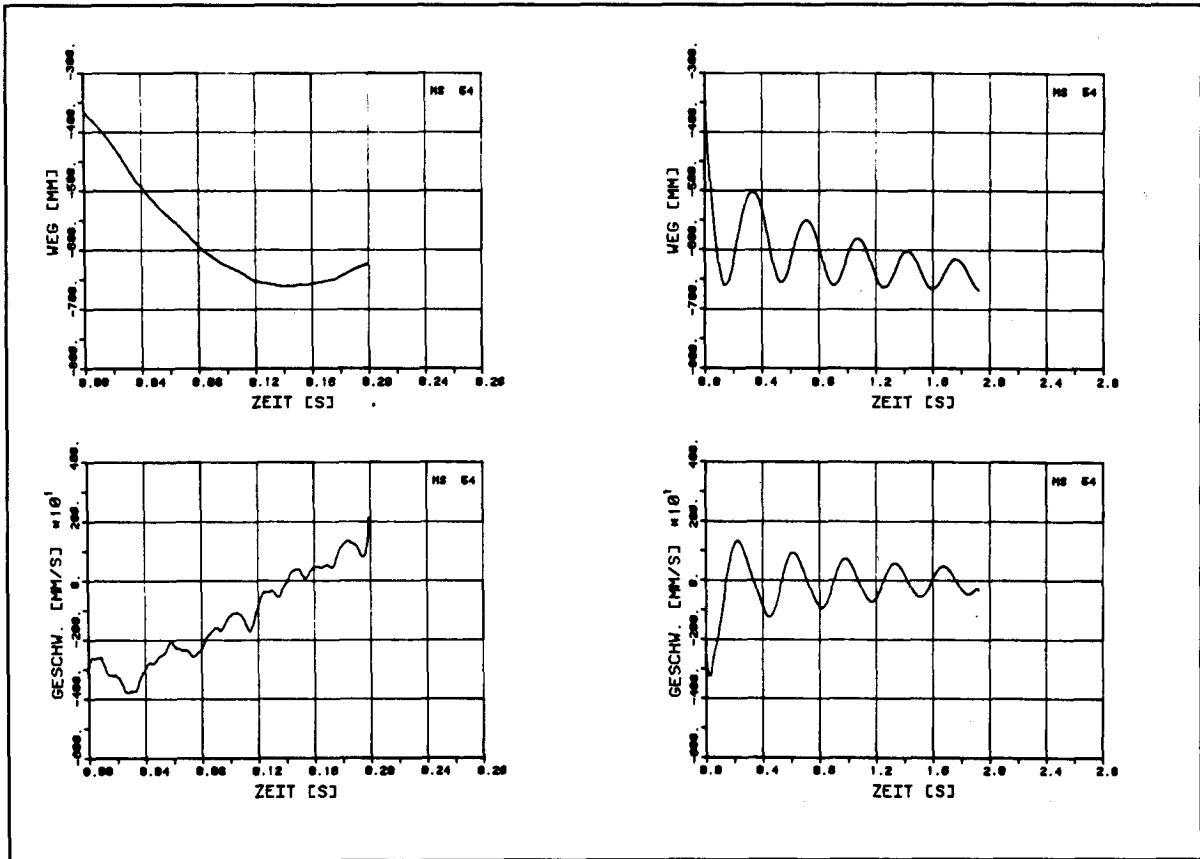


Bild B4.7-4: Zeitverläufe der Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit

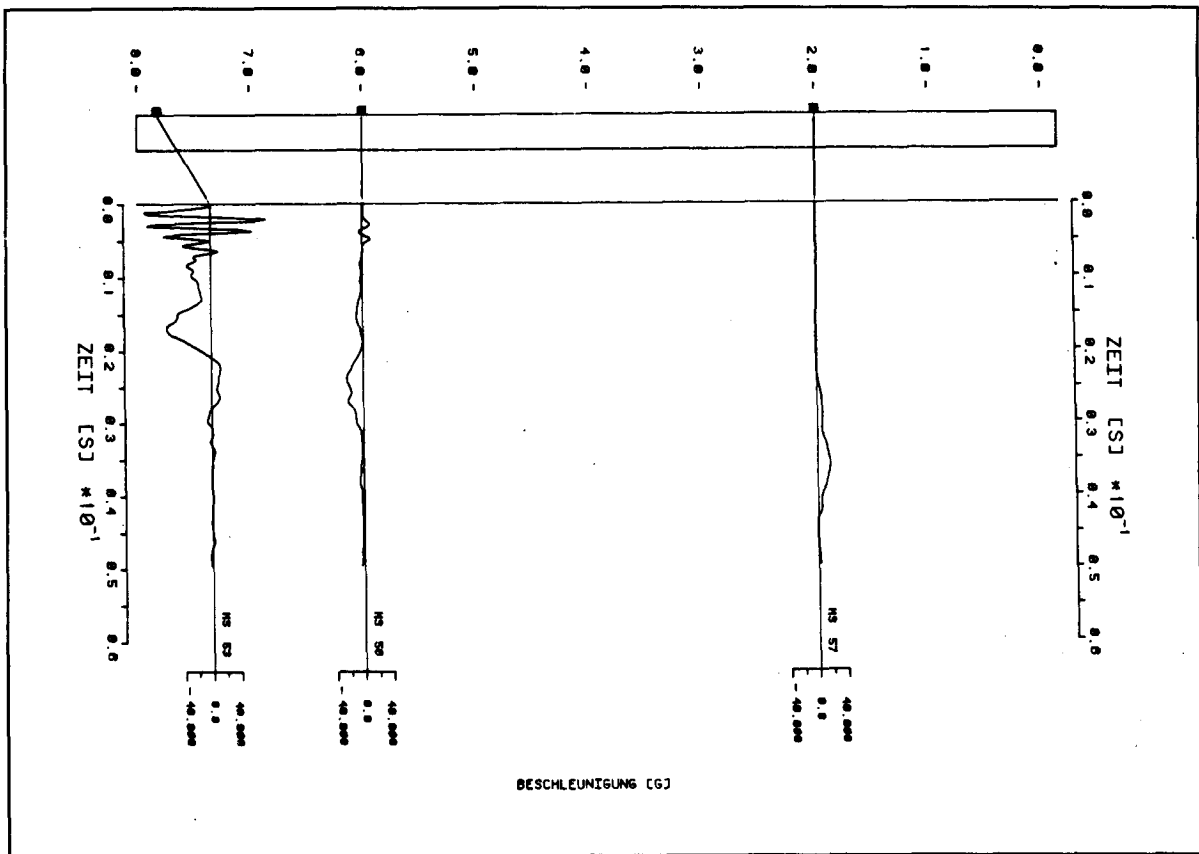


Bild B4.7-5: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

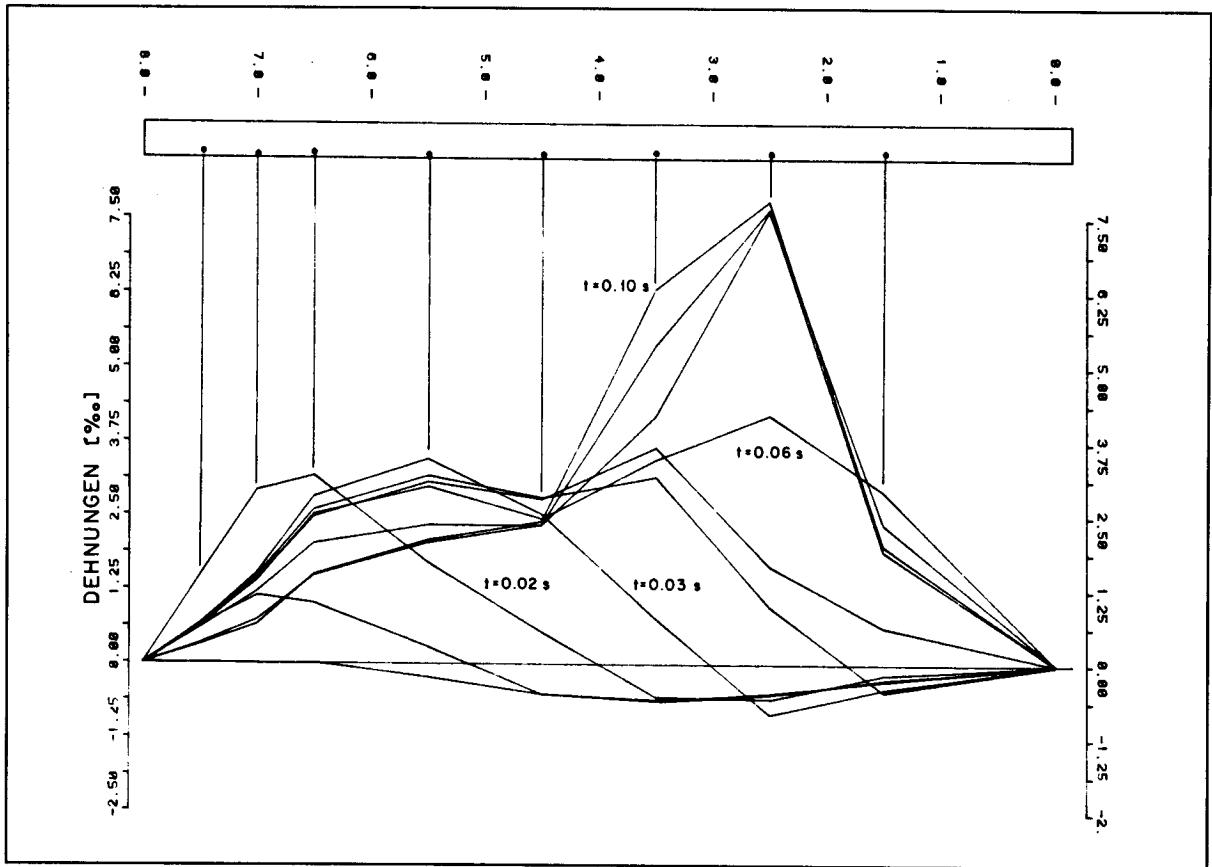


Bild B4.7-6: Verlauf der Dehnungen auf der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.000\text{ s} - 0.100\text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.01\text{ s}$ )

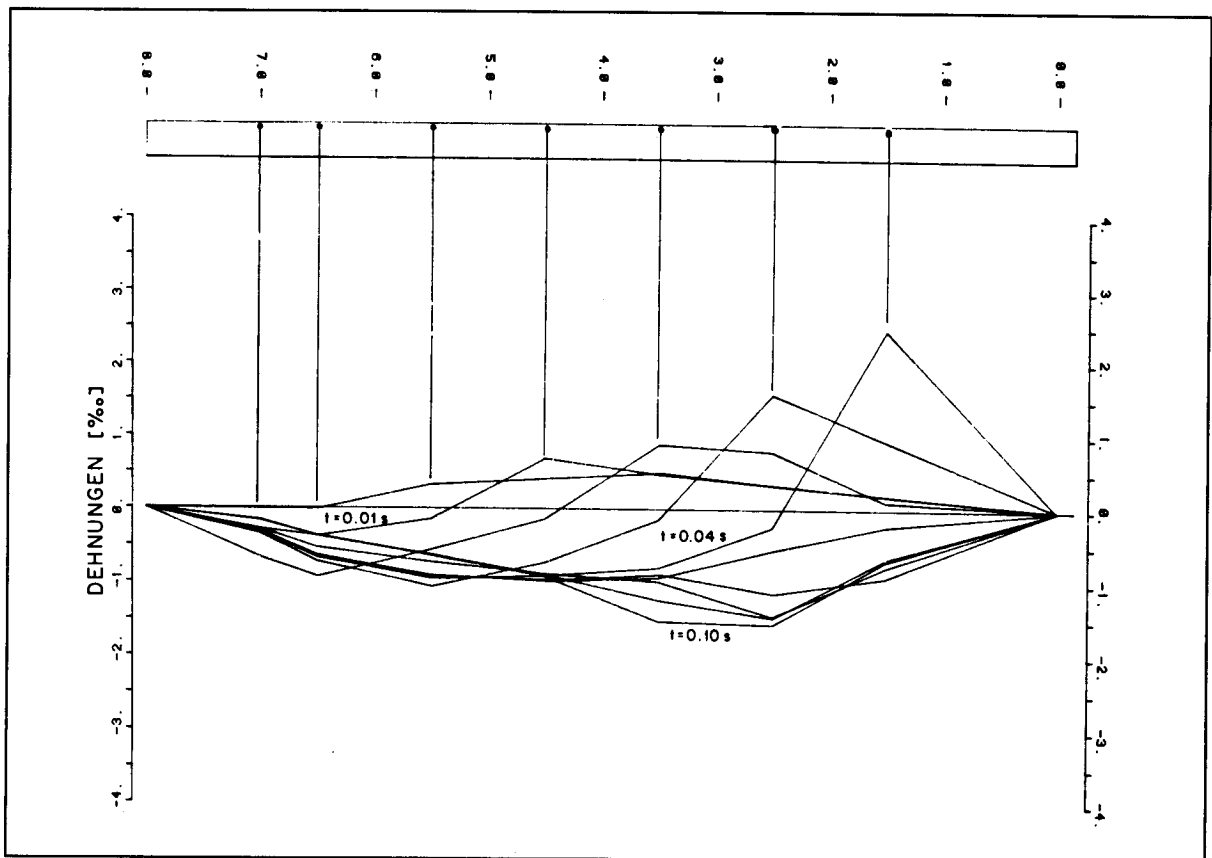


Bild B4.7-7: Verlauf der Dehnungen auf der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.000\text{ s} - 0.100\text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.01\text{ s}$ )



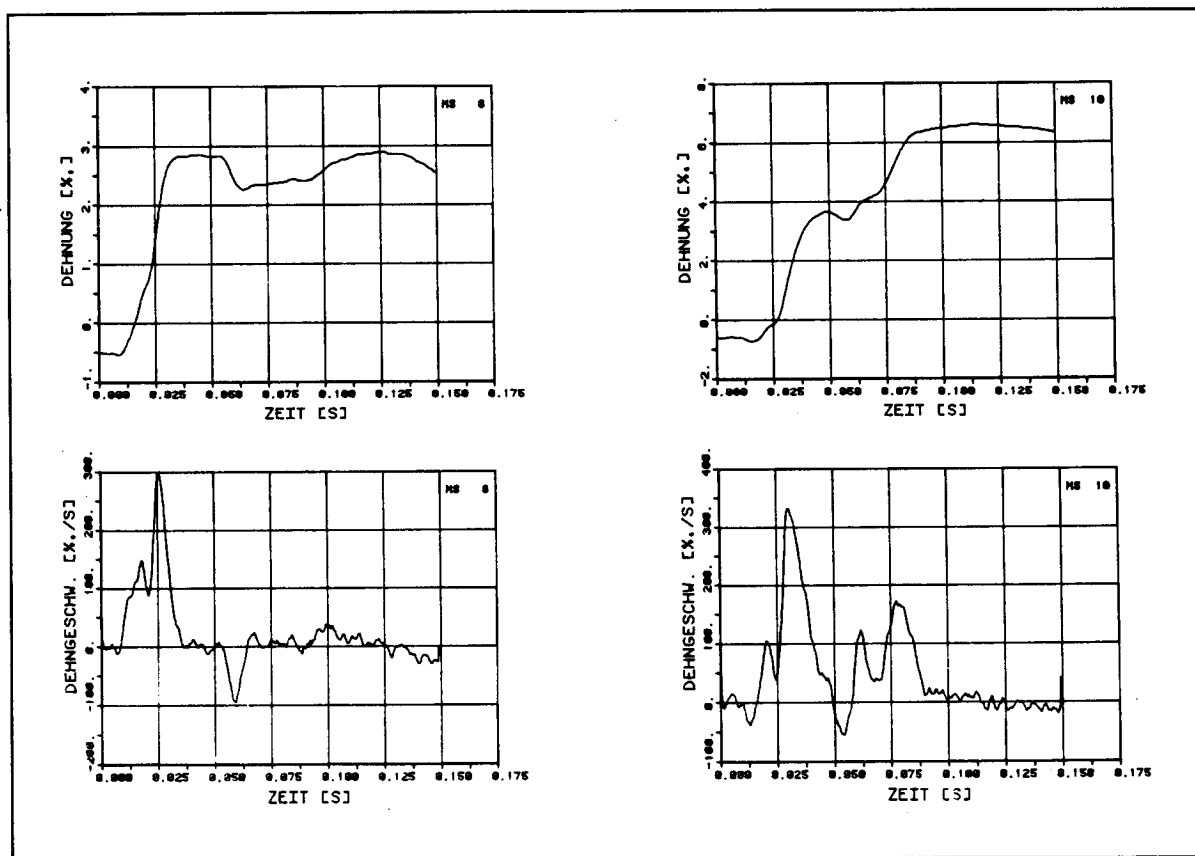
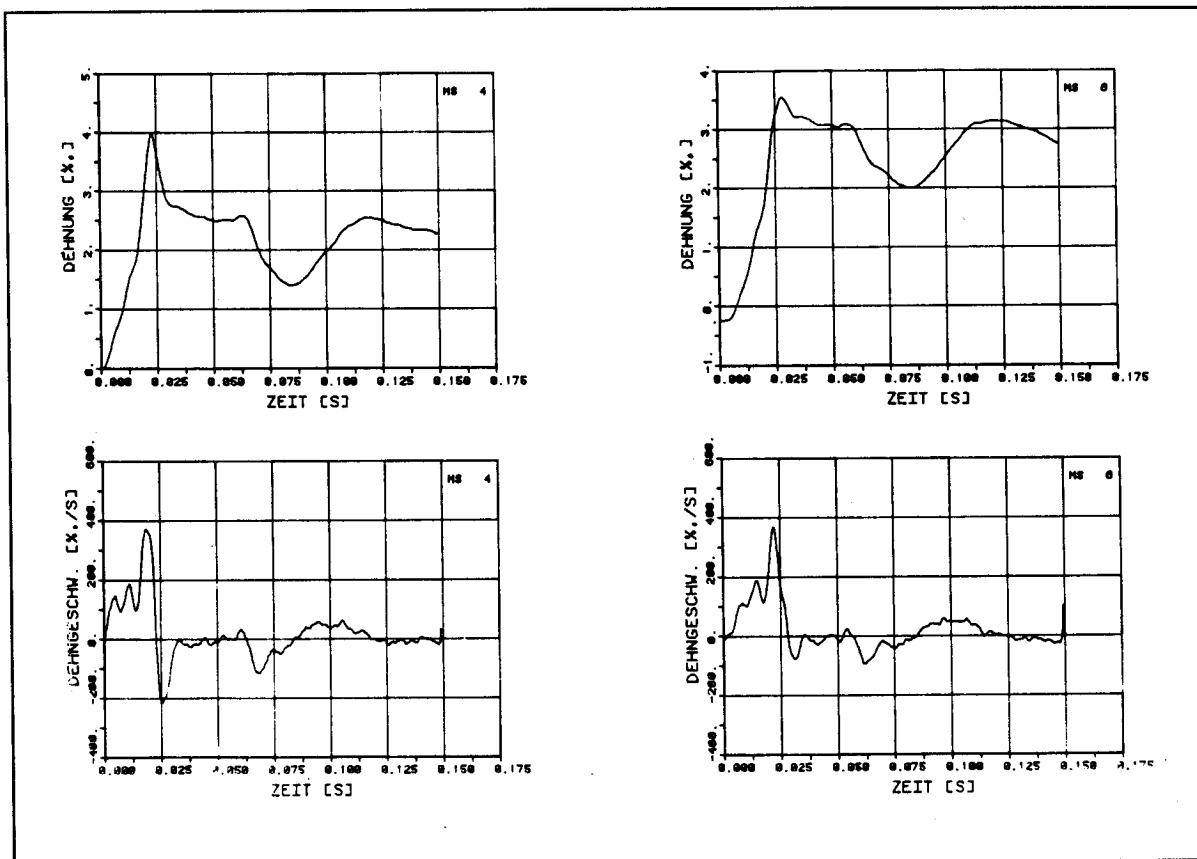


Bild B4.7-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

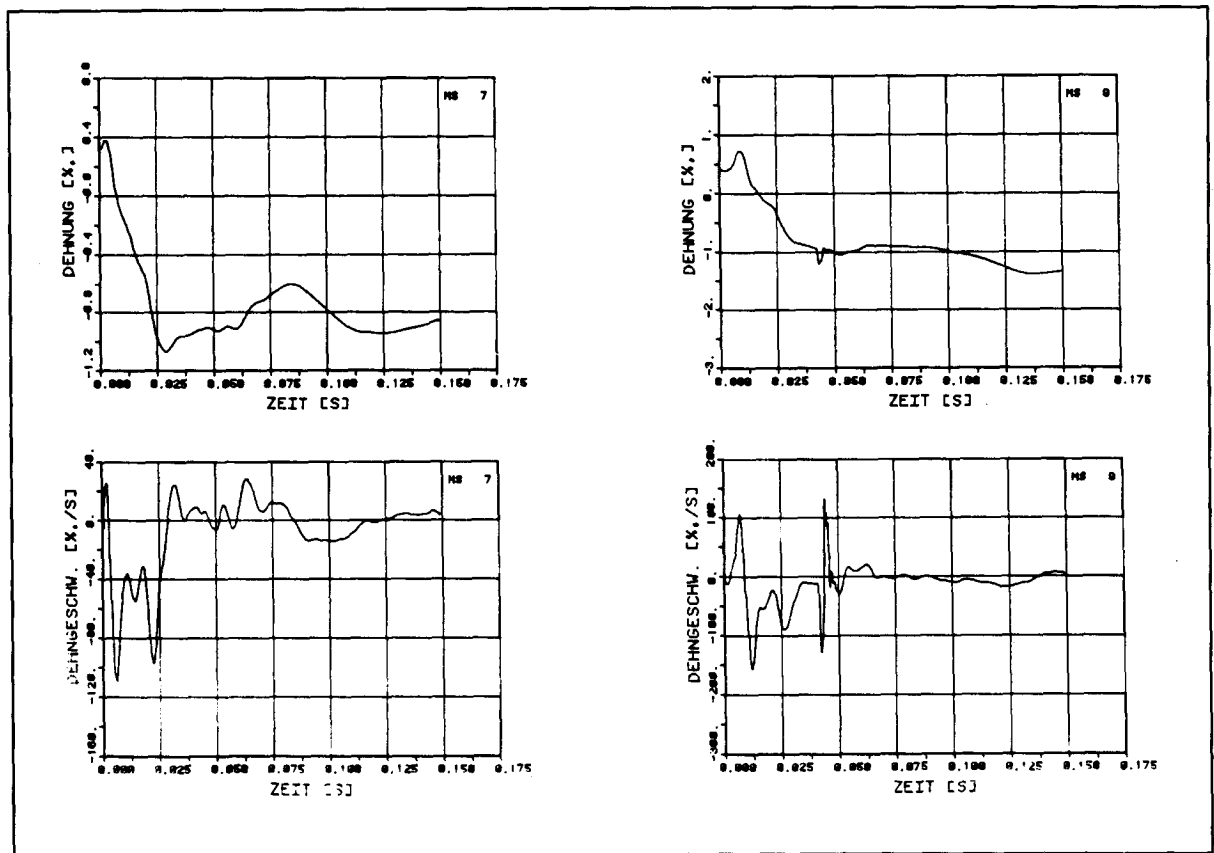
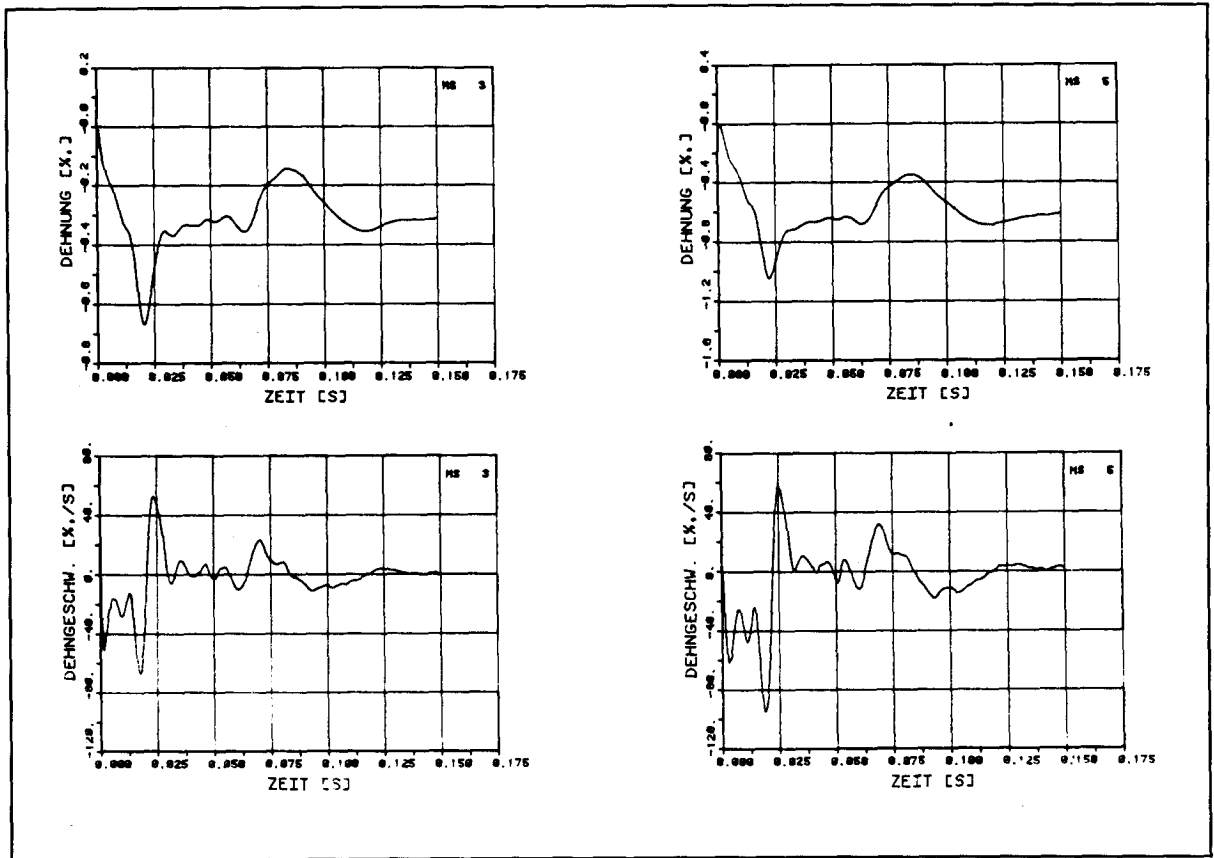


Bild B4.7-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

## VERSUCH B4.8

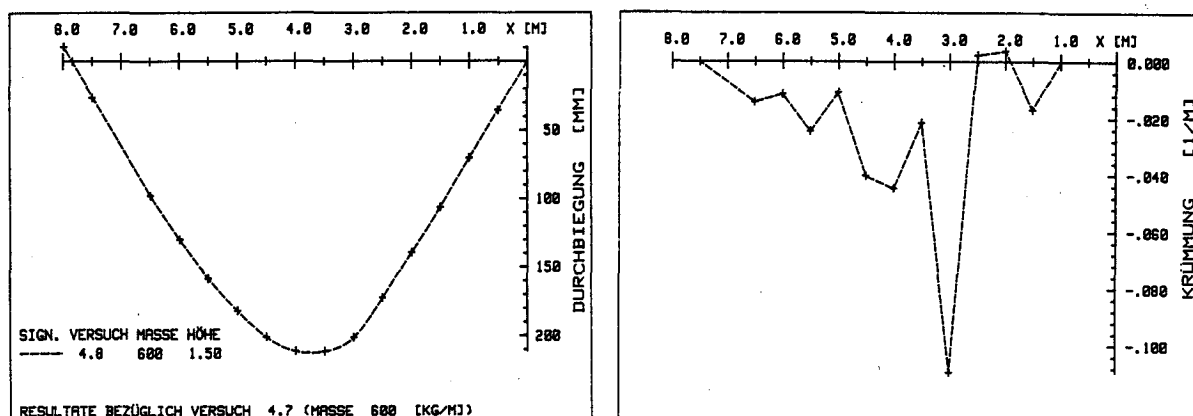


Bild B4.8-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B4.8

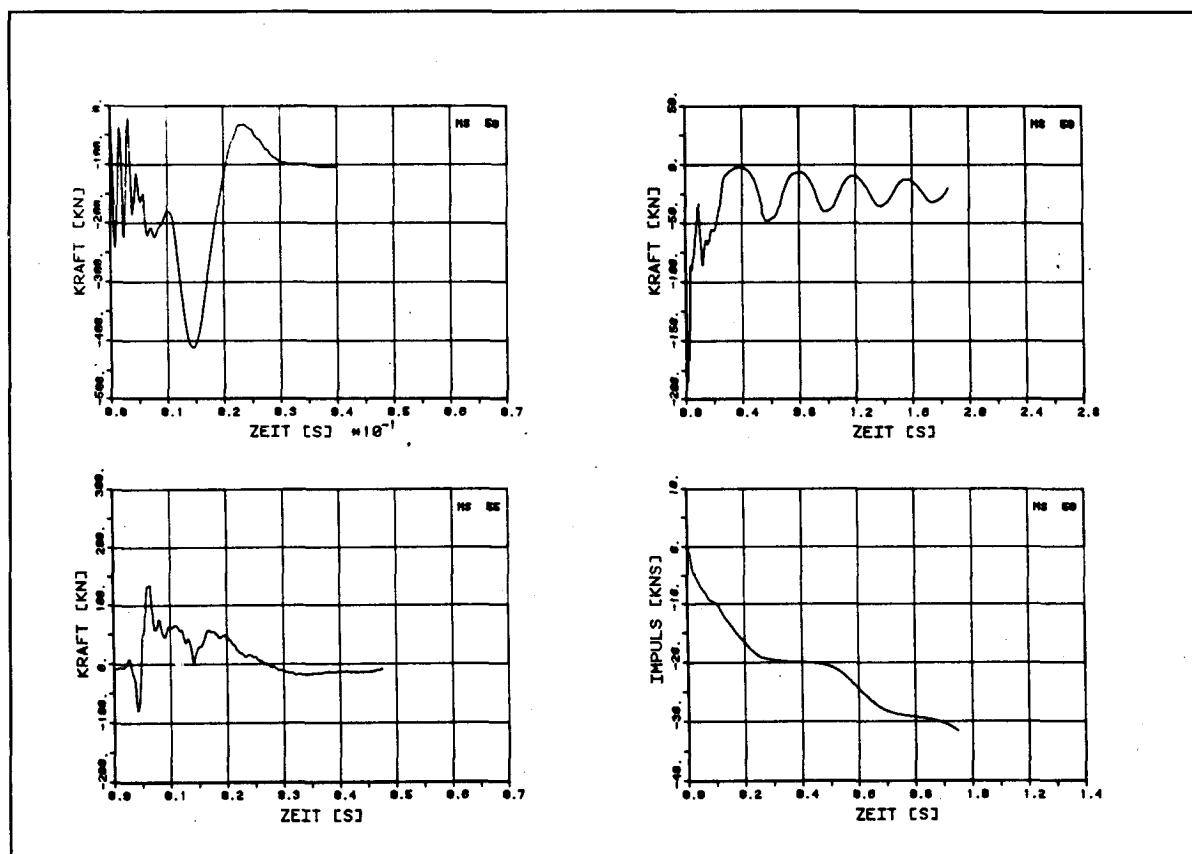


Bild B4.8-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion, Impuls

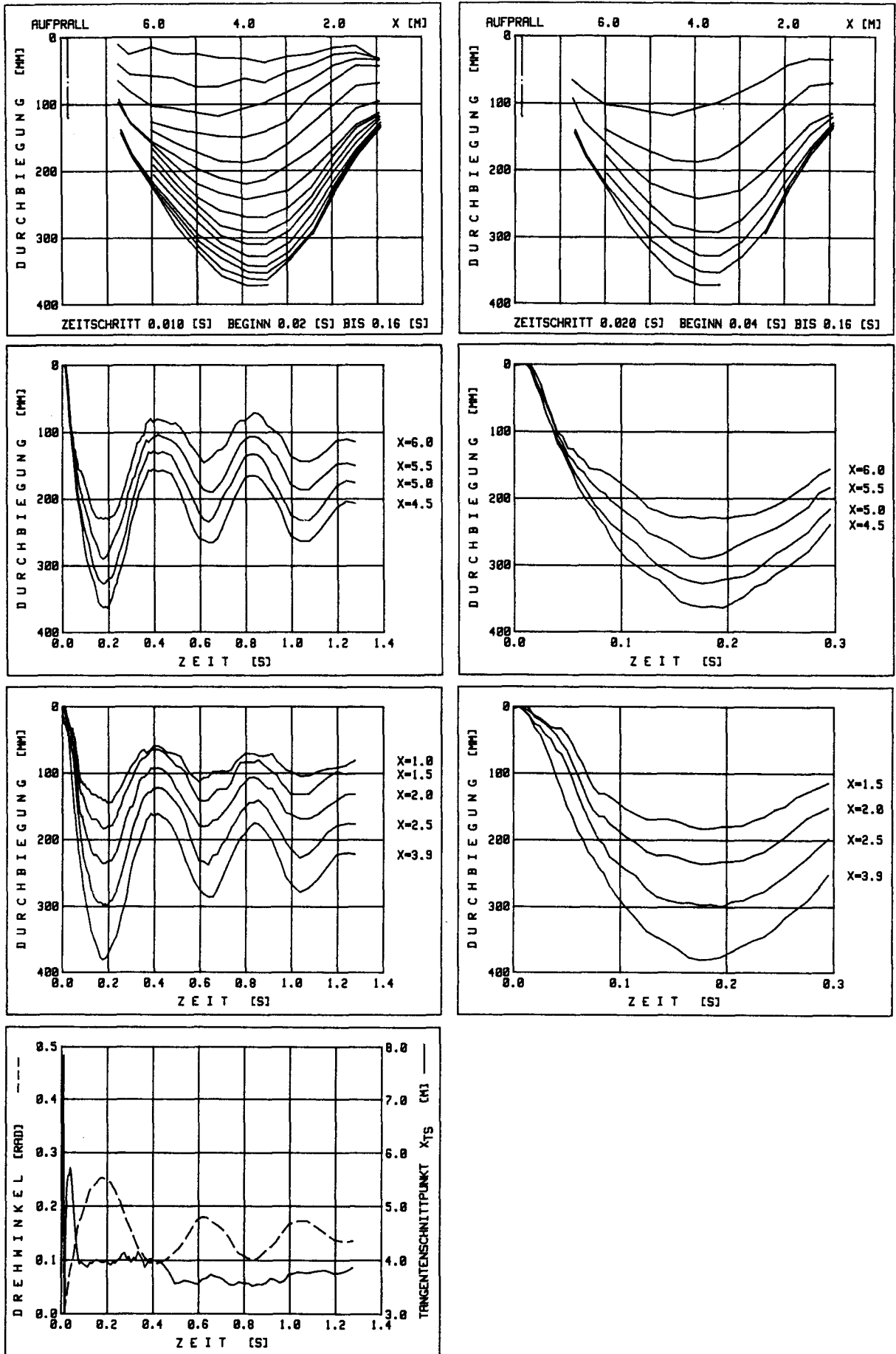


Bild B4.8-3: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

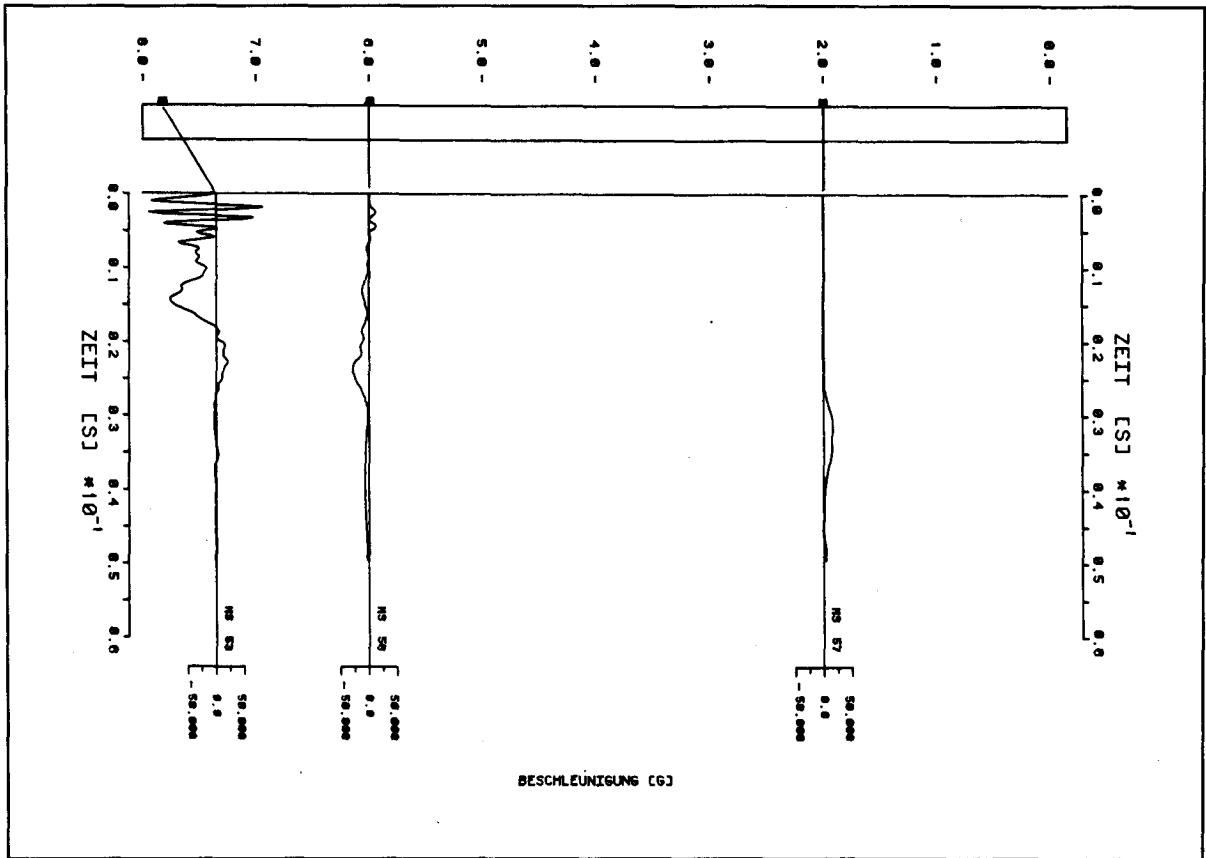


Bild B4.8-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen in einzelnen Balkenpunkten

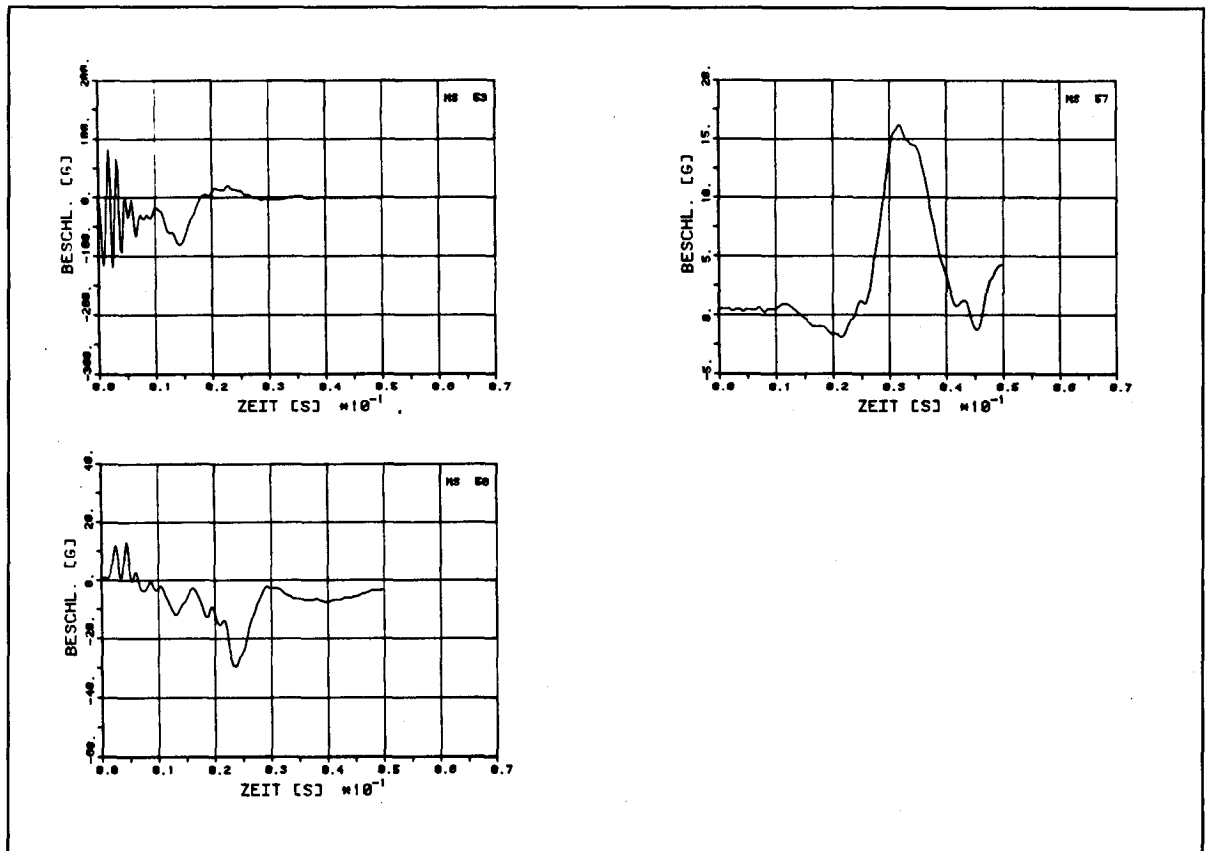


Bild B4.8-5: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel - Darstellungen

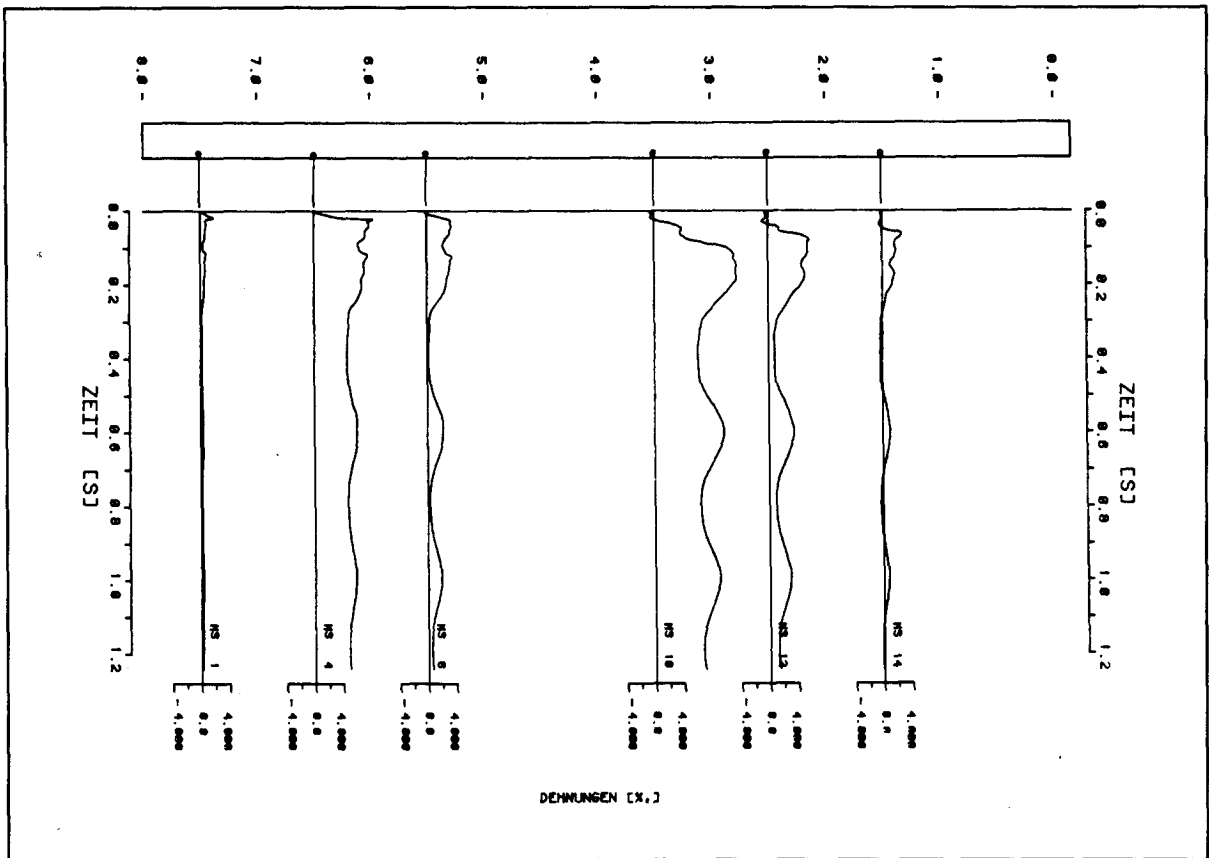


Bild B4.8-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

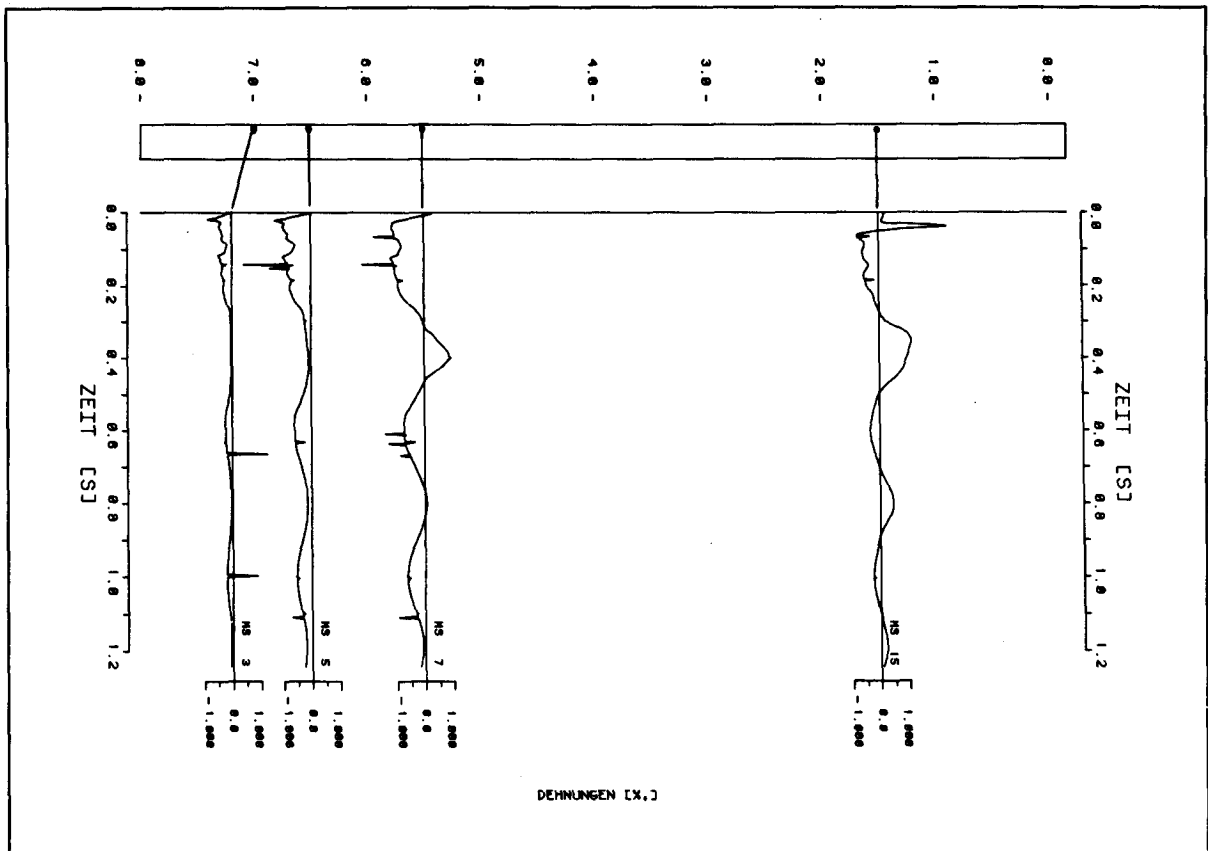


Bild B4.8-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

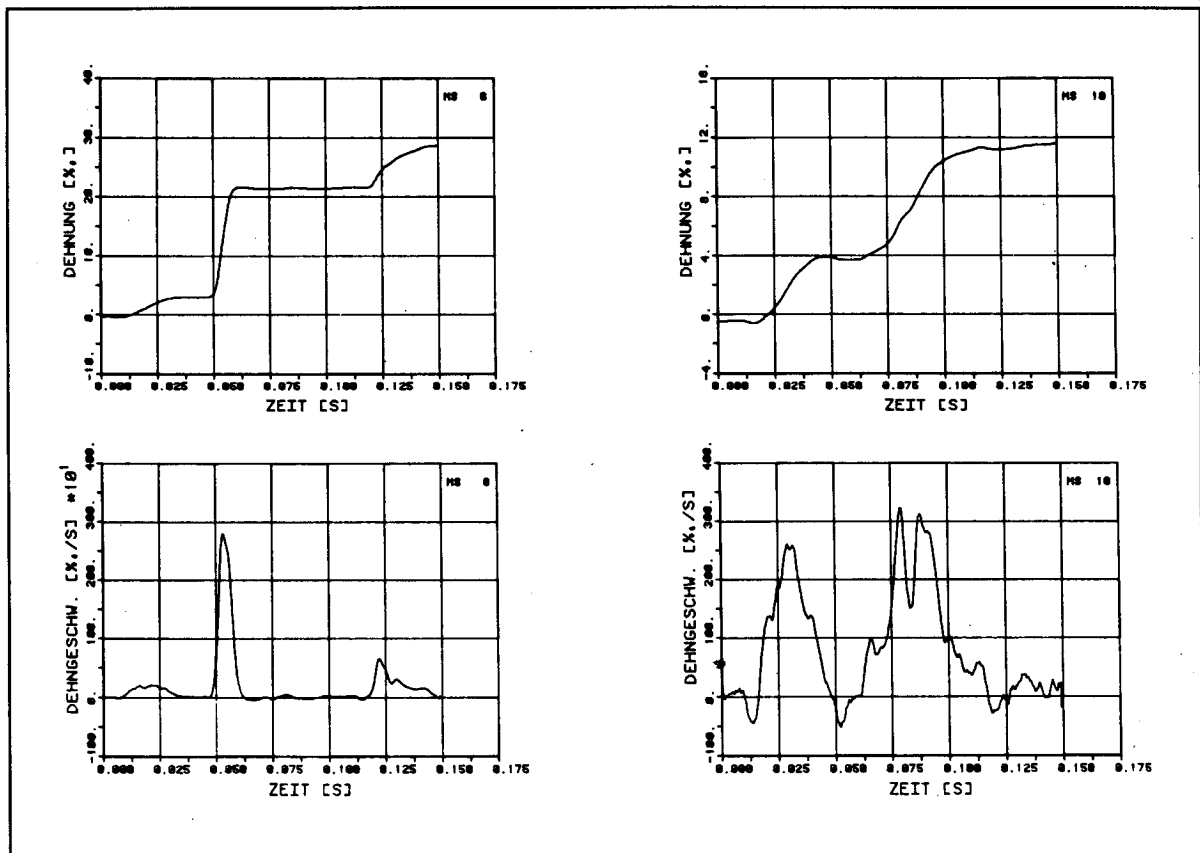
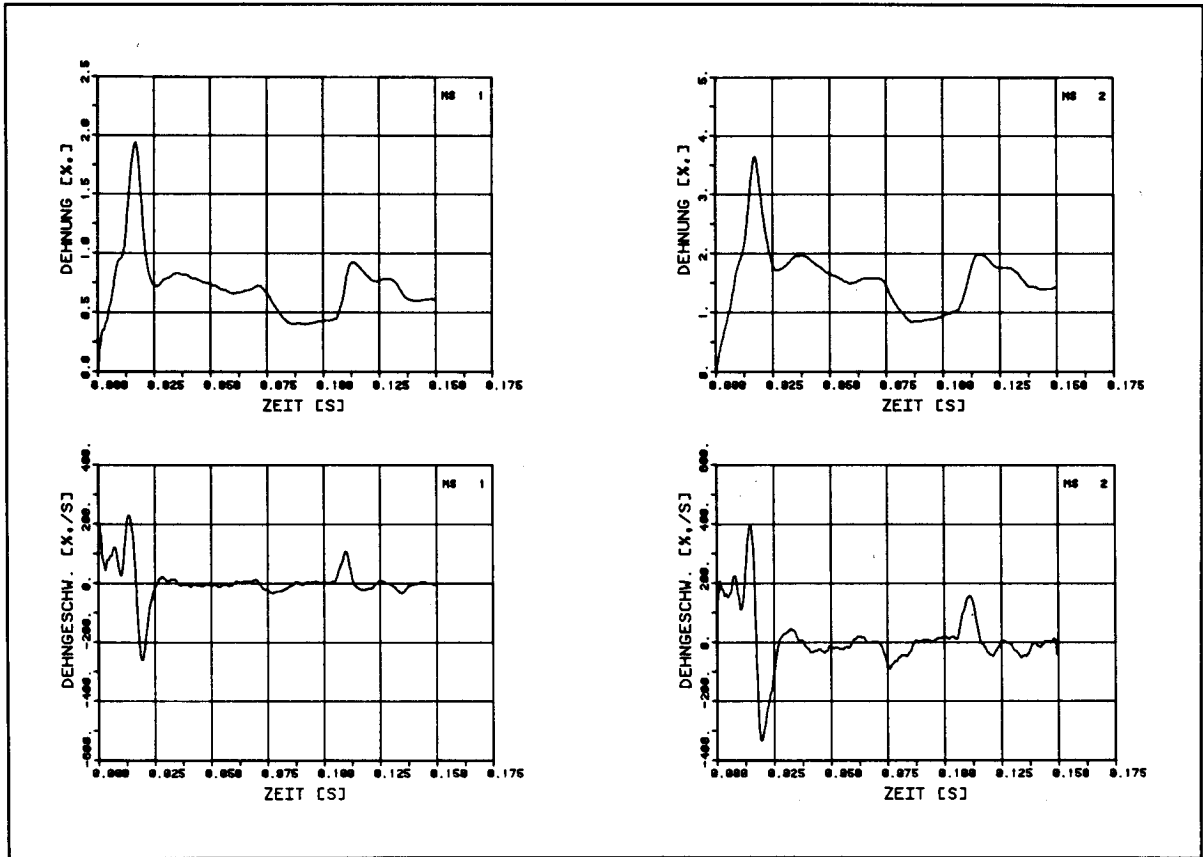


Bild B4.8-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

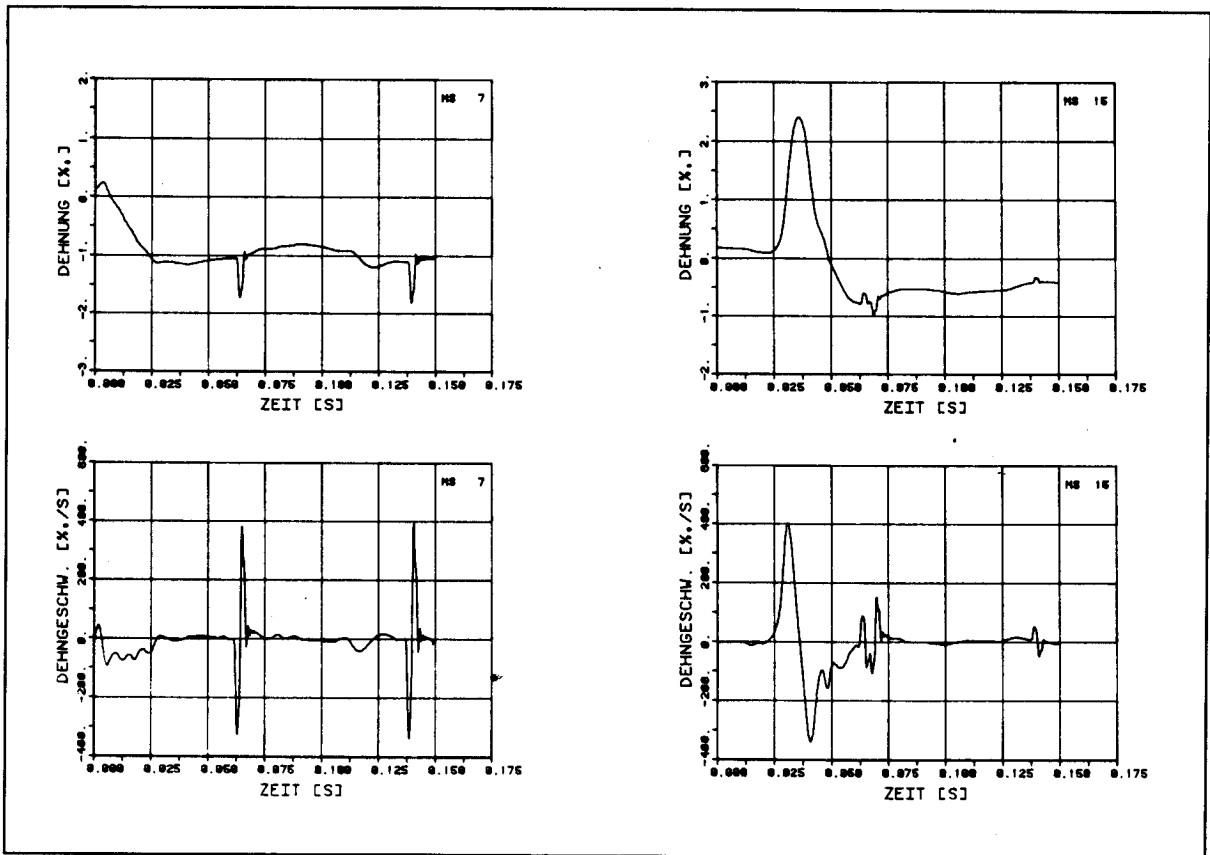
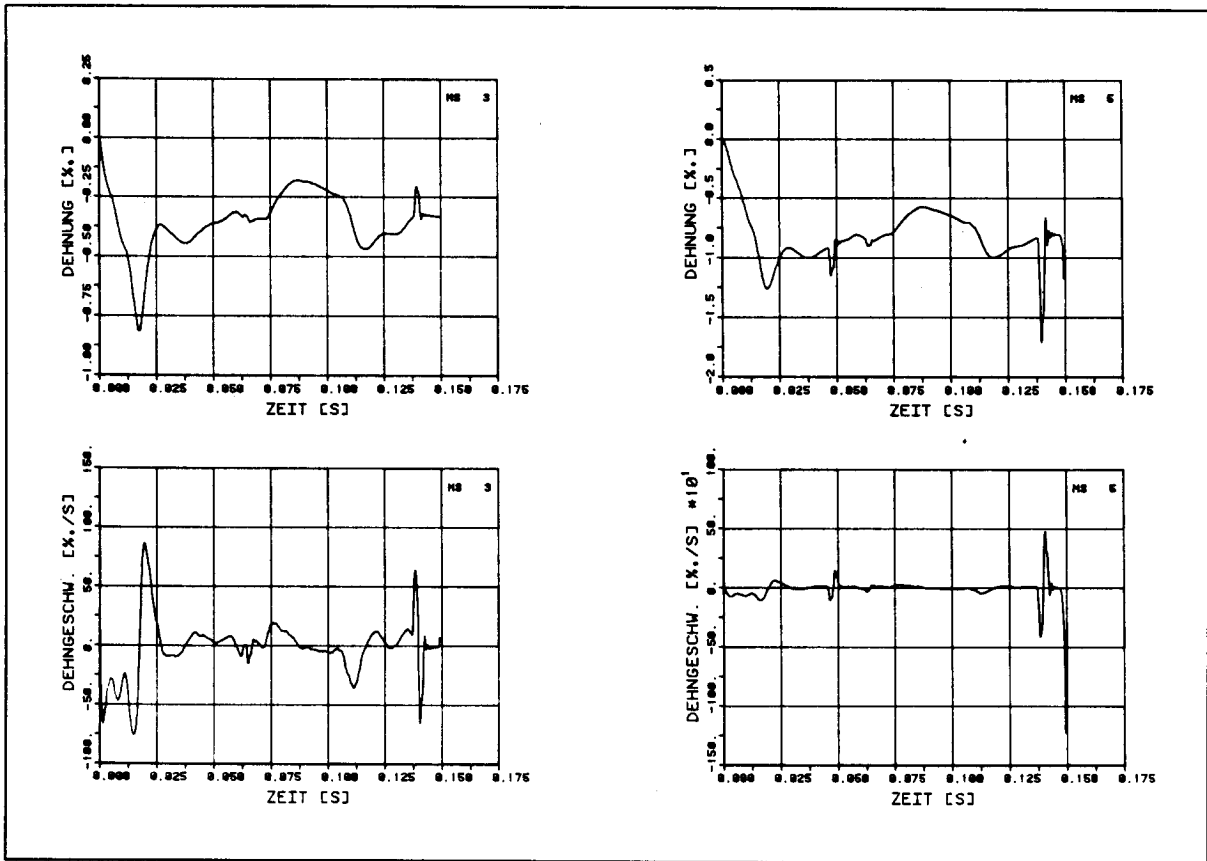


Bild B4.8-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



# BALKEN B5

## Widerstandsparameter:

Querschnitt : rechteckig  
 Längsbewehrungsgehalt : 1.07 %  
 Stahlsorte : IIIa, naturhart

## Dynamische Parameter:

Masse : 600 kg/m'  
 Gesamtlänge : 8.15 m  
 Aufprallelement : Stossdämpfer  
 Prüfungsvorgang : einmalig  
 Fallhöhen H, Einstellzahl E : Versuch B5.1 H = 3.75 m E = 5

## Ziel des Versuches:

Der Balken B5 ist praktisch analog ausgebildet wie der Balken B4, mit Ausnahme der Schubbewehrung, welche im Aufprallbereich stark reduziert wurde, mit der Absicht, einen Schubbruch zu erhalten.

Art und Anordnung der Messstellen sind mit wenigen Ausnahmen ebenfalls vom Balken B4 übernommen worden. Eine Neuerung gegenüber den früheren Versuchen stellt die doppelte Messung der Aufprallreaktion in der Aufprallkalotte und im Dreibein unter dem Stossdämpfer dar.

## Resultate:

### Verformungsverhalten, Rissbild

Die mit einer Fallhöhe von  $H = 3.75$  m erreichte maximale elastisch-plastische Durchbiegung des Balkens beträgt 822 mm, bei einem elastischen Anteil von 101 mm und einer bleibenden plastischen Durchbiegung von 721 mm. Ein Vergleich dieser maximalen bleibenden Durchbiegung mit dem entsprechenden Wert aus der linearen Extrapolation der Versuchswerte mit dem analogen Balken B4 deutet auf eine starke Ueberbeanspruchung des Balkens B5 hin (150 mm grössere Durchbiegung als anhand der Extrapolations-Geraden zu erwarten war). Im Vergleich mit dem Balken B8, der nur die halbe Masse aufweist, ergibt der Versuch B5.1 eine rund dreifache Durchbiegung. Dieser hohe Wert dürfte u.a. daher rühren, dass der Balken eine lokal begrenzte, sehr grosse Krümmung aufweist und nicht - wie etwa Balken mit kleinerem Längsbewehrungsgehalt - über einen grösseren Bereich gleichmässig gekrümmt ist, wobei gleichzeitig angefügt werden muss, dass auch die beiden Bereiche links und rechts dieser weitgehend zerstörten Zone stark beansprucht sind. Zwischen  $x = 3.40$  m und  $x = 6.60$  m ist der Beton auf der Balkenoberseite nämlich beinahe durchgehend mehr oder weniger stark gestaucht oder abgeschuppt, die entsprechenden Rissweiten auf der Höhe der unteren Längsbewehrung betragen 100/100 mm und 300/100 mm. Im Gegensatz zum Balken B4 zeigen beim Balken B5 die Risse in der unteren Balkenhälfte - und insbesondere gegen die untere Längsbewehrung hin - eine deutliche Auffächerung, viele der Risse sind sogar doppelt ausgebildet. Die offensichtlich stärkste Beanspruchung hat der Balken bei  $x = 4.0$  m erfahren. Hier ist die Betondruckzone praktisch vollständig zerstört, und die obere Längsbewehrung ausgeknickt. Auch seitlich ist der Beton keilförmig ausgebrochen. Auf der Unterseite sind die beiden äusseren Bewehrungsstäbe auf eine Länge von rund 0.30 m freigelegt, der überdeckende Beton ist ebenfalls abgeplatzt. Es scheint auch, dass die auf die Balkenoberseite aufgeschraubten Bleiplatten eine noch weitergehende Zerstörung der Betondruckzone verhindert haben, und damit wohl auch die resultierende bleibende Durchbiegung beeinflusst haben. Die Resttragfähigkeit des Balkens B5 dürfte infolge dieser Schwächungen auf rund 125 kNm abgesunken sein.

Bedingt durch eine sehr hohe Aufprallreaktion sind im Aufprallbereich auch Schubrisse festzustellen. Die Rissweiten betragen allerdings nur maximal 5/100 mm. Zudem ist in Balkenlängsrichtung ein Riss festzustellen und auf der Oberseite ein durchgehender Querriss. (Angestrebter Schubbruch nicht eingetreten).

#### Bleibende Dehnungen

Die auf der Balkenoberseite mittels Deformeter gemessenen, mittleren Stauchungen betragen im Maximum 8 ‰. Auf der unteren Längsbewehrung betragen die Dehnungen im Abschnitt zwischen  $x = 3.0$  m und  $x = 7.0$  m im Mittel rund 15 ‰. Im Bereich der grössten Zerstörung - bei  $x = 4.0$  m in Balkenmitte - ist der Messbereich überschritten.

#### Energieaufnahmevermögen

Obwohl sich die Krümmungen in erster Linie auf den Ort der grössten Beanspruchung konzentrieren, (Maximalwert  $0.54 \text{ m}^{-1}$ ) sind auch die angrenzenden Balkenteile zwischen  $x = 2.75$  m und  $x = 7.0$  m stark verformt (Mittelwert  $0.06 \text{ m}^{-1}$ ). Damit ergibt sich eine plastische Länge von  $l_{p1} = 4.25$  m. Der Drehwinkel der an die Balkenenden gelegten Tangenten beträgt nach dem Versuch  $0.47$  rad. Bezogen auf die gesamte zur Verfügung stehende potentielle Energie ergibt sich eine Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformung von 68 ‰.

#### Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen

Die in der Aufprallkalotte und im Dreibein unter dem Stossdämpfer gemessenen Aufprallreaktionen zeigen erwartungsgemäss beachtliche Unterschiede, sowohl im zeitlichen Verlauf als auch in der Grösse, wobei das 2. Maximum in der Aufprallkalotte ungefähr identisch ist mit dem entsprechenden Messwert im Dreibein (rund 700 kN). Dieser Wert reiht sich gut ein in die aus den Versuchen mit dem analogen Balken B4 erhaltene lineare Beziehung zwischen maximaler Aufprallreaktion und Fallhöhe. Grosse Unterschiede zwischen den beiden Messstandorten ergeben sich für die Kraft- Weg- Charakteristik und die daraus ermittelte Energieaufnahme.

Die über dem Aufprallpunkt auf der Balkenoberseite gemessene Spitzenbeschleunigung beträgt 214 g.

#### Dehnungsmessungen während des Versuches

Aus dem Verlauf der Dehnungen entlang der unteren und oberen Längsbewehrung kann wiederum eine vom Aufprallpunkt gegen das Gelenk wandernde Welle festgestellt werden. Die lokal gemessenen Extremalwerte betragen auf der unteren Längsbewehrung rund + 30 ‰, auf der oberen - 3 ‰.

#### Dehngeschwindigkeiten

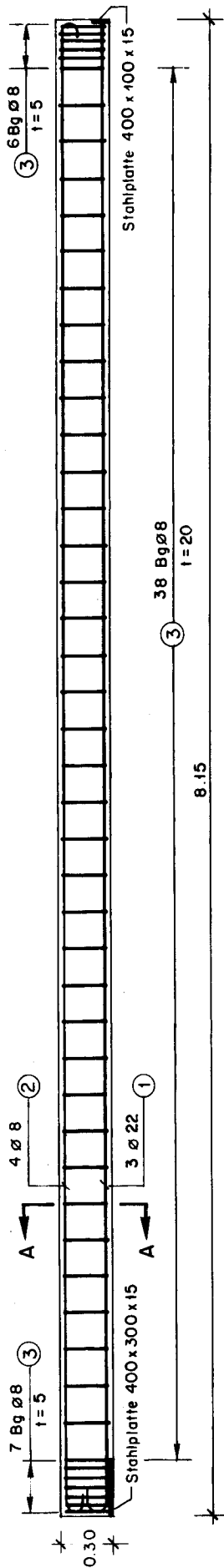
Die in der unteren Längsbewehrung auftretenden maximalen Dehngeschwindigkeiten liegen zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.4$  und  $7.0 \text{ s}^{-1}$ , die entsprechenden Werte in der oberen Längsbewehrung liegen zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.07$  und  $\dot{\epsilon} = 0.7 \text{ s}^{-1}$ .

#### Eigenfrequenz, Dämpfung

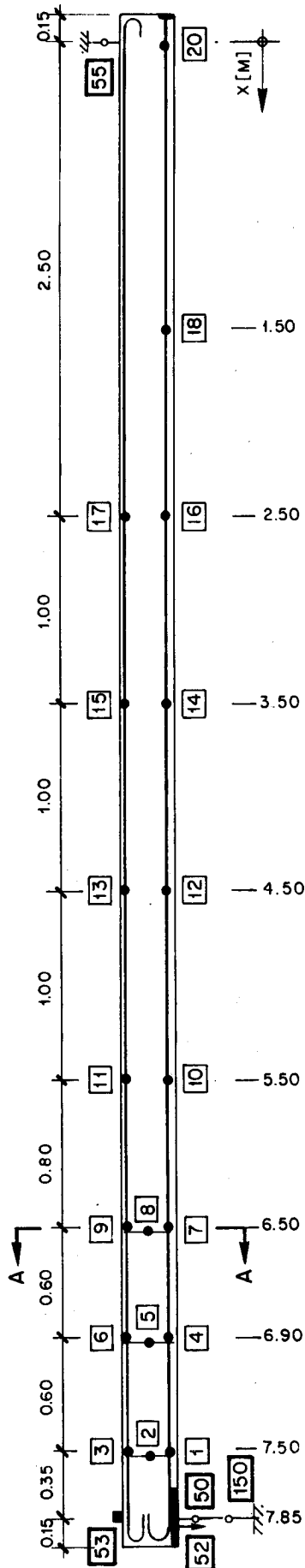
Die in Ausschwingversuchen vor und nach dem Fallversuch ermittelten Eigenfrequenzen betragen ohne Bleizusatzmasse  $f = 9.80$  Hz bzw.  $f = 4.68$  Hz, mit Bleizusatzmasse  $f = 4.61$  Hz bzw.  $2.79$  Hz. Der Balken weist somit nach dem Versuch ohne Bleizusatzmassen eine höhere Steifigkeit auf als mit Blei. Der Dämpfungskoeffizient variiert zwischen  $\xi = 0.018$  und  $\xi = 0.060$ .

# BALKEN B5

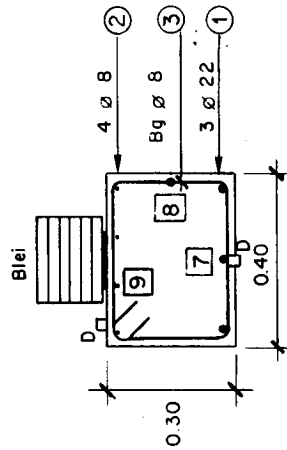
BEWEHRUNGSPLAN



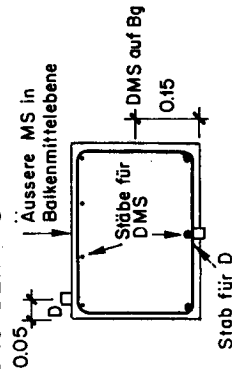
MESSTELLENPLAN



SCHNITT A-A

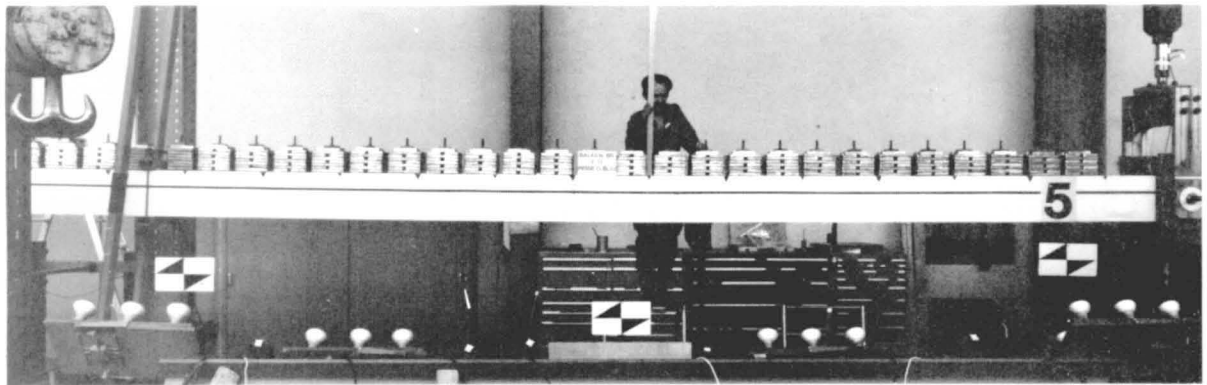


ANORDNUNG DER MS



Symbol	Nummer der MS	Bezeichnung
INNERE MESSTELLEN (MS)		
●	1 - 18, 20	DMS auf Stahl
ÄUSSERE MESSTELLEN (MS)		
○	50, 55, 150	DMS auf Beton
○	53	Kraftmessdose
○	52	Beschleunigungsaufn.
○	ohne Angabe	Wegaufnehmer
○		Deformmeter

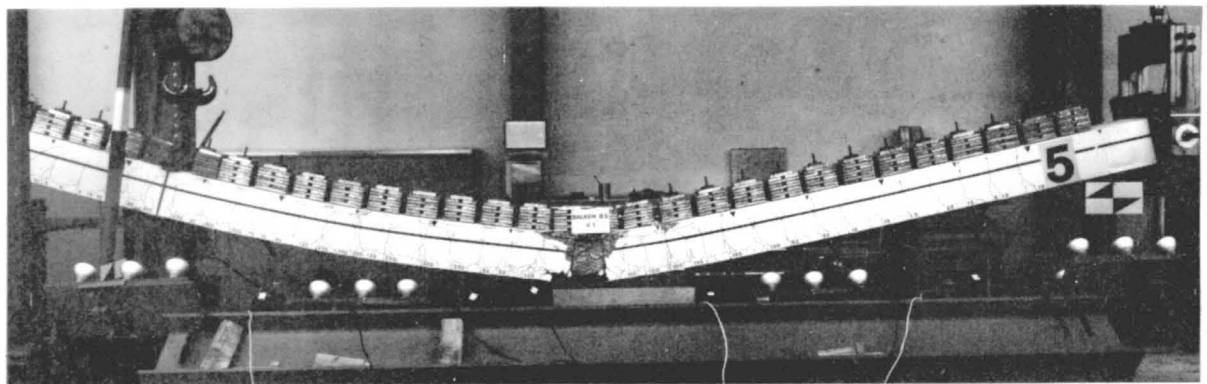
Bild B5.0-I: Bewehrungs- und Messstellenplan



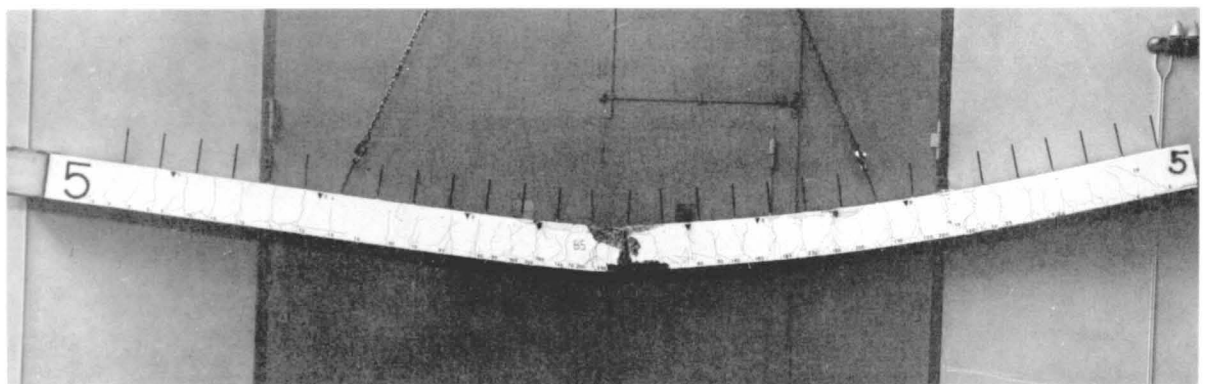
Vor Versuch B5.1: Rissbildung unter Eigengewicht ohne Blei



Vor Versuch B5.1: Rissbildung unter Eigengewicht mit Blei

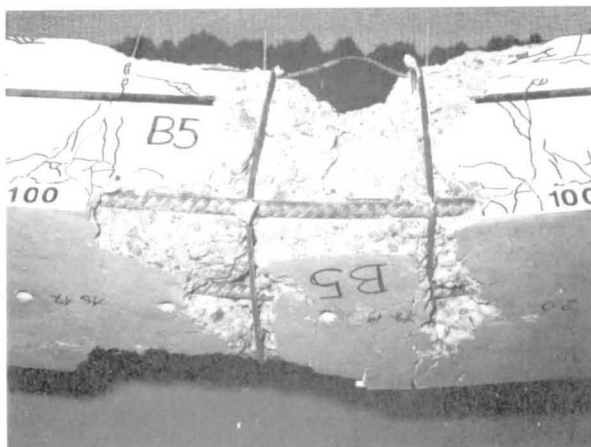


Nach Versuch B5.1 , Fallhöhe  $H = 3.75$  m



Ausgebauter Zustand , Rückseite

Bild B5.0-2: Uebersichtsfotos vor und nach Versuch B5.1



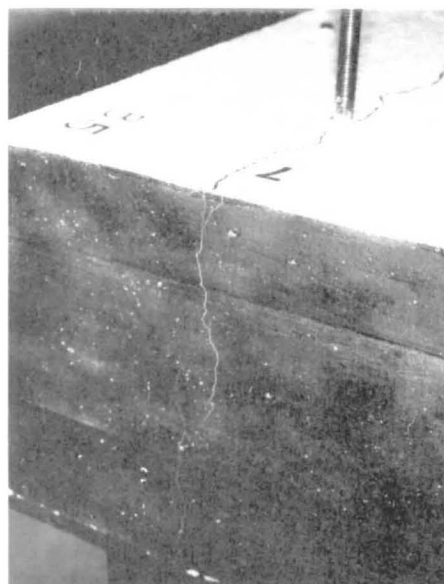
Vorder- und Unterseite,  $x = 4.0$  m  
Bereich der grössten Beanspruchung ungefähr in Balkenmitte



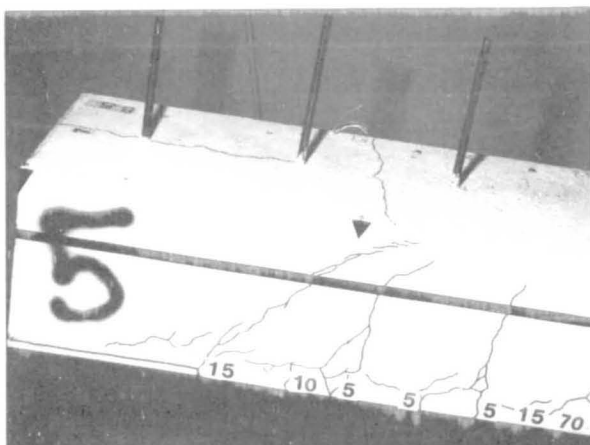
Rück- und Unterseite,  $x = 4.0$  m



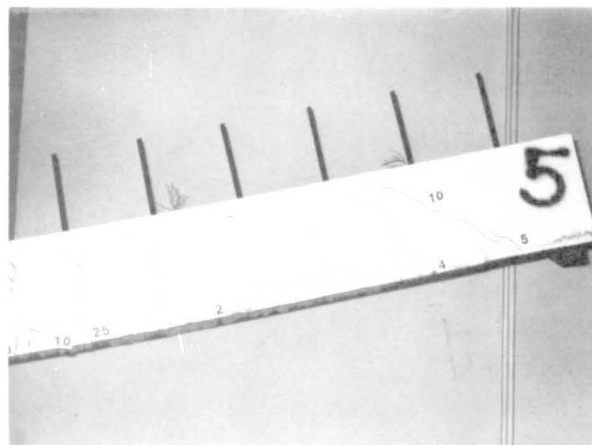
Ober- und Rückseite,  $x = 4.0$  m  
Bereich der grössten Beanspruchung



Stirn- und Oberseite  
Rissbild in der Aufprallzone



Vorderseite  
Rissbild in der Aufprallzone des Balkens



Rückseite

Bild B5,0-3: Detailaufnahmen nach Versuch B5.1

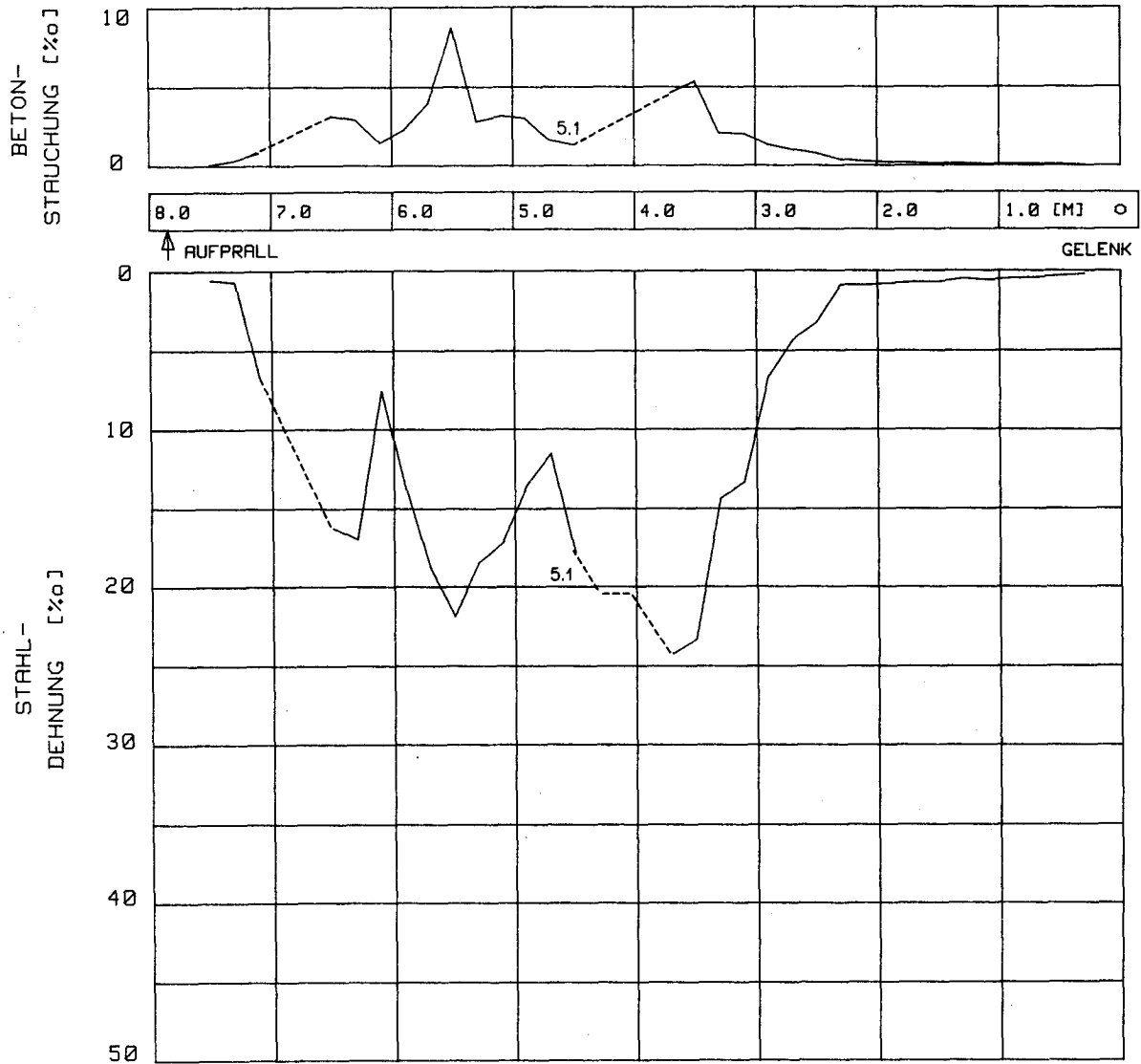


Bild B5.0-4: Dehnungsverläufe aus den Deformetermessungen für Versuch B5.1

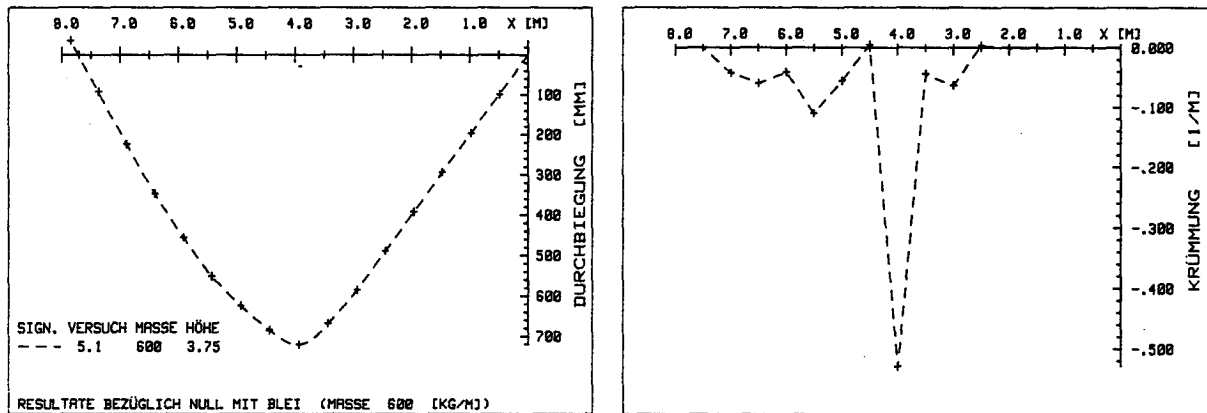


Bild B5.0-5: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B5.1

VERSUCH B5.1

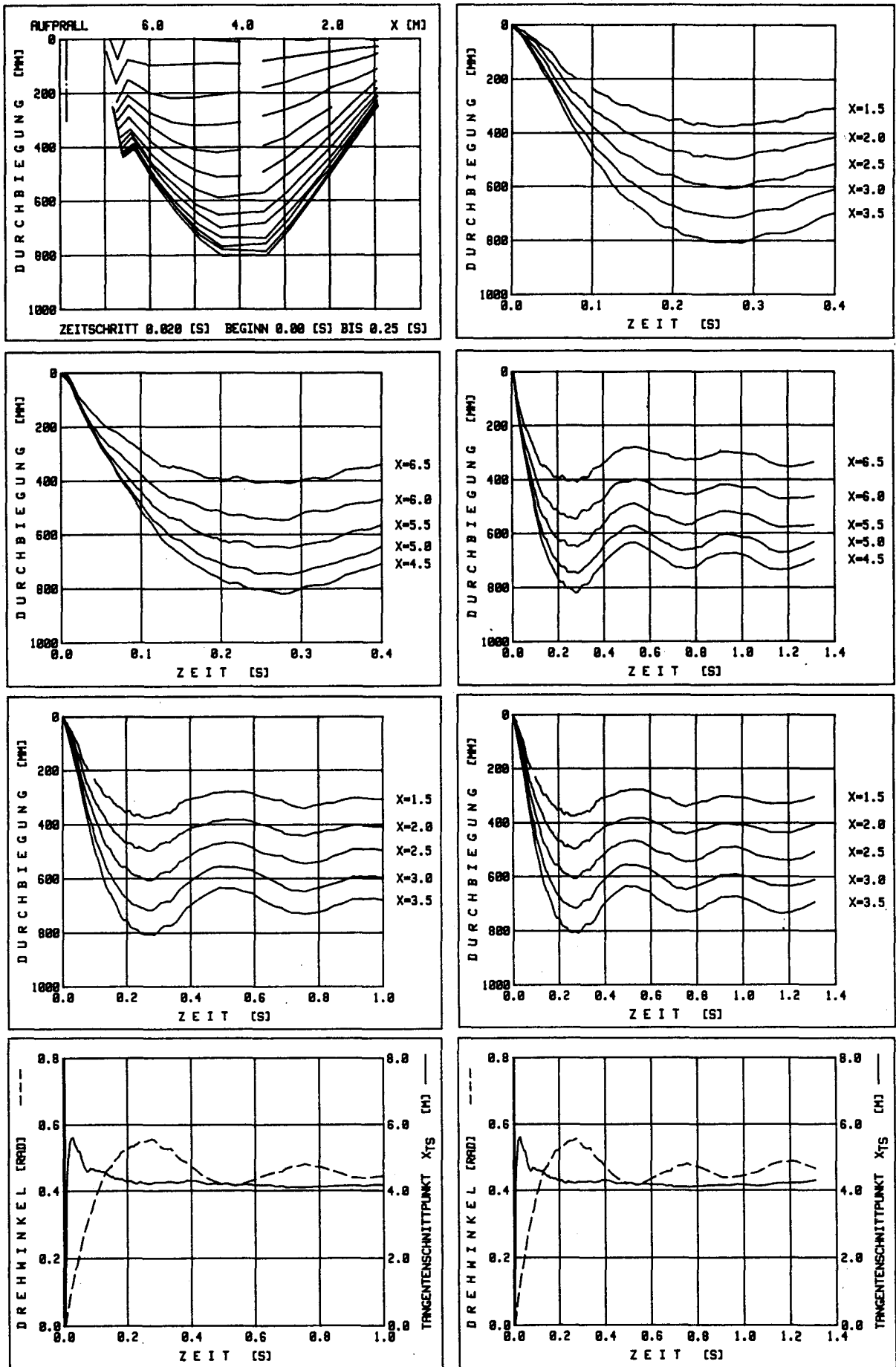


Bild B5.1-1: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

BALKEN 5 VERSUCH 1  
\*\*\*\*\*

BALKENPARAMETER :  
- FALLHOEHE: 3.75 METER  
- BRUCHMOMENT: 164 KILO-NEWTON-METER  
- MASSE: 600. KILOGRAMM / METER  
- BEMERKUNGEN:

DIGITALISIERUNGSPARAMETER: - ANZAHL SAMPLES BEI DER EICHUNG : 400.  
BEI DER MESSUNG : 10240.  
- ABTASTFREQUENZ CA. : 4420. HZ

- BANDGESCHWINDIGKEIT BEIM VERSUCH : 30.0 IPS  
BEIM DIGITALISIEREN : 3.7 IPS  
--> ZEITFAKTOR : 8.0

ZUSAMMENSTELLUNG DER EINZELNEN KANAELE

*****												
A/D-WANDLER	I	AUFZEICHNUNG	I	UMRECHNUNG	I	EICHGROESSE:	KORR.-	VERST.	F(X) = A * X + B	EICHPARAMETER	I	BEMERKUNGEN
NR:	E	M	PCM	NR:	NR:	BEZ	WERT	DIM:	FAKTOR	A	B	
*****												
0	0	0	I	91	S	I	0.000 [ J ]	0.000	0.00	1.00000	0.00000	0.00000
1	0	0	I	92	S	I	0.000 [ J ]	0.000	0.00	1.00000	0.00000	0.00000
2	0	0	I	93	S	I	0.000 [ J ]	0.000	0.00	1.00000	0.00000	0.00000
3	0	0	I	1	F	I	347.420 [KNJ]	2.000	5.00	1.71742	5.35835	5.35835
4	0	2	I	2	F	I	159.550 [KNJ]	2.000	5.00	0.19812	-0.33234	-0.33234
5	0	1	I	3	A	I	4.600 [ G ]	2.000	100.00	0.24381	-0.49860	-0.49860
6	0	2	I	4	E	I	1.000 [ X ]	2.030	5.00	0.00121	-0.00120	-0.00120
7	0	3	I	5	E	I	1.000 [ X ]	2.030	5.00	0.00060	-0.00122	-0.00122
8	0	0	I	6	W	I	121.100 [MMJ]	2.000	1.00	0.23628	-0.27940	-0.27940
9	0	0	I	7	F	I	1072.000 [KNJ]	2.000	1.00	1.05468	-1.04941	-1.04941
10	0	3	I	8	E	I	10.000 [ X ]	2.030	5.00	0.00603	-0.01213	-0.01213
11	0	2	I	9	E	I	1.000 [ X ]	2.060	0.10	0.00002	-0.00001	-0.00001
12	0	3	I	10	E	I	1.000 [ X ]	2.030	10.00	0.00121	-0.00117	-0.00117
13	0	2	I	11	E	I	1.000 [ X ]	2.030	10.00	0.00248	0.01285	0.01285
14	0	1	I	12	E	I	1.000 [ X ]	2.030	10.00	0.00491	0.03438	0.03438
15	0	0	I	13	E	I	1.000 [ X ]	2.030	10.00	0.00987	0.05581	0.05581
16	0	2	I	14	E	I	1.000 [ X ]	2.030	10.00	0.00244	0.00991	0.00991
17	0	0	I	15	E	I	1.000 [ X ]	2.030	10.00	0.00967	0.00984	0.00984
18	0	2	I	16	E	I	1.000 [ X ]	2.030	10.00	0.00245	0.01689	0.01689
19	3	3	I	17	E	I	10.000 [ X ]	2.060	1.00	0.01164	-0.10183	-0.10183
20	3	2	I	18	E	I	10.000 [ X ]	2.060	1.00	0.02318	-0.12242	-0.12242
21	3	1	I	19	E	I	10.000 [ X ]	2.060	1.00	0.04636	-0.20663	-0.20663
22	3	1	I	20	E	I	10.000 [ X ]	2.060	1.00	0.04643	-0.11049	-0.11049
23	3	1	I	21	E	I	10.000 [ X ]	2.060	1.00	0.04668	-0.28057	-0.28057
24	3	1	I	22	E	I	10.000 [ X ]	2.060	1.00	0.04649	-0.19259	-0.19259
25	3	3	I	23	E	I	10.000 [ X ]	2.060	1.00	0.01169	-0.05202	-0.05202
26	3	3	I	24	E	I	0.010 [ X ]	2.060	1.00	0.00001	-0.00005	-0.00005
27	0	0	I	20	E	I						BEGRENZT
28	0	0	I	13	E	I						BEGRENZT
29	0	2	I	15	E	I						BEGRENZT
30	0	2	I	16	E	I						BEGRENZT
31	0	2	I	17	E	I						BEGRENZT
*****												

Bild B5.1-2: Informationsblatt PCM - Daten



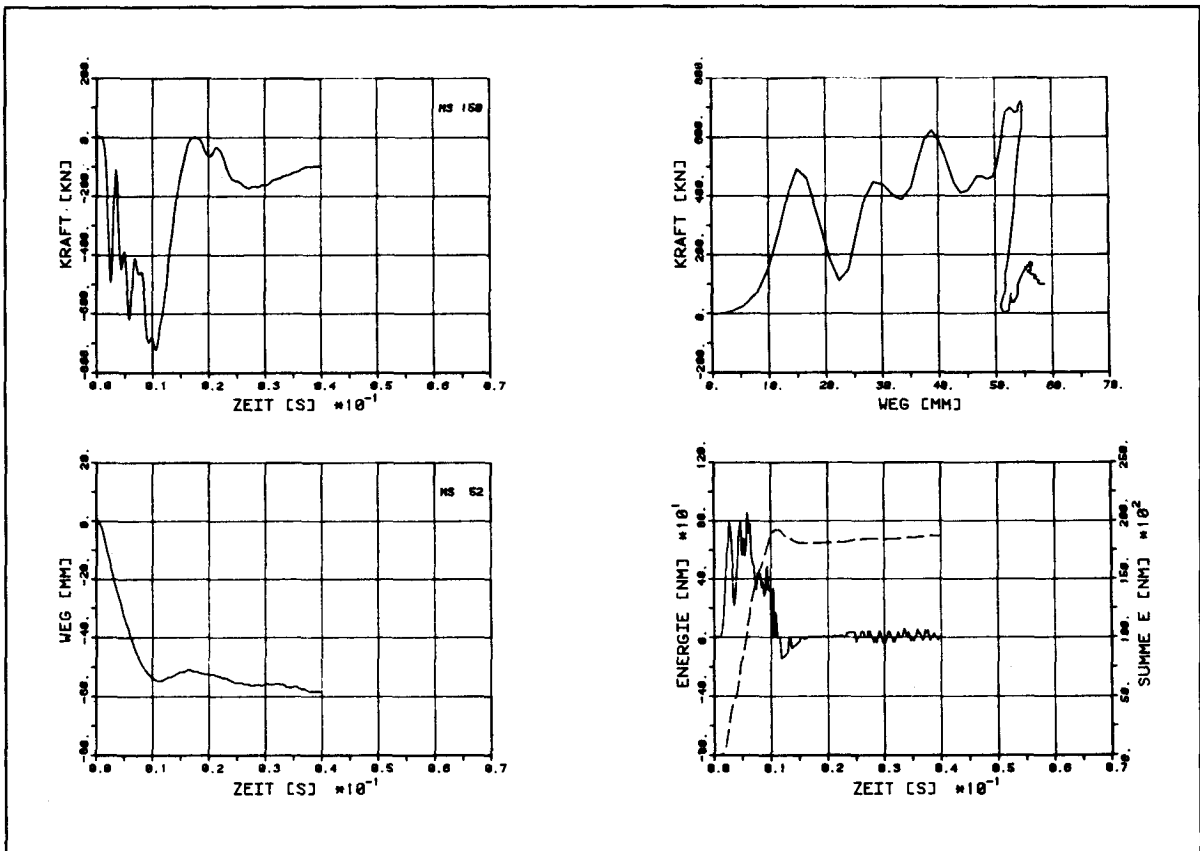
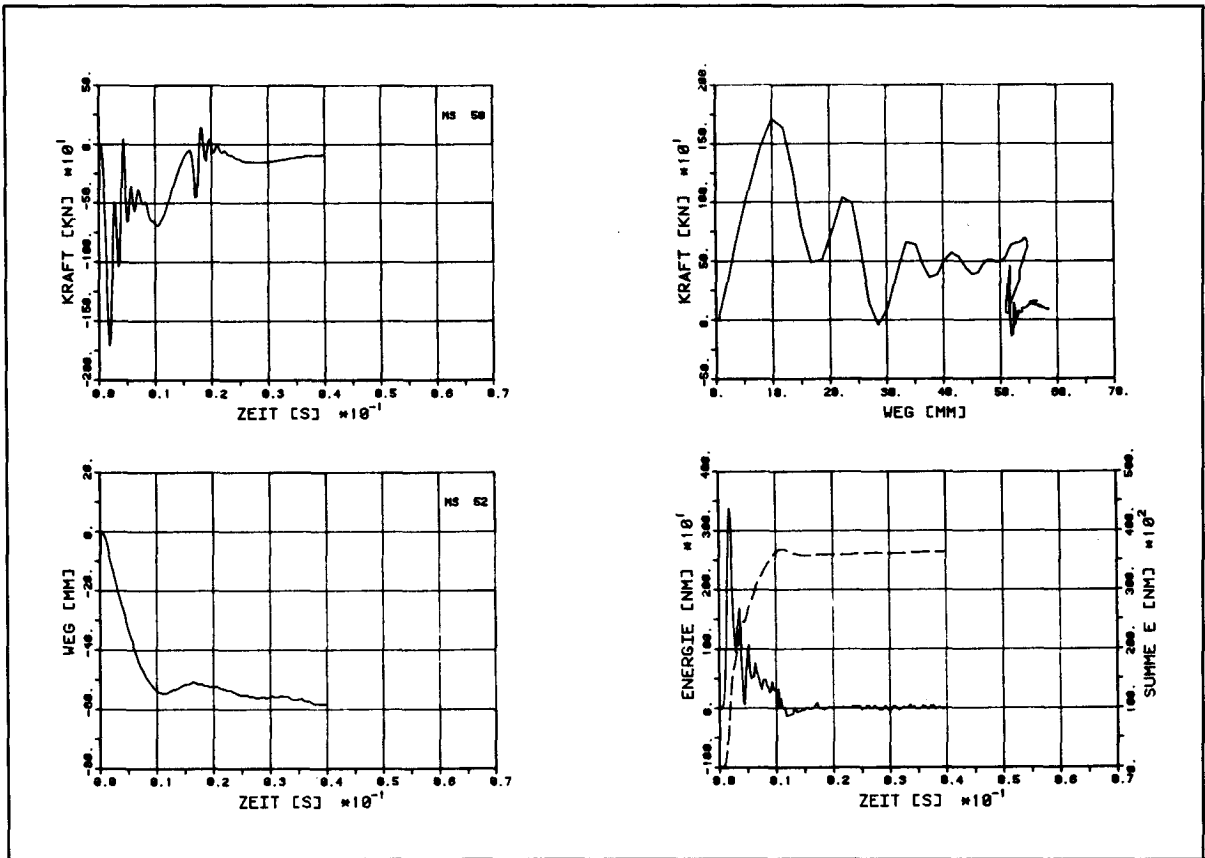


Bild B5.1-3: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

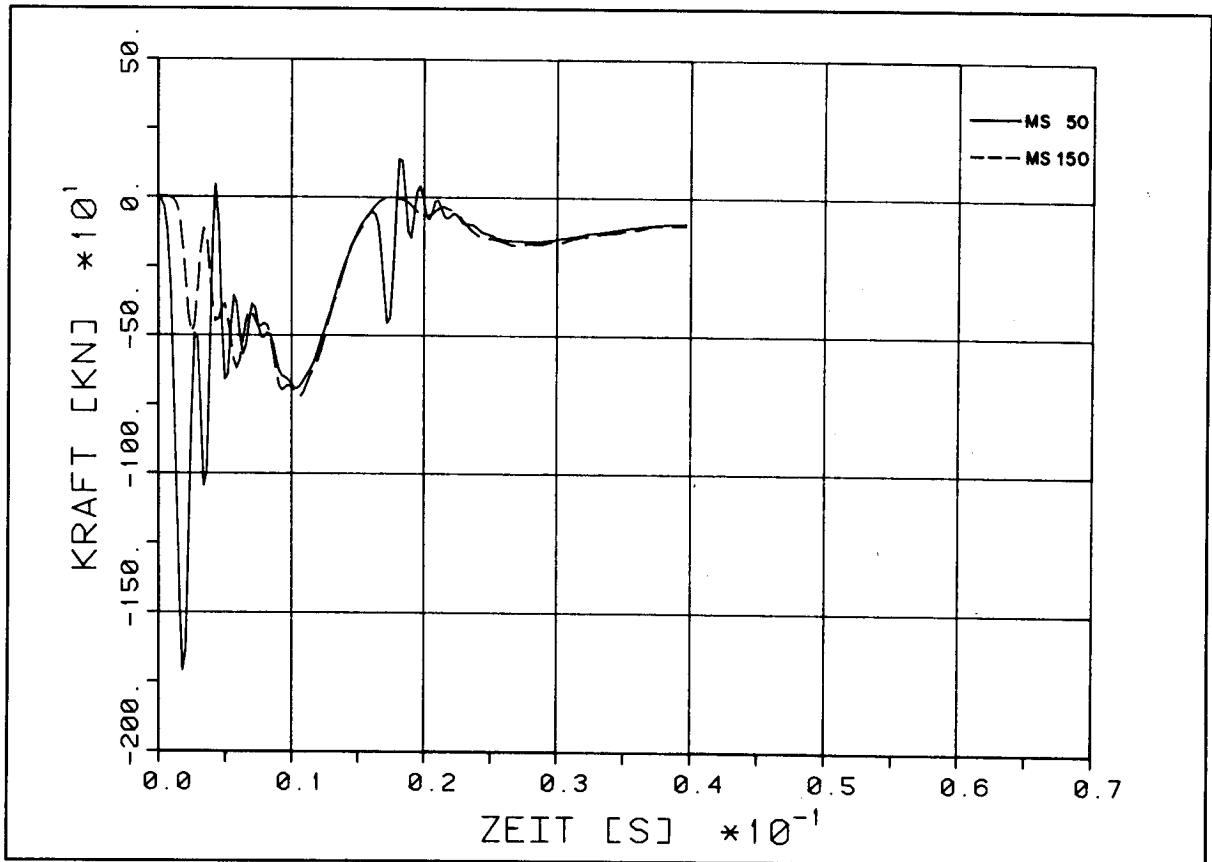


Bild B5.1-4: Zeitverläufe für die Aufprallreaktion in der Kalotte (MS 50) und im Dreibein (MS 150)

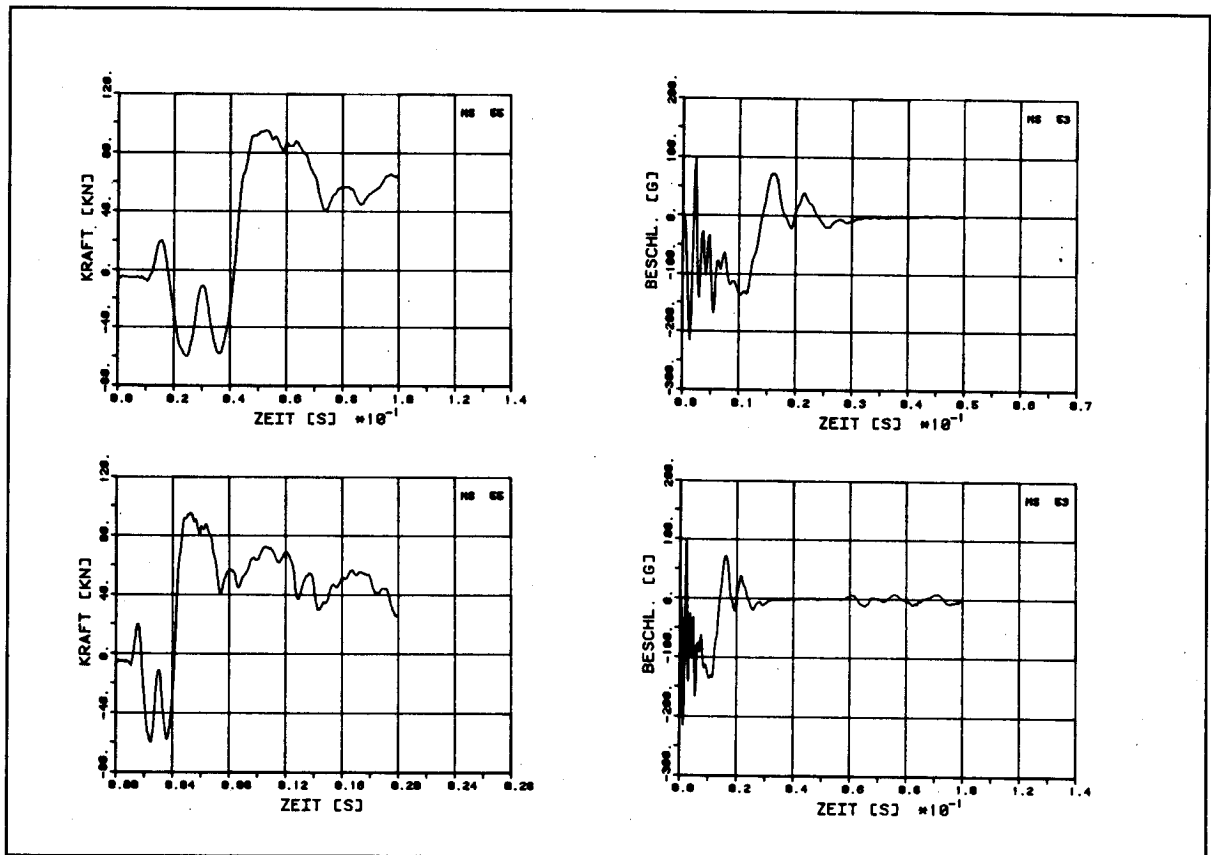


Bild B5.1-5: Zeitverläufe der Gelenkreaktion und der Beschleunigung in Einzel-Darstellungen

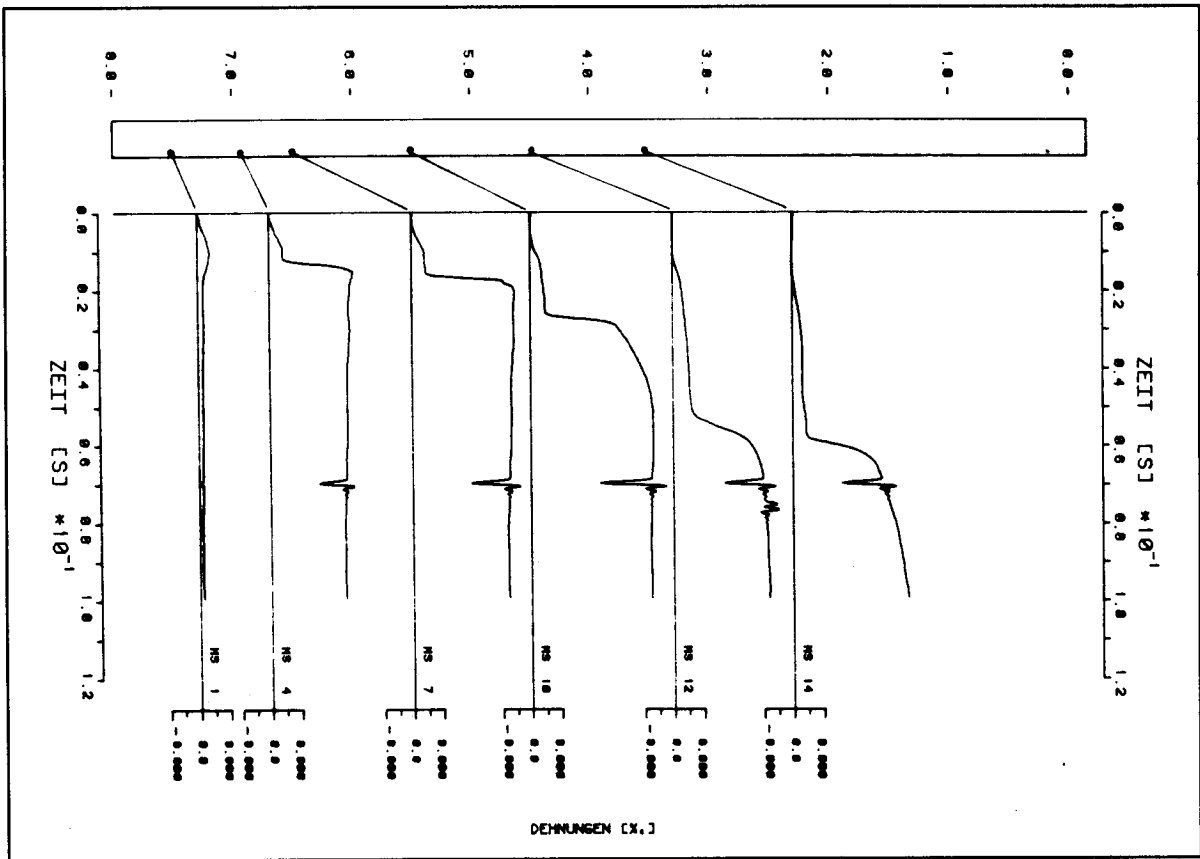


Bild 5.1-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

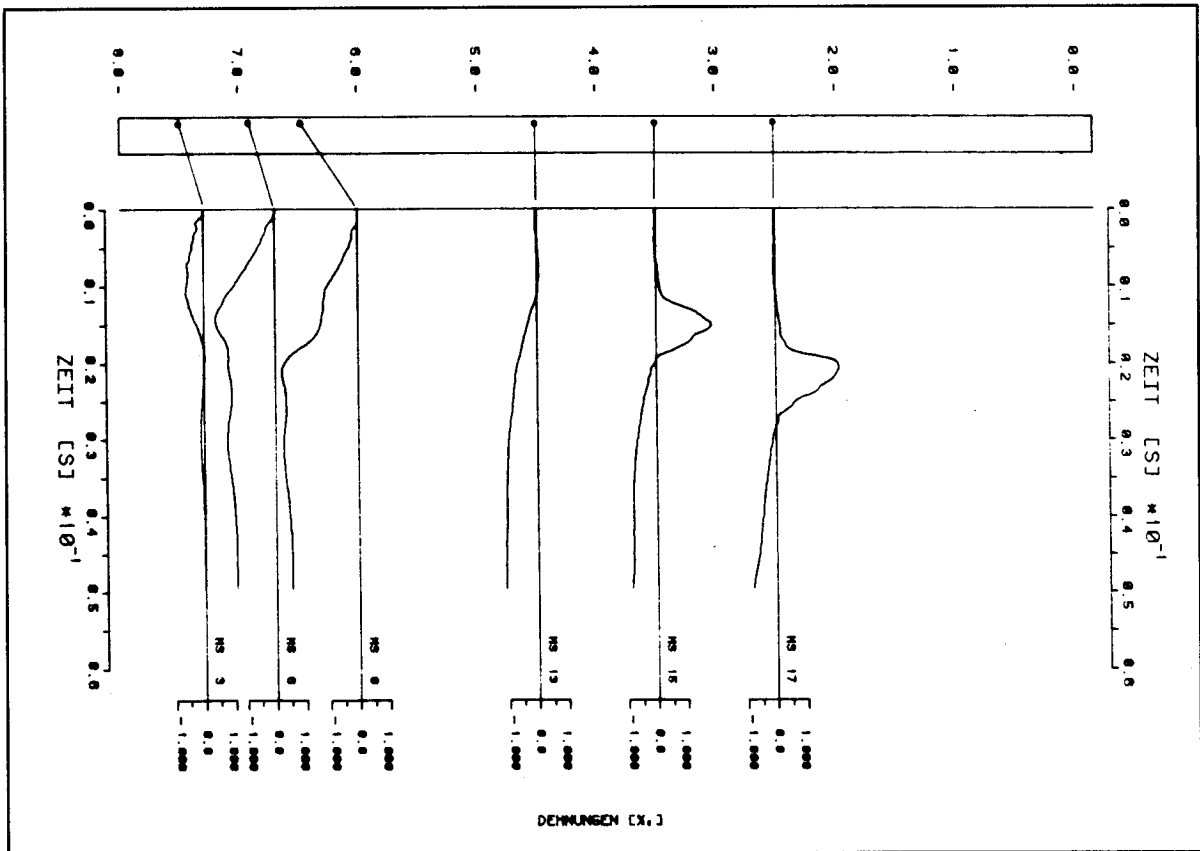


Bild B5.1-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

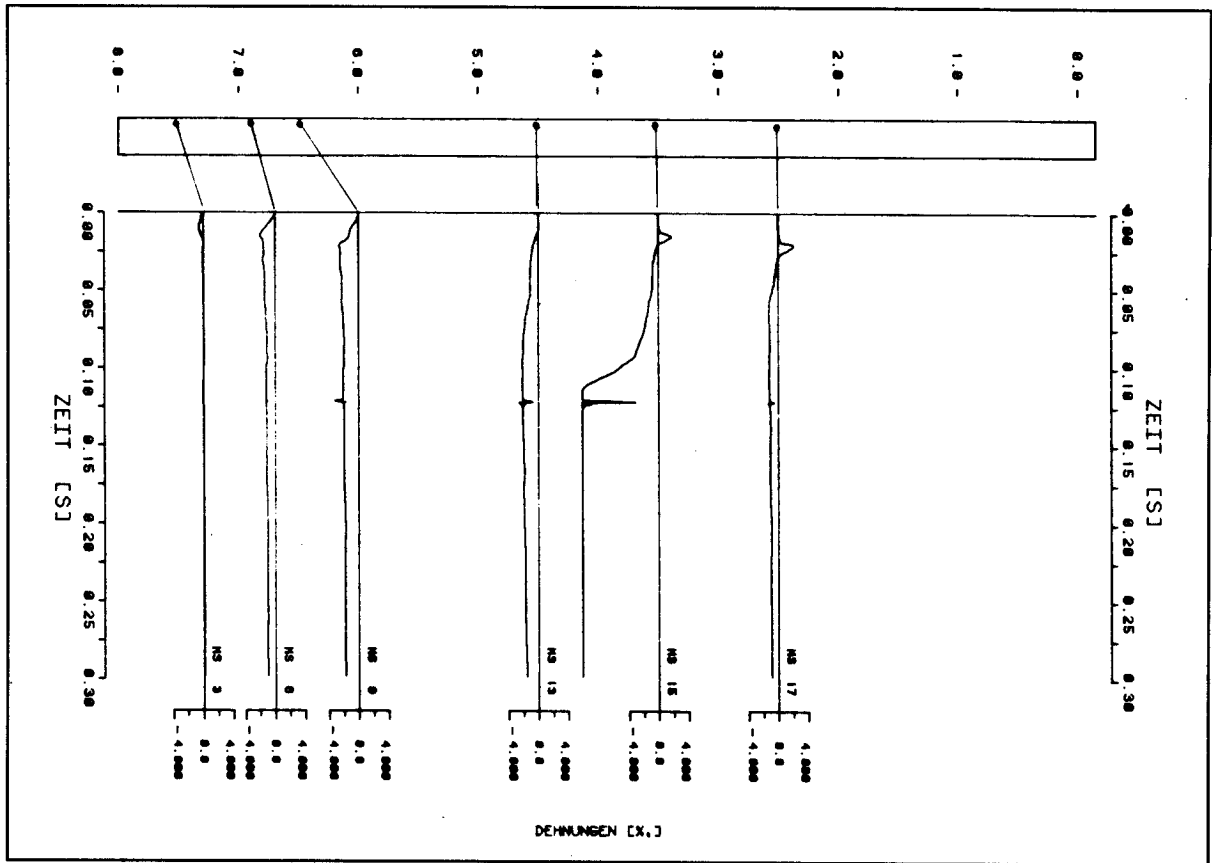


Bild B5.1-8: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

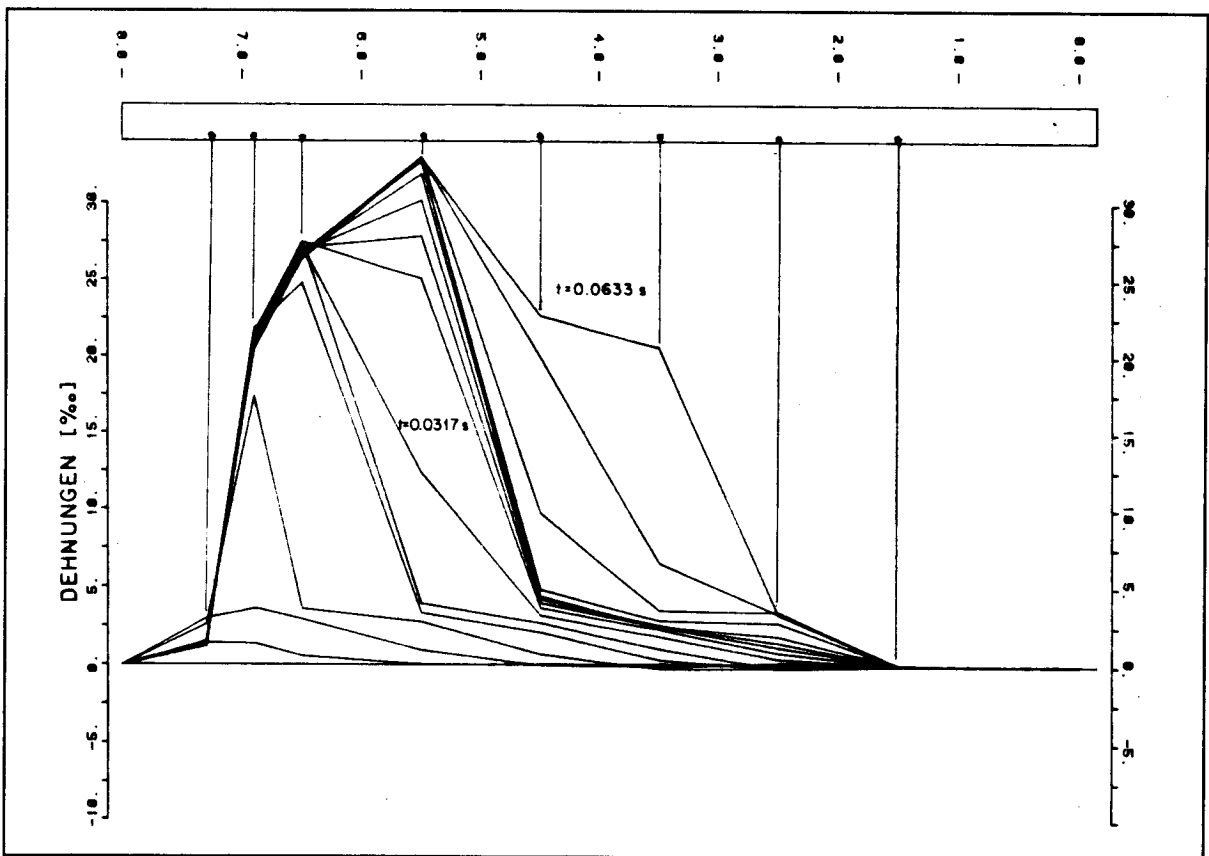


Bild B5.1-9: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0,000 \text{ s} - 0,063 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0,0045 \text{ s}$ )

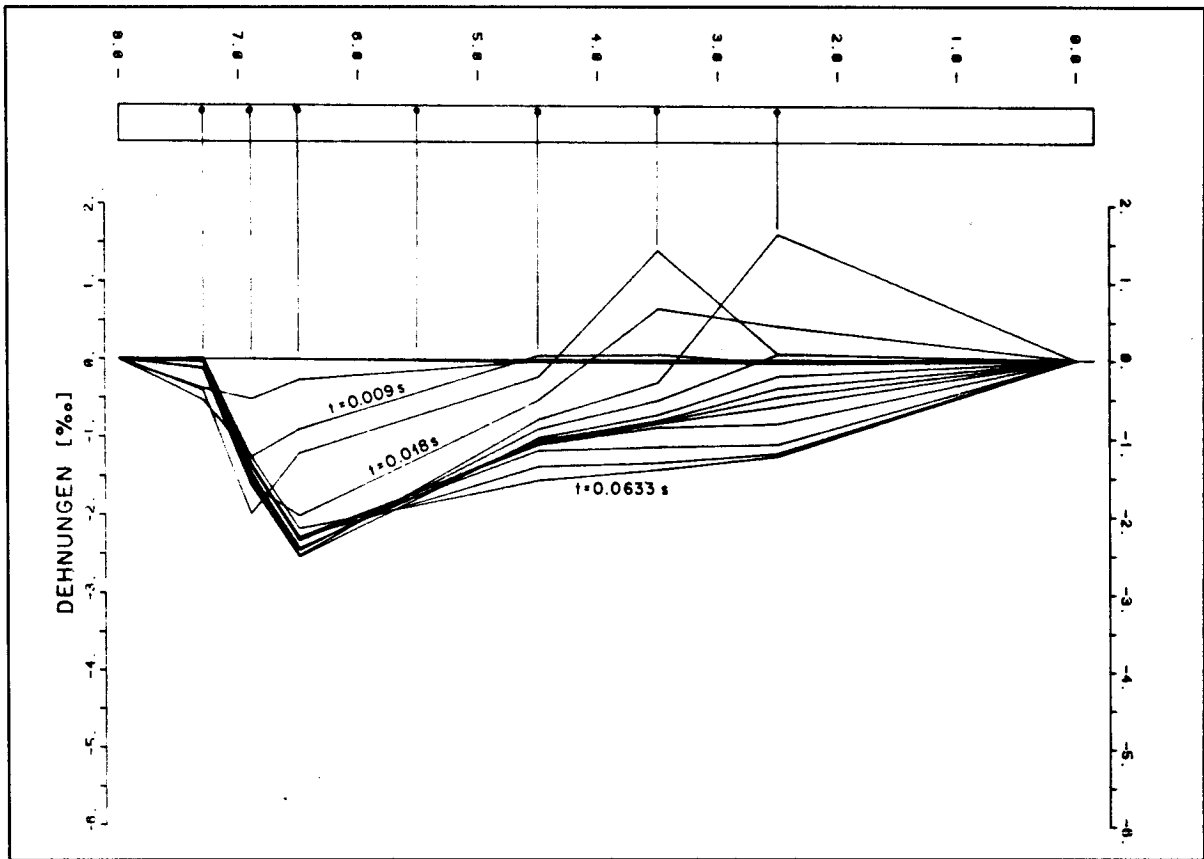


Bild B5.1-10: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0,000\text{ s} - 0,063\text{ s}$ ,  $\Delta t = 0,0045\text{ s}$ )

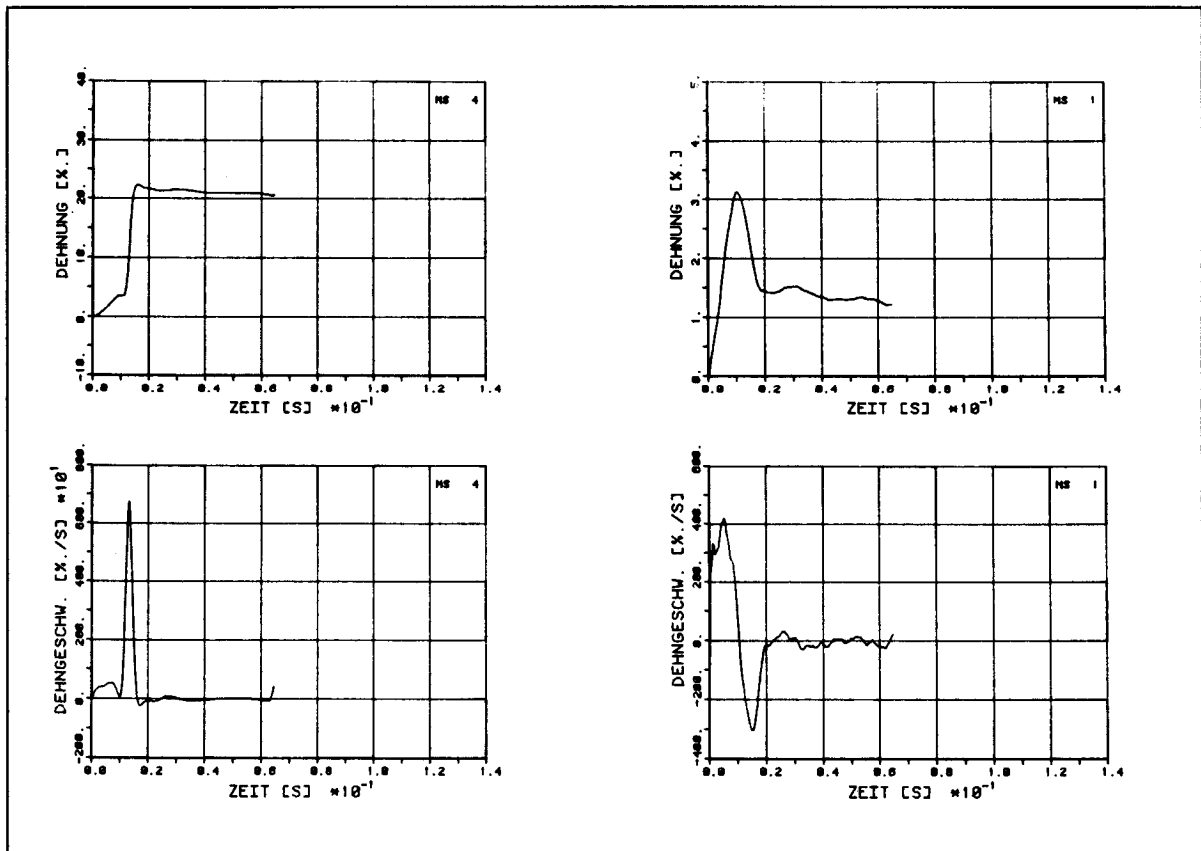


Bild B5.1-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

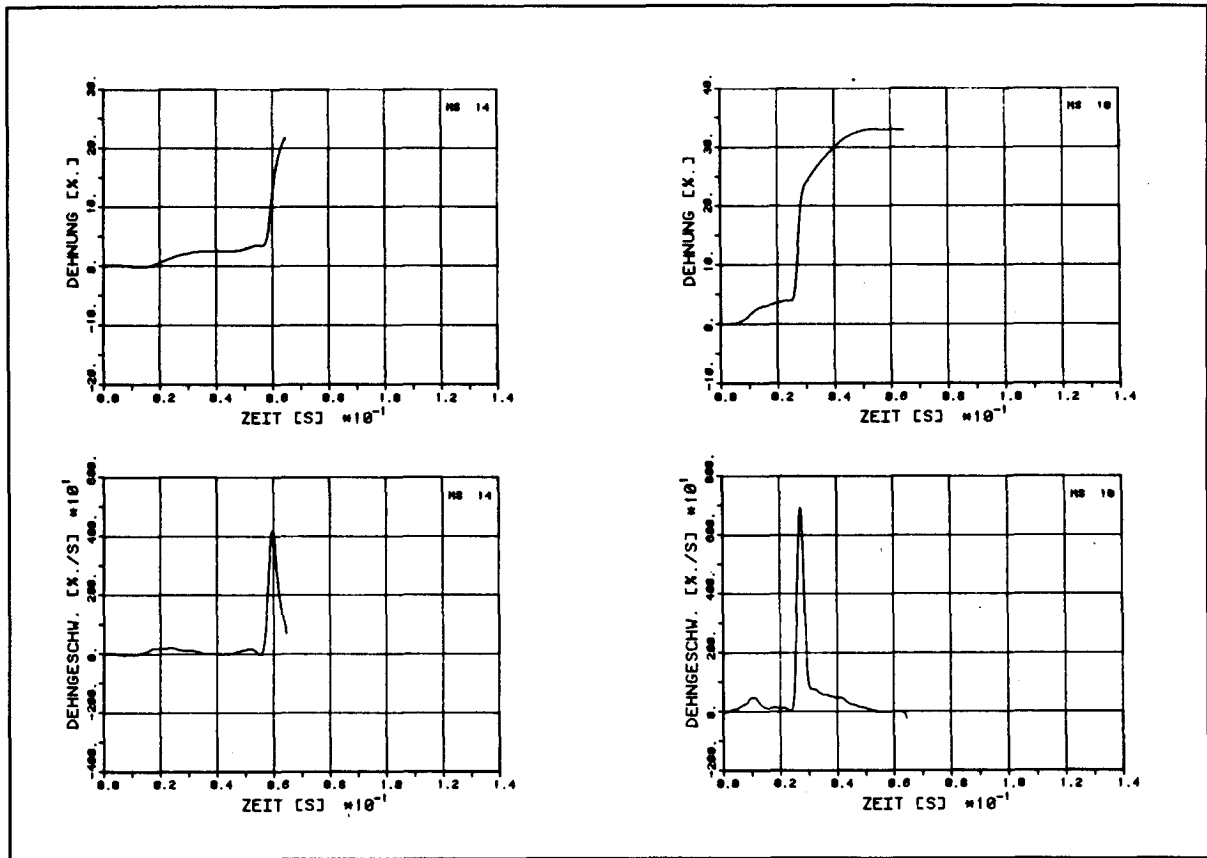


Bild B5.1-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

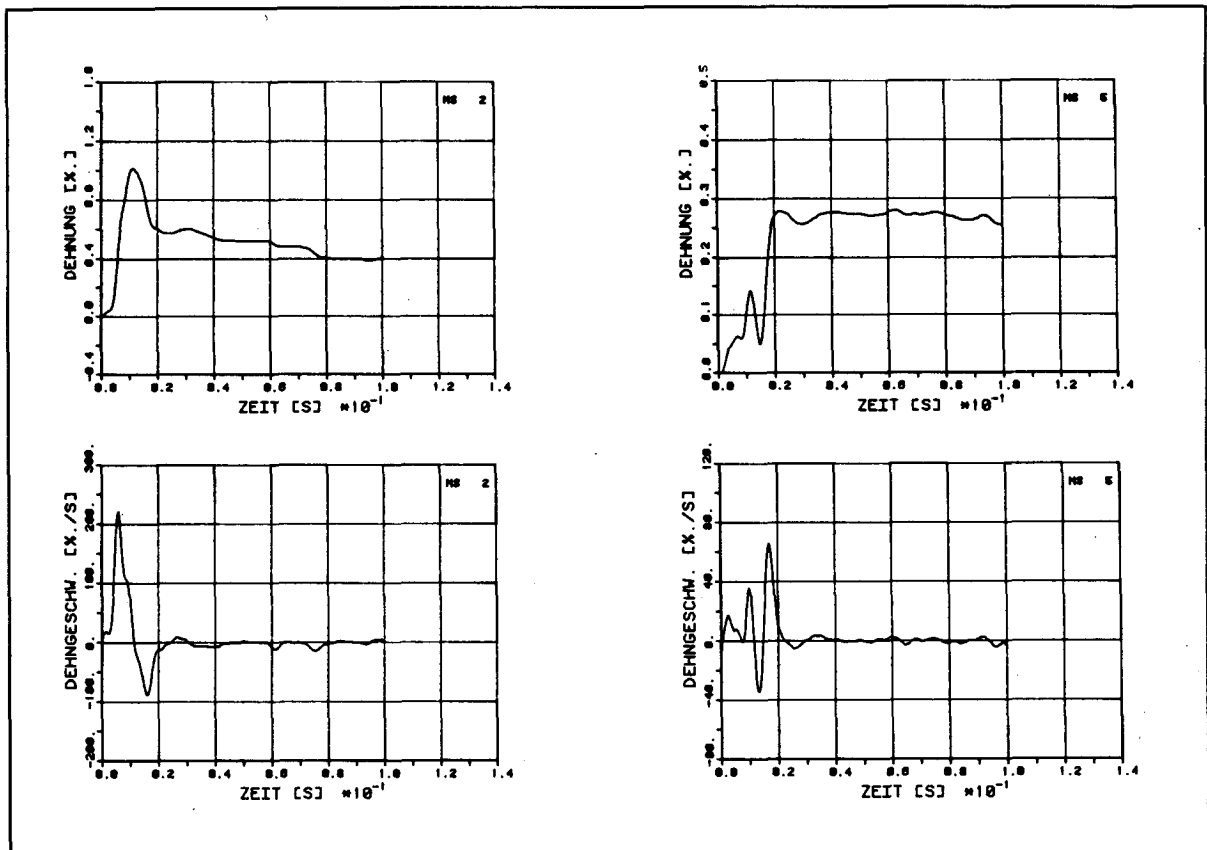


Bild B5.1-13: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

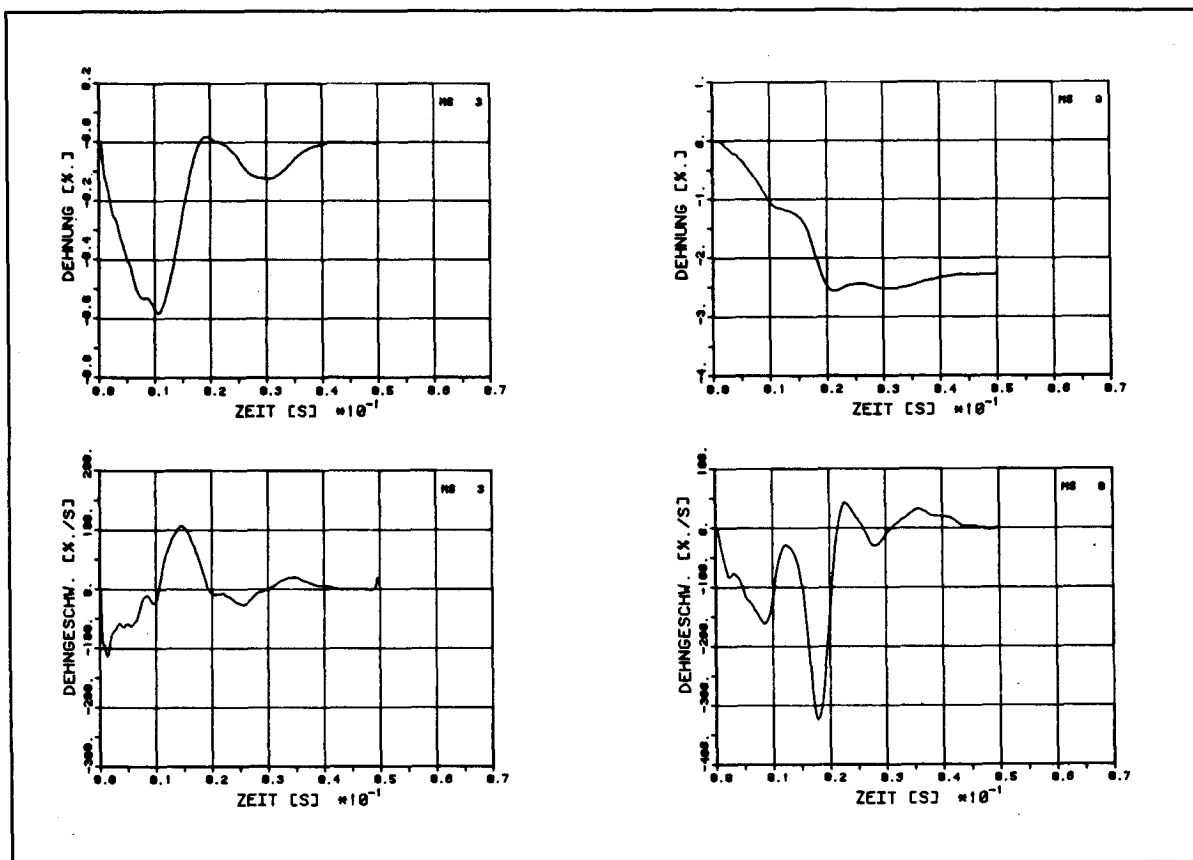


Bild B5.1-14: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

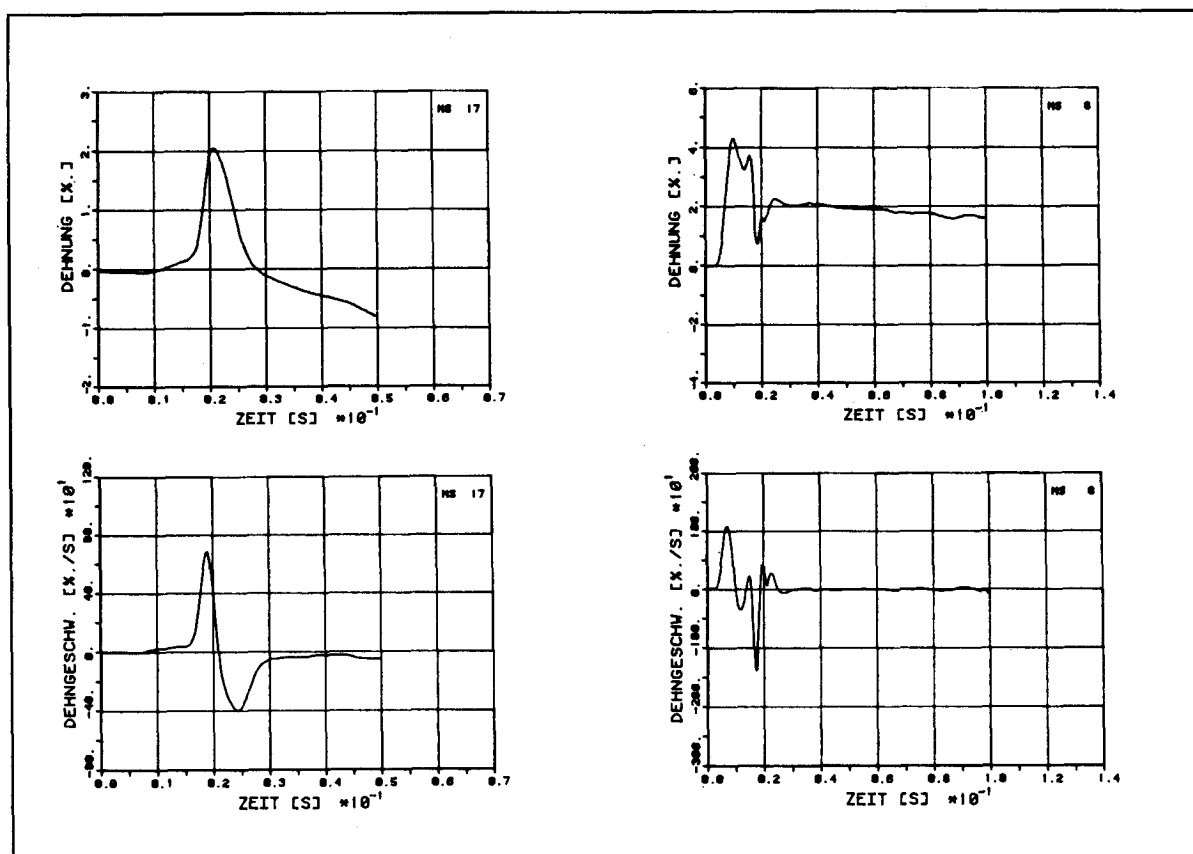


Bild B5.1-15: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen (MS 17) und auf der unteren (MS 8) Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten





B6.5 wird der Beton der Balkenoberseite erstmals gestaucht (spätere Bruchstelle), eine Tendenz, welche sich im 6. Versuch B6.6 noch deutlicher zeigt. Die maximale Rissweite in diesem Querschnitt beträgt bereits 200/100 mm. In diesem Riss erfolgt dann im 7. Versuch B6.7 der Bruch der gesamten unteren Längsbewehrung, wobei auch die angrenzenden Balkenteile im letzten Versuch noch eine beachtliche Zusatzbeanspruchung erfahren haben, weist doch der Balken nach Abschluss der Versuche zwischen  $x = 1.80$  m und  $x = 5.40$  m neben der Bruchstelle bei  $x = 3.20$  m Rissweiten auf zwischen 50/100 mm und 450/100 mm. Alle Risse entlang des Balkens sind praktisch über die ganze Balkenhöhe durchgehend.

Die Bruchstelle ist praktisch konzentriert auf  $x = 3.20$  m. Seitlich sind nur gerade noch je ein grosser Riss anzutreffen (300/100 mm bzw. 450/100 mm). Der konzentrierte Bruch aller Paralleldrähte bei  $x = 3.20$  m deutet auf einen - mindestens in diesem Bereich - guten Verbund hin. Vergleicht man allerdings die Längenänderung der Vorspanndrähte infolge ihrer initialen Vorspannung und unter Einbezug des übrigen Rissbildes mit den an den beiden Rissufern fehlenden Drahtlängen, muss vermutet werden, dass sich die Drähte auf ihrer ganzen Länge entspannen konnten. Dieser Umstand deutet möglicherweise darauf hin, dass zwar grundsätzlich ein guter Verbund vorhanden war, dieser dann aber während des Bruches der Paralleldrähte praktisch verloren ging. Die schlaff eingelegte, untere Längsbewehrung ist ebenfalls gerissen, nachdem sie noch im 6. Versuch B6.6 an dieser Stelle infolge der starken Rückfederung des Balkens gestaucht wurde. Der Beton der Druckzone lässt sich nach Abschluss der Versuche im Bruchbereich bis auf eine Tiefe von 100 mm leicht loslösen.

Im Aufprallbereich sind trotz intensiver Beanspruchung und allfälliger Schwächungen infolge des dort platzierten festen Ankers keine Schubrisse feststellbar.

#### Bleibende Dehnungen

Die mittels Deformeter gemessenen mittleren Stauchungen bzw. Dehnungen betragen nach dem 6. Versuch B6.6 rund 2 % auf der Balkenoberseite bzw. 14 % auf der unteren Längsbewehrung.

#### Energieaufnahmevermögen

Die aus den Nivellements-Messungen abgeleiteten Krümmungen konzentrieren sich in erster Linie auf einen Bereich zwischen  $x = 2.0$  m und  $x = 5.75$  m, wobei sich die nach Abschluss der Versuche zu  $l_{pl} = 3.75$  m ergebende plastische Länge erst im Verlaufe der Versuche stufenweise ergab. Die mittlere Krümmung beträgt nach Versuch B6.6  $0.012 \text{ m}^{-1}$ , das lokale Maximum  $0.04 \text{ m}^{-1}$ . Bezogen auf die gesamte, zur Verfügung stehende potentielle Energie ist die durch plastische Verformung des Balkens ermöglichte Energieaufnahme gering. Eine Fallhöhe von  $H = 0.20$  m vermag praktisch noch keine plastischen Verformungen zu erzeugen, bei  $H = 0.50$  m beträgt die Energieaufnahme rund 10 %, bei  $H = 1.00$  m rund 20 % und bei  $H = 1.80$  m, wo eine Extrapolation eine Energieaufnahme von rund 40 % ergäbe, tritt bereits Bruch des Balkens ein. Ein Vergleich mit anderen Balken zeigt für konstante Fallhöhen eine lineare Abhängigkeit der Energieaufnahme vom Vorspanngrad.

#### Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen

Ein Vergleich aller mit den vorgespannten Rechteckbalken durchgeführten Versuche zeigt ebenfalls eine lineare Abhängigkeit der gemessenen Aufprallreaktion in Funktion der Fallhöhe in der Form  $(H)^{3/5}$ . Die Gelenkreaktionen wie auch die Beschleunigungen über dem Aufprallpunkt sind für die verschiedenen Fallhöhen von ähnlicher Grösse wie bei den Versuchen mit dem Balken B4.

#### Dehnungsmessungen während der Versuche

Die insgesamt 19 Dehnmessstellen entlang des Balkens bestätigen das ausgeprägte elastische Verhalten des Balkens in den einzelnen Versuchen. Die gemessenen Extremalwerte betragen

für Fallhöhen zwischen  $H = 0.20$  m und  $H = 1.0$  m auf der unteren Längsbewehrung zwischen  $\epsilon = 3$  ‰ und 30 ‰, auf der oberen Längsbewehrung zwischen  $\epsilon = 0.7$  ‰ und 1.7 ‰. Dehnungsmessungen auf 2 verschiedenen Längsbewehrungsstäben im selben Balkenquerschnitt ergeben einen praktisch analogen zeitlichen Verlauf.

#### Dehngeschwindigkeiten

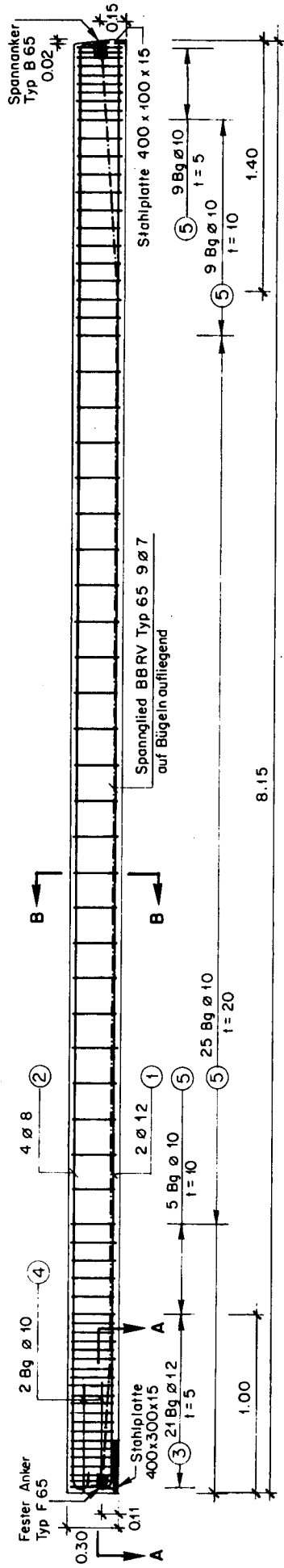
Die in der unteren Längsbewehrung erreichten Dehngeschwindigkeiten liegen zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.01 \text{ s}^{-1}$  und  $\dot{\epsilon} = 0.4 \text{ s}^{-1}$ , in der oberen Längsbewehrung werden Werte von  $\dot{\epsilon} = 0.02$  bis  $\dot{\epsilon} = 4.0 \text{ s}^{-1}$  (B6.6) berechnet. Die hohen Dehngeschwindigkeiten auf der oberen Längsbewehrung sind vermutlich bedingt durch plötzlich sich öffnende Risse auf der Balkenoberseite im Gelenkbereich (Zugzone infolge wellenförmiger Beanspruchung).

#### Eigenfrequenz, Dämpfung

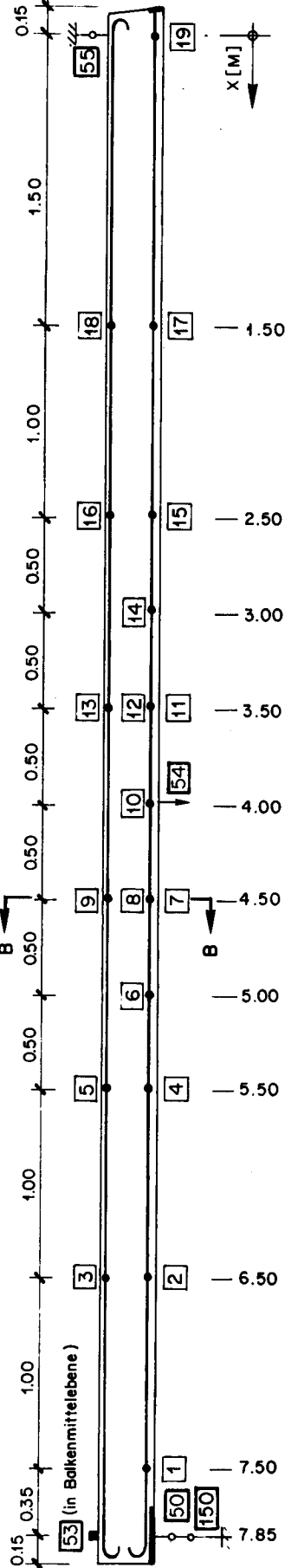
Die in den Ausschwingversuchen ermittelte Eigenfrequenz des Balkens sinkt im Verlaufe der zunehmenden Beanspruchung und infolge der in jedem Versuch ausgeprägteren Rissbildung von  $f = 5.77$  Hz auf  $f = 2.80$  Hz nach dem 6. Versuch B6.6. Der gleichzeitig aus diesen Versuchen ermittelte Dämpfungskoeffizient steigt von  $\xi = 0.014$  vor Beginn der Versuche auf  $\xi = 0.031$  nach Versuch B6.2 und fällt dann wiederum leicht ab auf  $\xi = 0.021$ , um schliesslich vor dem letzten Versuch nochmals auf  $\xi = 0.030$  anzusteigen. Die aus den PCM-Aufzeichnungen, d.h. aus der Auswertung von Dehnungsverläufen und dem Durchbiegungsverlauf in Balkenmitte erhaltenen Dämpfungskoeffizienten ergeben durchwegs leicht höhere Werte, wobei - falls nur die erste Schwingung nach dem Aufprall betrachtet wird - sogar Dämpfungskoeffizienten zwischen  $\xi = 0.10$  und  $\xi = 0.12$  erreicht werden.

# BALKEN B6

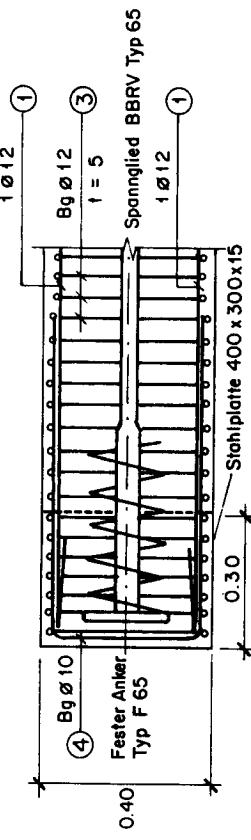
## BEWEHRUNGSPLAN



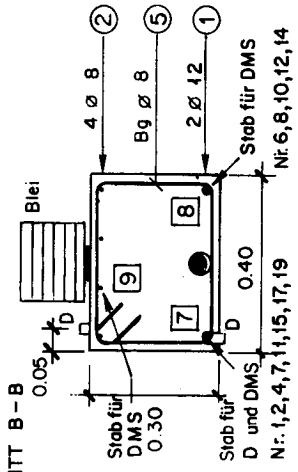
## MESSTELLENPLAN



## SCHNITT A - A

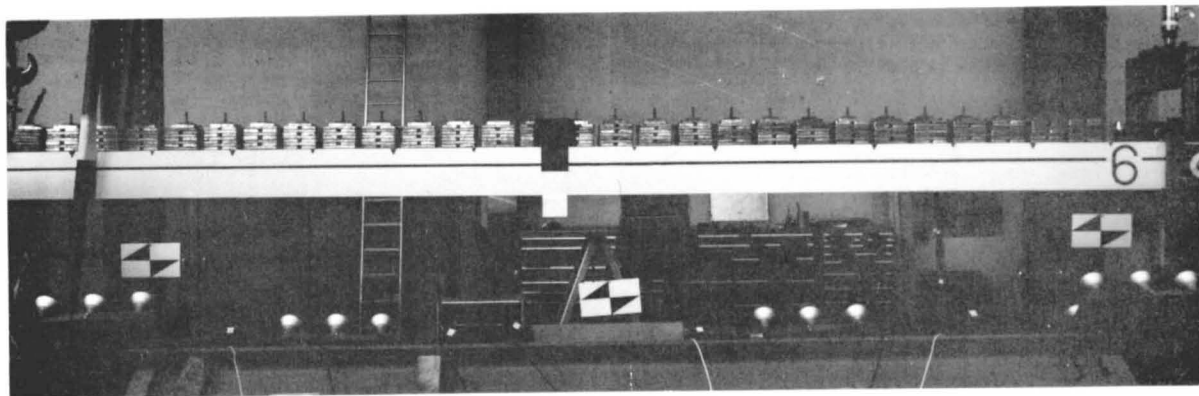


## SCHNITT B - B



Symbol	Nummer der MS	Bezeichnung
<b>INNERE MESSTELLEN (MS)</b>		
—●—	1 - 19	DMS auf Stahl
<b>AEUßERE MESSTELLEN (MS)</b>		
—○—	50, 55	DMS auf Beton
—□—	53	Kraftmessdose
—◇—	54	Beschleunigungsaufn.
—▲—	ohne Angabe	Wegaufnehmer
—■—		Deformmeter

Bild B6.0-1: Bewehrungs- und Messstellenplan



Vor Versuch B6.1

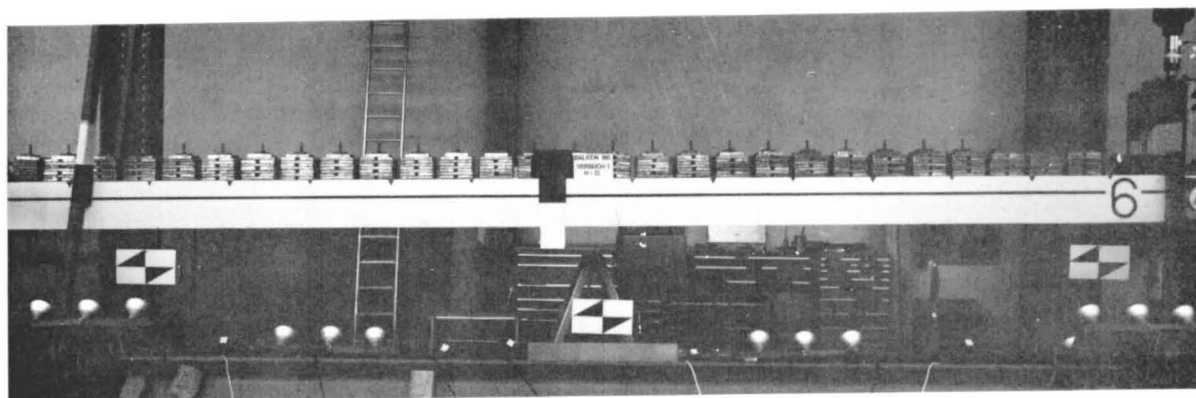
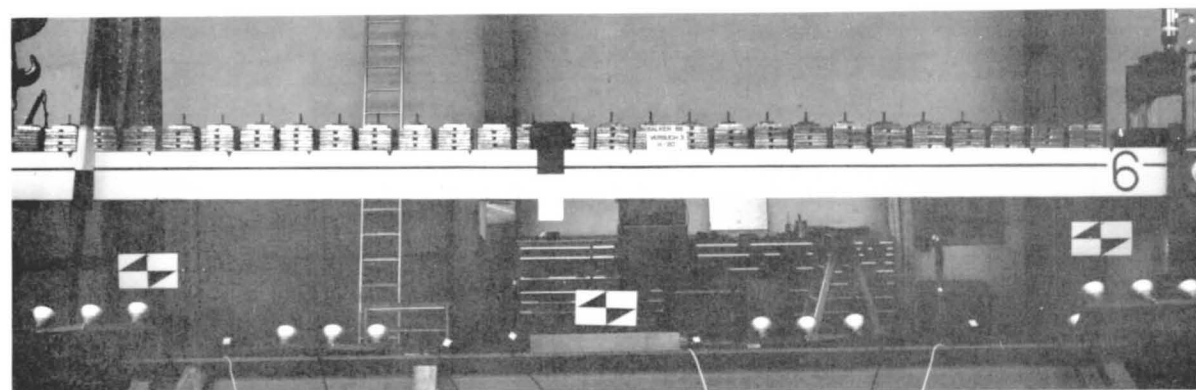
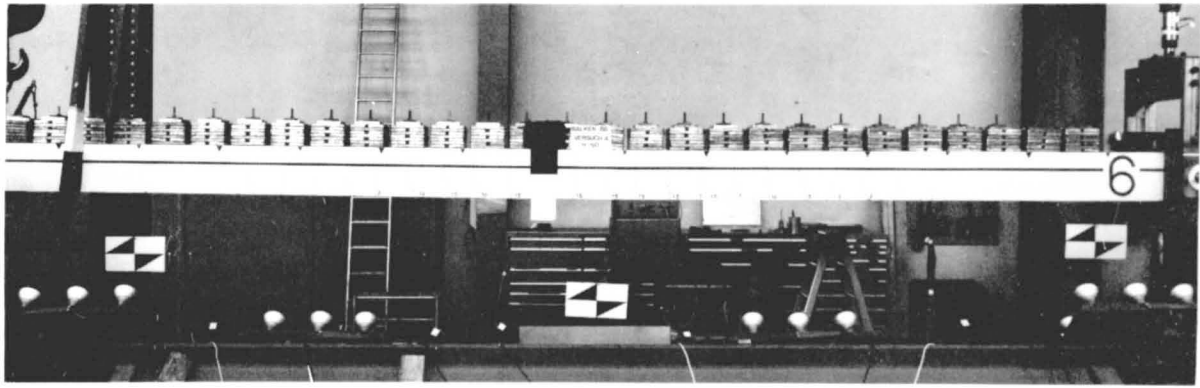
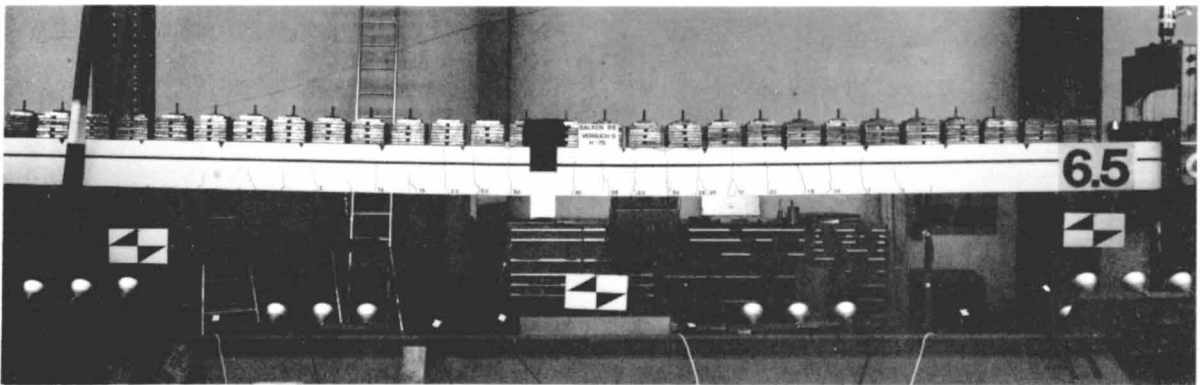
Nach Versuch B6.1 , Fallhöhe  $H = 0.00$  mNach Versuch B6.2 , Fallhöhe  $H = 0.10$  mNach Versuch B6.3 , Fallhöhe  $H = 0.20$  m

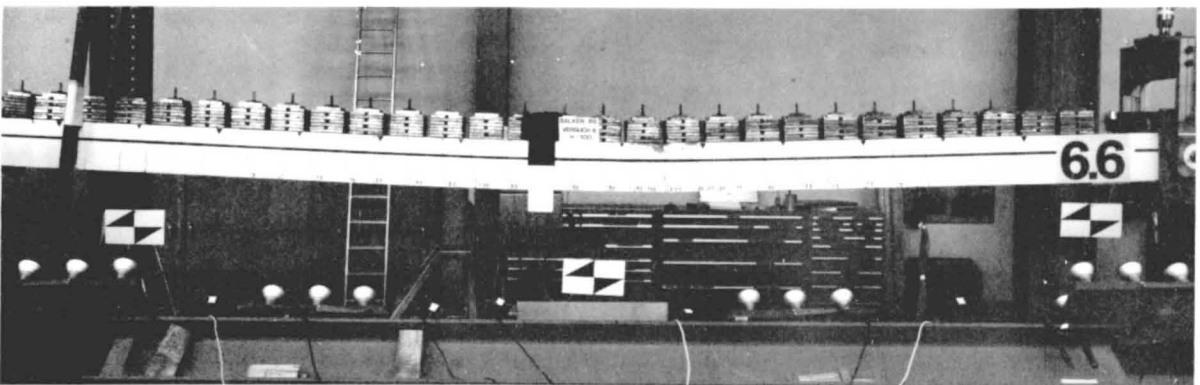
Bild B6.0-2: Uebersichtsfotos vor Versuch B6.1 und nach den Versuchen B6.1, B6.2 und B6.3



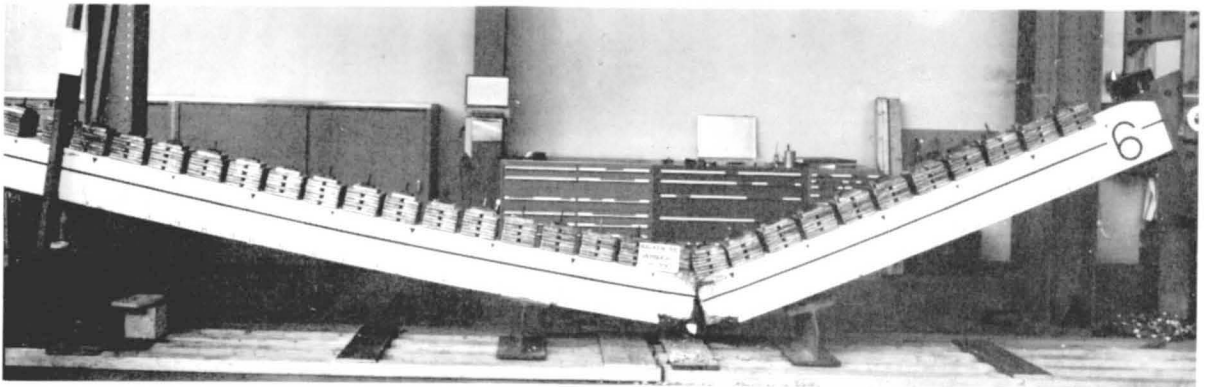
Nach Versuch B6.4 , Fallhöhe  $H = 0.50$  m



Nach Versuch B6.5 , Fallhöhe  $H = 0.75$  m



Nach Versuch B6.6 , Fallhöhe  $H = 1.00$  m

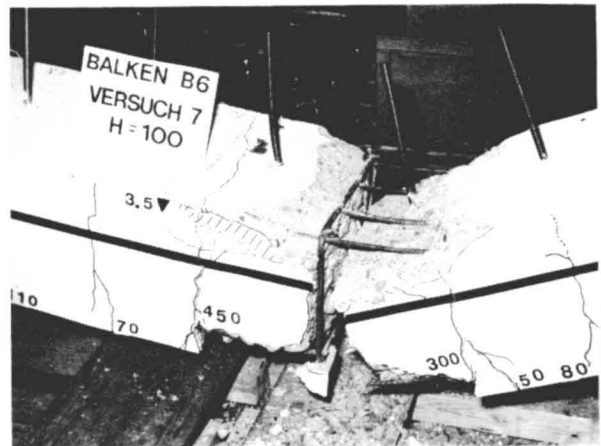


Nach Versuch B6.7 , Fallhöhe  $H = 1.00$  m

Bild B6.0-3: Uebersichtsfotos nach den Versuchen B6.4 bis B6.7



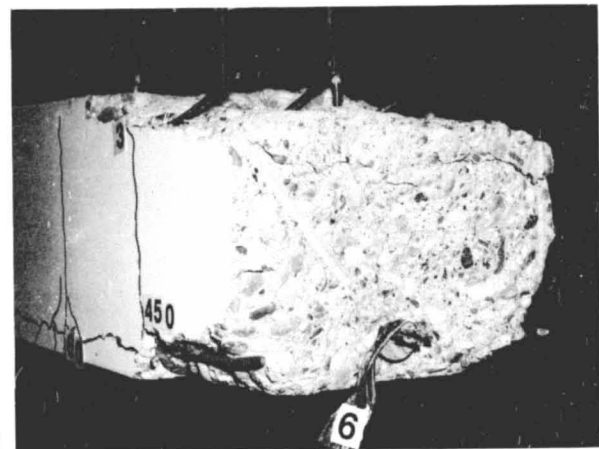
Vorderseite,  $x = 3.20$  m  
Bereich der grössten Beanspruchung



Vorder- und Oberseite,  $x = 3.20$  m  
Bleiplatten entfernt



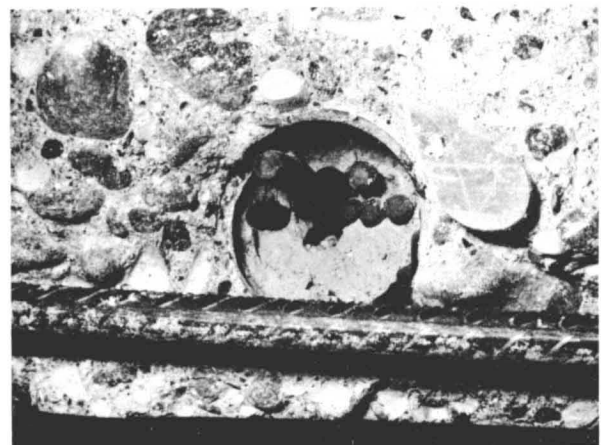
Rückseite,  $x = 3.20$  m  
Bleiplatten entfernt



Bruchfläche und Rückseite des rechten Balken-  
teils (Seite Gelenk), Spannglied und untere  
Längsbewehrung gerissen, obere Längsbewehrung  
durchgetrennt.



Rechte Bruchfläche  
Gerissene Drähte des Spanngliedes



Linke Bruchfläche

Bild B6.0-4: Detailaufnahmen nach den Versuchen

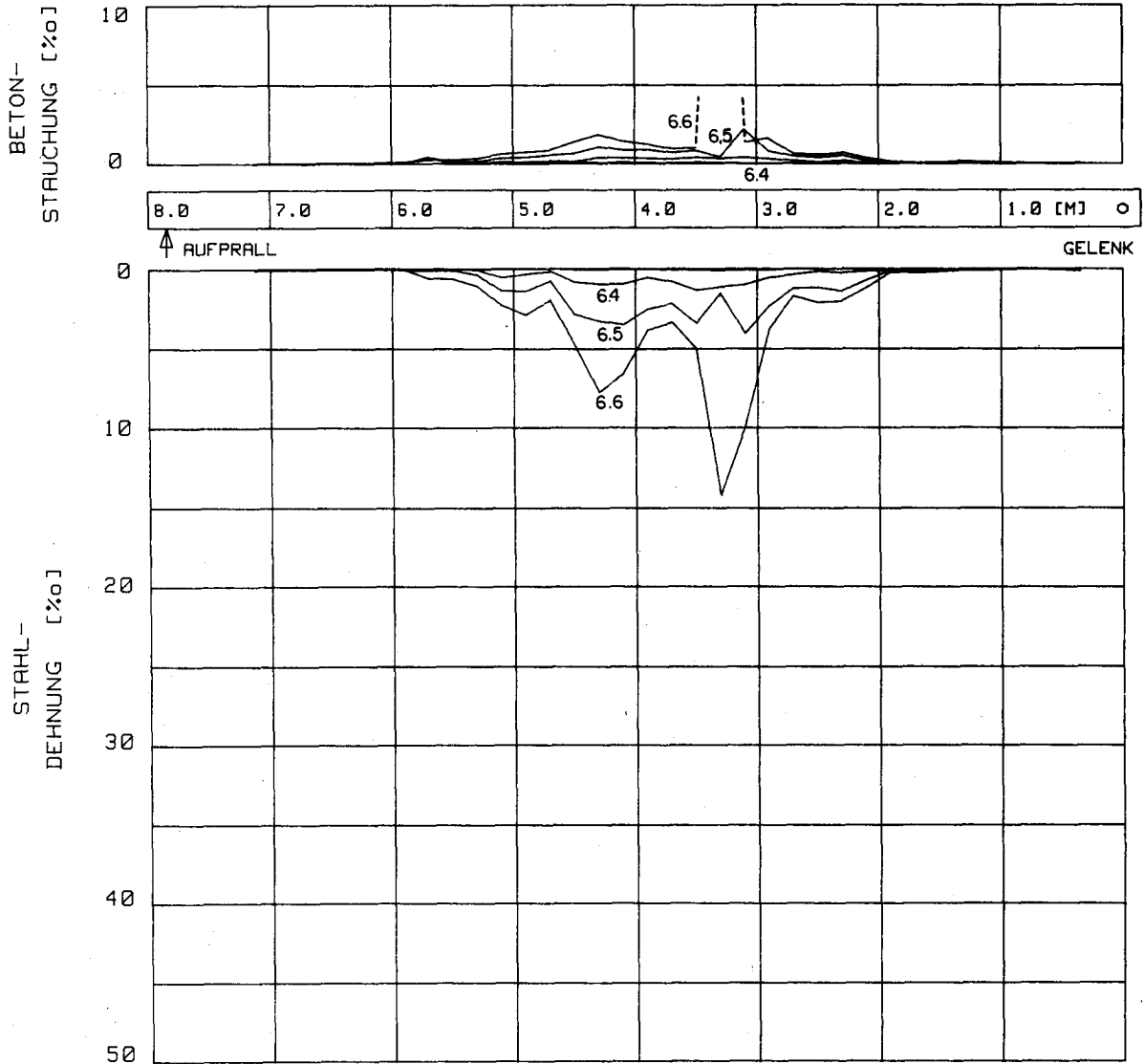


Bild B6.0-5: Dehnungsverläufe aus den Deformetermessungen für die Versuche B6.3 bis B6.6

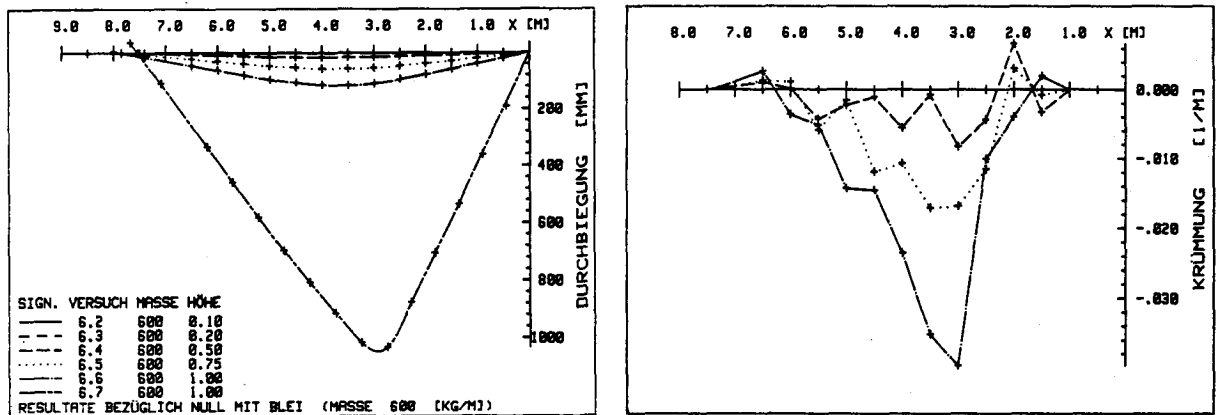


Bild B6.0-6: Biegelinien und Krümmungsverläufe aus den Nivellements - Messungen für die Versuche B6.2 bis B6.7

VERSUCH B6.1

BALKENPARAMETER :  
 - FALLHOEHE: 0. METER  
 - BRUCHMOMENT: 176 KILO-NEWTON-METER  
 - MASSE: 600. KILOGRAMM / MEYER  
 - BEMERKUNGEN: EICHUNG SIEHE DATENBLATT

DIGITALISIERUNGSPARAMETER: - ANZAHL SAMPLES BEI DER EICHUNG : 400.  
 BEI DER MESSUNG : 10240.  
 - ABTASTFREQUENZ CA. : 4420. HZ

- BANDGESCHWINDIGKEIT BEIM VERSUCH: 30.0 IPS  
 BEIM DIGITALISIEREN : 3.7 IPS  
 --> ZEITFAKTOR : 8.0

ZUSAMMENSTELLUNG DER EINZELNEN KANALE

*****									
A/D-WANDLER	AUFZEICHNUNG	UMRECHNUNG	KORR.-FAKTOR	VERST.-FAKTOR	F(X) = A * X + B	EICHPARAMETER	BEMERKUNGEN	*****	
KAN NR:	PCM NR:	EICHGROSSE: WERT	DIM:	FAKTOR	FAKTOR	F(X)			
*****									
0	0	S	I	0.000 [ ]	0.00	0.00	0.00000	0.00000	SYNCH. LOSS 1
1	0	S	I	0.000 [ ]	0.00	0.00	1.00000	0.00000	SYNCH. LOSS 2
2	0	S	I	0.000 [ ]	0.00	0.00	1.00000	0.00000	SYNCH. LOSS 3
*****									
8	0	F	I	347.420 [KN]	2.000	0.20	0.06857	0.27410	EV-IM POS. BER. BEGRENZT
9	0	F	I	159.550 [KN]	2.000	0.20	0.03174	-0.09523	
10	0	A	I	4.600 [G]	2.000	4.00	0.02016	-0.05772	
11	0	E	I	1.000 [%]	2.060	0.20	0.00019	-0.00032	
12	0	E	I	1.000 [%]	2.060	0.20	0.00019	-0.00032	
13	0	E	I	1.000 [%]	2.060	0.20	0.00019	-0.00032	
14	0	F	I	1072.000 [KN]	2.000	0.10	0.10495	-0.10784	
15	0	W	I	762.160 [MM]	2.000	1.00	0.06396	-0.06827	
16	0	E	I	1.000 [%]	2.060	0.20	0.00019	-0.00032	
17	0	E	I	1.000 [%]	2.060	0.10	0.00010	-0.00006	
18	0	E	I	1.000 [%]	2.060	0.10	0.00001	0.00001	
19	0	E	I	1.000 [%]	2.030	0.20	0.00020	0.00079	
20	0	F	I	1.000 [%]	2.030	0.50	0.00049	0.00252	
21	0	E	I	1.000 [%]	2.030	0.50	0.00049	0.00216	
22	0	E	I	1.000 [%]	2.030	0.50	0.00049	0.00245	
23	0	E	I	1.000 [%]	2.030	0.50	0.00048	-0.00048	
24	3	E	I	10.000 [%]	2.060	1.00	0.01157	-0.10536	
25	3	E	I	10.000 [%]	2.060	1.00	0.01159	-0.06220	
26	3	E	I	10.000 [%]	2.060	1.00	0.01158	-0.05413	
27	3	E	I	10.000 [%]	2.060	1.00	0.01161	-0.04849	
28	3	E	I	10.000 [%]	2.060	1.00	0.01165	-0.06571	
29	3	E	I	10.000 [%]	2.060	1.00	0.01165	-0.05494	
30	3	E	I	10.000 [%]	2.060	1.00	0.01165	-0.06065	
31	3	E	I	10.000 [%]	2.060	1.00	0.01164	-0.05412	
*****									

Bild B6.1-1: Informationsblatt PCM - Daten



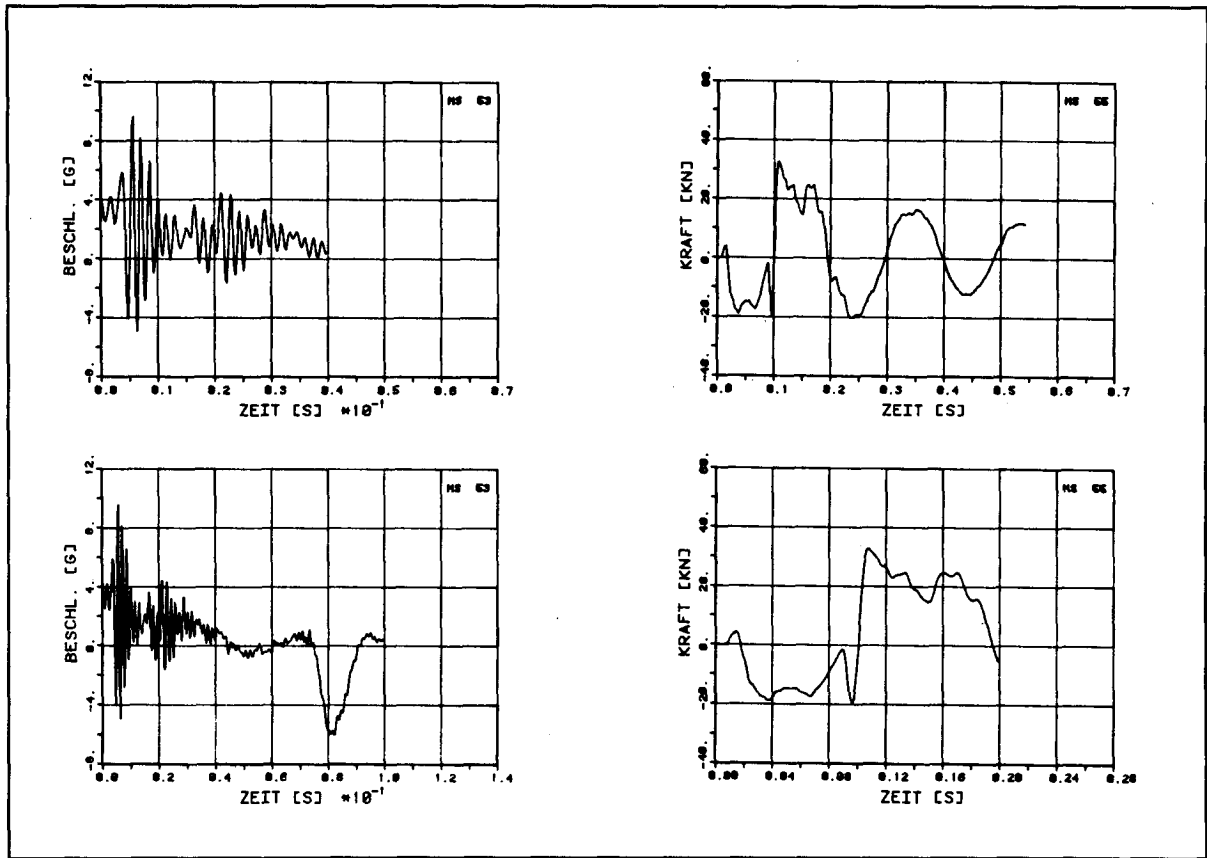


Bild B6.1-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion

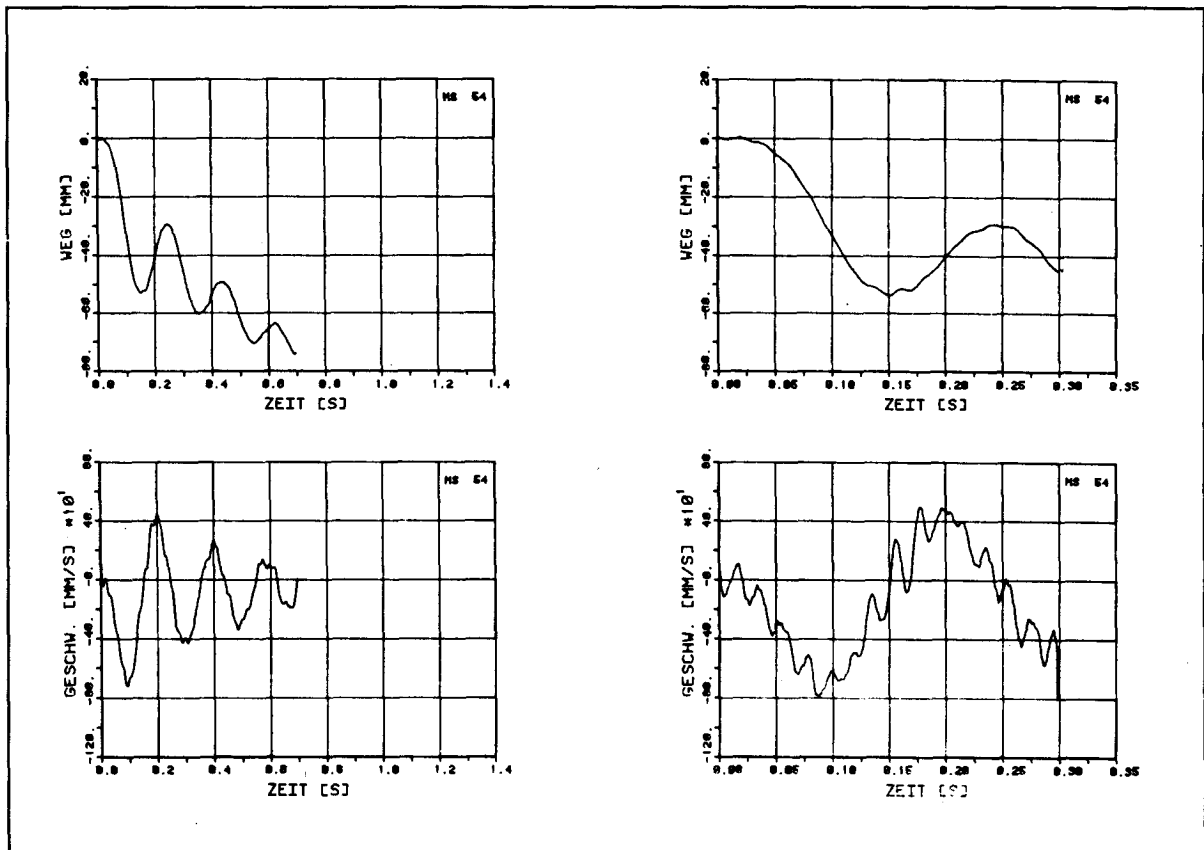


Bild B6.1-3: Zeitverläufe der Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeiten

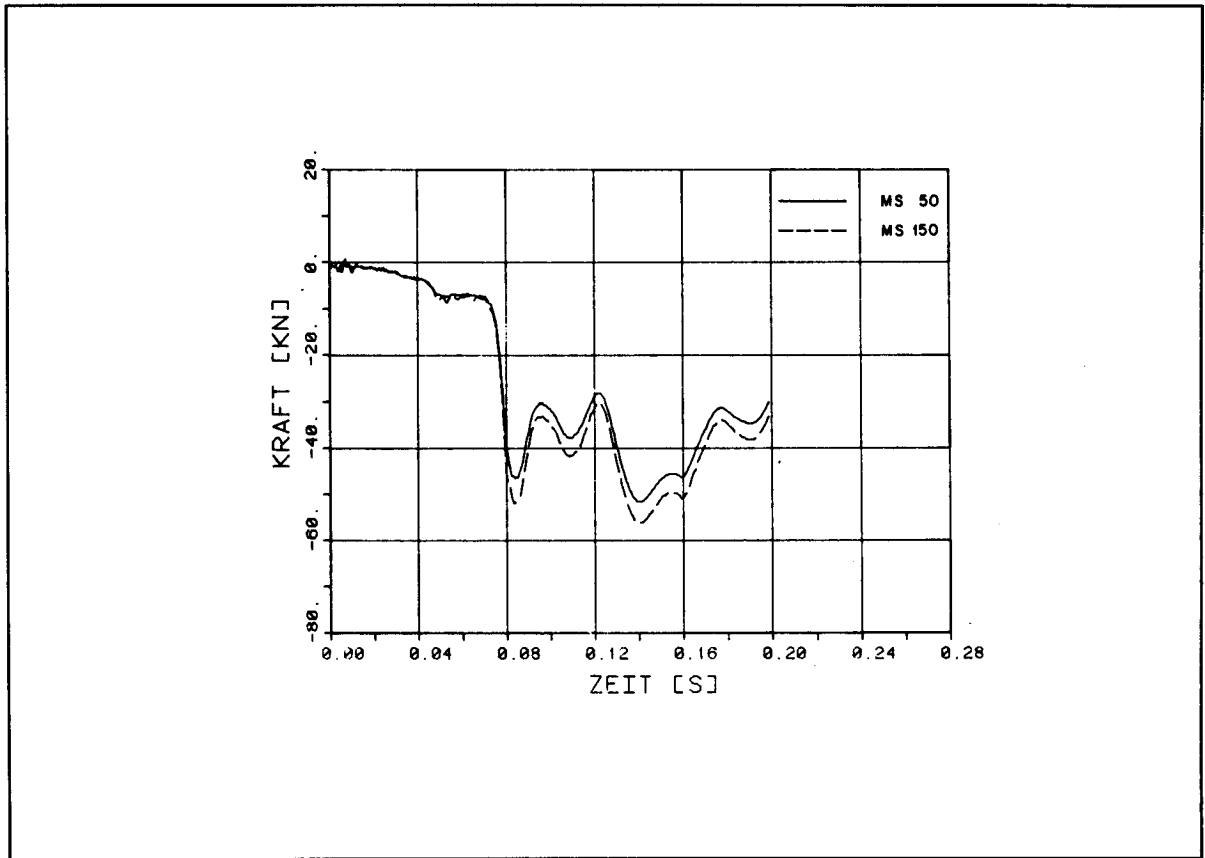


Bild B6.1-4: Zeitverläufe der beiden Aufprallreaktionen in gemeinsamer Darstellung

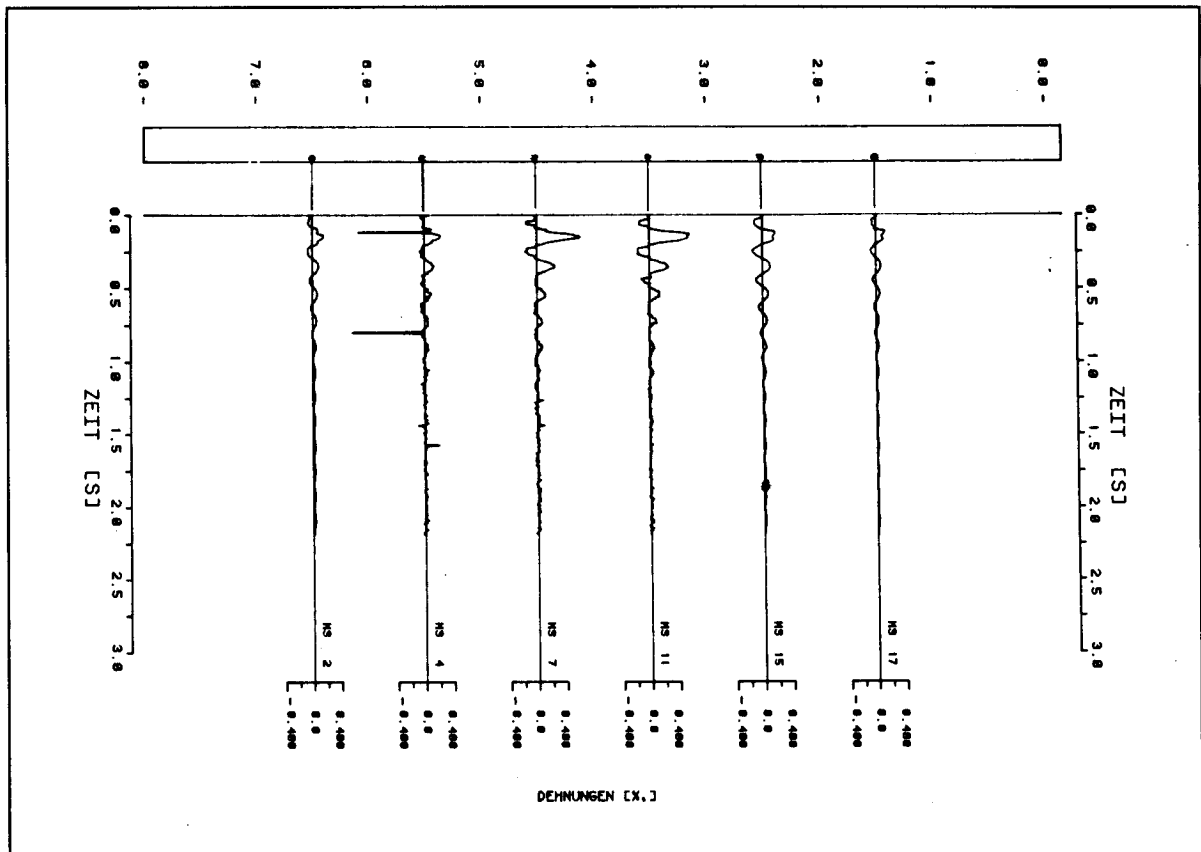


Bild B6.1-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

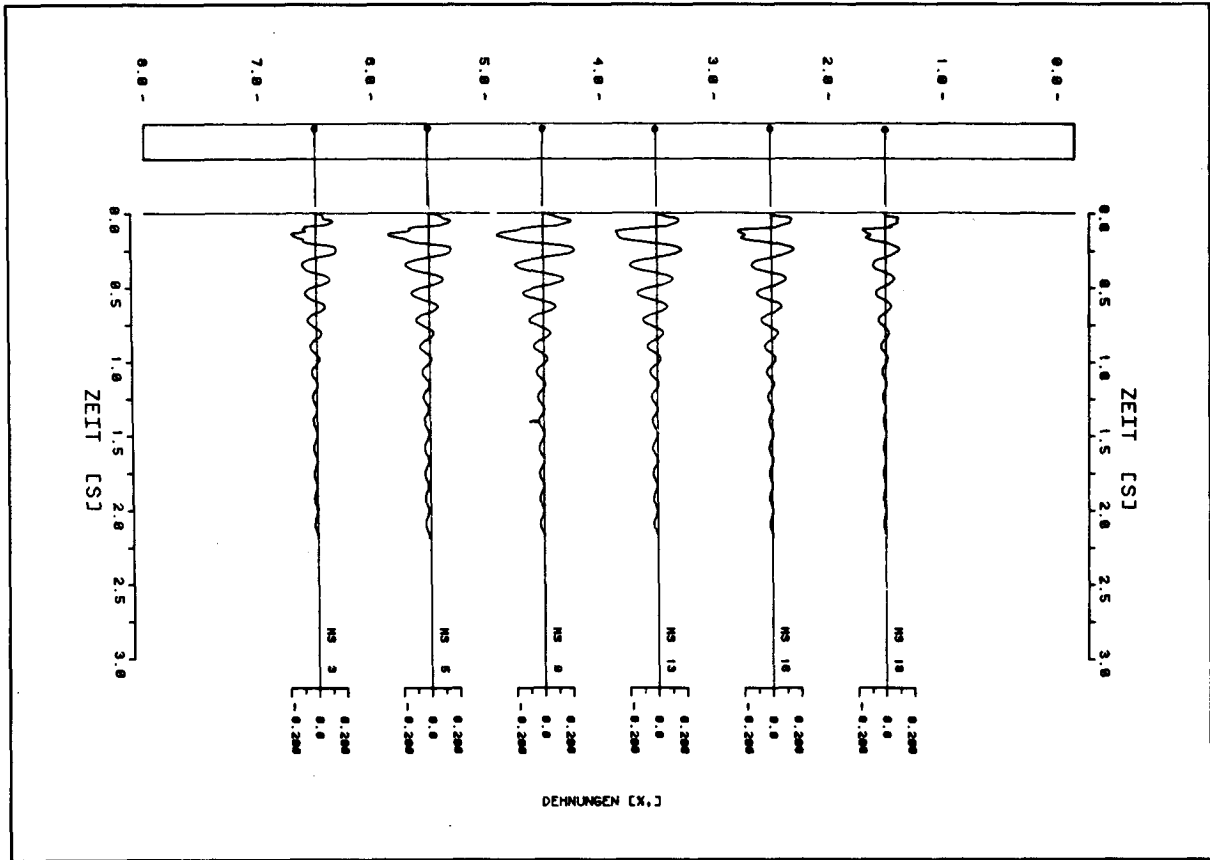


Bild B6.1-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

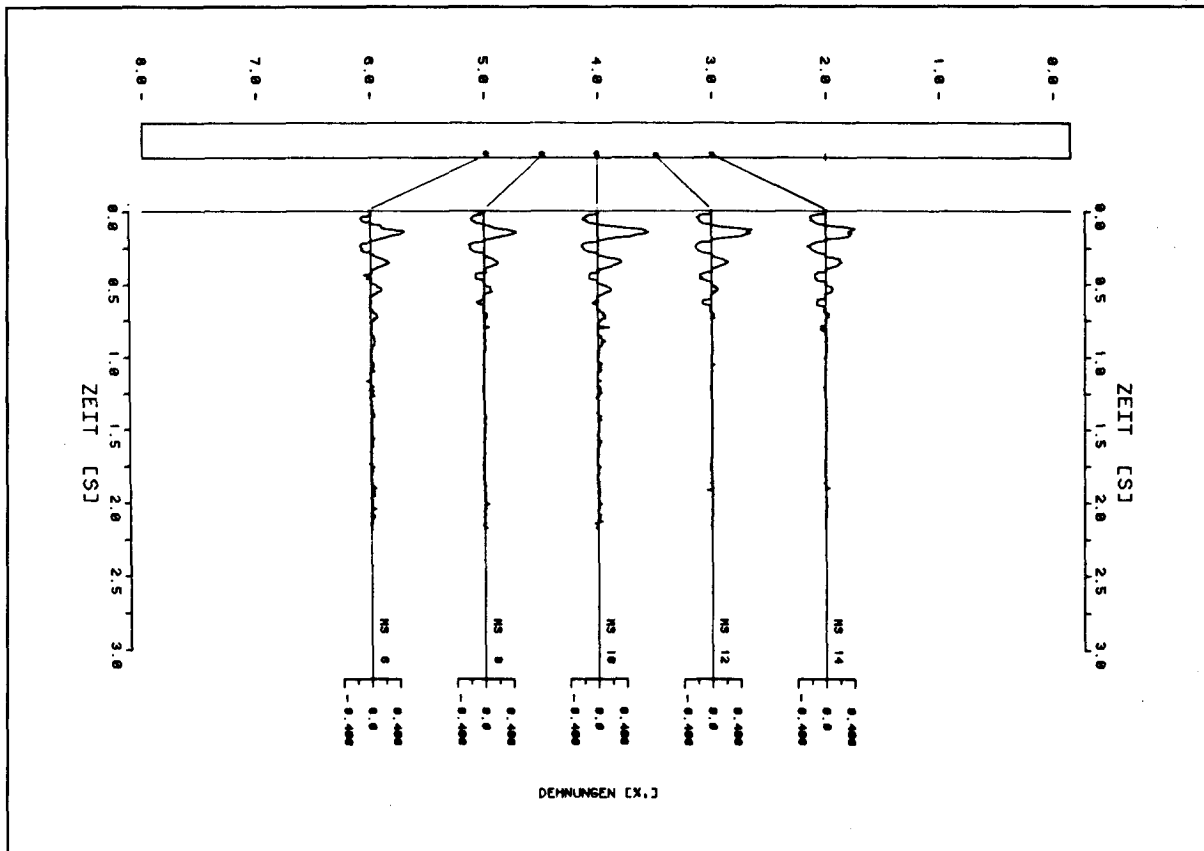


Bild B6.1-7: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

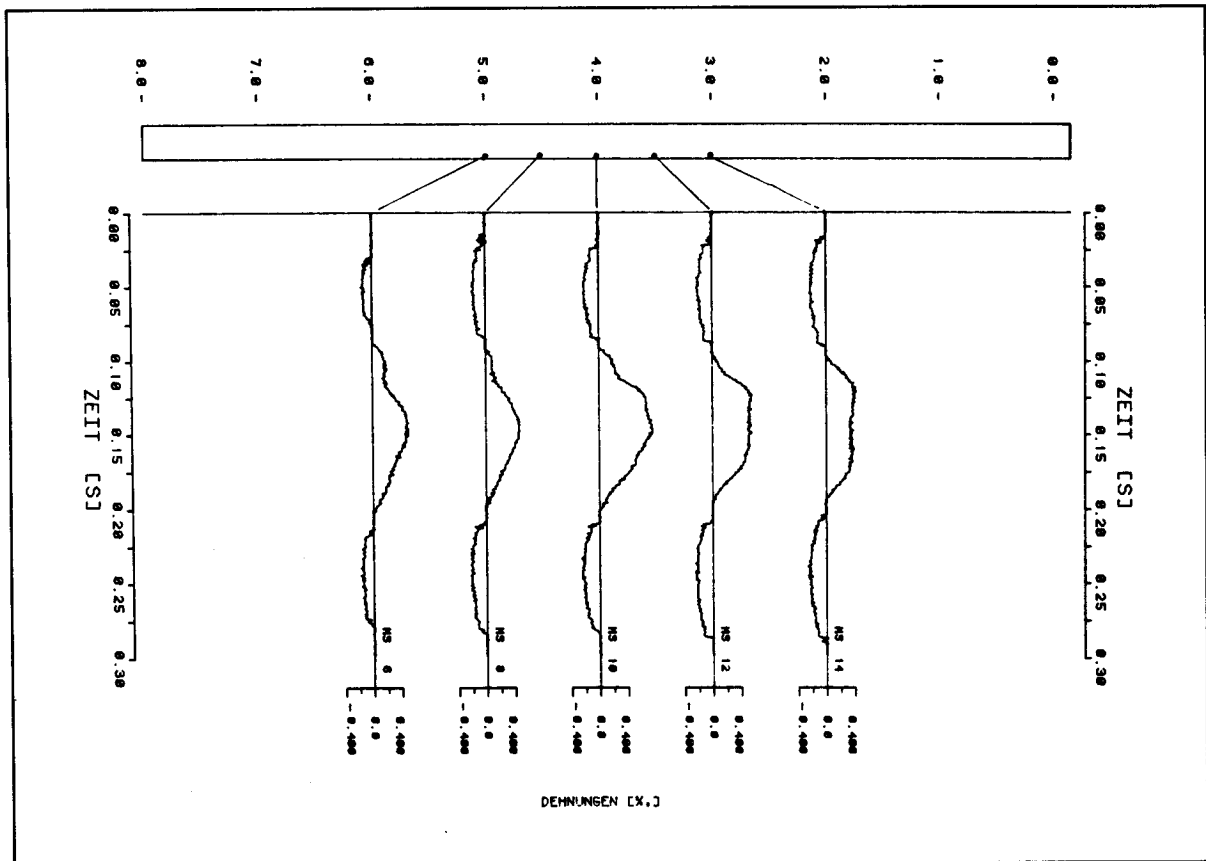


Bild 6.1-8: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

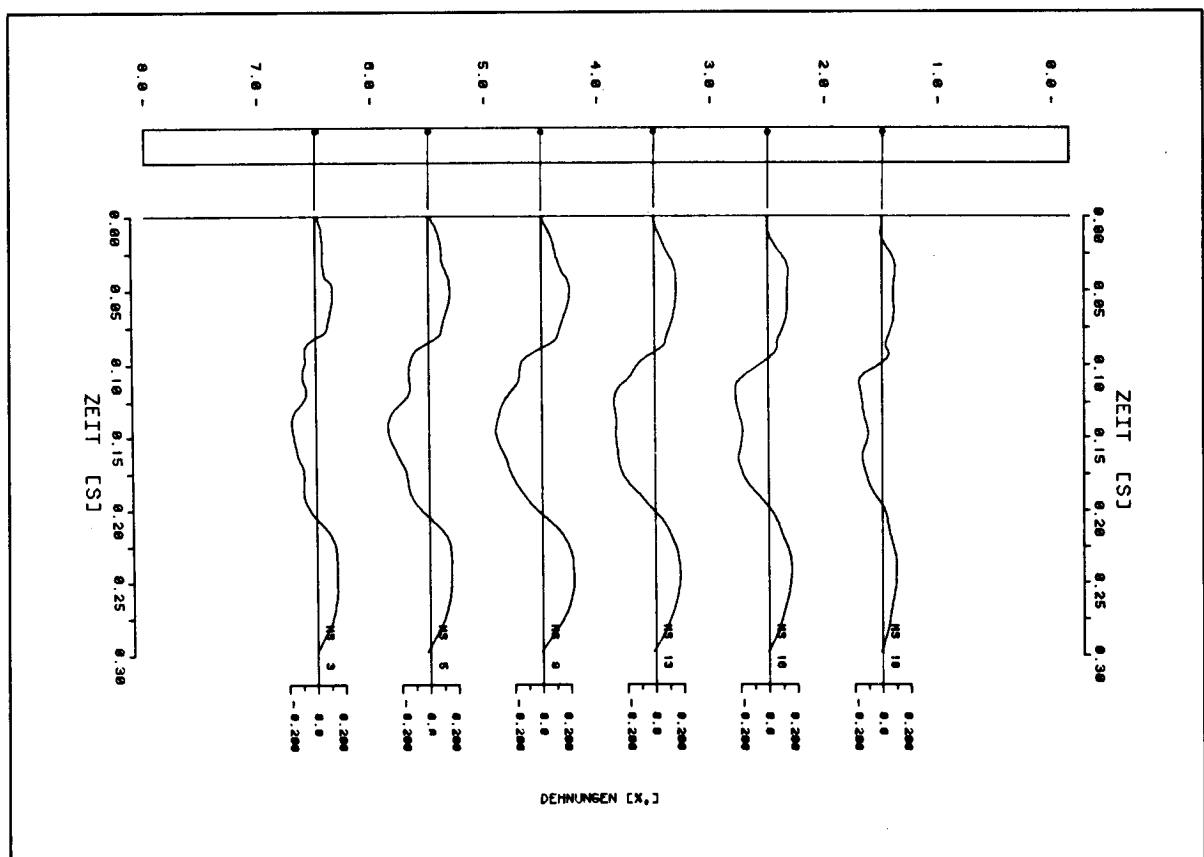


Bild B6.1-9: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

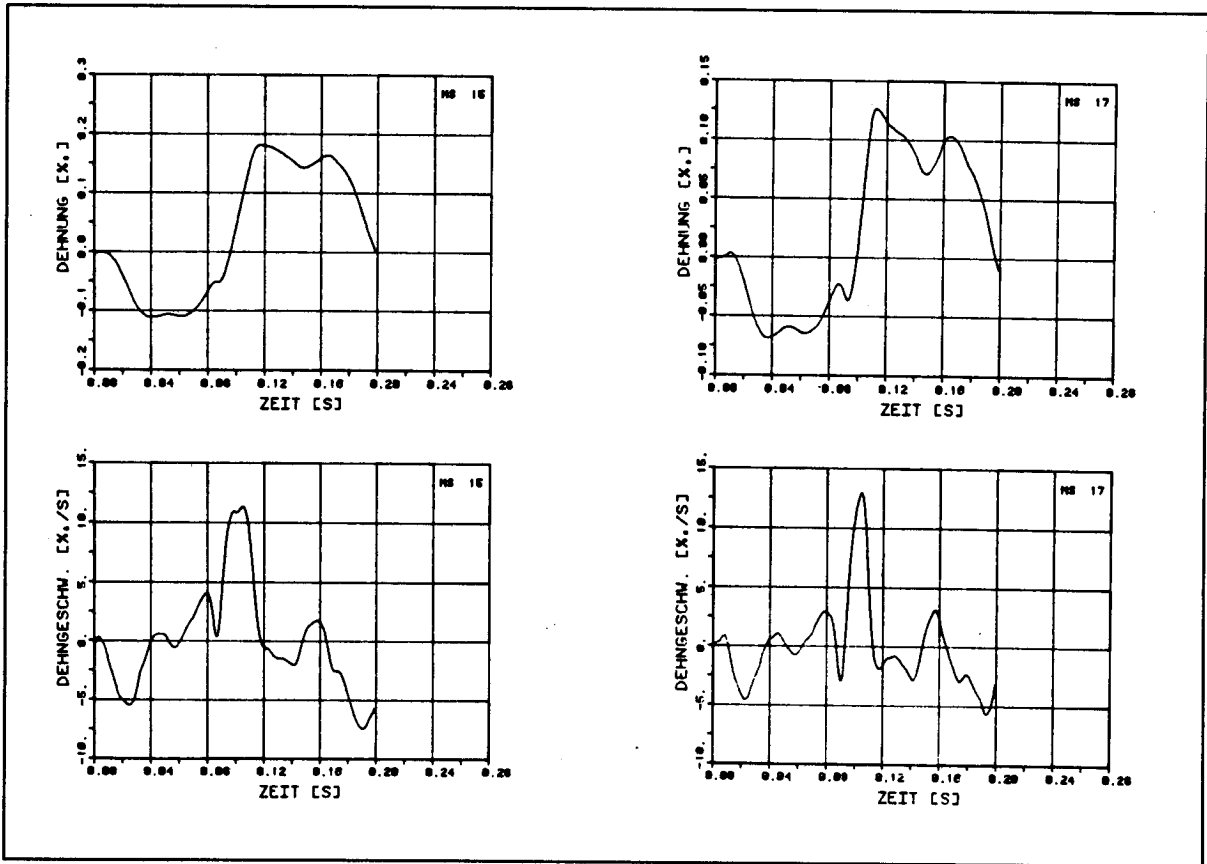


Bild B6.1-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

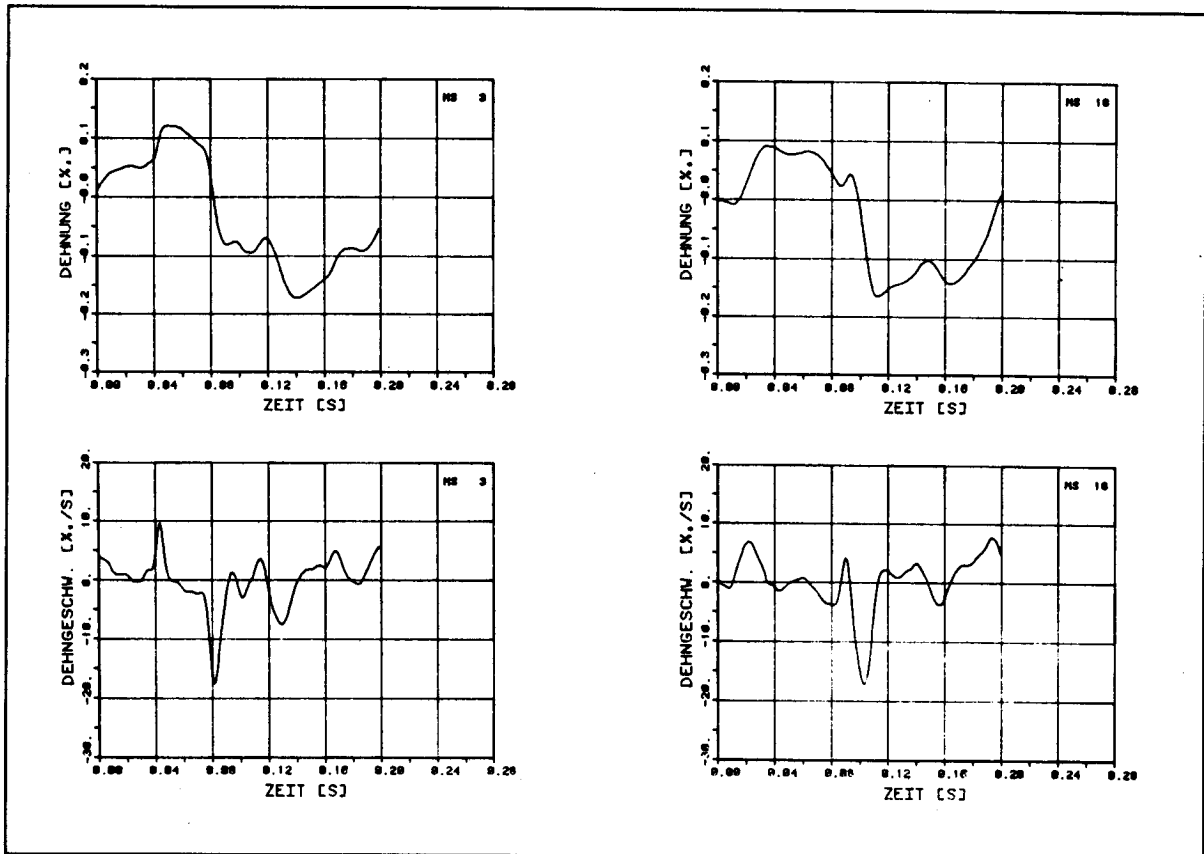


Bild B6.1-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

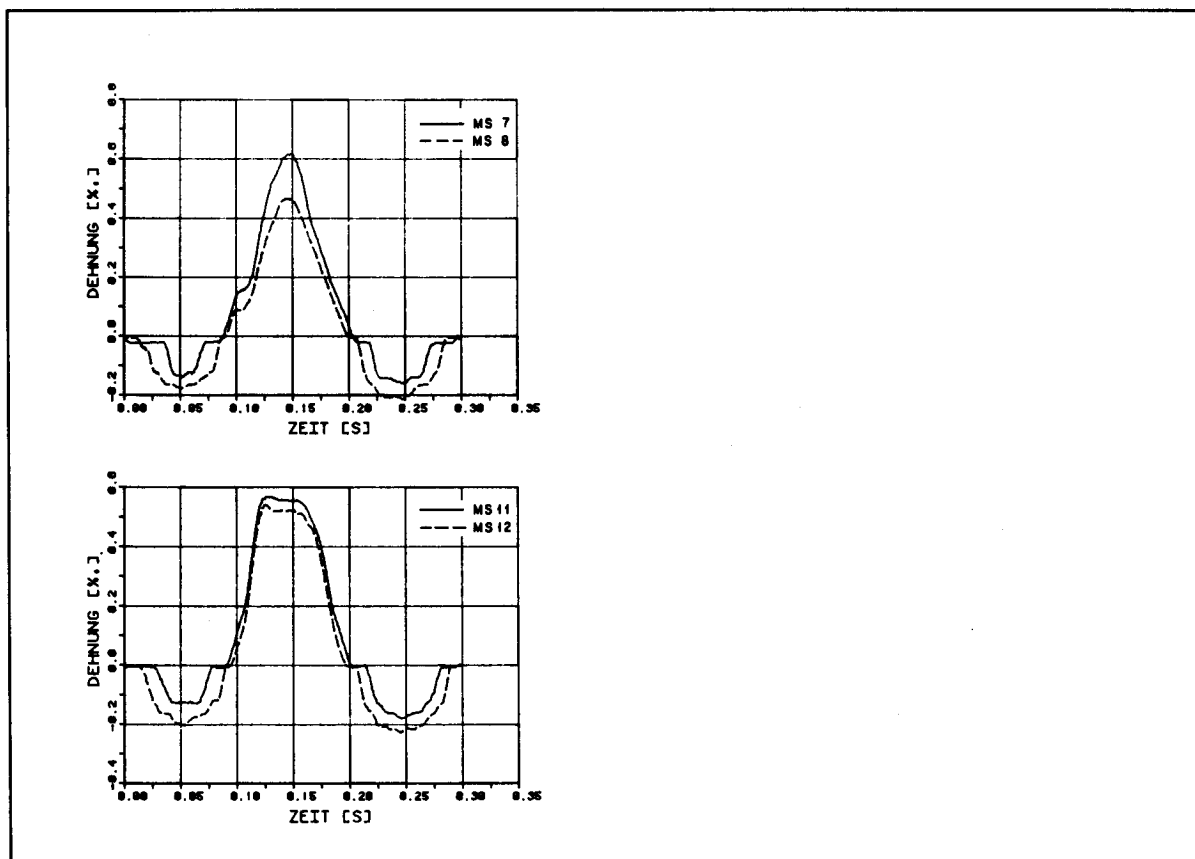


Bild B6.1-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung im gleichen Balkenquerschnitt

## VERSUCH B6.2

Im Versuch B6.2, ausgeführt mit einer Fallhöhe von  $H = 0.10$  m, bleibt der Balken im elastischen Bereich. Die nivellierte Endlage entspricht vollkommen der Ausgangslage vor dem Versuch. Der Balken ist immer noch praktisch ungerissen, es haben sich gegenüber dem Ausgangszustand keine weiteren Risse gebildet. Dies wird auch aus dem Ausschwingversuch ersichtlich. Die Frequenz beträgt  $f = 5.71$  Hz gegenüber  $f = 5.74$  Hz vor dem Fallversuch B6.2. Die gemessenen maximalen Dehnungen betragen auf der unteren Längsbewehrung rund 2 ‰, auf der oberen Längsbewehrung rund 0.4 ‰. Die maximale Aufprallreaktion fügt sich gut in die lineare Beziehung zwischen Aufprallreaktion und Fallhöhe ( $H^{3/5}$ ) ein. Die Übereinstimmung der Aufprallreaktionen - gemessen in der Kalotte des Stossdämpfers bzw. im Dreibein darunter - ist gut. Das Maximum wird nach 0.04 s erreicht.

VERSUCH B6.3

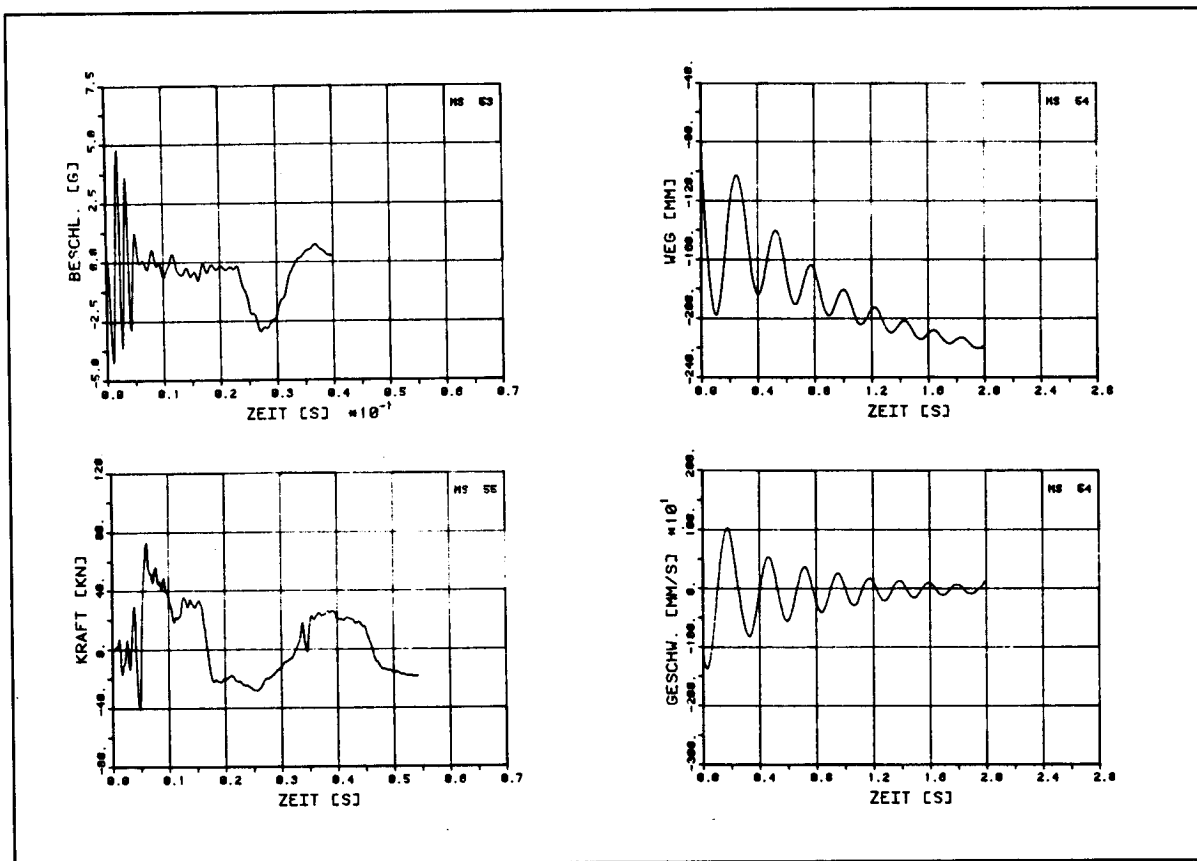


Bild B6.3-1: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion, Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit

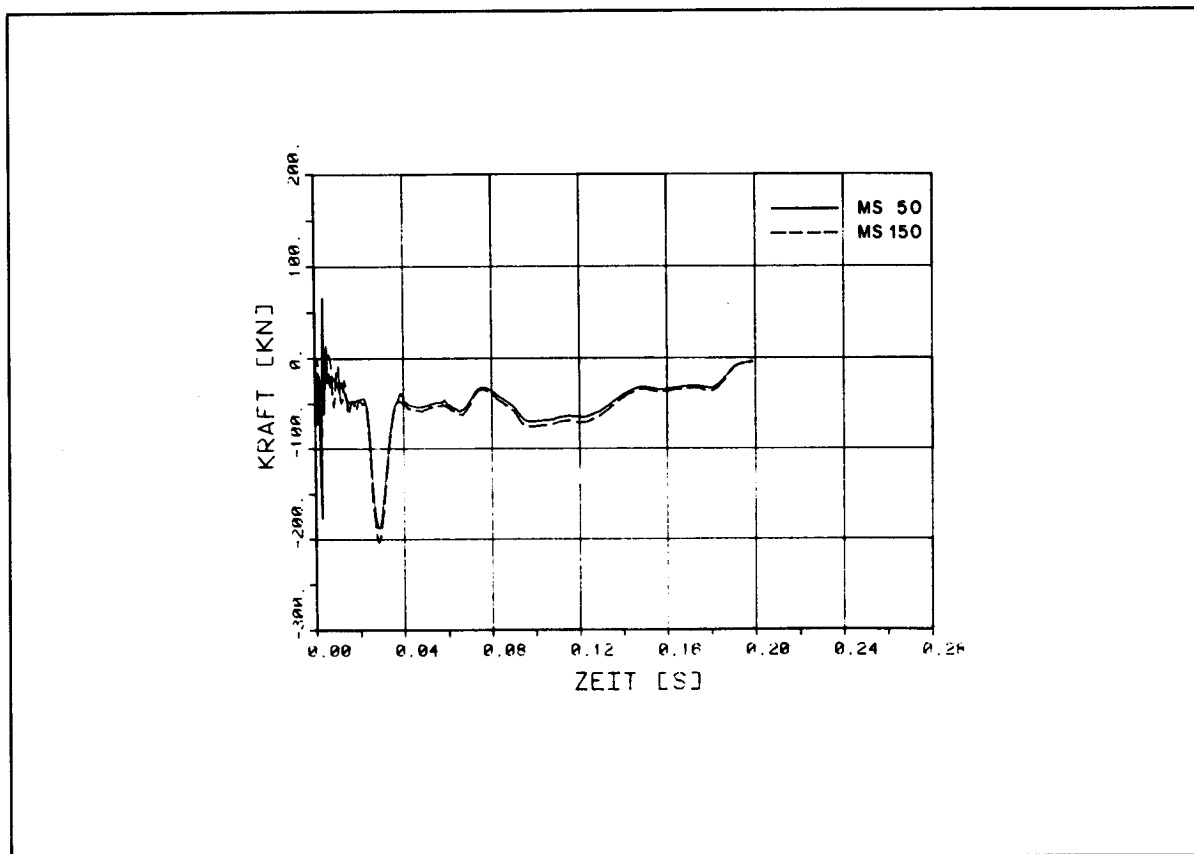


Bild B6.3-2: Zeitverläufe der Aufprallreaktionen in gemeinsamer Darstellung



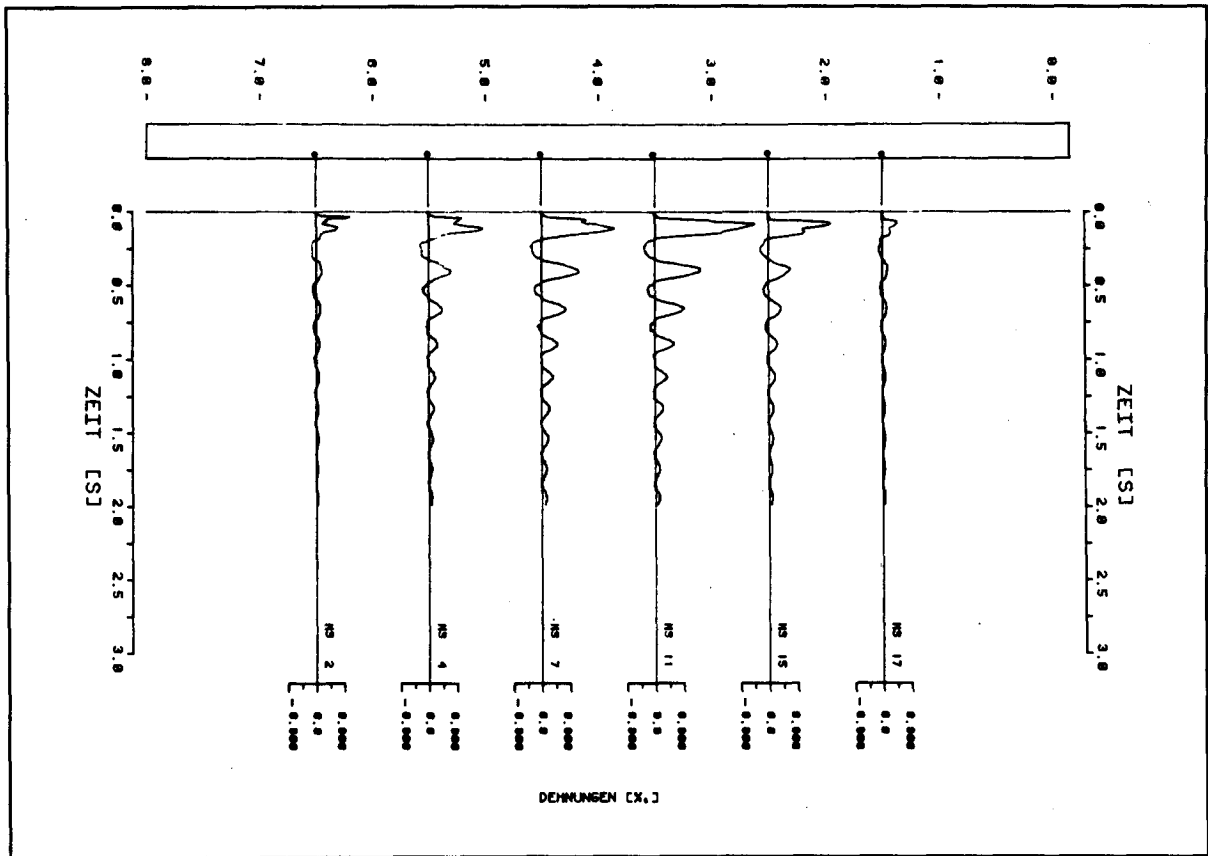


Bild B6.3-3: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

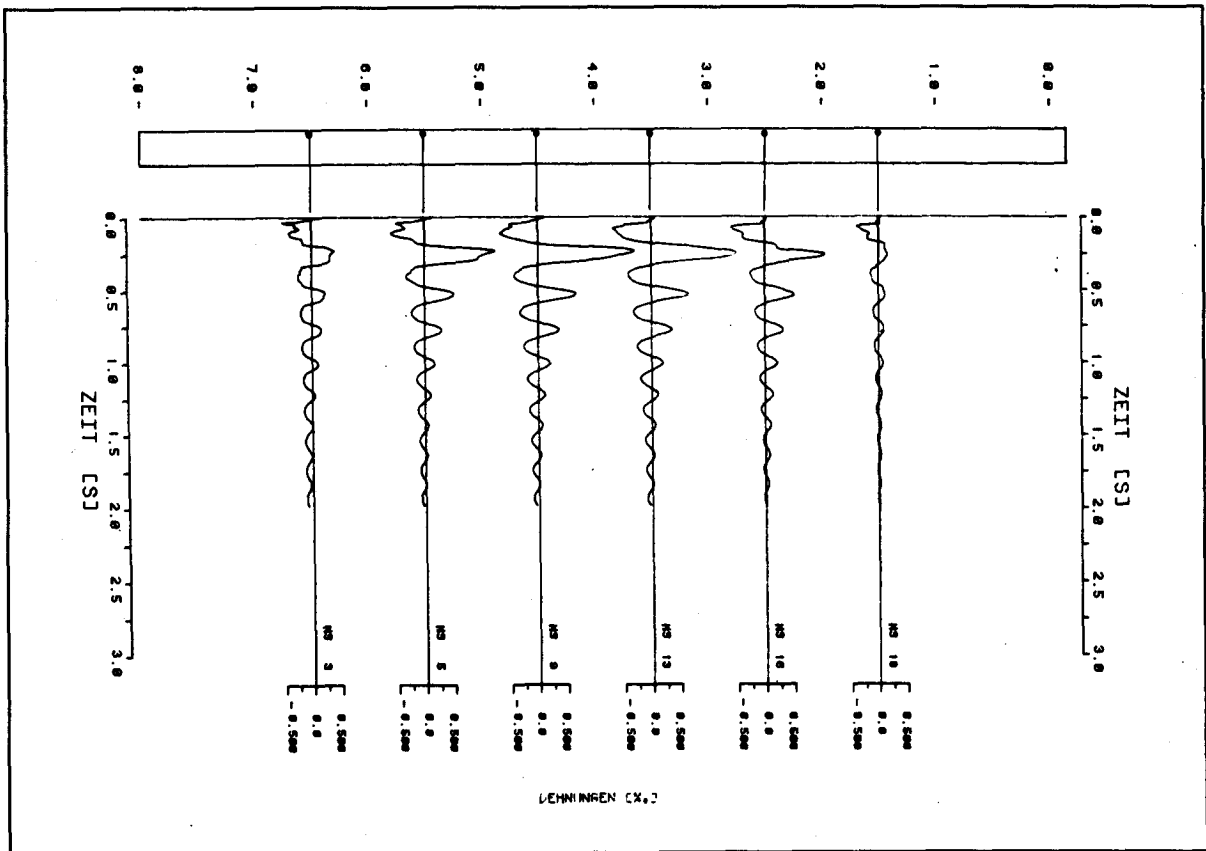


Bild B6.3-4: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

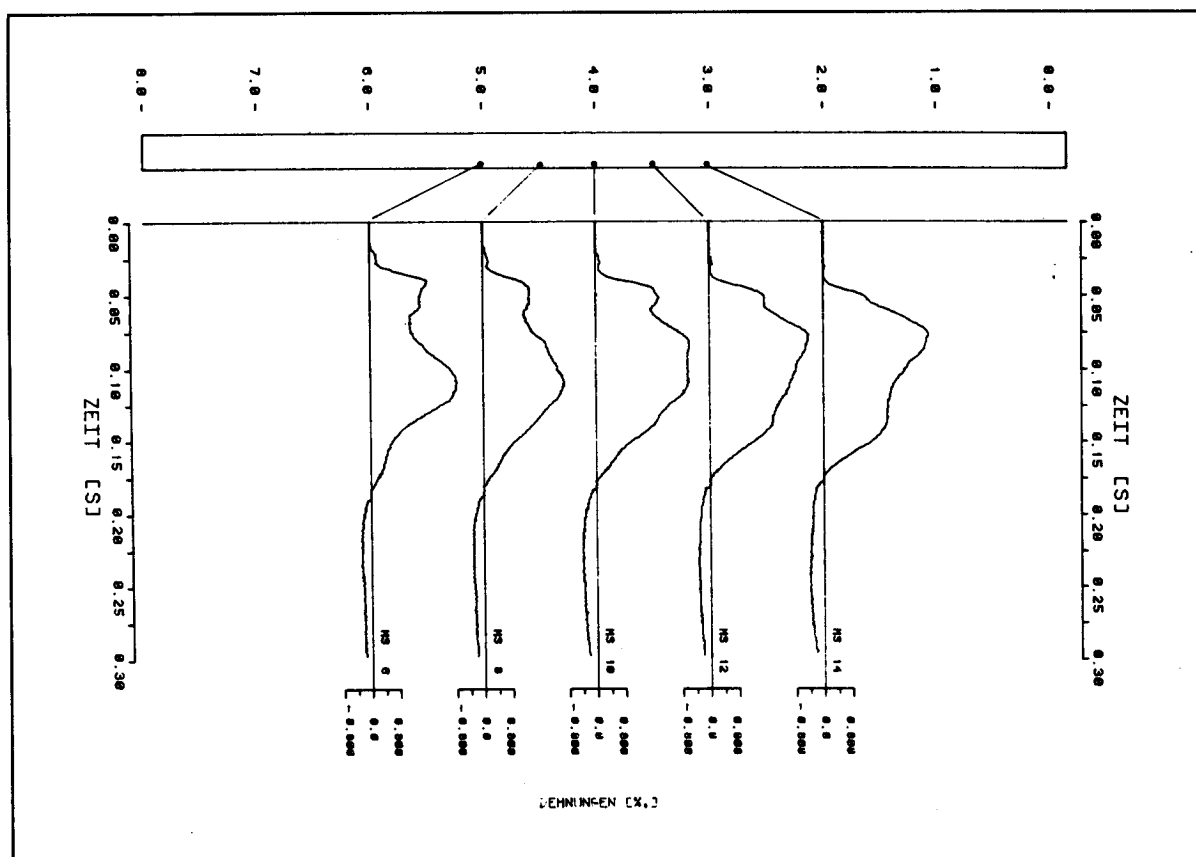
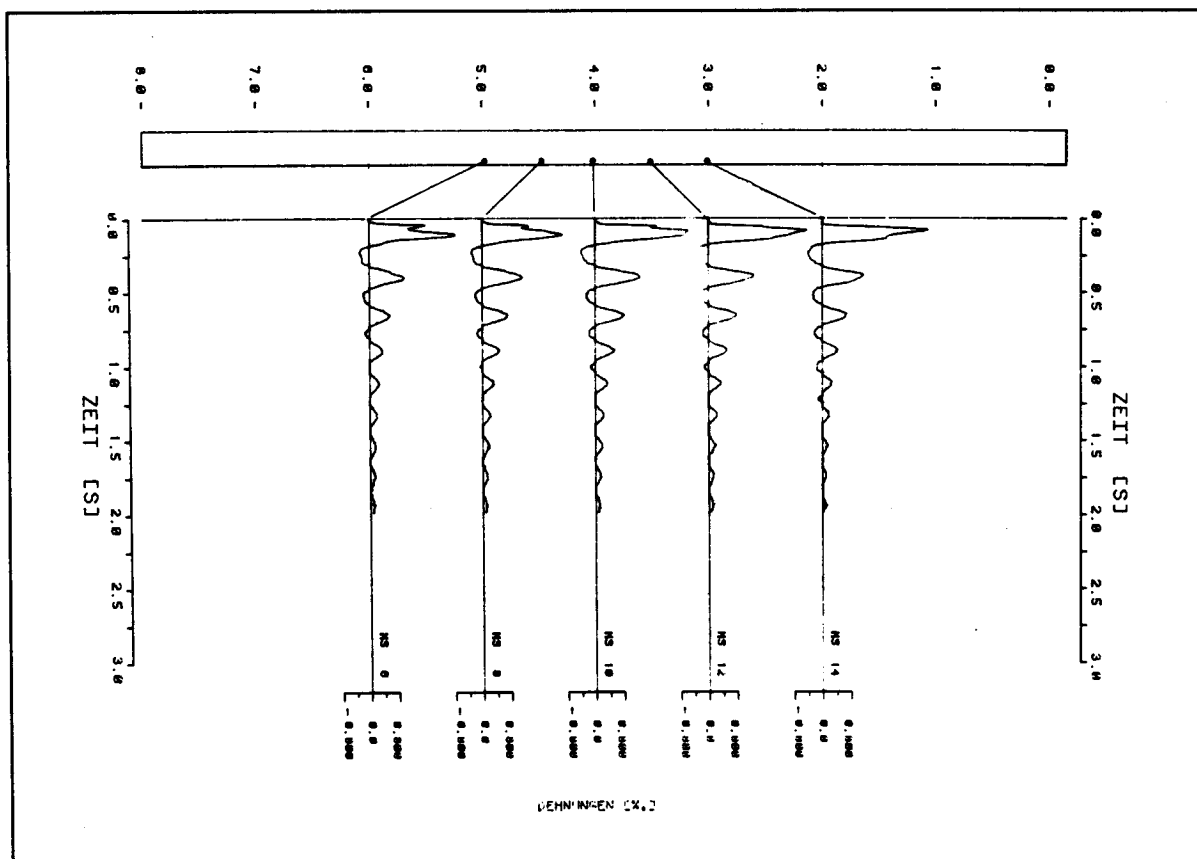


Bild B6.3-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

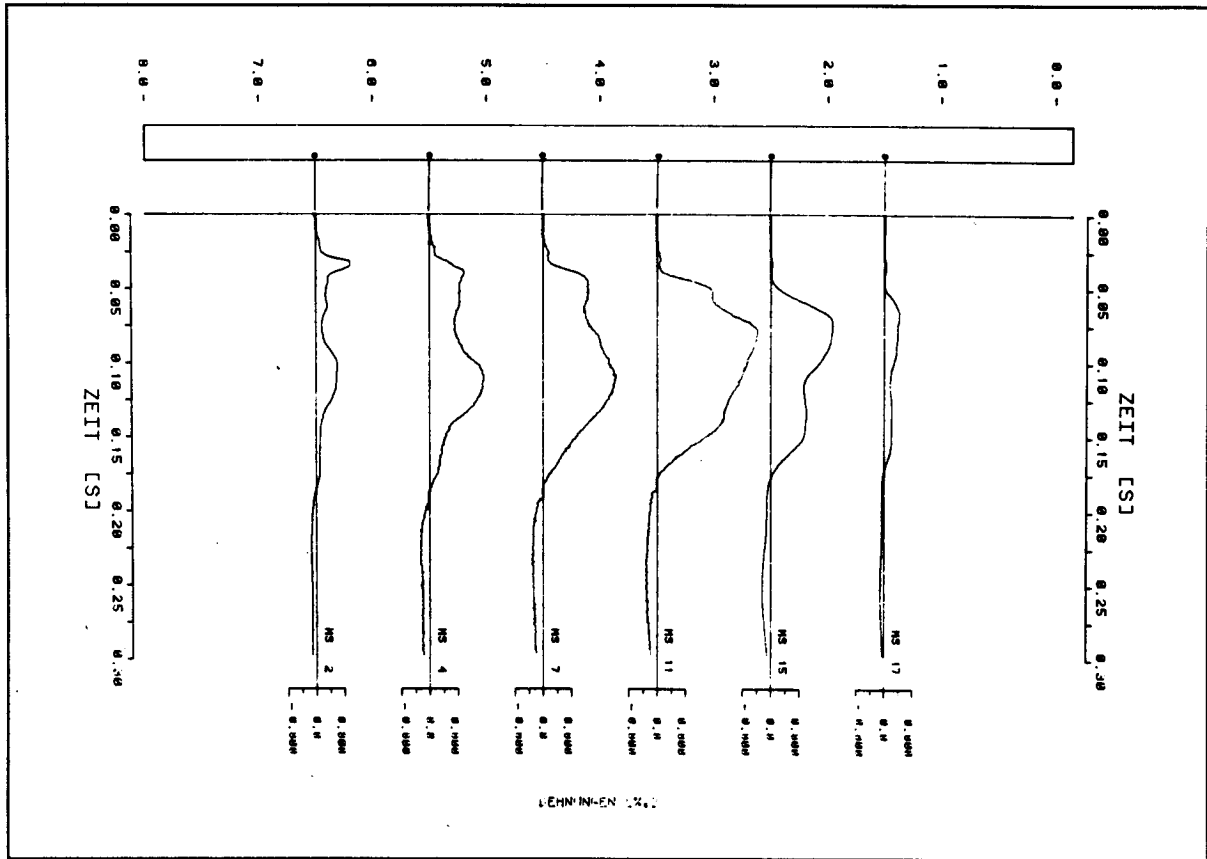


Bild B6.3-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

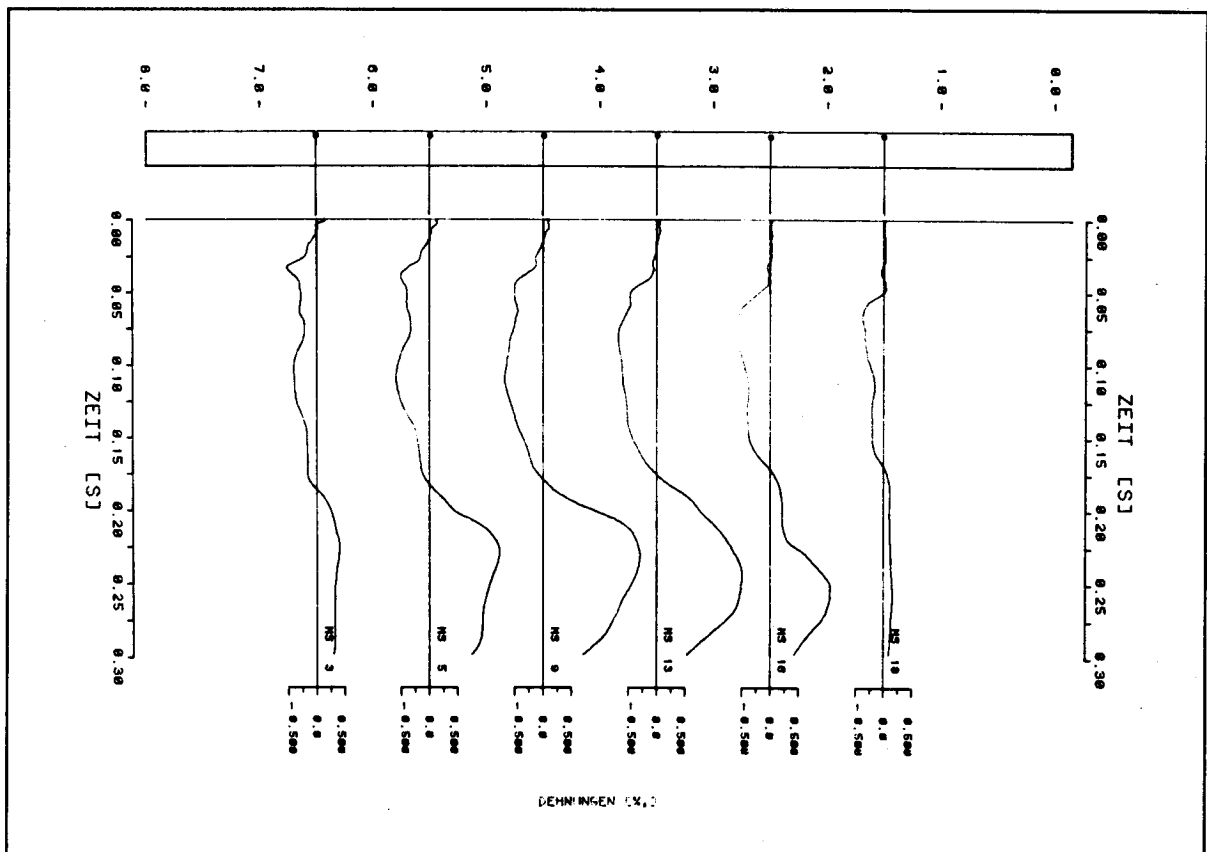


Bild B6.3-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

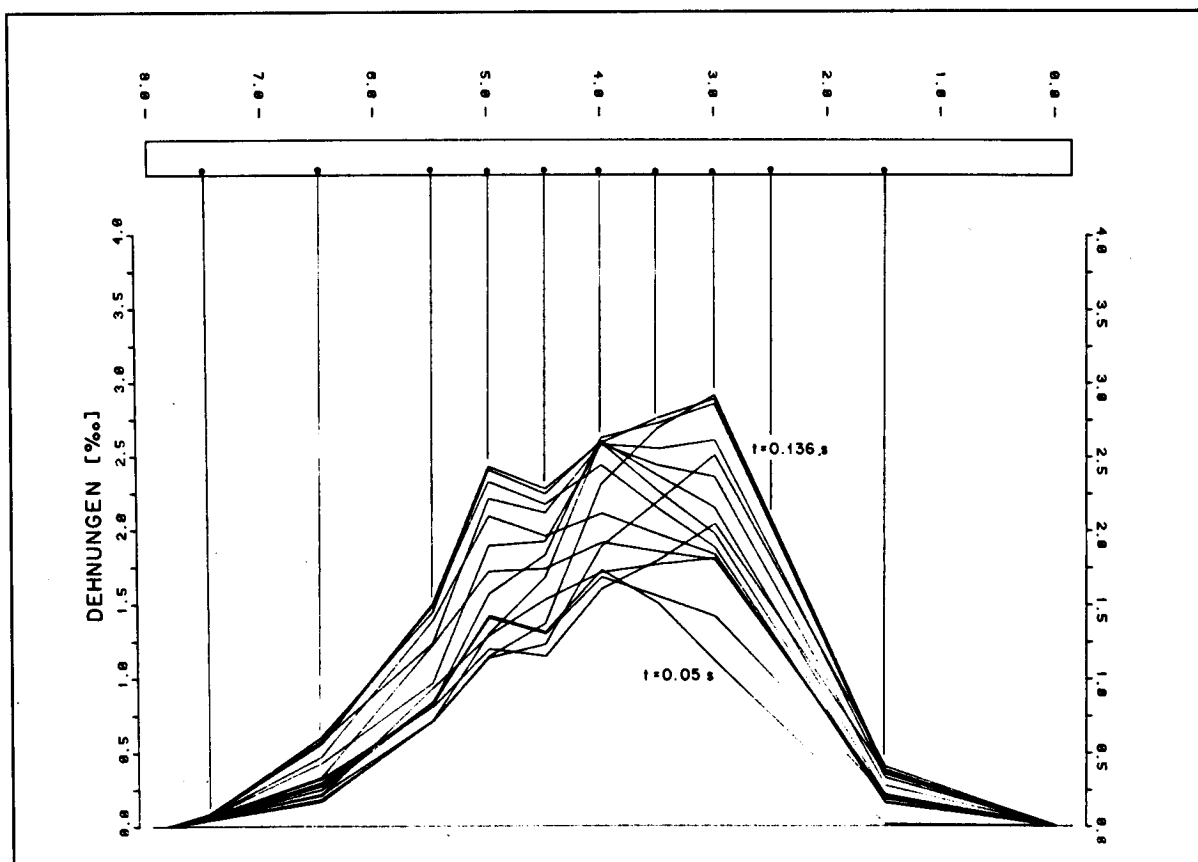


Bild B6.3-8: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.050 \text{ s} - 0.136 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.006 \text{ s}$ )

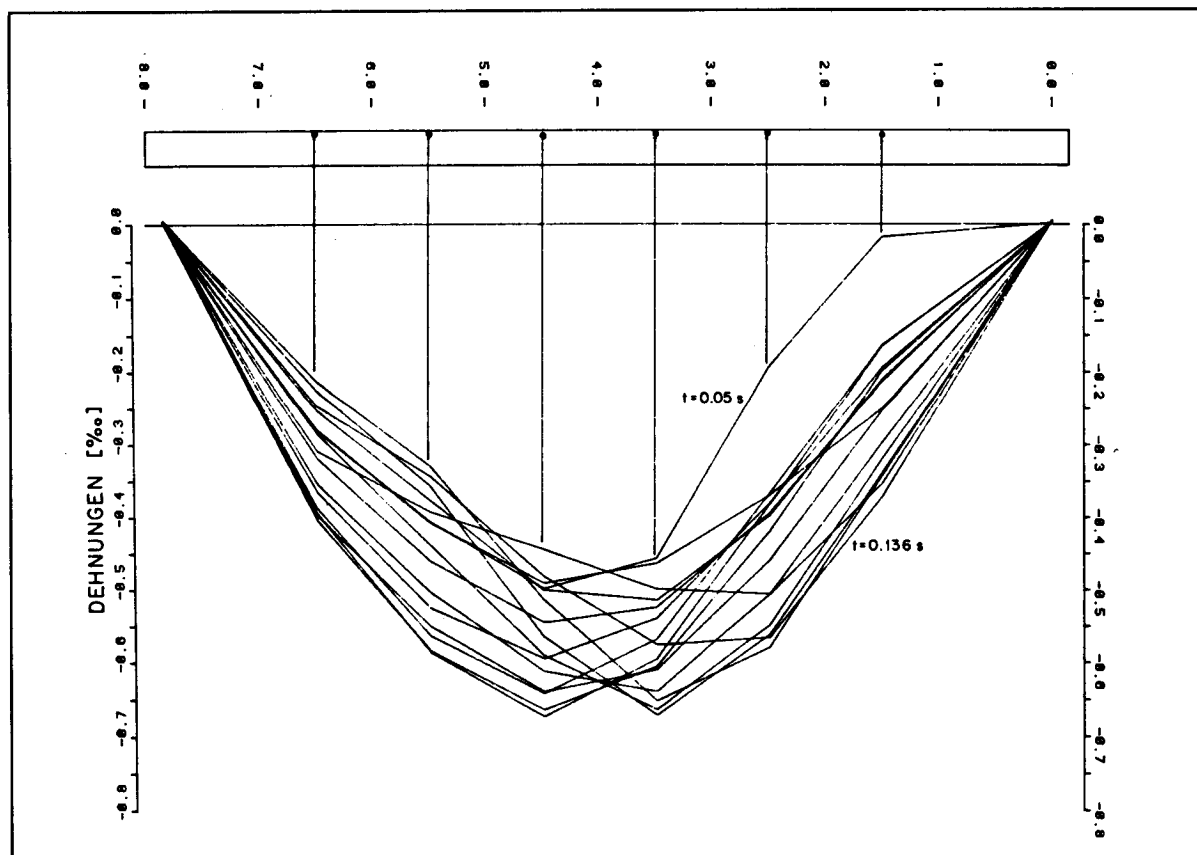


Bild B6.3-9: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.050 \text{ s} - 0.136 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.006 \text{ s}$ )

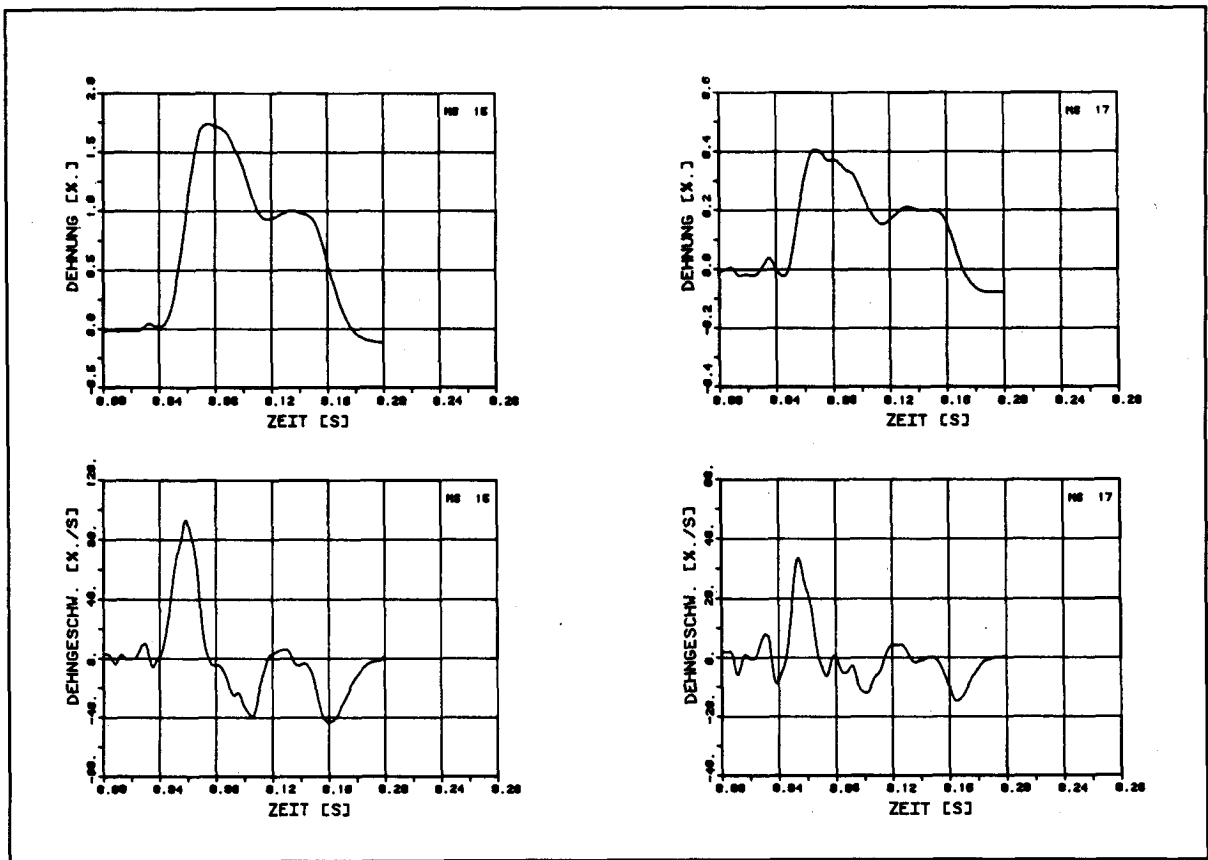


Bild B6.3-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

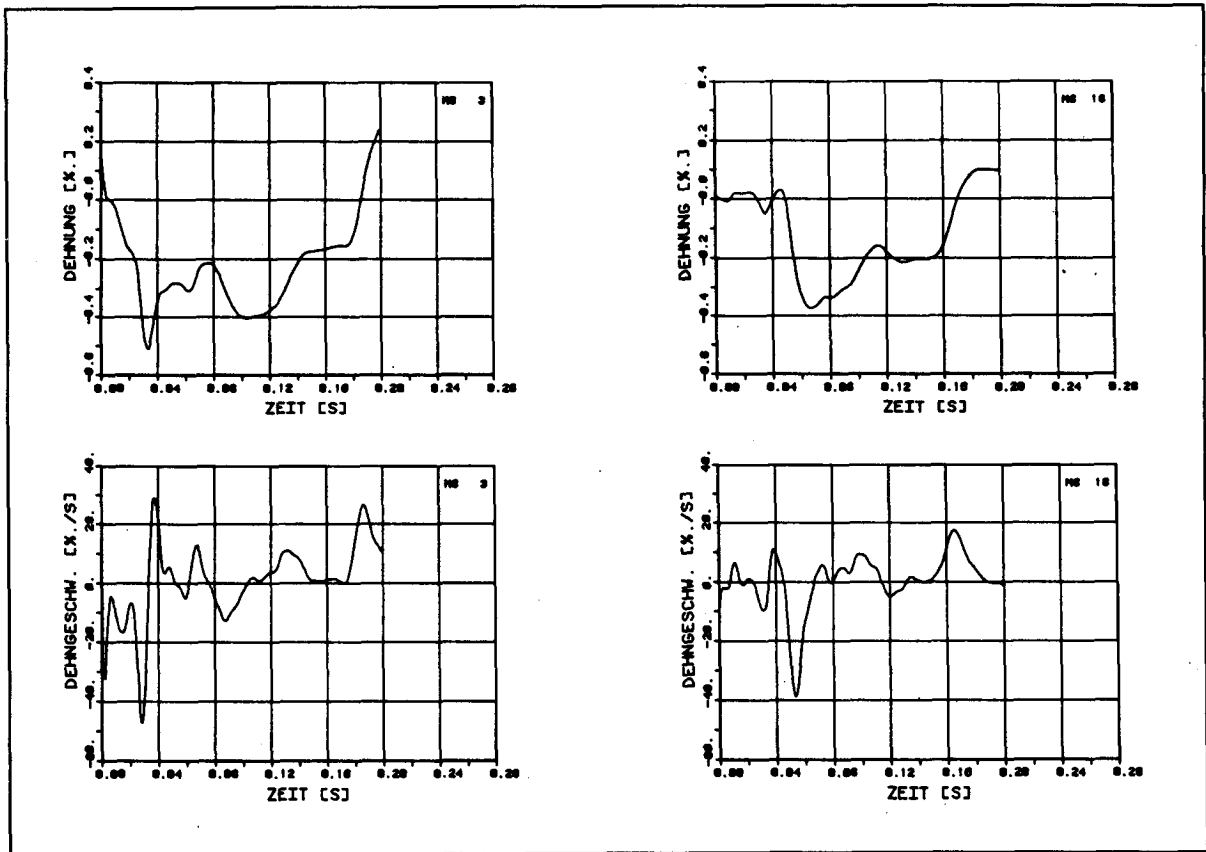


Bild B6.3-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

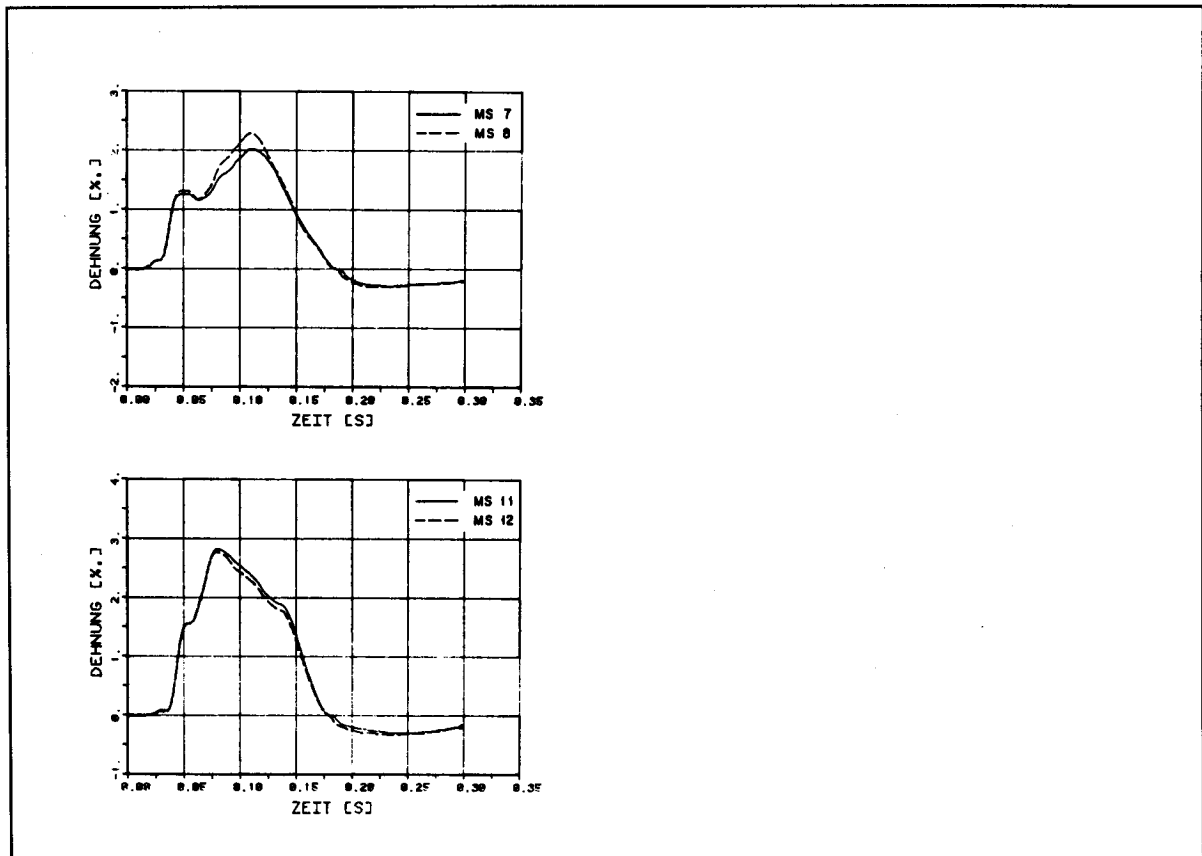


Bild B6.3-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung im gleichen Balkenquerschnitt

## VERSUCH B 6 . 4

Der Versuch B6.4, ausgeführt mit einer Fallhöhe von  $H = 0.50$  m, erbringt für den Balken gegenüber dem Versuch B6.3 eine deutliche Zusatzbeanspruchung. Die zusätzliche, maximale plastische Durchbiegung beträgt 15 mm. Das Rissbild ist im Mittelteil des Balkens deutlich ausgebildet. Auch am oberen Balkenrand sind in diesem Bereich bereits viele Risse ausgebildet. Einige Risse sind bereits über die ganze Balkenhöhe durchgehend. Die maximale Rissweite beträgt am unteren Balkenrand 15/100 mm. Die maximal gemessene Dehnung beträgt auf der unteren Längsbewehrung 15 ‰ (bei  $x = 3.0$  m), auf der oberen Längsbewehrung 2.5 ‰.

Die maximale Aufprallreaktion fügt sich gut in die lineare Beziehung zwischen Aufprallreaktion und Fallhöhe ( $H^{3/5}$ ) ein. Die Abweichung zwischen den Aufprallreaktionen, gemessen in der Kalotte bzw. im Dreibein, beträgt rund 10 ‰. Das Maximum der Aufprallreaktion wird nach 0.02 s erreicht.

Die plastische Länge beträgt bereits  $l_{pl} = 2.50$  m, die mittlere Krümmung in diesem Bereich erreicht  $\epsilon = 0.004 \text{ m}^{-1}$ . Die Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformung beträgt 8.6 ‰ und fügt sich damit gut ein in eine praktisch lineare Beziehung zwischen Energieaufnahme und Fallhöhe.

Die erste Eigenfrequenz von  $f = 5.08$  Hz vor dem Versuch ist auf  $f = 3.49$  Hz nach dem Versuch gesunken. Der ermittelte Dämpfungskoeffizient beträgt  $\xi = 0.026$ .

VERSUCH B6.5

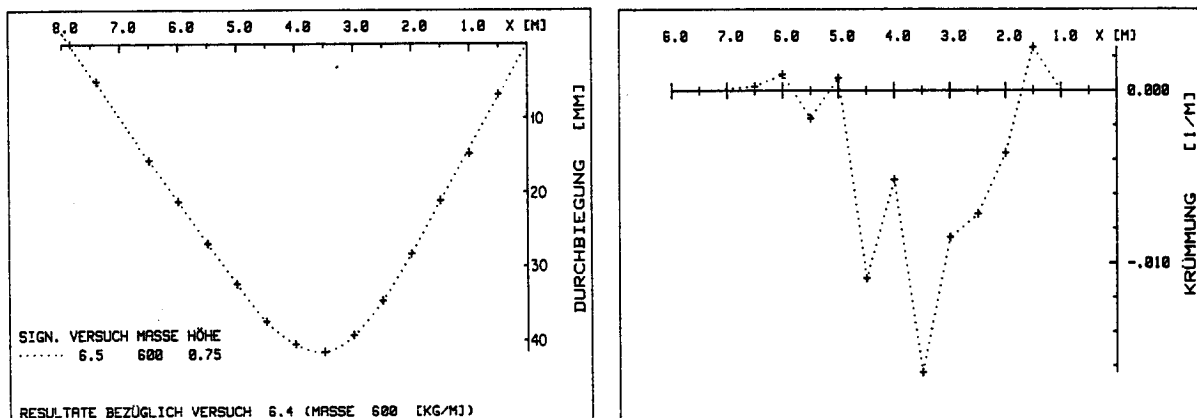


Bild B6.5-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B6.5

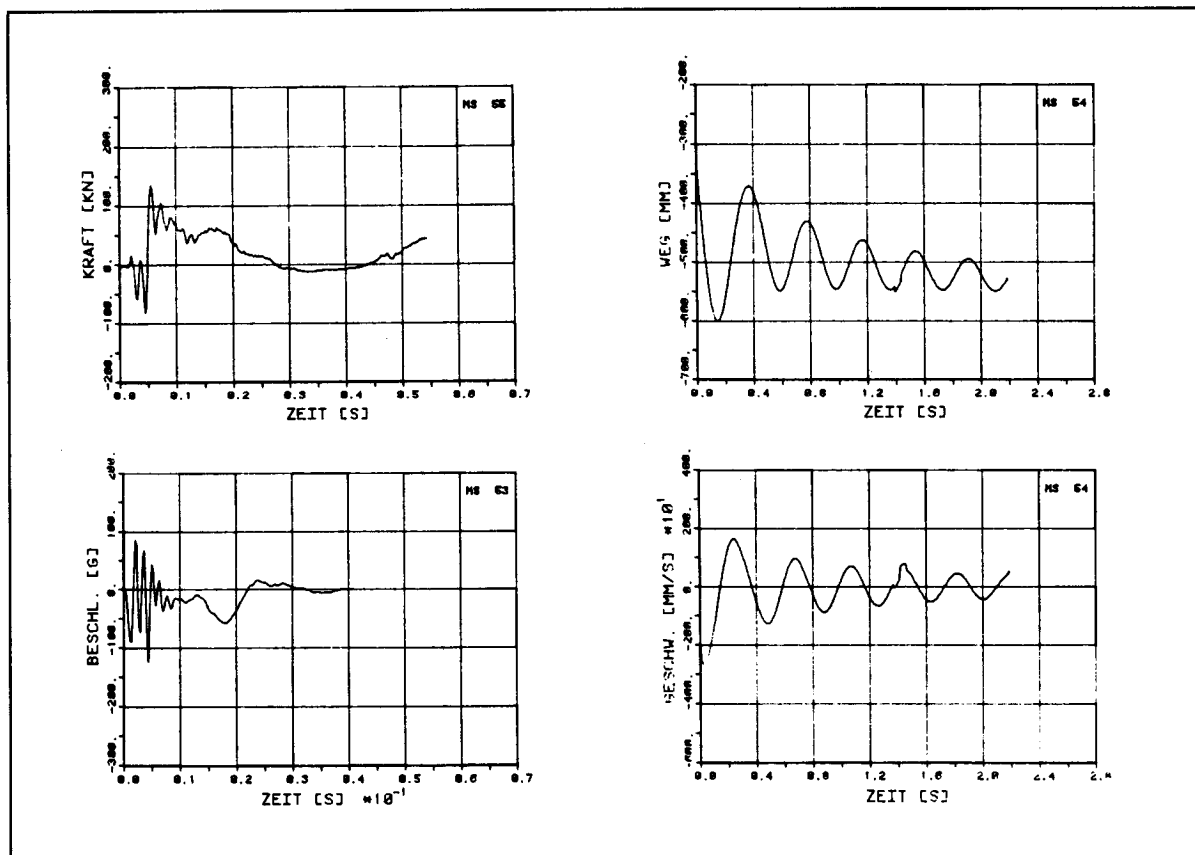


Bild B6.5-2: Zeitverläufe für Gelenkreaktion, Beschleunigung im Aufprallpunkt, Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit



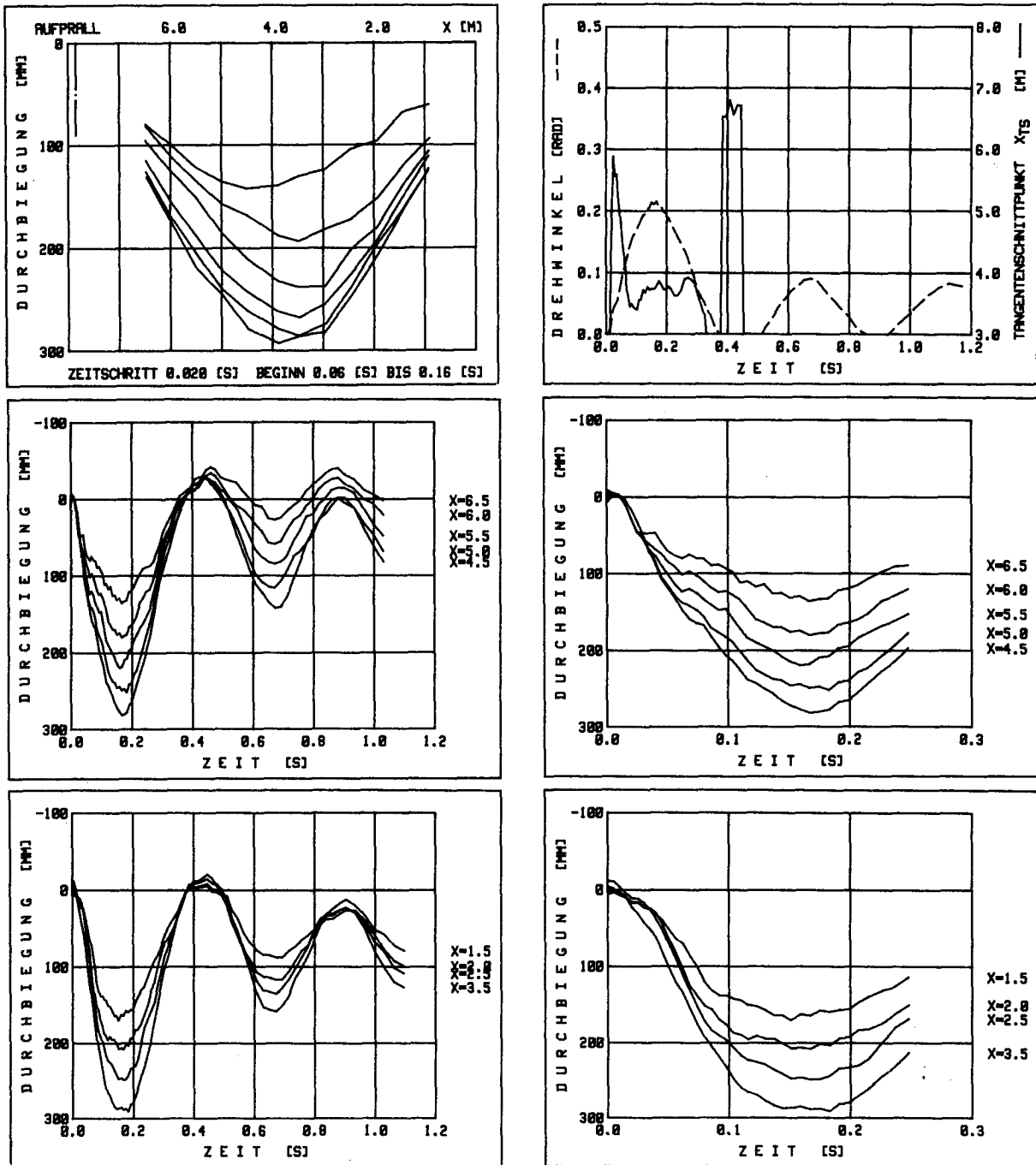


Bild B6.5-3: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

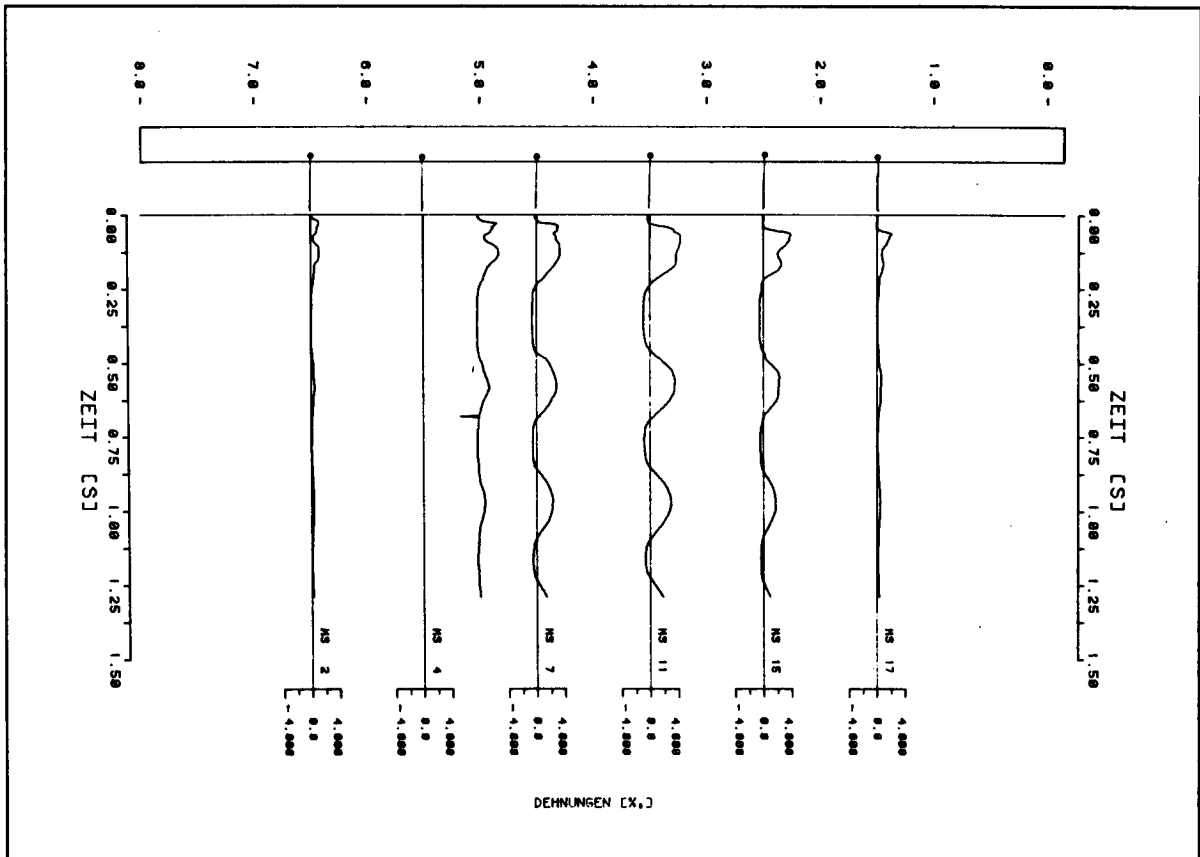


Bild B6.5-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

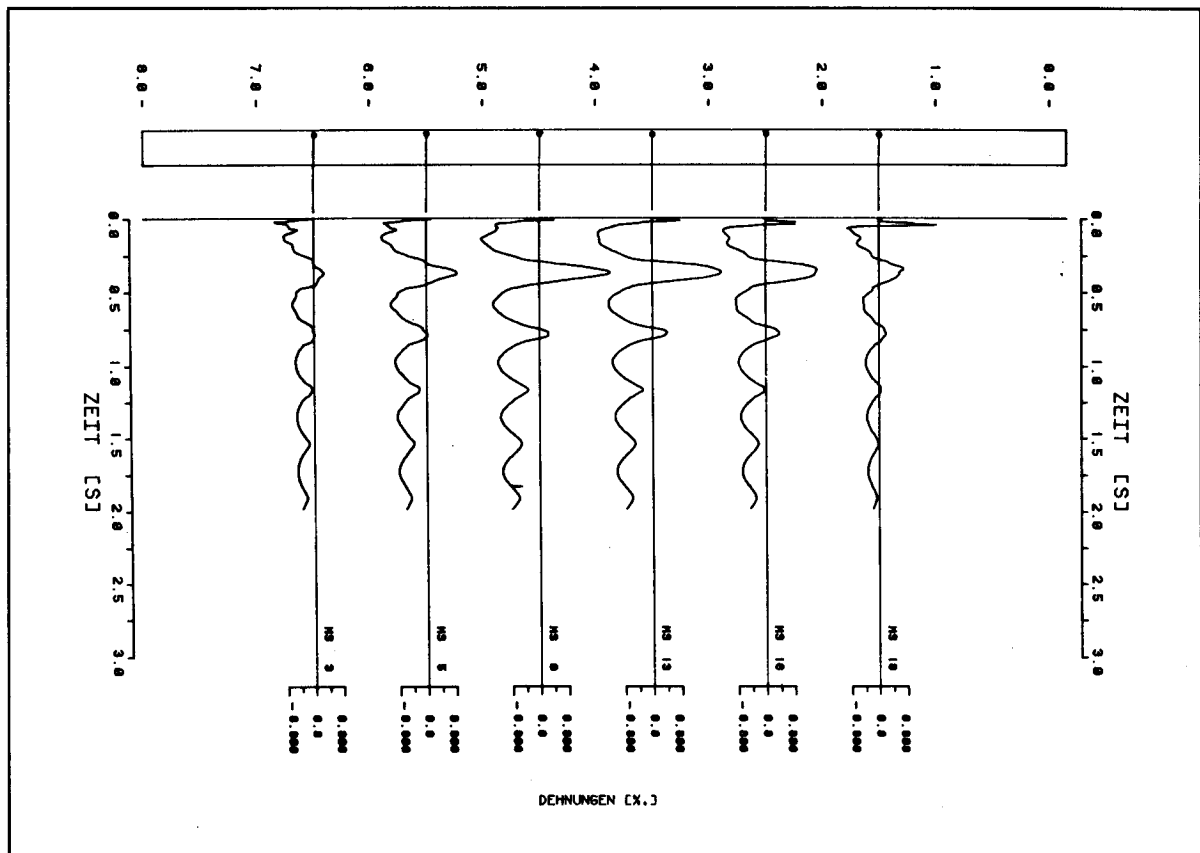


Bild B6.5-5: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

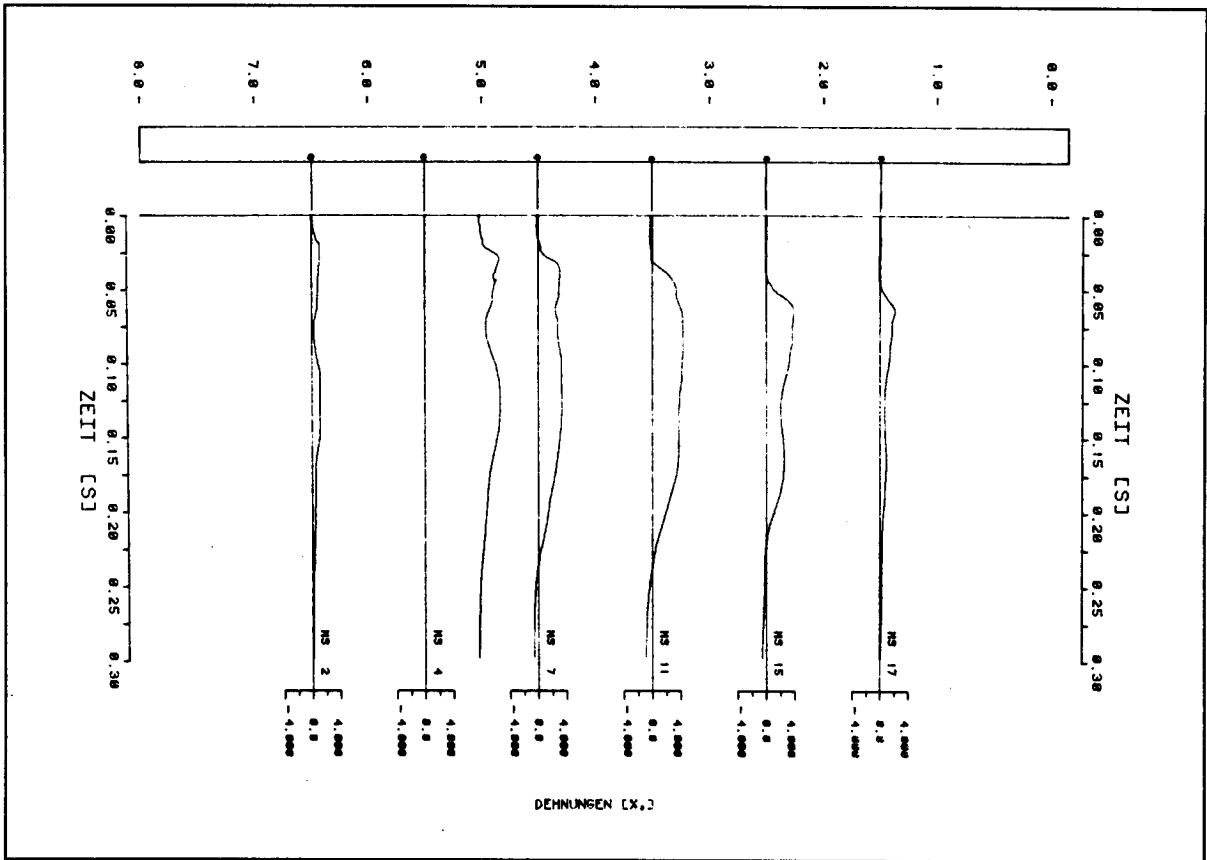


Bild B6.5-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

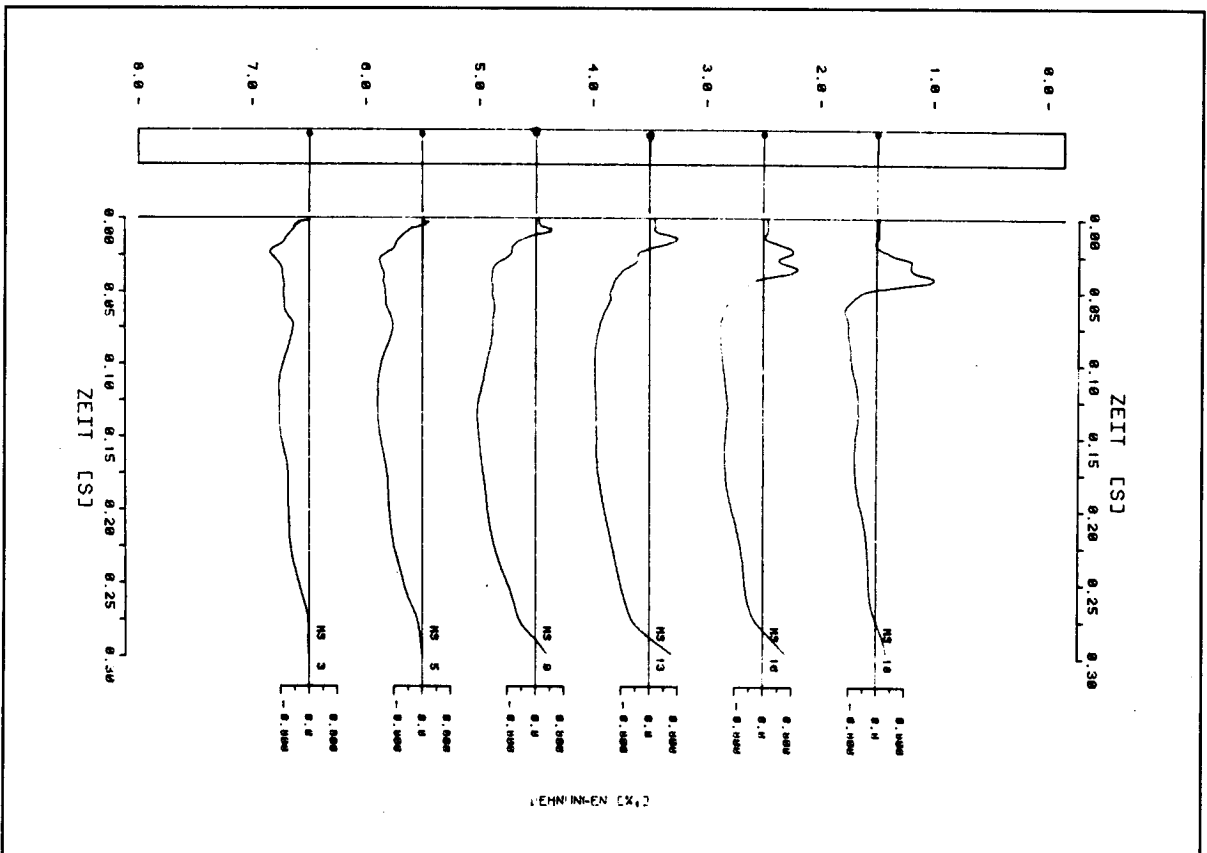


Bild B6.5-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

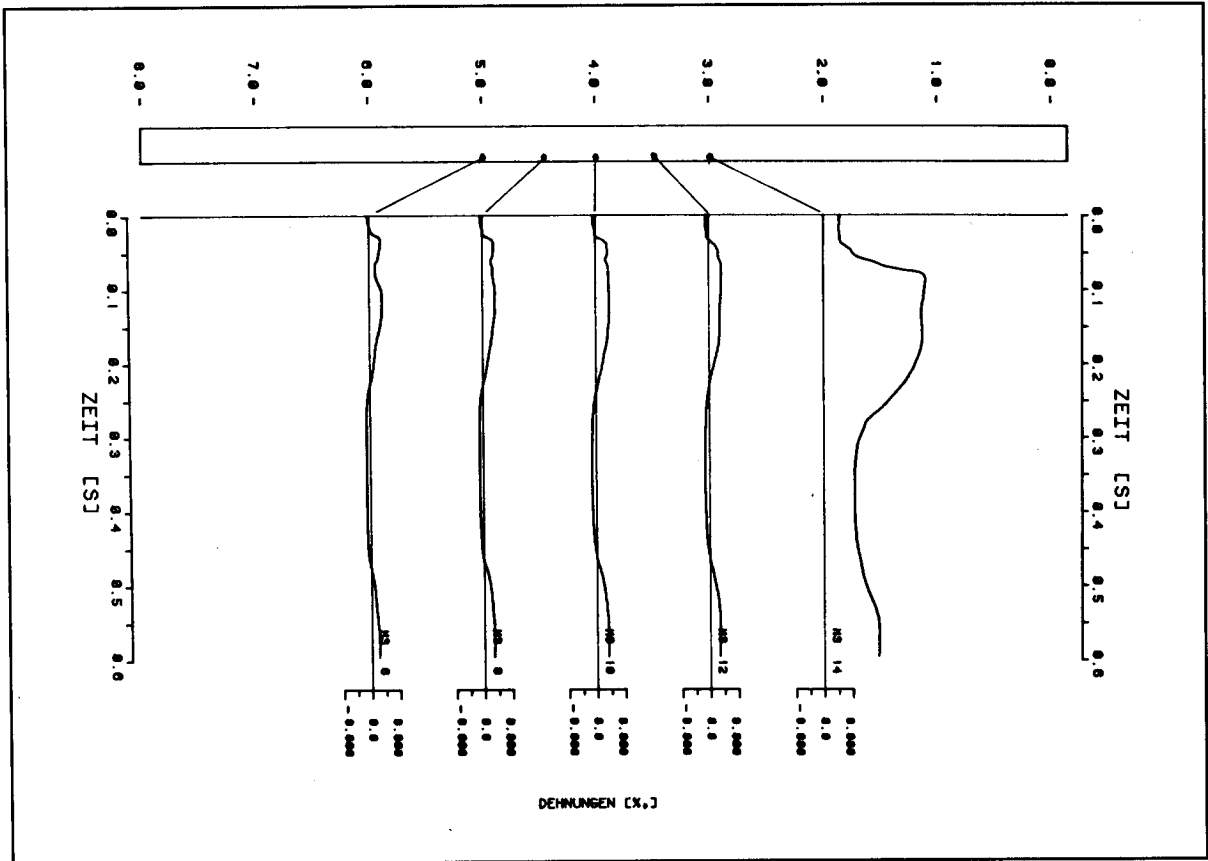


Bild B6.5-8: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

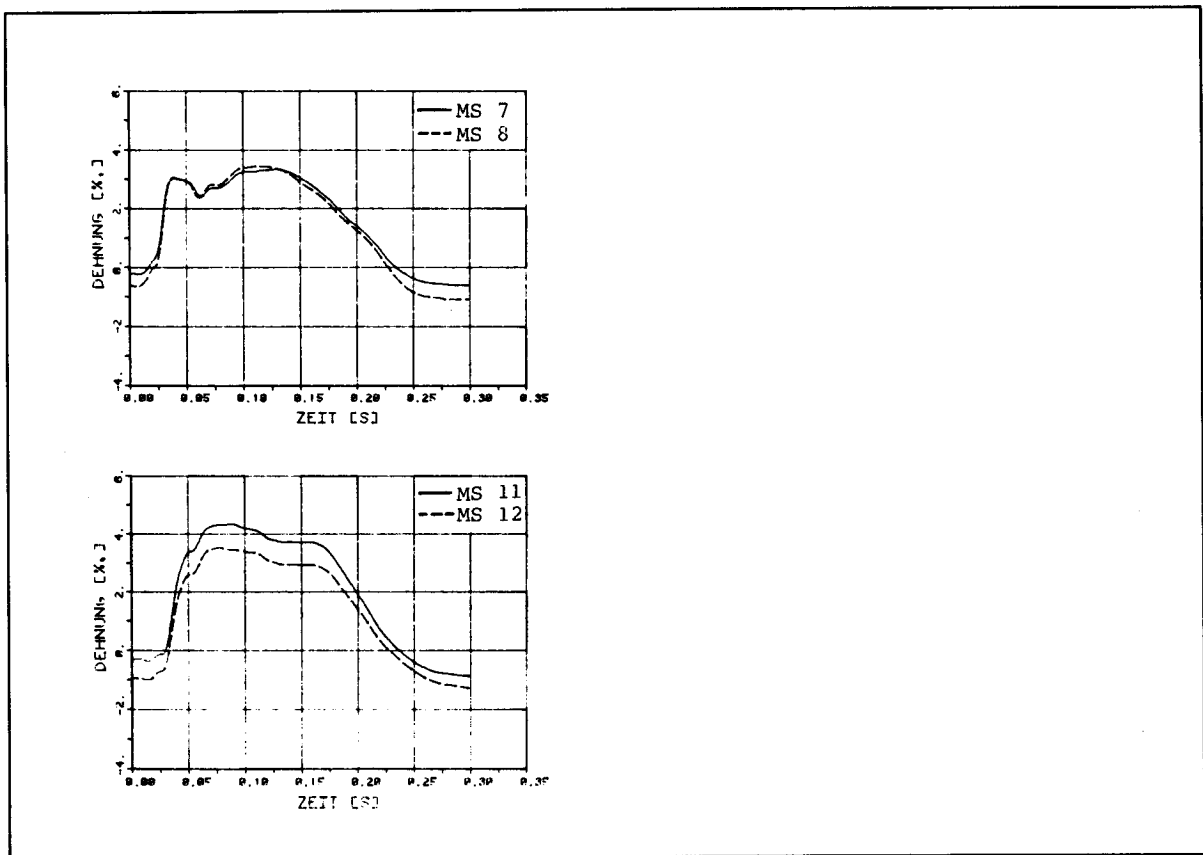


Bild B6.5-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung im gleichen Balkenquerschnitt

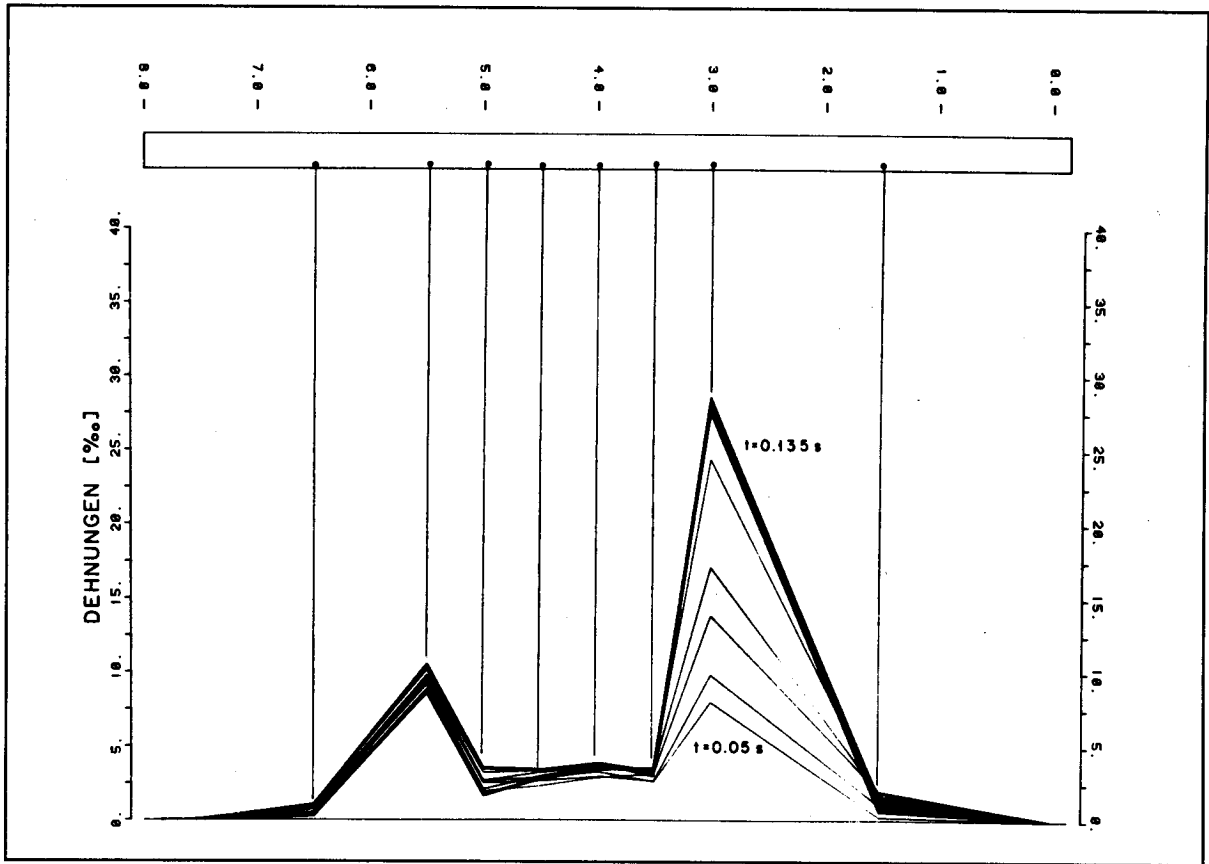


Bild B6.5-10: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.050 \text{ s} - 0.135 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.006 \text{ s}$ )

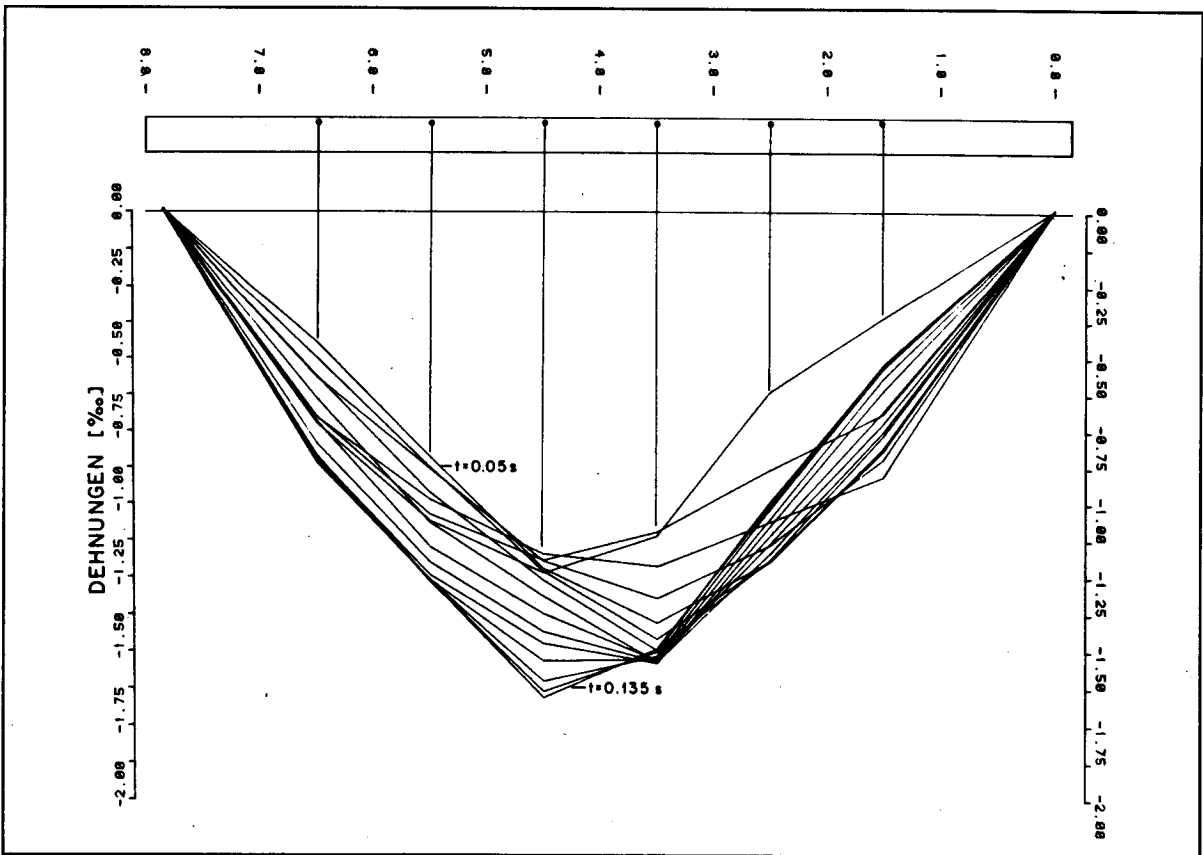


Bild B6.5-11: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.050 \text{ s} - 0.135 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.006 \text{ s}$ )

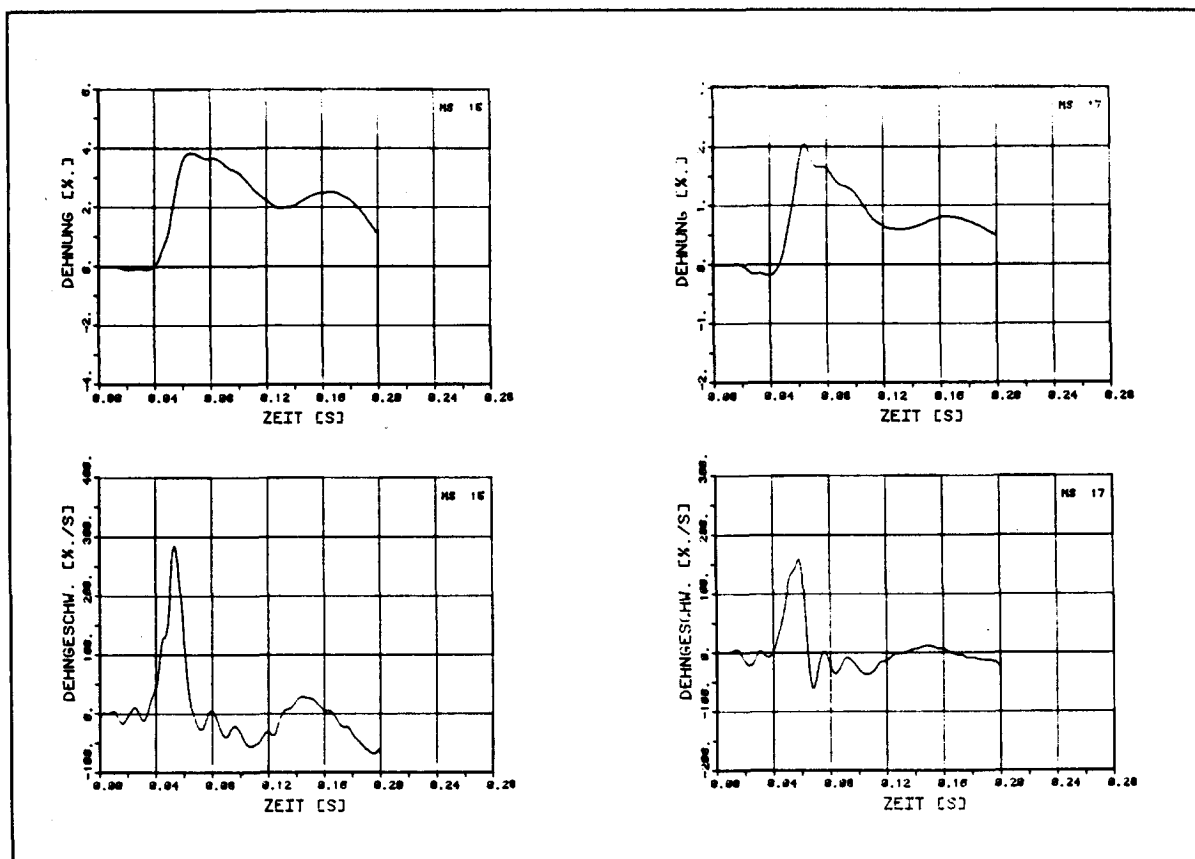


Bild B6.5-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

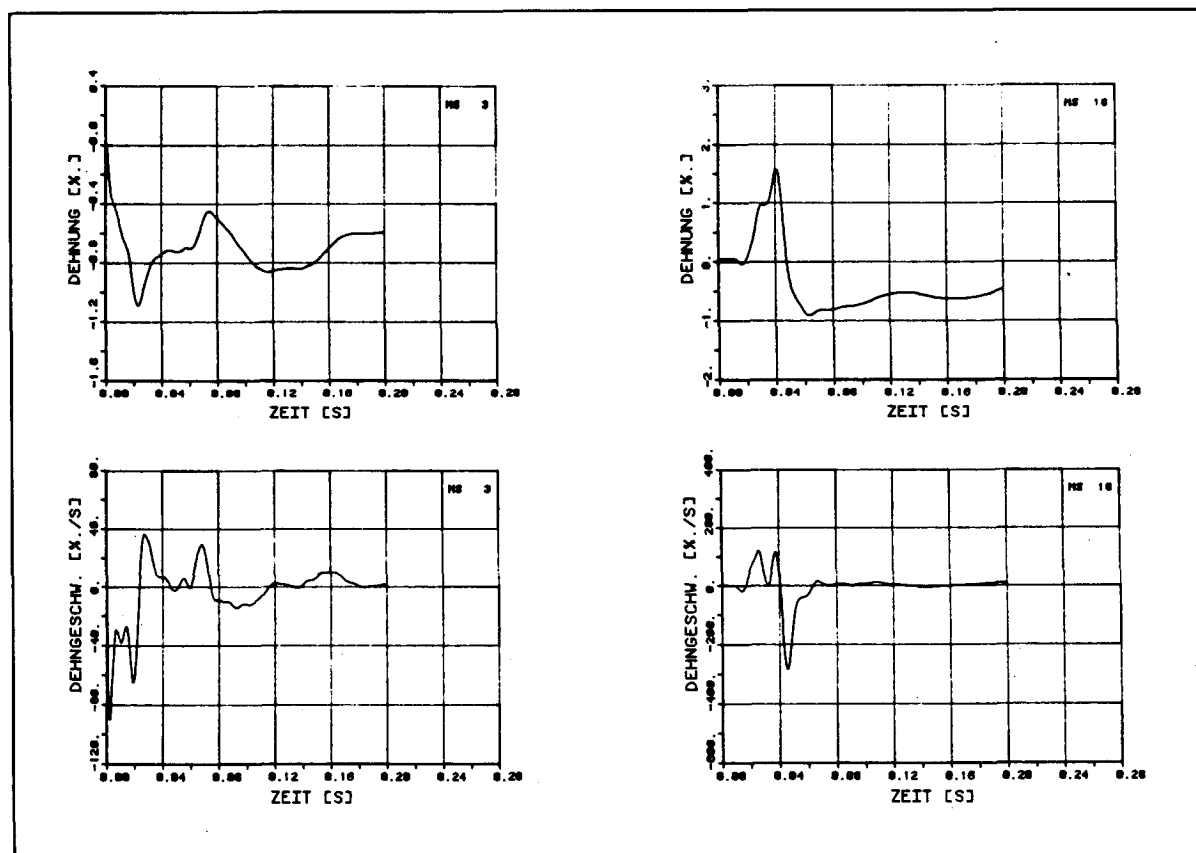


Bild B6.5-13: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B 6 . 6

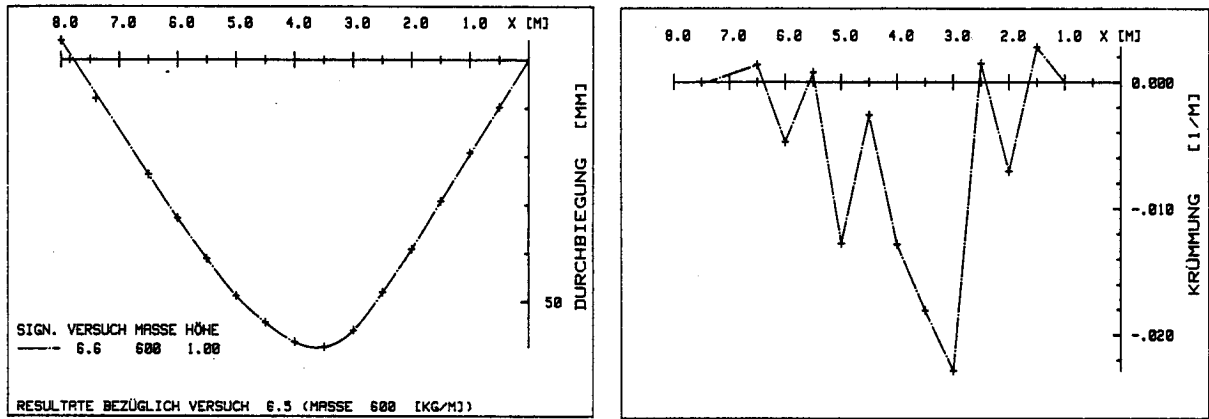


Bild B6.6-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B6.6

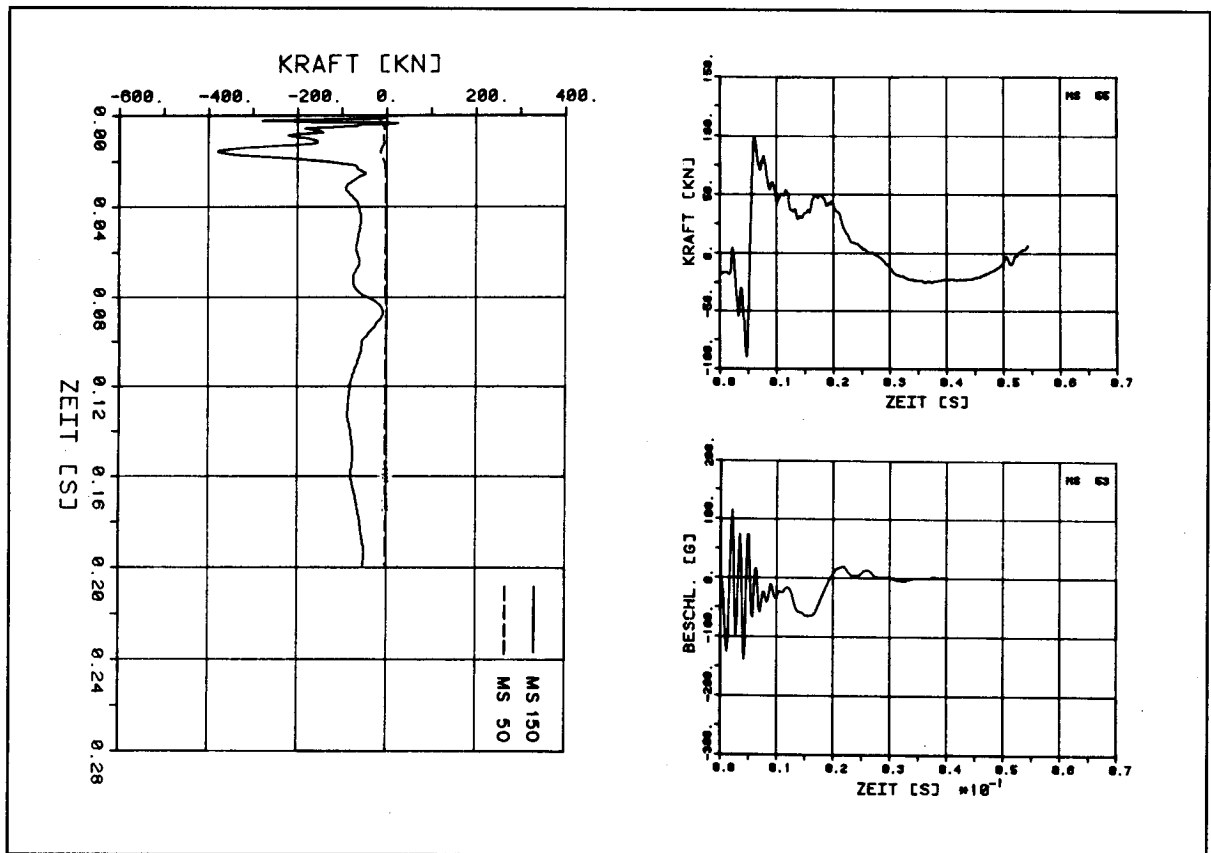


Bild B6.6-2: Zeitverläufe für Aufprall- und Gelenkreaktion sowie für Beschleunigung im Aufprallpunkt

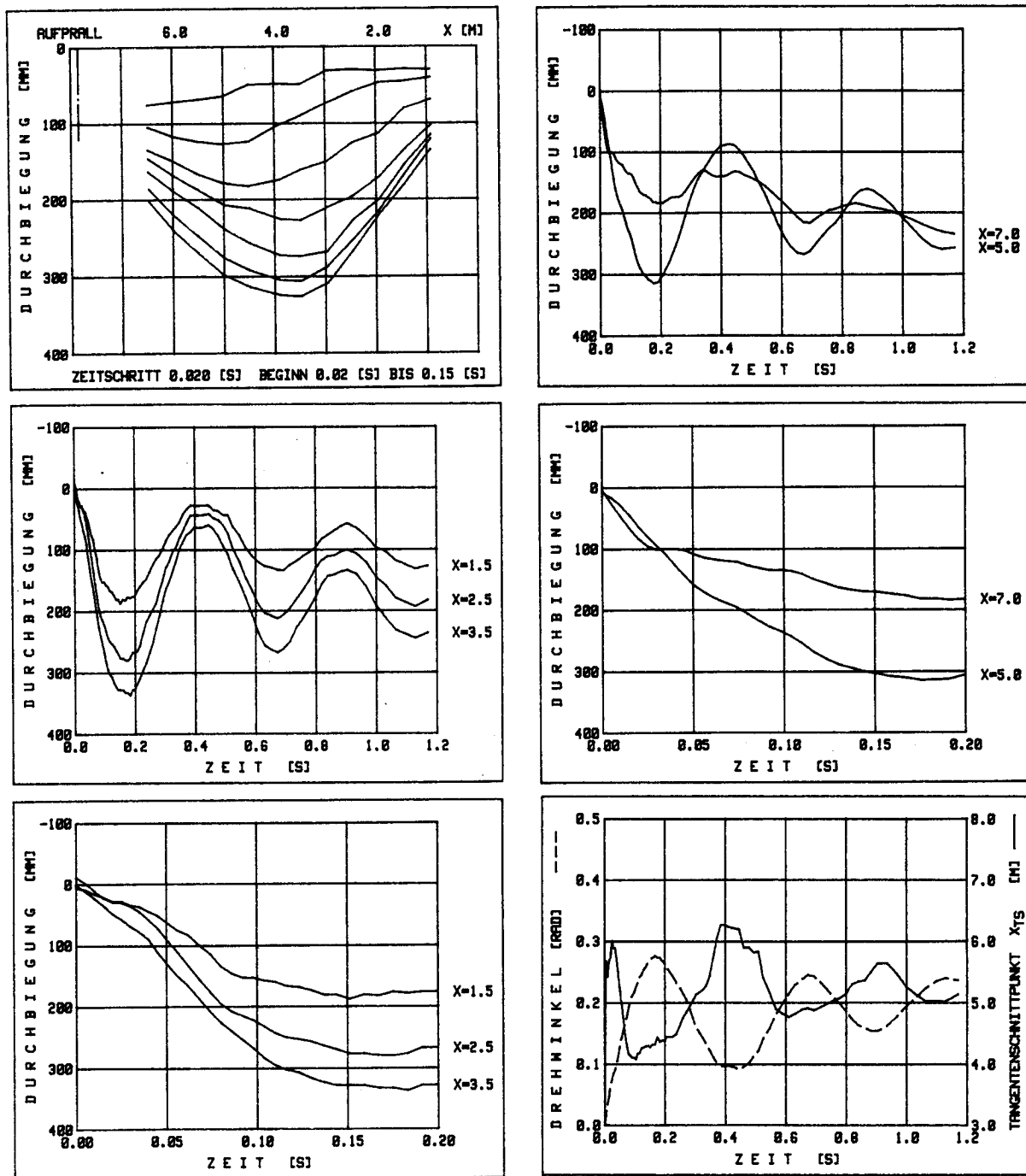


Bild B6.6-3: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen



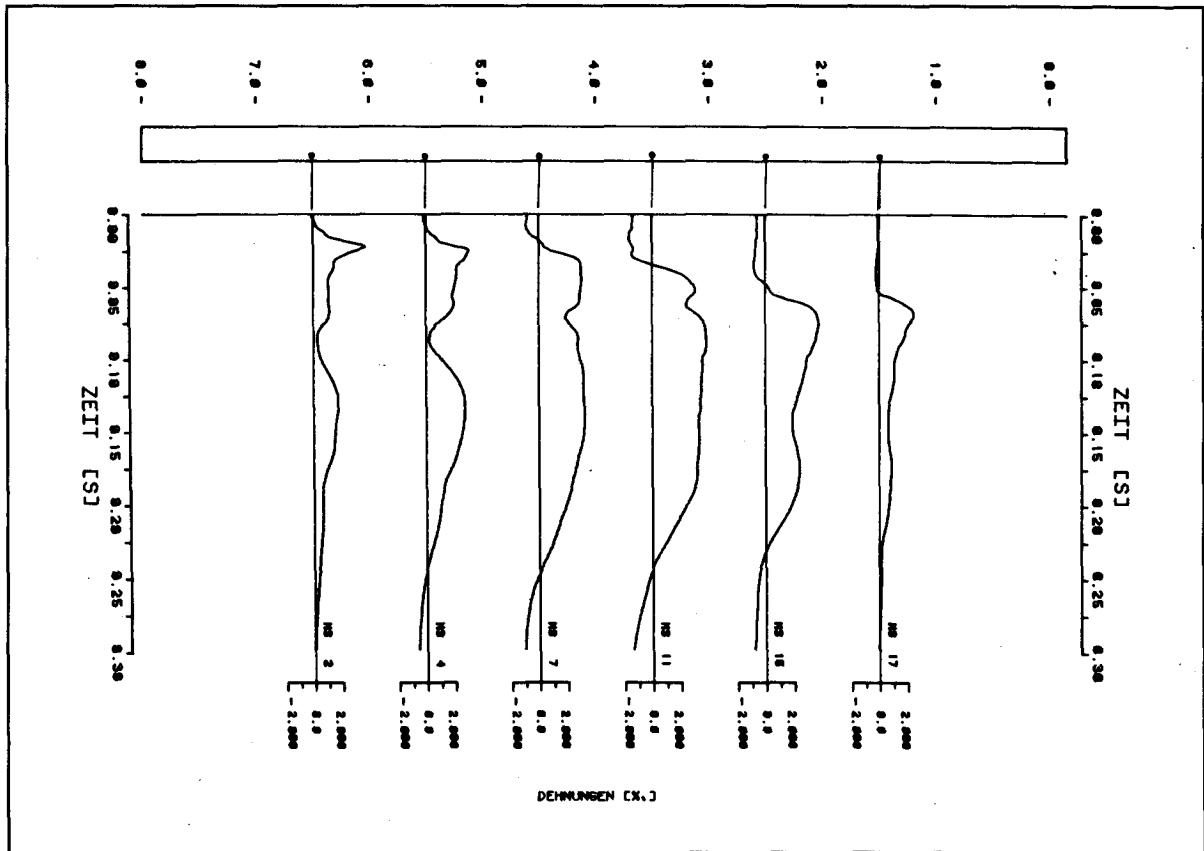
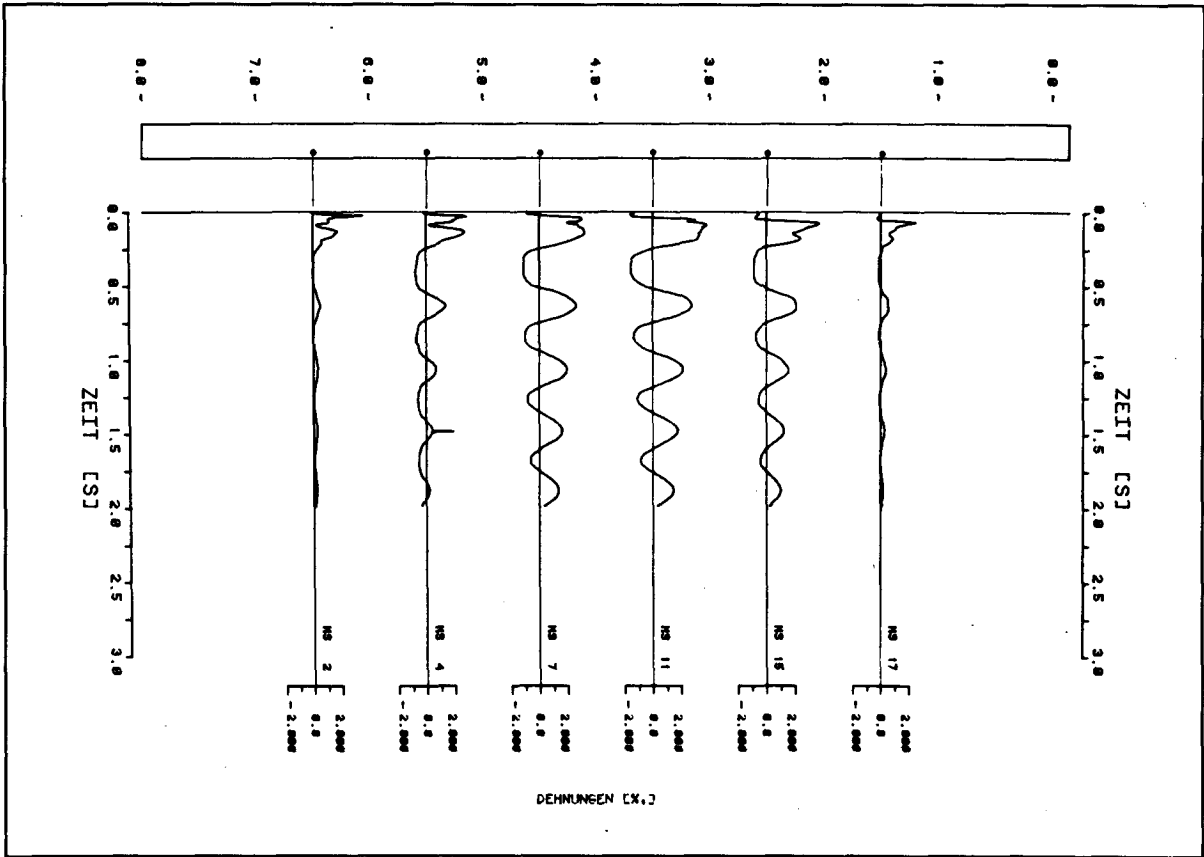


Bild B6.6-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

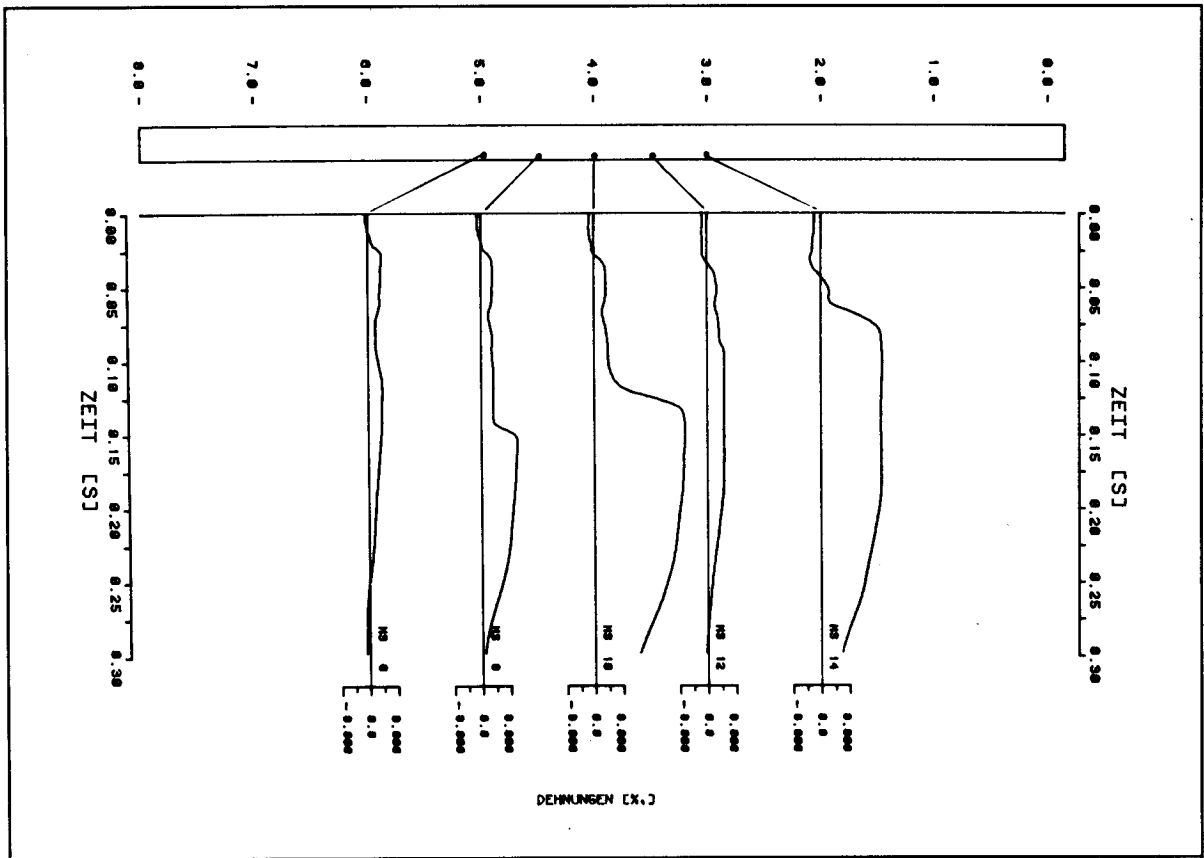


Bild B6.6-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

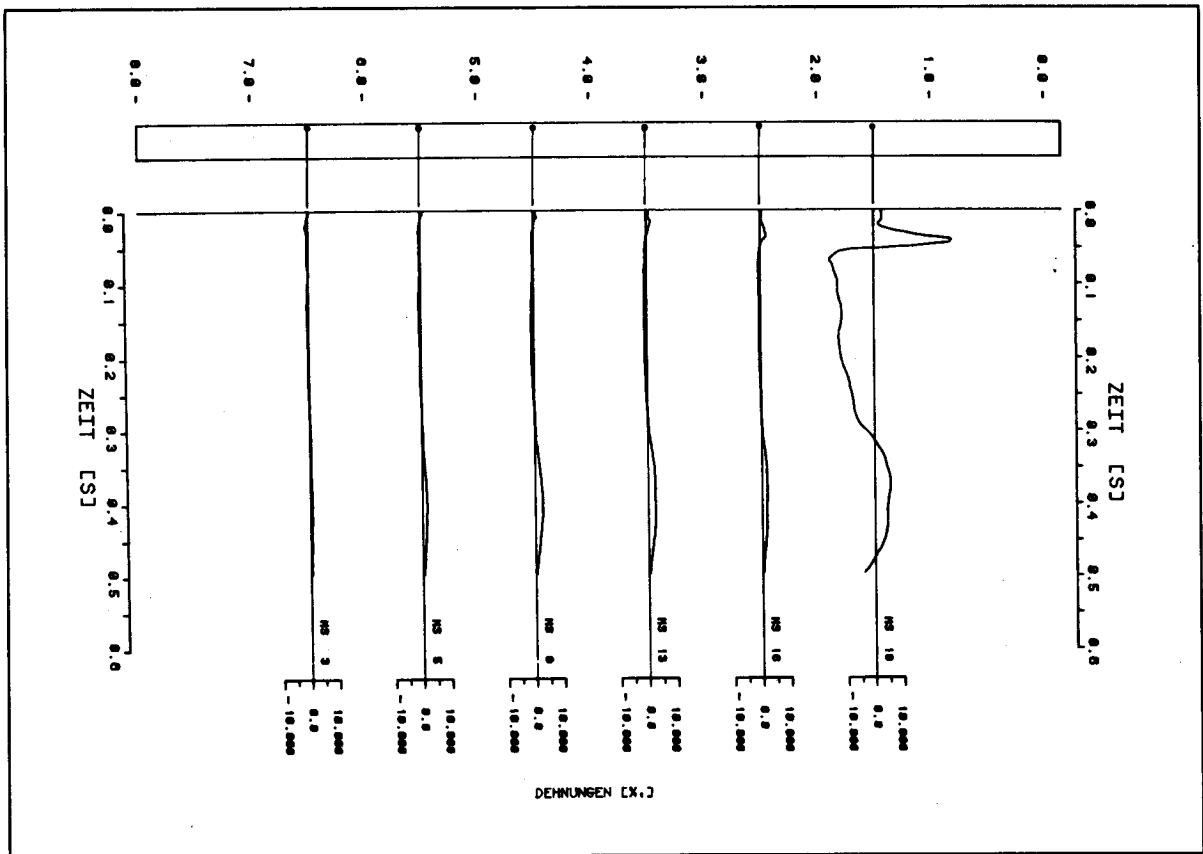


Bild B6.6-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

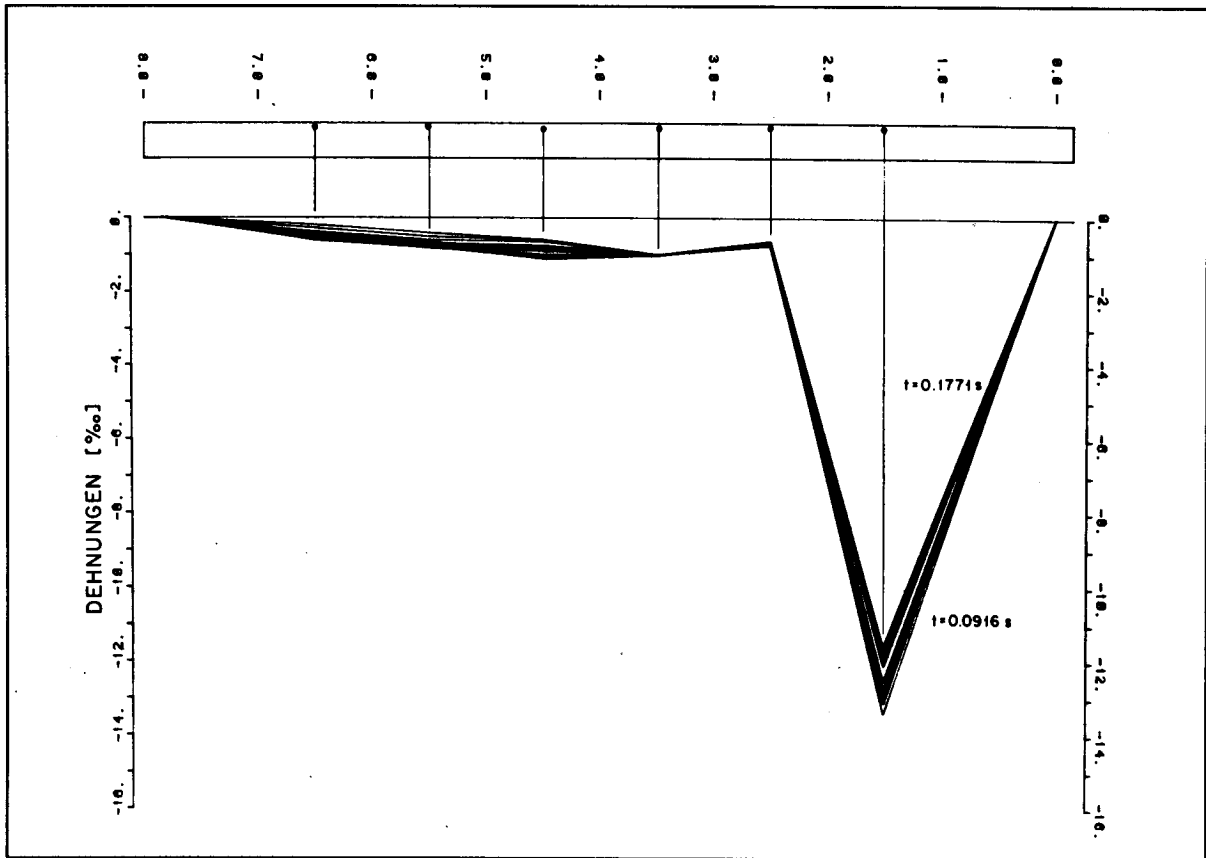


Bild B6.6-7: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.0916 \text{ s} - 0.1771 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.0061 \text{ s}$ )

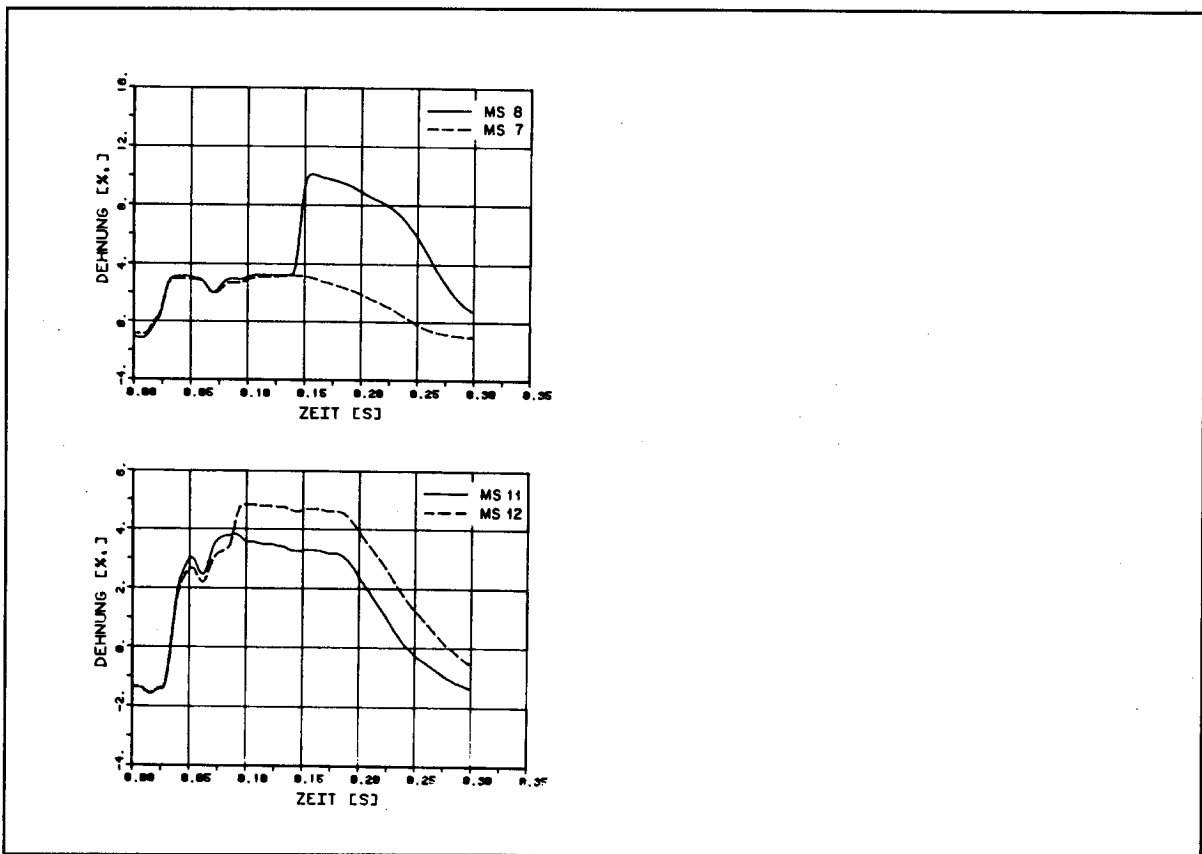


Bild B6.6-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung im gleichen Balkenquerschnitt

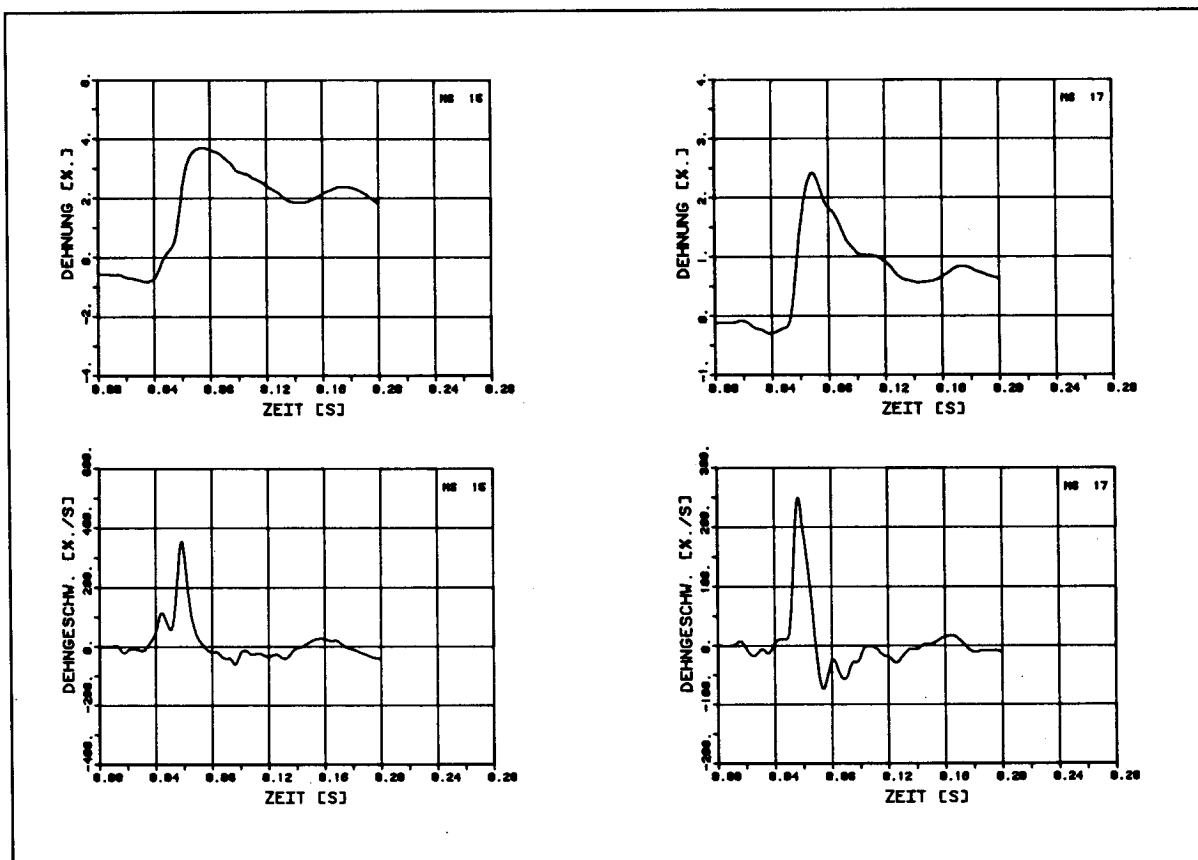


Bild B6.6-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

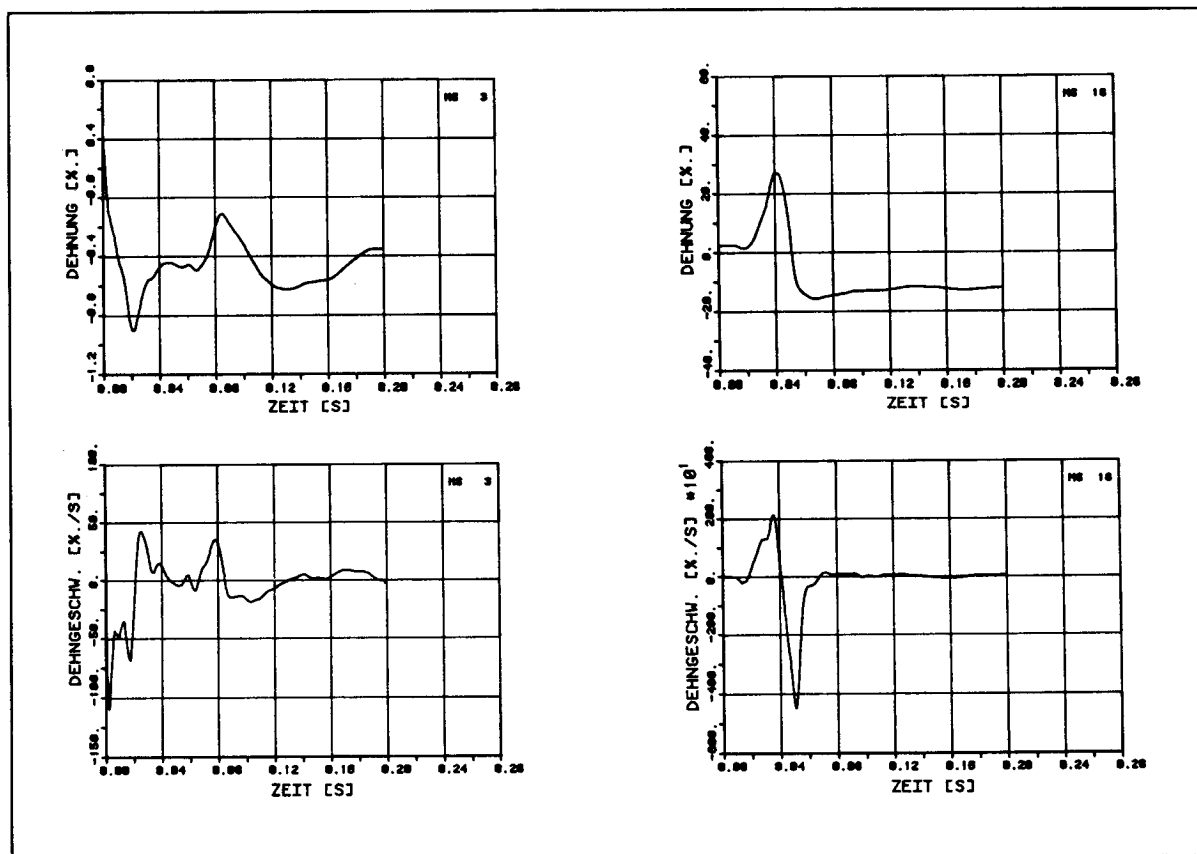


Bild B6.6-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B 6.7

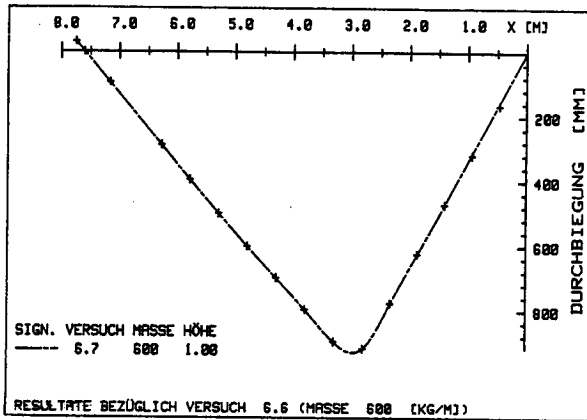


Bild B6.7-1: Biegelinie aus den Nivellements - Messungen für Versuch B6.7 (Spannglied gebrochen)

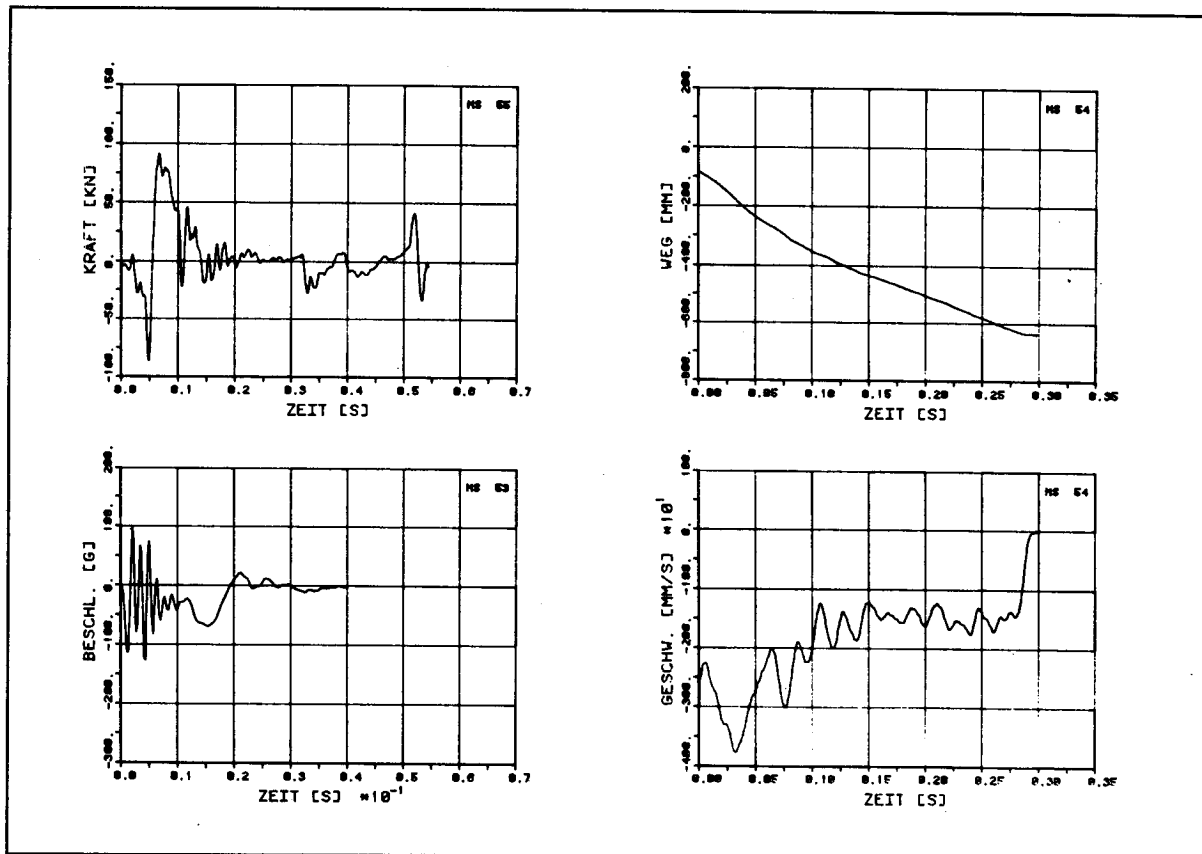


Bild B6.7-2: Zeitverläufe für Gelenkreaktion, Beschleunigung im Aufprallpunkt, Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit

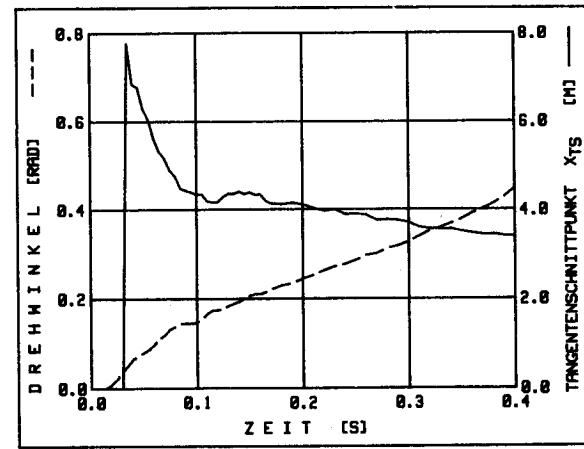
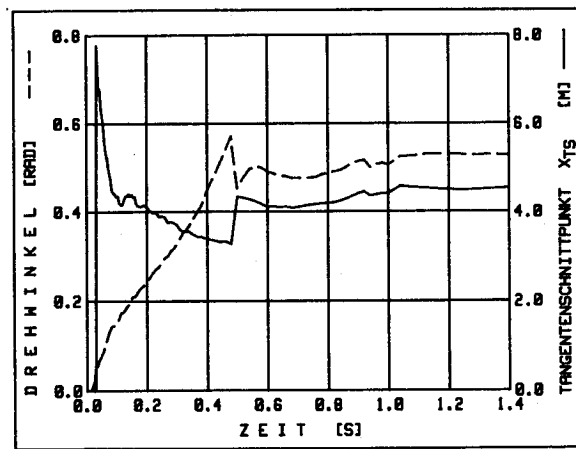
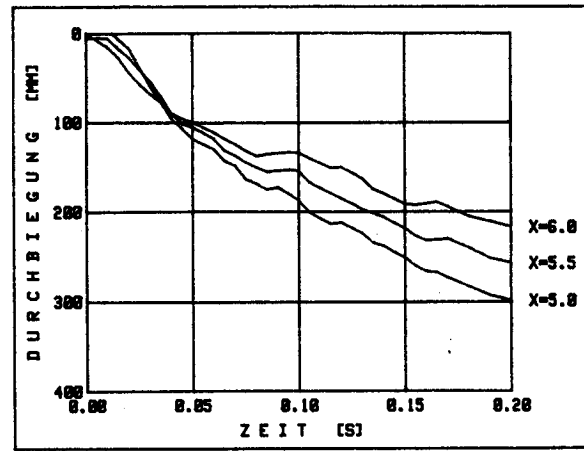
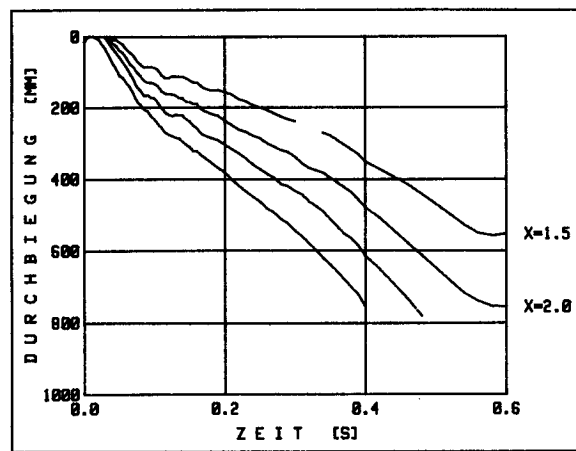
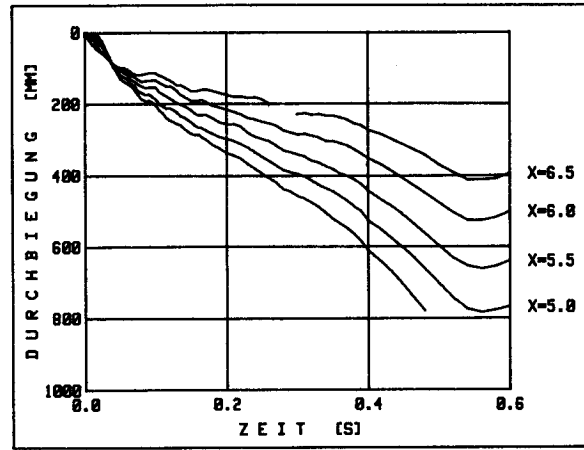
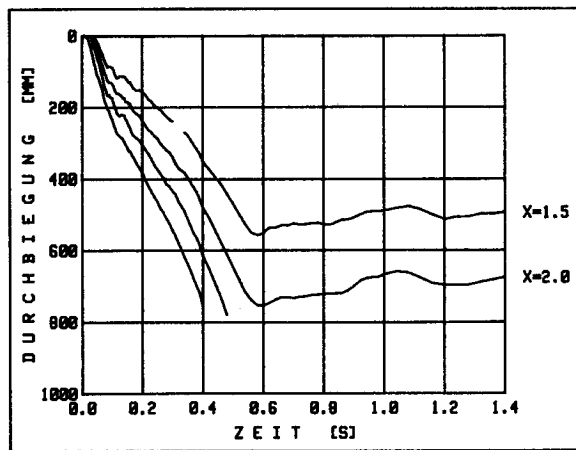
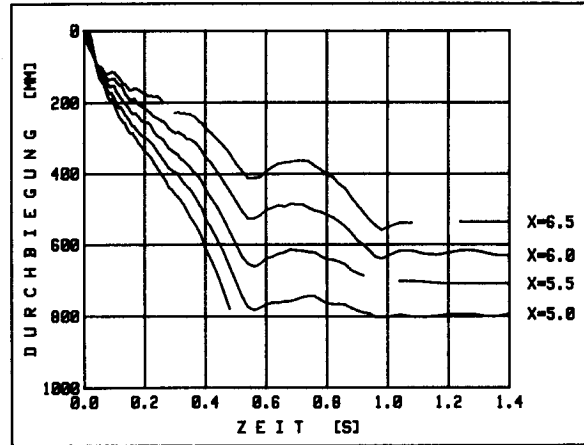
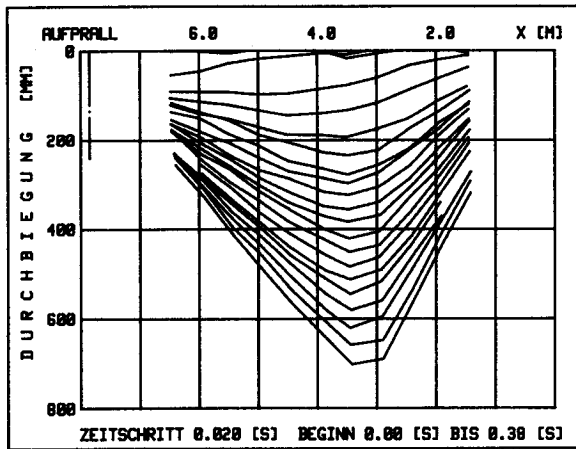


Bild B6.7-3: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen.

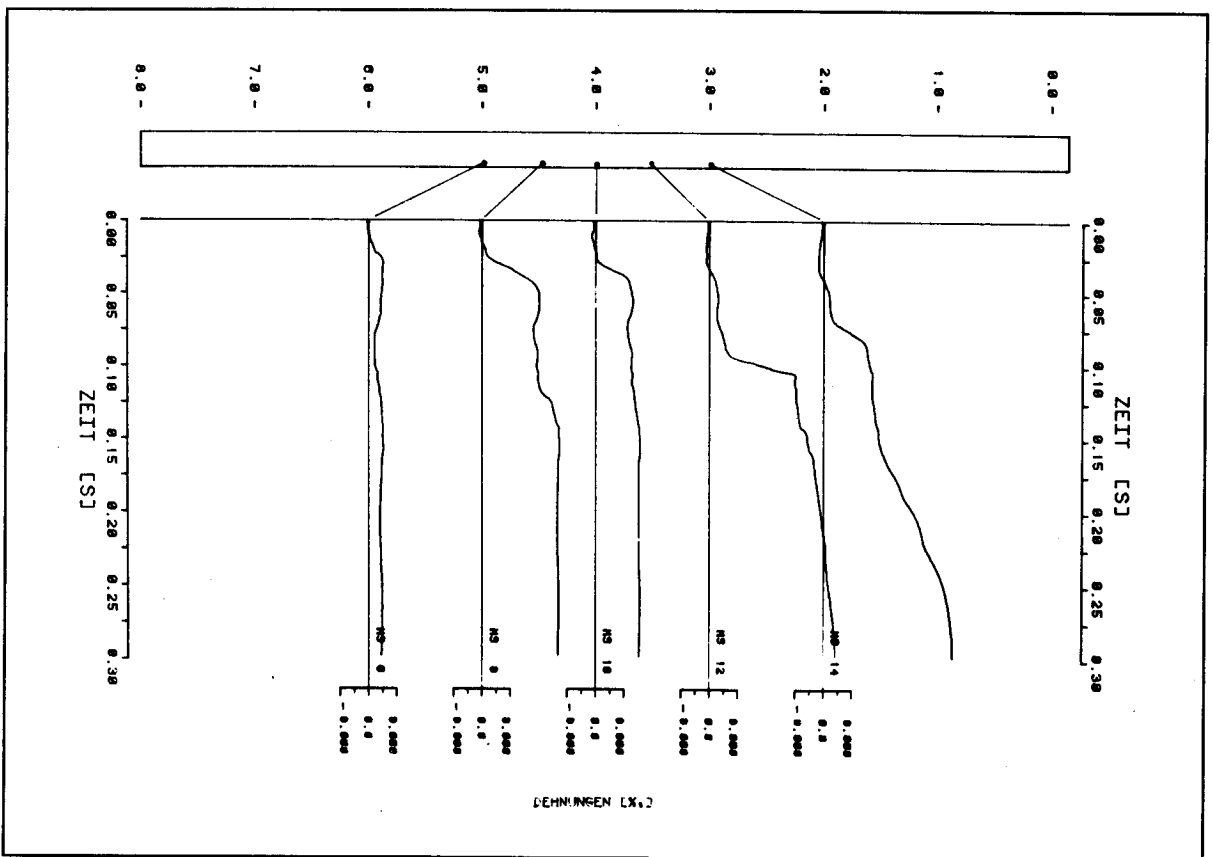
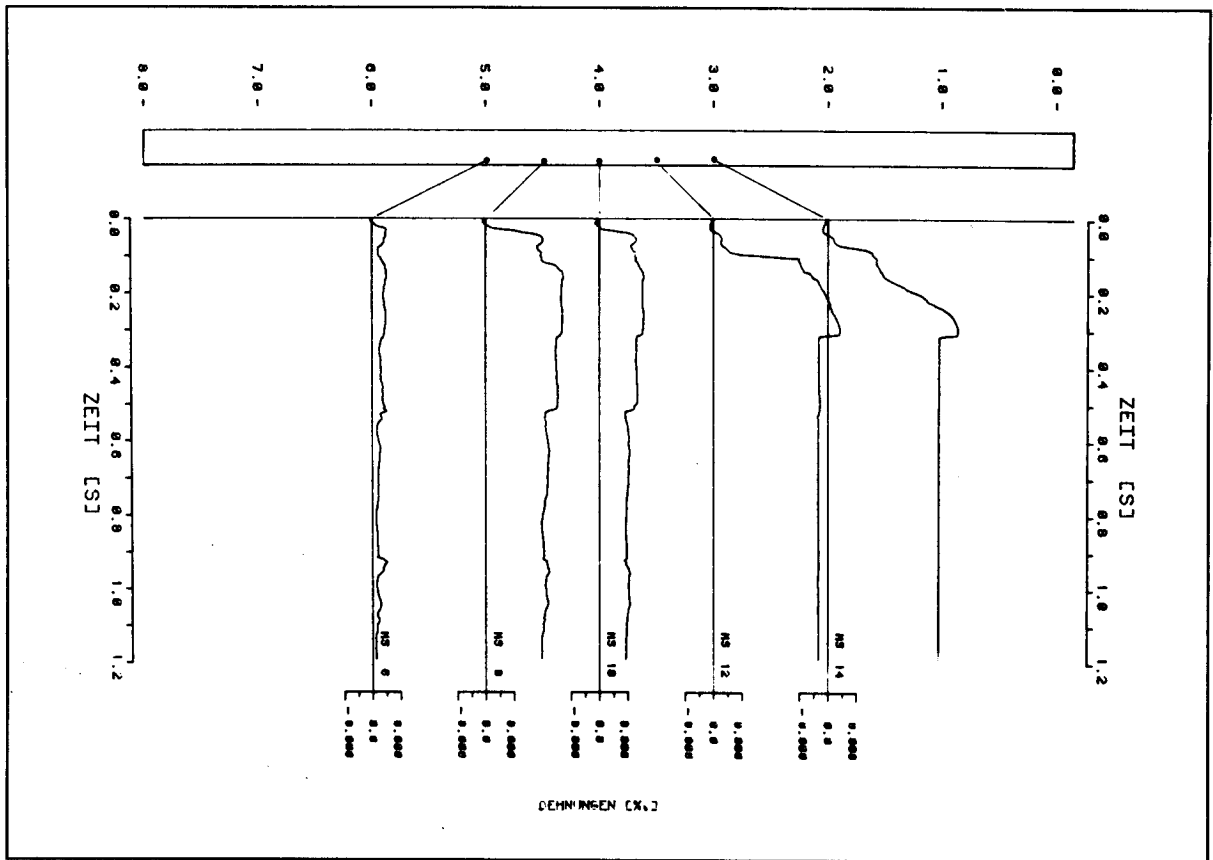


Bild B6.7-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

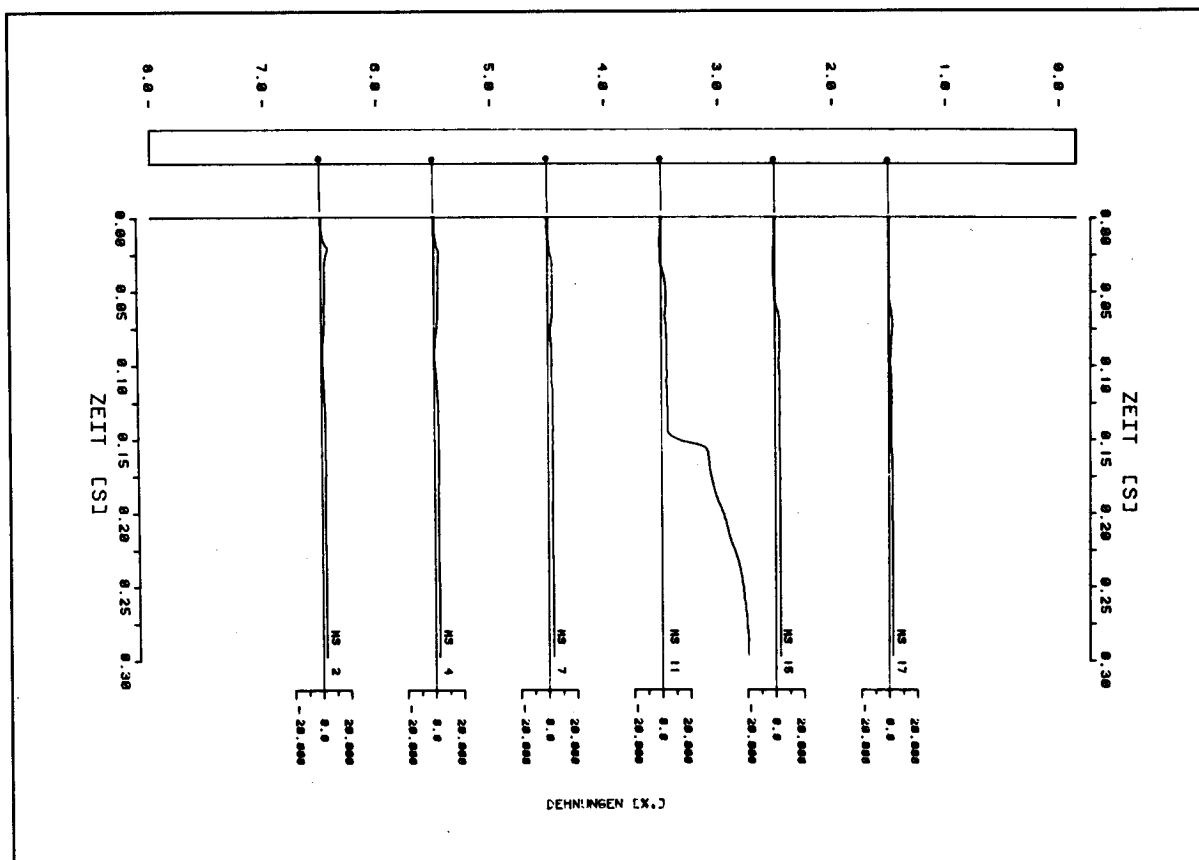


Bild B6.7-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

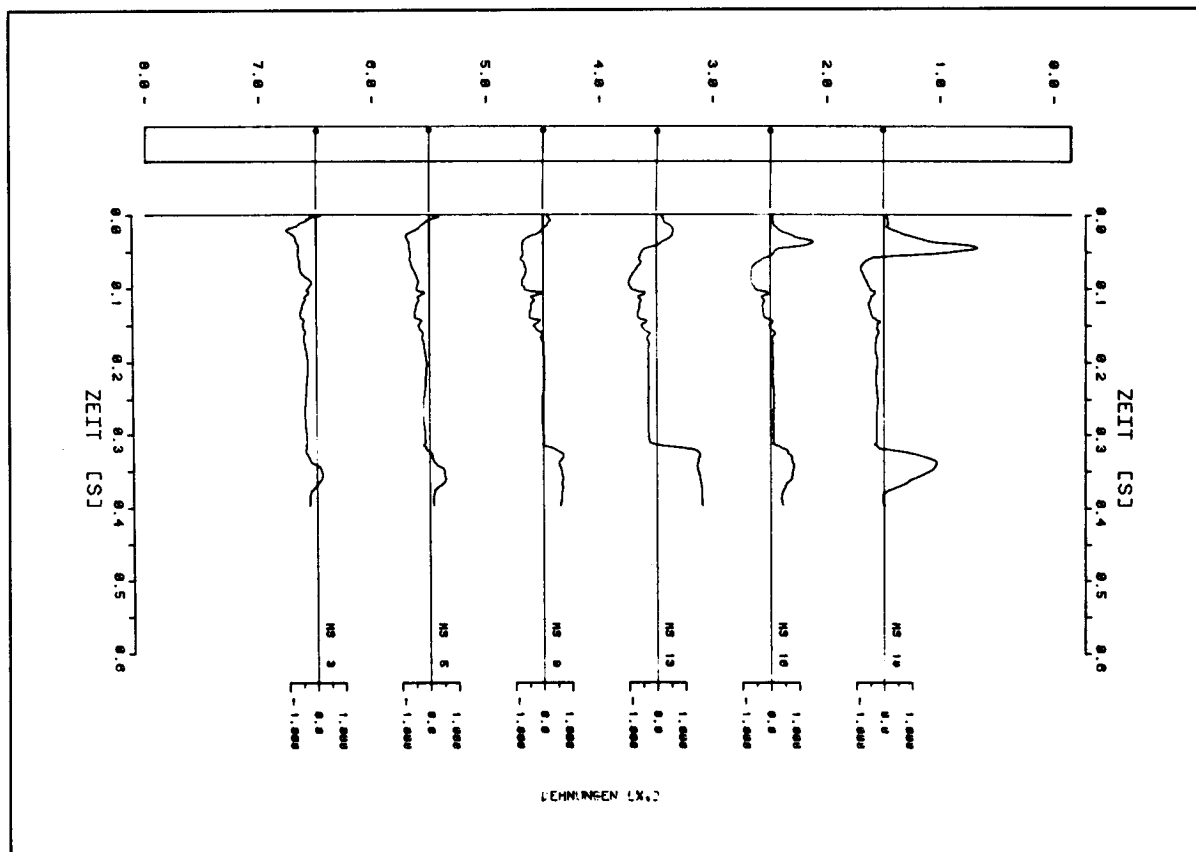


Bild B6.7-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten



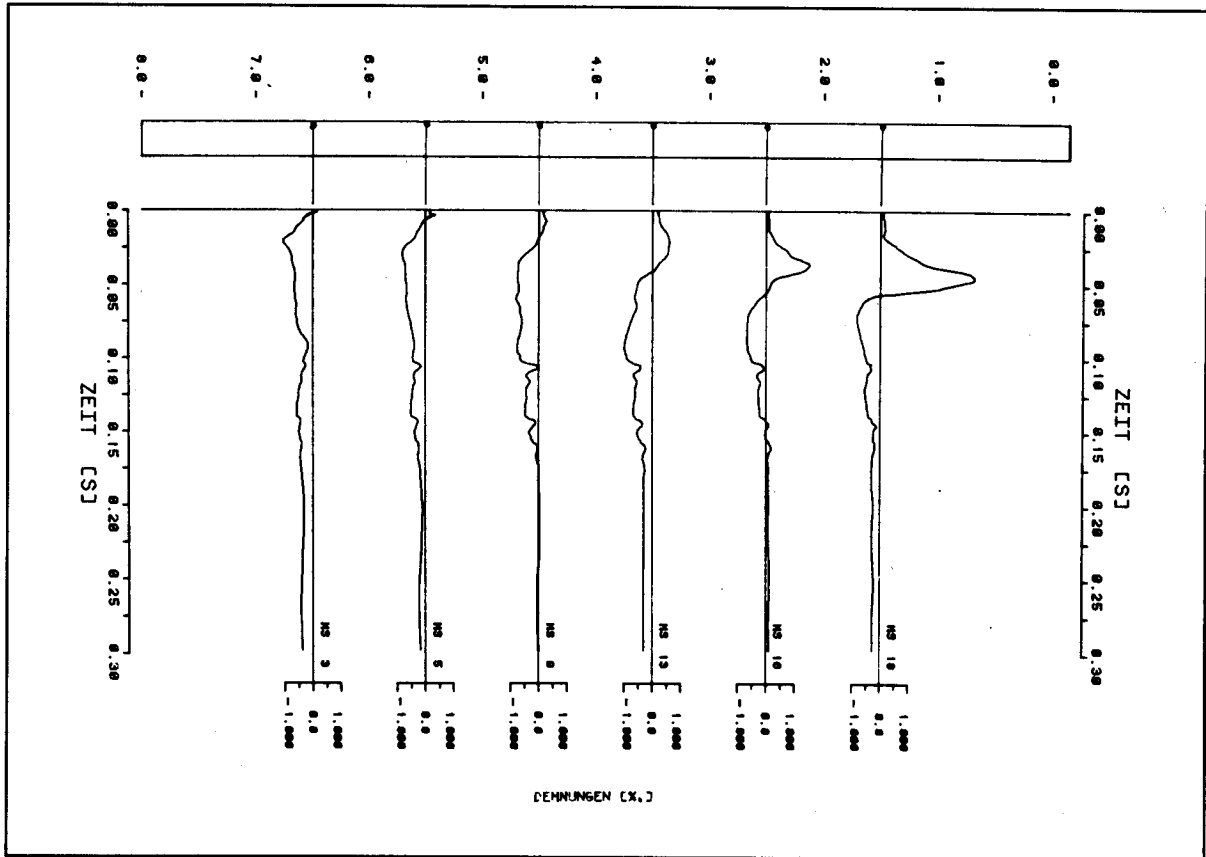


Bild B6.7-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

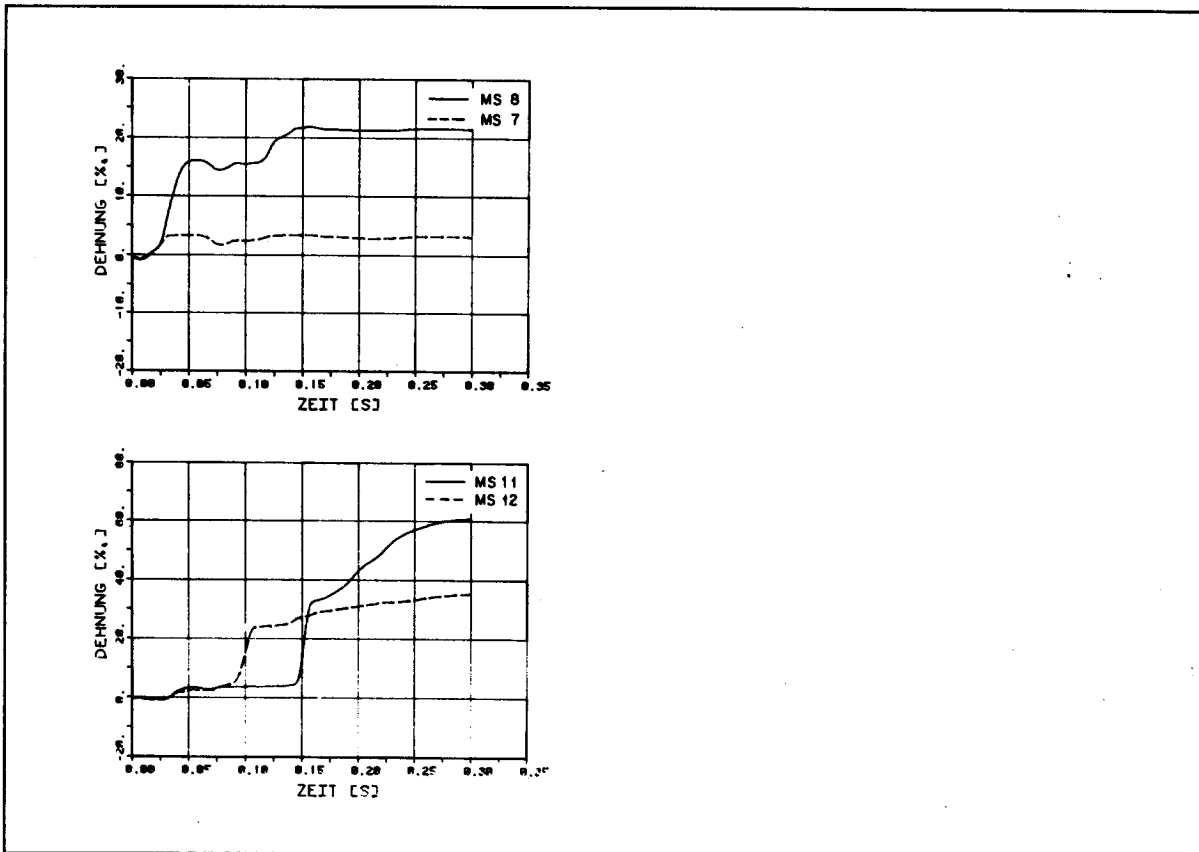


Bild B6.7-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung im gleichen Balkenpunkt

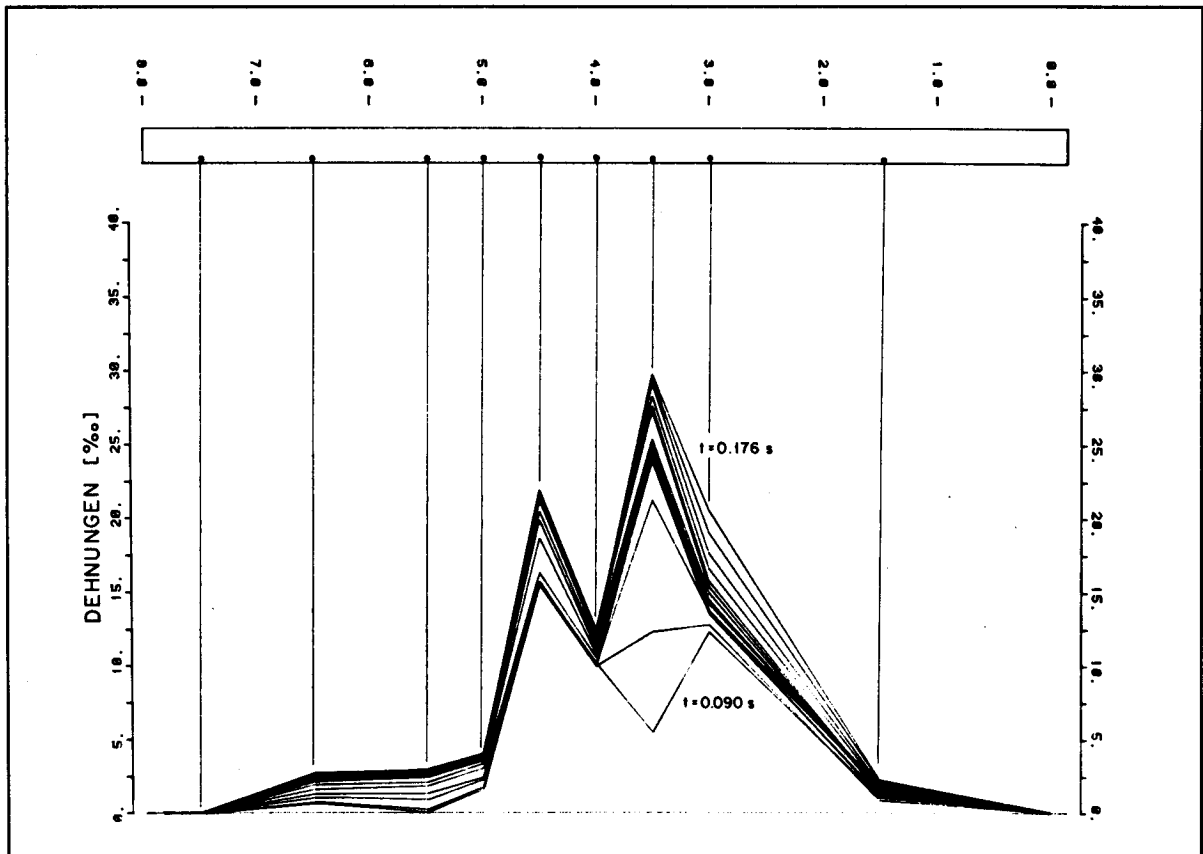


Bild B6.7-9: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.090 \text{ s} - 0.176 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.0061 \text{ s}$ )

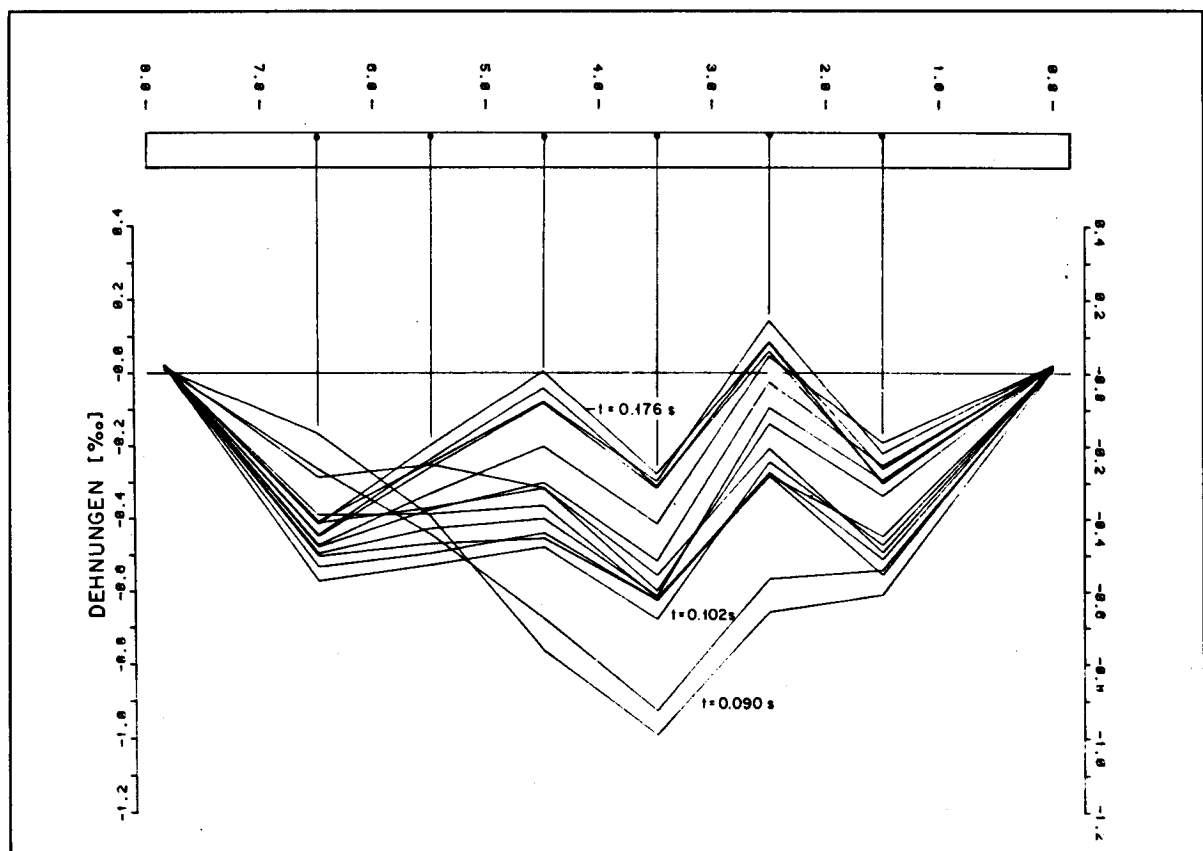


Bild B6.7-10: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.090 \text{ s} - 0.176 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.0061 \text{ s}$ )

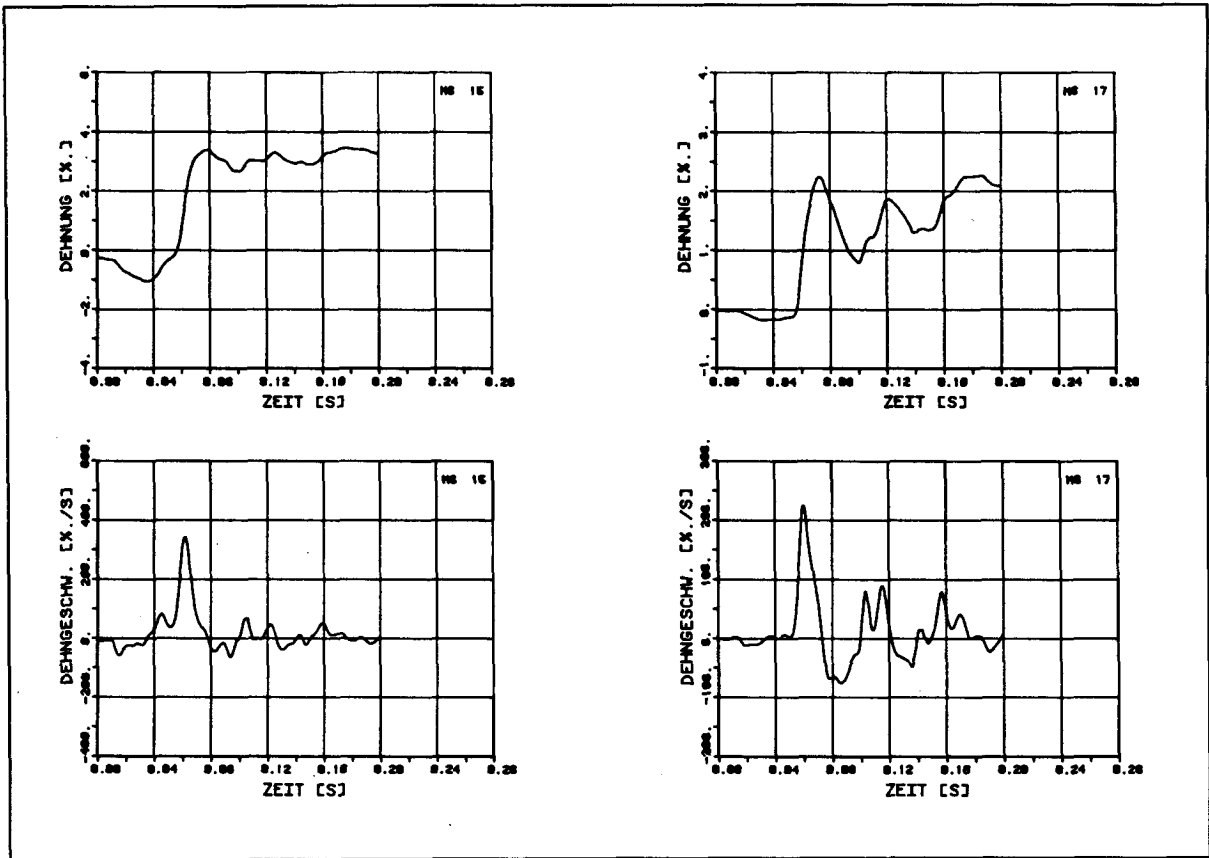


Bild B6.7-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

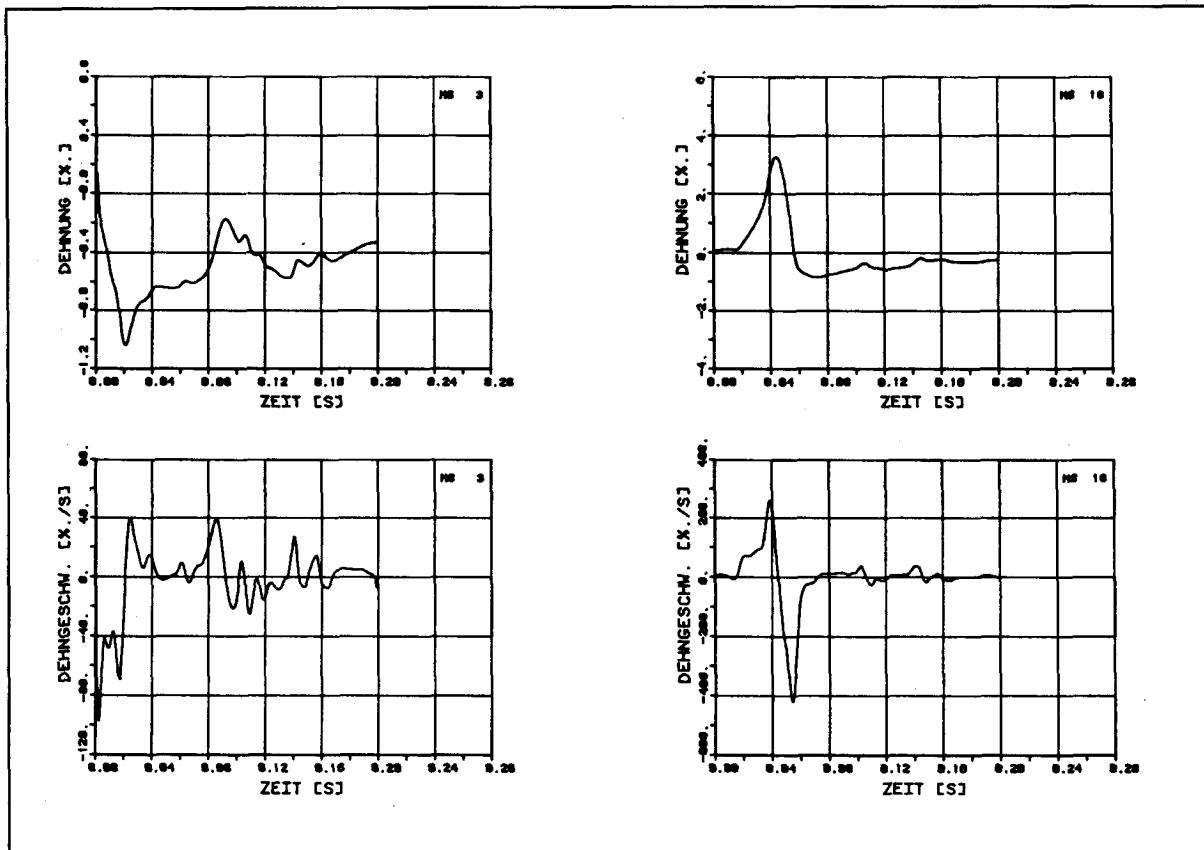


Bild B6.7-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



Die ersten beiden Versuche vermögen an diesem Rissbild wenig zu ändern. Im 3. Versuch B7.3 stossen die Risse erstmals in die Platte vor. Nach dem 4. Versuch sind auf der Unterseite der Platte bereits Rissweiten bis zu 70/100 mm zu erkennen, am unteren Rand des Steges werden maximal 180/100 mm gemessen. Im 6. Versuch beginnen sich die einzelnen Risse wieder zu verästeln. Zudem ist der Beton bei  $x = 3.70$  m erstmals leicht gestaucht. Die maximale Rissweite am unteren Rand des Steges beträgt 400/100 mm und erhöht sich im 7. Versuch B7.7 auf maximal 500/100 mm.

Nach Abschluss der Versuche ist der Balken zwischen  $x = 2.40$  m und  $x = 6.50$  m gleichmässig und sehr stark gekrümmt. Der Beton ist auf der Plattenoberseite an mehreren Orten gestaucht, speziell bei  $x = 3.70$  m, wo eine Schicht von rund 10 mm Stärke von Hand losgelöst werden kann. Die Resttragfähigkeit des Balkens hat infolge dieser Schwächung jedoch nur unwesentlich abgenommen (Reduktion von 75 kNm auf 70 kNm).

Im Aufprallbereich sind trotz nomineller Schubspannungen von über  $5 \text{ N/mm}^2$  keine ausgeprägten Schubrisse festzustellen.

#### Bleibende Dehnungen

Bereits nach dem 5. Versuch B7.5 wurde das Maximum der messbaren mittleren Stahldehnung von 24 % erreicht. Nach dem 7. Versuch B7.7 lag diese Dehnung zwischen  $x = 2.50$  m und  $x = 7.50$  m ausserhalb des Messbereiches. Auf der Balkenoberseite wurden Betonstauchungen von maximal 6 % gemessen.

#### Energieaufnahmevermögen

Die aus den Nivellements-Messungen abgeleiteten Krümmungen konzentrieren sich auf den Bereich zwischen  $x = 2.40$  m und  $x = 6.50$  m. Die mittlere Krümmung beträgt ungefähr  $0.13 \text{ m}^{-1}$  mit einem örtlichen Maximum von  $0.30 \text{ m}^{-1}$ . Die Energieaufnahme des Balkens infolge plastischer Verformung ist gegenüber dem Balken B2 bei gleicher Fallhöhe stets rund 5 % kleiner. Bei der grössten Fallhöhe von  $H = 2.30$  m (Versuch B7.6) beträgt die Energieaufnahme 51 %.

#### Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen

Die Aufprallreaktionen sind im Vergleich zu den entsprechenden Versuchen mit dem Balken praktisch durchwegs etwas kleiner. Die im Stossdämpfer aufgenommene Energie variiert je nach Fallhöhe zwischen 30 % und 80 %. Die am Plattenrand gemessene Spitzenbeschleunigung ist stets kleiner (bis zu 35 %) als direkt über dem Aufprallpunkt.

#### Dehnungsmessungen während der Versuche

Die zahlreichen Dehnmessstellen auf der Bewehrung zeigen in den ersten Versuchen ein sehr ausgeprägtes Ausschlagen. Vergleicht man die Dehnungen über die Balkenhöhe, bleiben die Querschnitte mit wenigen Ausnahmen praktisch eben.

#### Dehngeschwindigkeiten

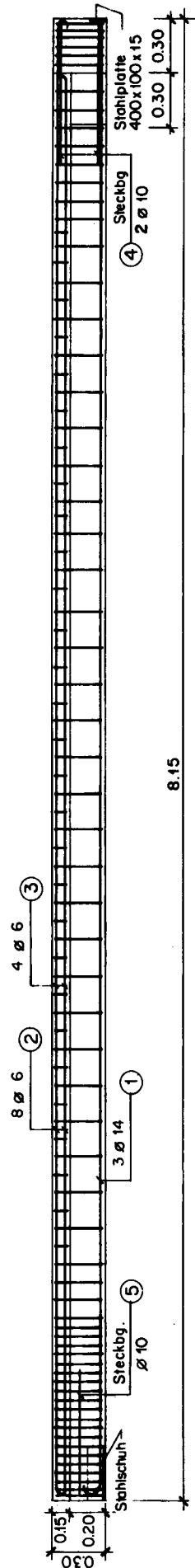
Die in der unteren Längsbewehrung erreichten Dehngeschwindigkeiten liegen zwischen  $0.01$  und  $1.50 \text{ s}^{-1}$ , in der oberen Längsbewehrung zwischen  $0.01$  und  $0.8 \text{ s}^{-1}$  sowie auf dem Beton zwischen  $0.01$  und  $0.05 \text{ s}^{-1}$ .

#### Eigenfrequenz, Dämpfung

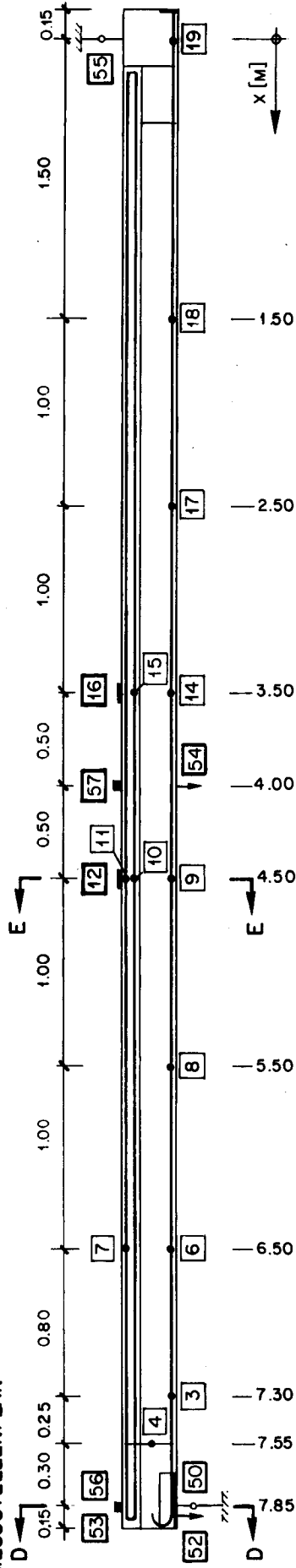
Die Eigenfrequenz des Balkens sinkt kontinuierlich von  $f = 4.90$  Hz auf  $f = 3.12$  Hz. Der Dämpfungskoeffizient steigt von  $\xi = 0.027$  auf  $\xi = 0.05$  um dann wieder abzufallen auf  $\xi = 0.02$ . Die aus den PCM-Aufzeichnungen erhaltenen Werte liegen wiederum höher. Betrachtet man nur gerade den 1. Schwingungszyklus nach dem Aufprall, werden Werte von bis zu  $\xi = 0.15$  errechnet.

# BALKEN B7

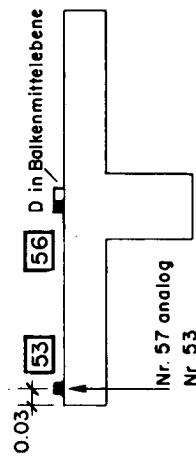
BEWEHRUNGSPLAN



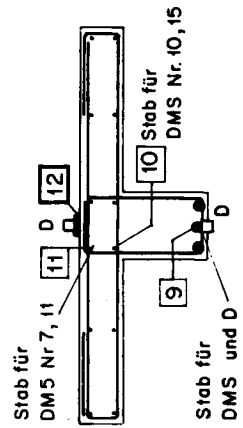
MESSTELLENPLAN



SCHNITT D-D



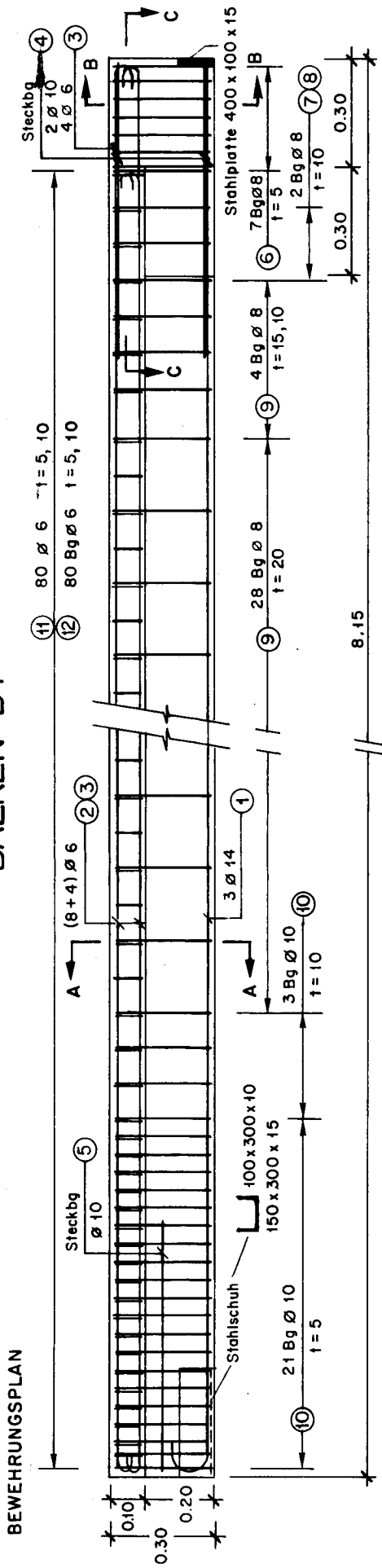
SCHNITT E-E



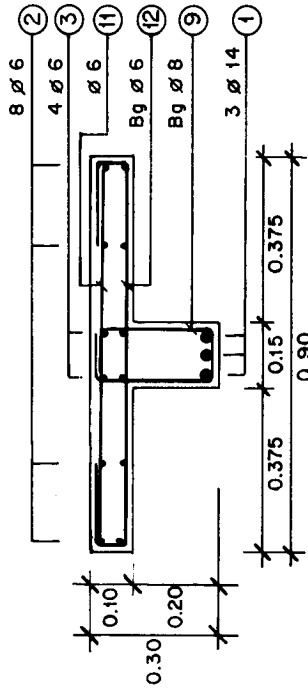
Symbol	Nummer der MS	Bezeichnung
—	3, 4, 6-11, 13-15, 17-19	DMS auf Stahl
—	12, 16	DMS auf Beton
—	50, 55	Kraftmessdose
—	53, 56, 57	Beschleunigungsaufn.
—	52, 54	Wegaufnehmer
—	ohne Angabe	Deformmeter
—		AEUSSERE MESSTELLEN (MS)
—		INNERE MESSTELLEN (MS)

Bild B7.0-1a: Bewehrungs- und Messstellenplan

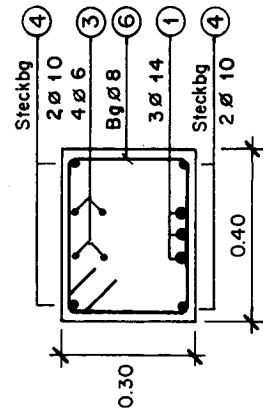
# BALKEN B7



SCHNITT A-A



SCHNITT B-B



SCHNITT C-C

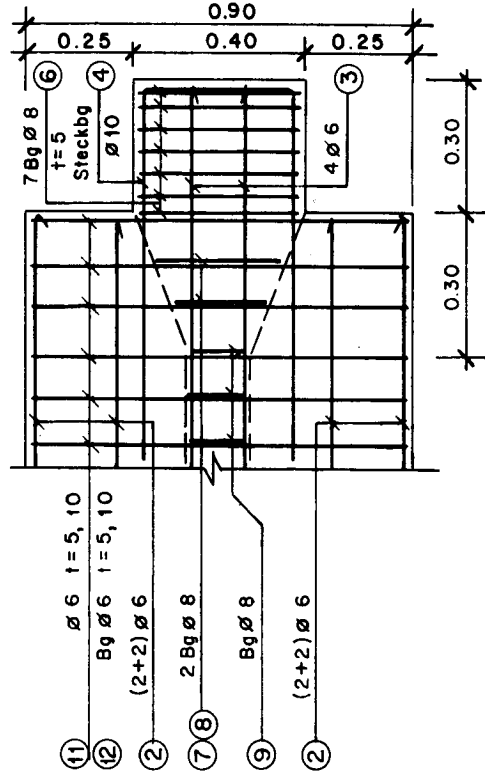
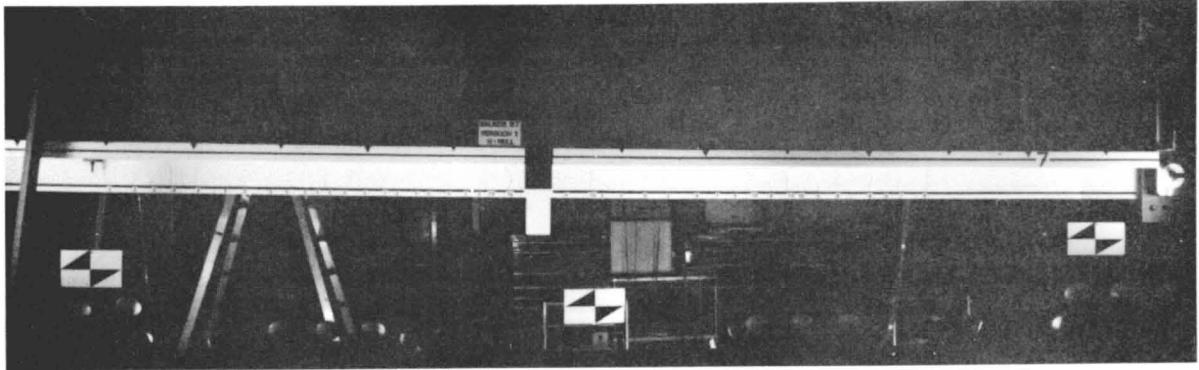
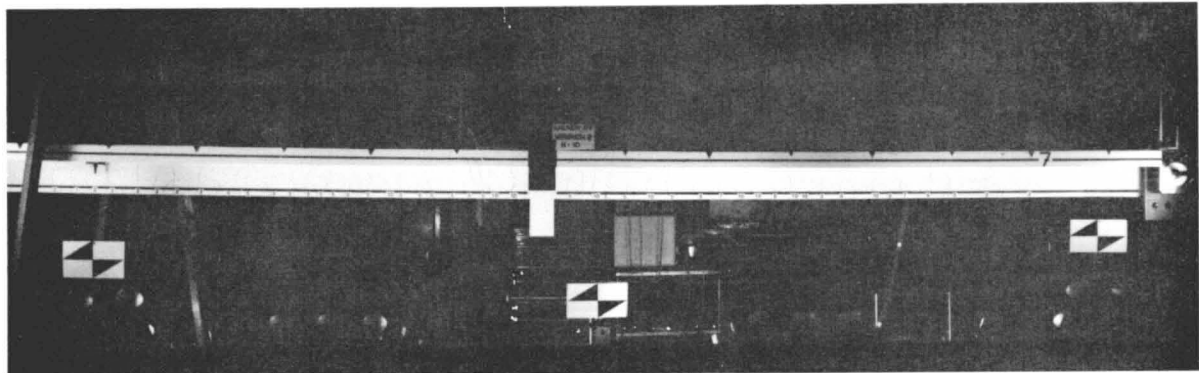


Bild B7.0-Ib: Bewehrungsplan



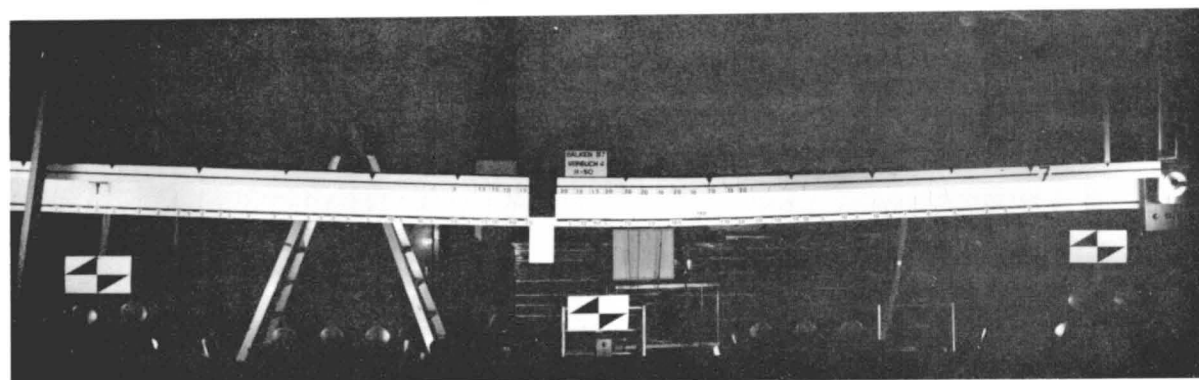
Nach Versuch B7.1 , Fallhöhe  $H = 0.00$  m



Nach Versuch B7.2 , Fallhöhe  $H = 0.10$  m



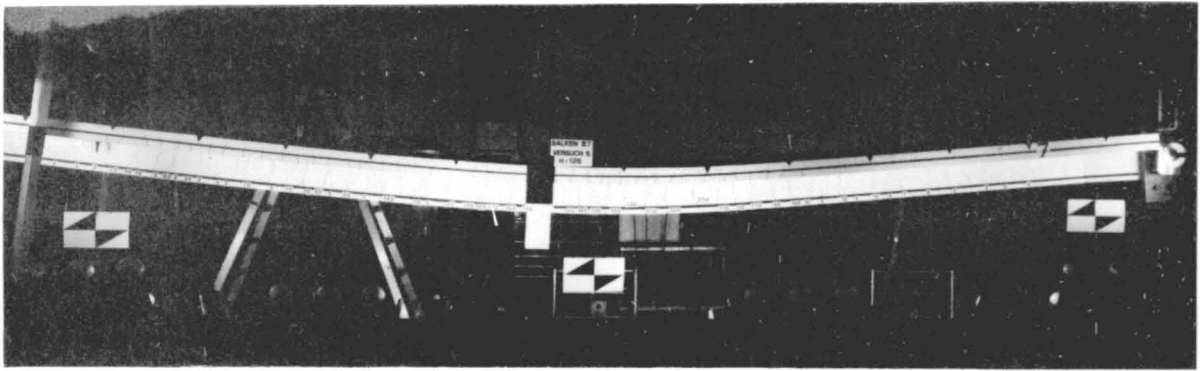
Nach Versuch B7.3 , Fallhöhe  $H = 0.20$  m



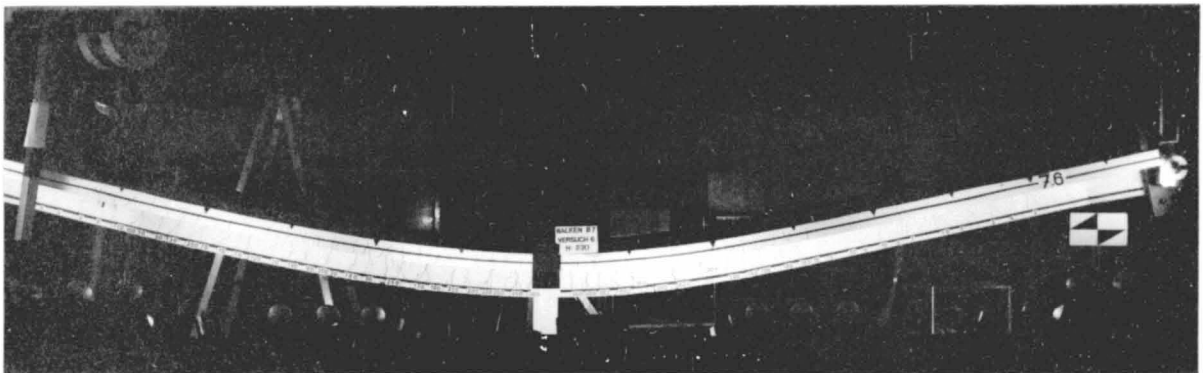
Nach Versuch B7.4 , Fallhöhe  $H = 0.50$  m

Bild B7.0-2: Uebersichtsfotos nach den Versuchen B7.1 bis B7.4

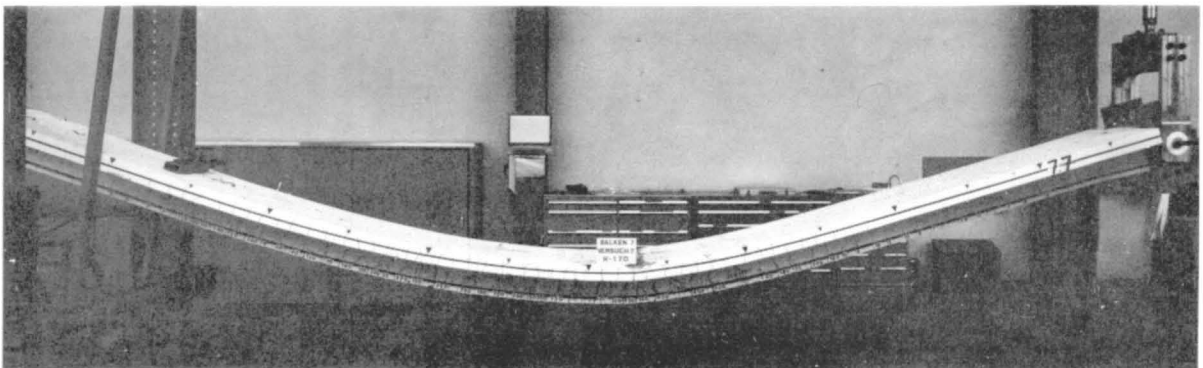




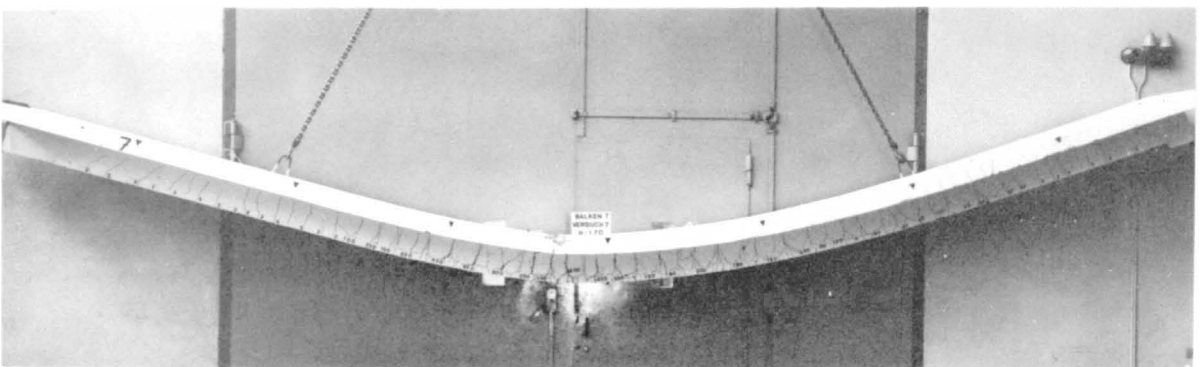
Nach Versuch B7.5 , Fallhöhe H = 1.25 m



Nach Versuch B7.6 , Fallhöhe H = 2.30 m

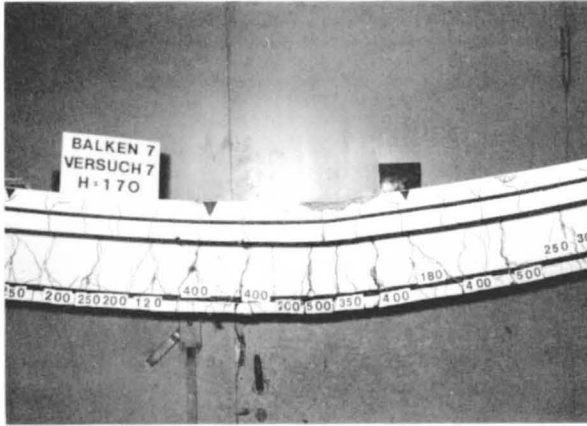


Nach Versuch B7.7 , Fallhöhe H = 1.70 m

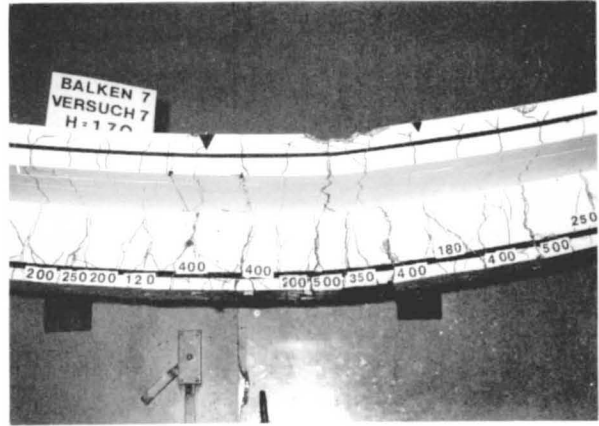


Ausgebauter Zustand , Rückseite

Bild B7.0-3: Uebersichtsfotos nach den Versuchen B7.5 bis B7.7

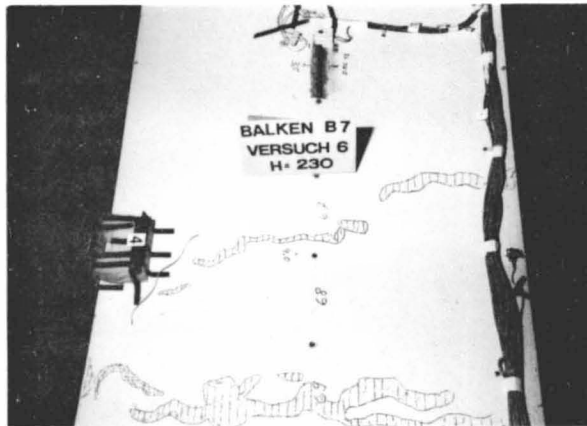


Vorderseite,  $x = 2.90 - 4.50$  m

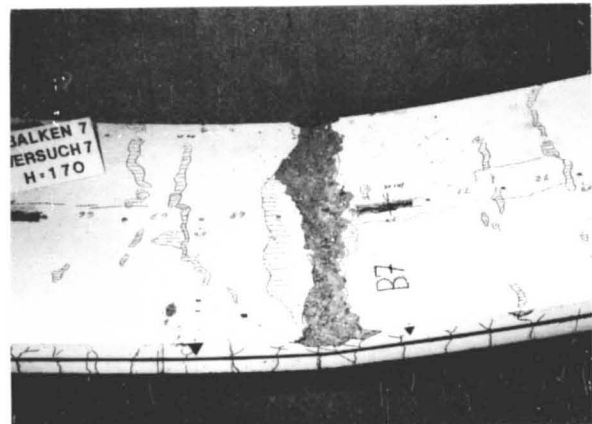


Vorderseite,  $x = 3.00 - 4.40$  m

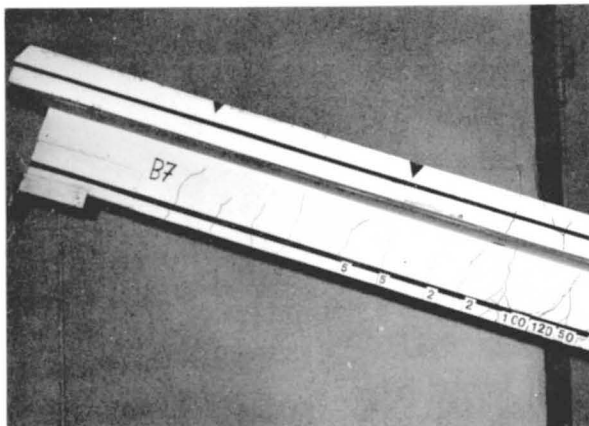
Bereich der grössten Beanspruchung ungefähr in Balkenmitte



Draufsicht,  $x = 3.50 - 4.50$  m  
Zustand nach Versuch B7.6



Draufsicht,  $x = 3.00 - 4.40$  m  
Zustand nach Versuch B7.7



Vorderseite  
Rissbild in der Aufprallzone des Balkens

Bild B7,0-4: Detailaufnahmen nach den Versuchen

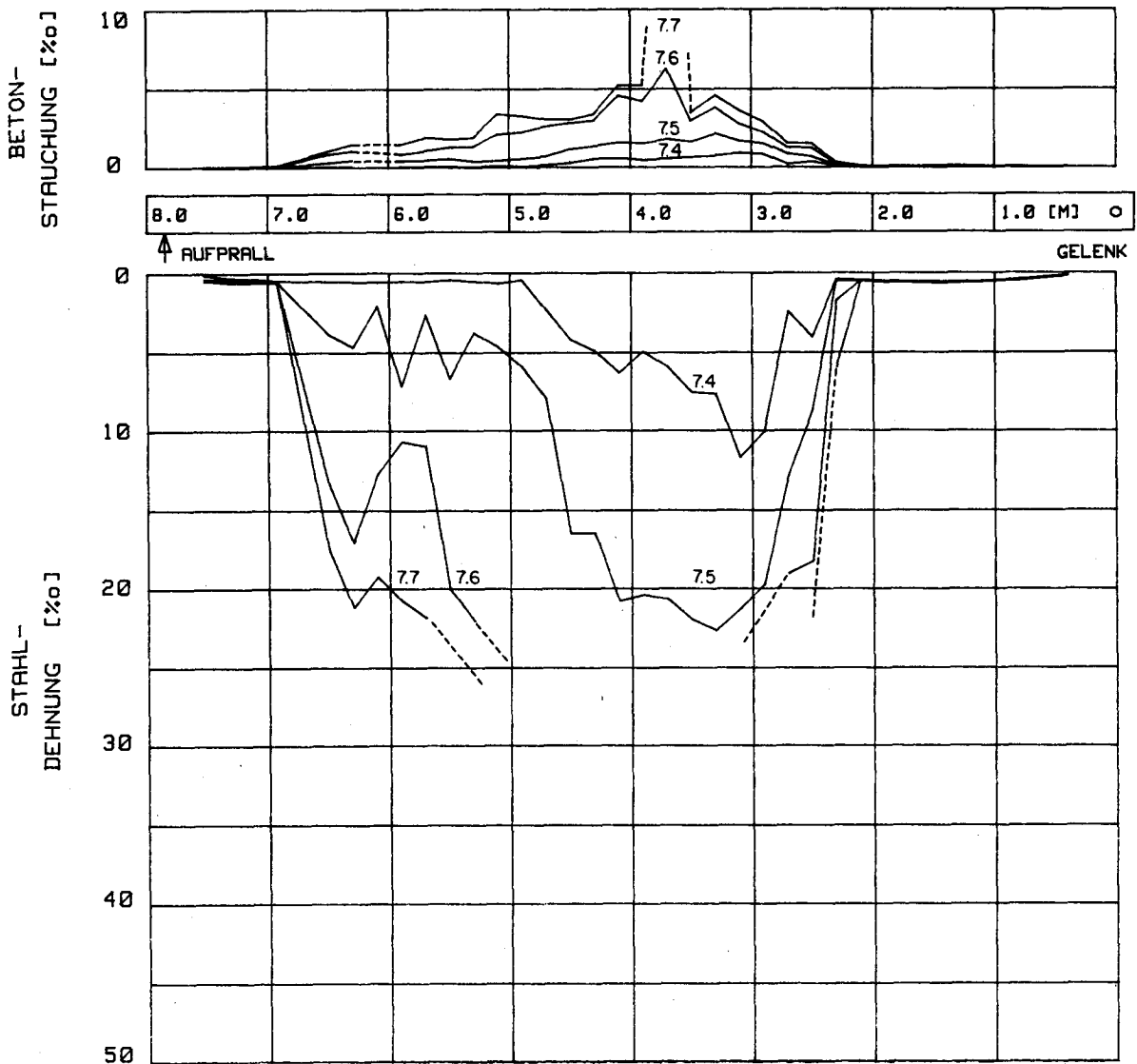


Bild B7.0-5: Dehnungsverläufe aus den Deformetermessungen für die Versuche B7.4 bis B7.7

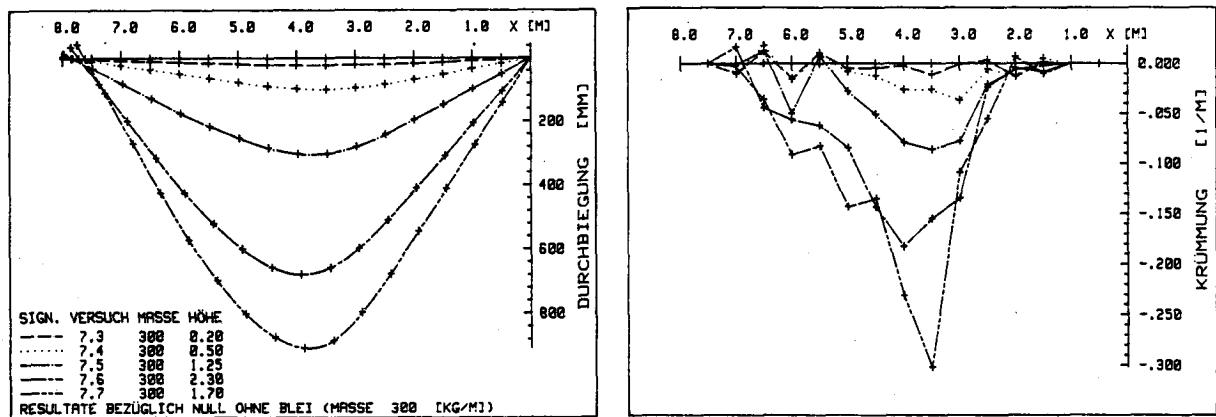


Bild B7.0-6: Biegelinien und Krümmungsverläufe aus den Nivellements - Messungen für die Versuche B7.3 bis B7.7

VERSUCH B7.1

BALKEN 7 VERSUCH 1  
\*\*\*\*\*

BALKENPARAMETER :  
- FALLHOEHE: 0.0 METER  
- BRUCHMOMENT: 75 KILO-NEWTON-METER  
- MASSE: 300 KILOGRAMM / METER  
- BEMERKUNGEN: EICHUNG SIEHE DATENBLATT

DIGITALISIERUNGSPARAMETER: - ANZAHL SAMPLES BEI DER EICHUNG : 400.  
BEI DER MESSUNG : 10496.  
- ABTASTFREQUENZ CA. : 4420. HZ

- BANDGESCHWINDIGKEIT BEIM VERSUCH : 30.0 IPS  
BEIM DIGITALISIEREN : 3.7 IPS  
--> ZEITFAKTOR : 8.0

ZUSAMMENSTELLUNG DER EINZELNEN KANAELE

*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****		*****	
A/D-WANDLER	I	AUFZEICHNUNG	I	UMRECHNUNG	I	EICHGRÖSSE:	KORR.-	VERST.	F(X) =	EICHPARAMETER	A * X +	B	BEMERKUNGEN	I	SYNCH. LOSS
NR:	E	M	PCM	MESSST.	NR:	BEZ	NR:	BEZ	NR:	A	B	B	I	SYNCH. LOSS	SYNCH. LOSS
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
0	0	0	I	91	S	I	0.000 [ J ]	0.000	0.00	1.00000	0.00000	0.00000	I	0.00000	0.00000
1	0	0	I	92	S	I	0.000 [ J ]	0.000	0.00	1.00000	0.00000	0.00000	I	0.00000	0.00000
2	0	0	I	93	S	I	0.000 [ J ]	0.000	0.00	1.00000	0.00000	0.00000	I	0.00000	0.00000
8	0	0	I	1	F	I	347.420 [KN]	2.000	0.10	0.03421	0.03421	0.17172	I	0.17172	0.17172
9	0	0	I	2	F	I	159.550 [KN]	2.000	0.10	0.01587	0.01587	-0.01853	I	-0.01853	-0.01853
10	0	0	I	3	F	I	4.600 [ G ]	2.000	2.00	0.00975	0.00975	0.00385	I	0.00385	0.00385
11	0	0	I	4	F	I	1.300 [ G ]	2.000	4.00	0.00975	0.00975	-0.01919	I	-0.01919	-0.01919
12	0	0	I	5	F	I	0.270 [ G ]	2.000	10.00	0.00486	0.00486	-0.00363	I	-0.00363	-0.00363
13	1	0	I	6	W	I	121.000 [MM]	2.000	1.00	0.23674	0.23674	-0.30480	I	-0.30480	-0.30480
14	1	2	I	7	W	I	262.160 [MM]	2.000	1.00	0.12824	0.12824	-0.16447	I	-0.16447	-0.16447
15	0	0	I	8	E	I	1.000 [ % ]	2.140	0.50	0.00046	0.00046	-0.00044	I	-0.00044	-0.00044
16	0	0	I	9	F	I	1.000 [ % ]	2.060	0.10	0.00010	0.00010	0.00010	I	0.00010	0.00010
17	0	2	I	10	E	I	1.000 [ % ]	2.060	0.10	0.00002	0.00002	-0.00002	I	-0.00002	-0.00002
18	0	1	I	11	E	I	1.000 [ % ]	2.030	0.20	0.00010	0.00010	0.00036	I	0.00036	0.00036
19	0	0	I	12	11	E	1.000 [ % ]	2.030	0.20	0.00020	0.00020	0.00002	I	0.00002	0.00002
20	0	0	I	13	10	E	1.000 [ % ]	2.030	0.20	0.00020	0.00020	0.00020	I	0.00020	0.00020
21	0	0	I	14	15	E	1.000 [ % ]	2.030	0.20	0.00020	0.00020	0.00003	I	0.00003	0.00003
22	0	0	I	15	99	-	0.000 [ - ]	0.000	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	I	0.00000	0.00000
23	0	0	I	16	E	I	1.000 [ % ]	2.140	0.50	0.00048	0.00048	0.00118	I	0.00118	0.00118
24	3	3	I	17	6	E	10.000 [ % ]	2.060	0.20	0.00233	0.00233	-0.01851	I	-0.01851	-0.01851
25	3	3	I	18	8	E	10.000 [ % ]	2.060	0.20	0.00232	0.00232	-0.01581	I	-0.01581	-0.01581
26	3	3	I	19	9	F	10.000 [ % ]	2.060	0.20	0.00232	0.00232	-0.00970	I	-0.00970	-0.00970
27	3	3	I	20	14	E	10.000 [ % ]	2.060	0.20	0.00232	0.00232	-0.00605	I	-0.00605	-0.00605
28	3	3	I	21	17	E	10.000 [ % ]	2.060	0.20	0.00233	0.00233	-0.01367	I	-0.01367	-0.01367
29	3	3	I	22	18	E	10.000 [ % ]	2.060	0.20	0.00232	0.00232	-0.00978	I	-0.00978	-0.00978
30	0	0	I	23	99	-	0.000 [ - ]	0.000	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	I	0.00000	0.00000
31	0	0	I	24	99	-	0.000 [ - ]	0.000	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	I	0.00000	0.00000

Bild B7.1-1: Informationsblatt PCM - Daten

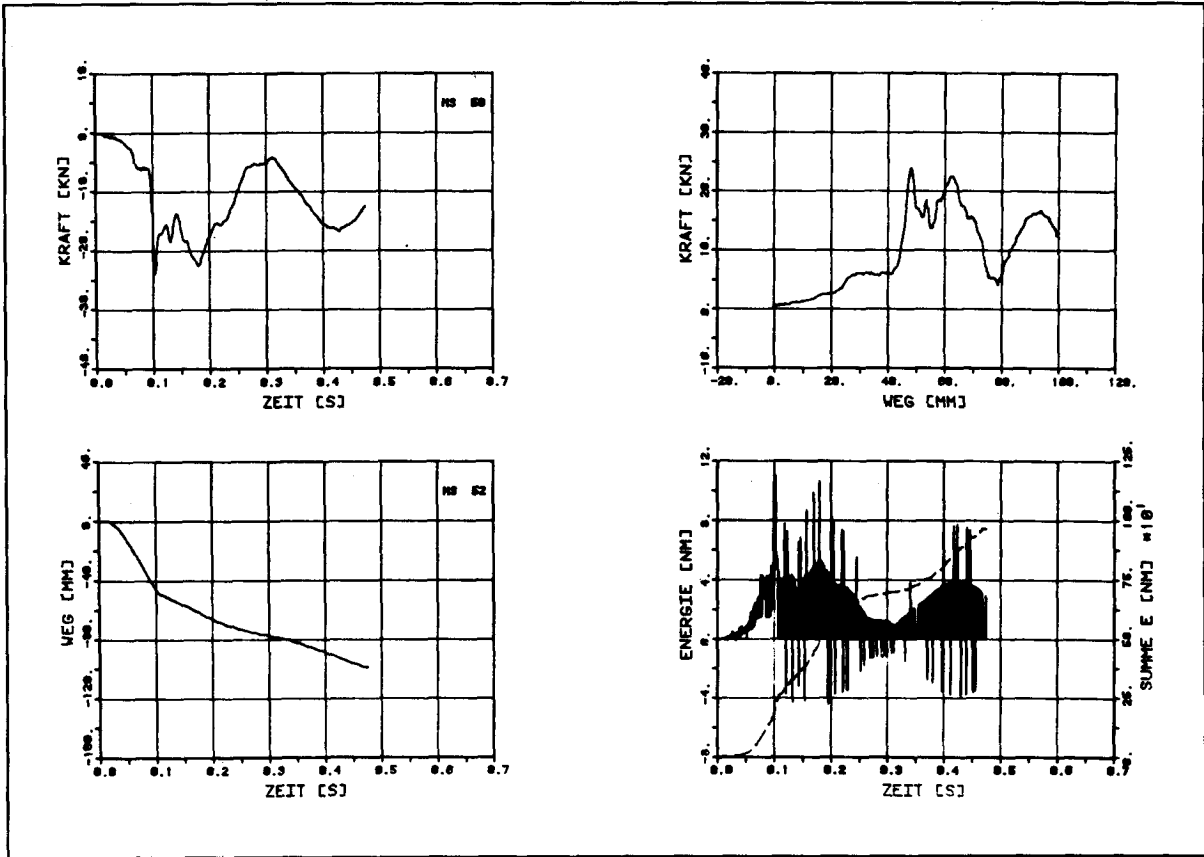


Bild B7.1-2: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

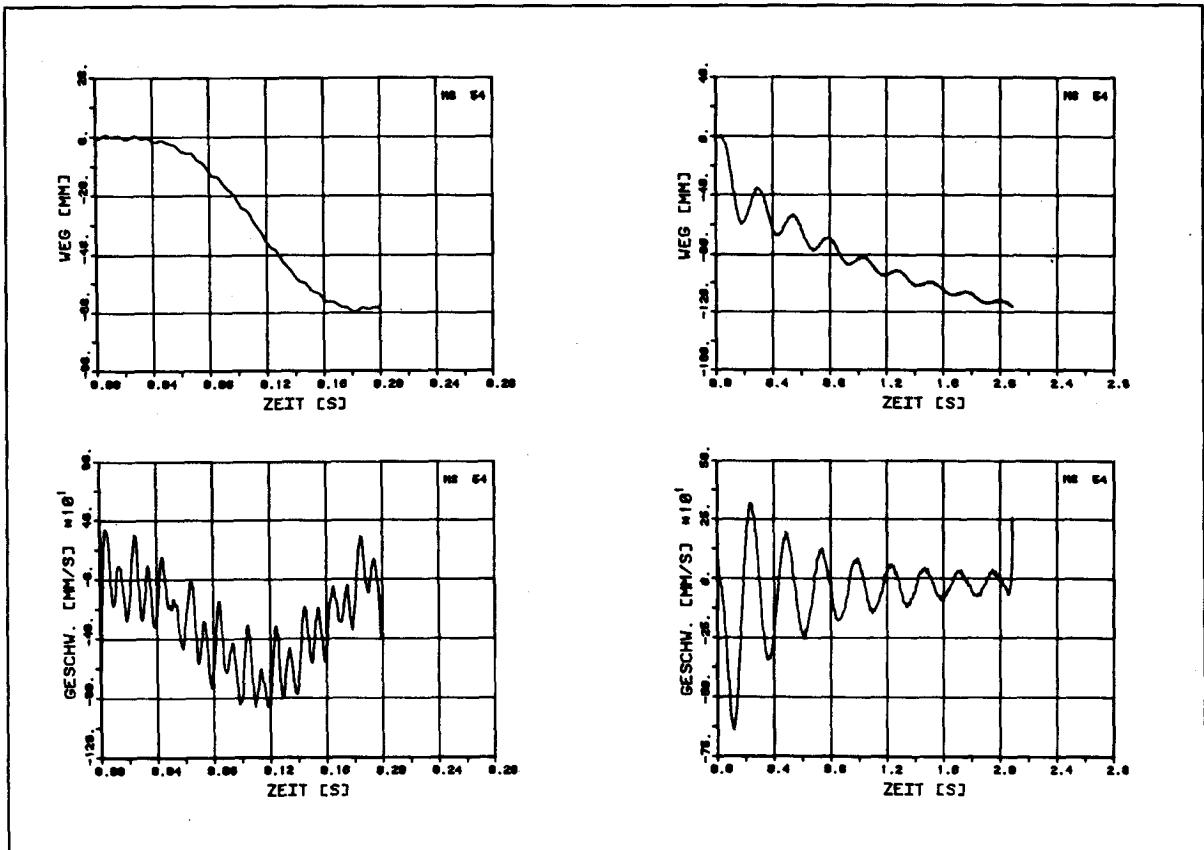


Bild B7.1-3: Zeitverläufe der Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

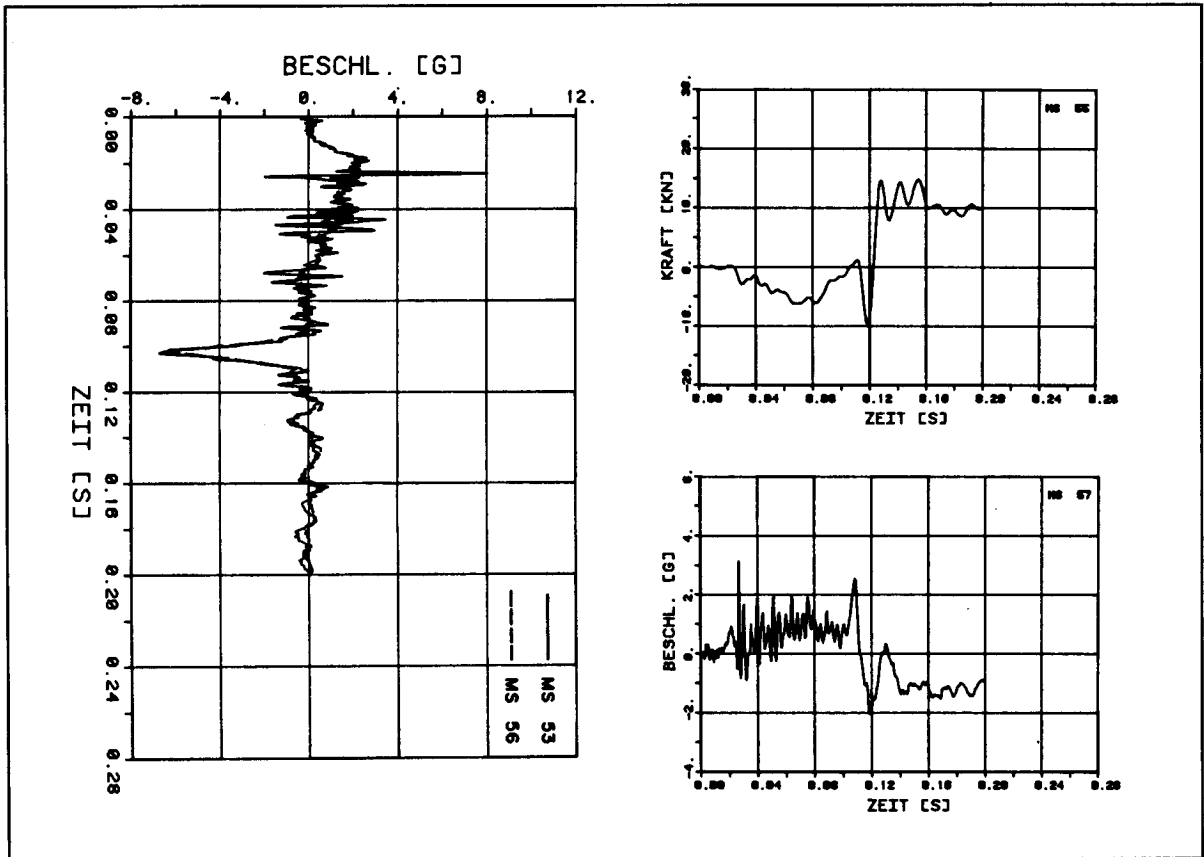


Bild B7.1-4: Zeitverläufe der Gelenkreaktion und der Beschleunigungen in Einzel-Darstellungen

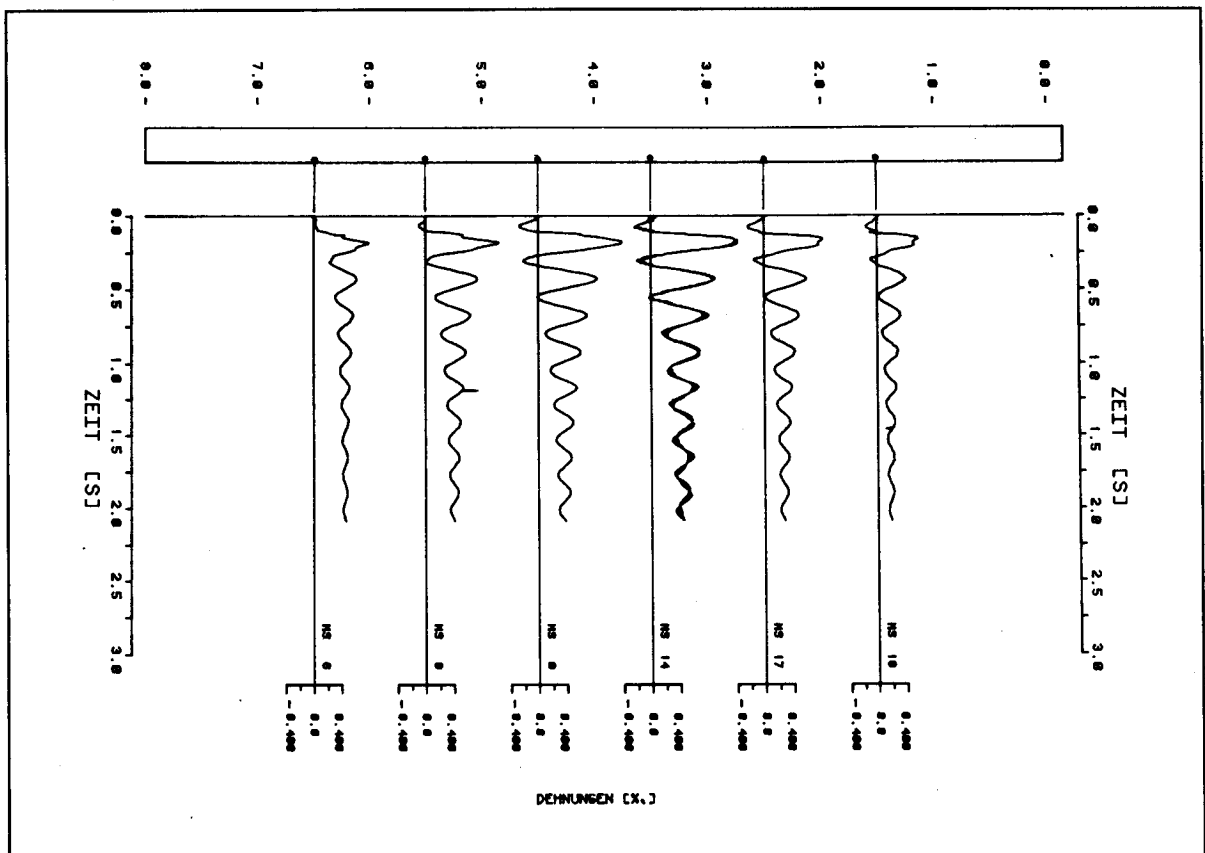


Bild B7.1-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

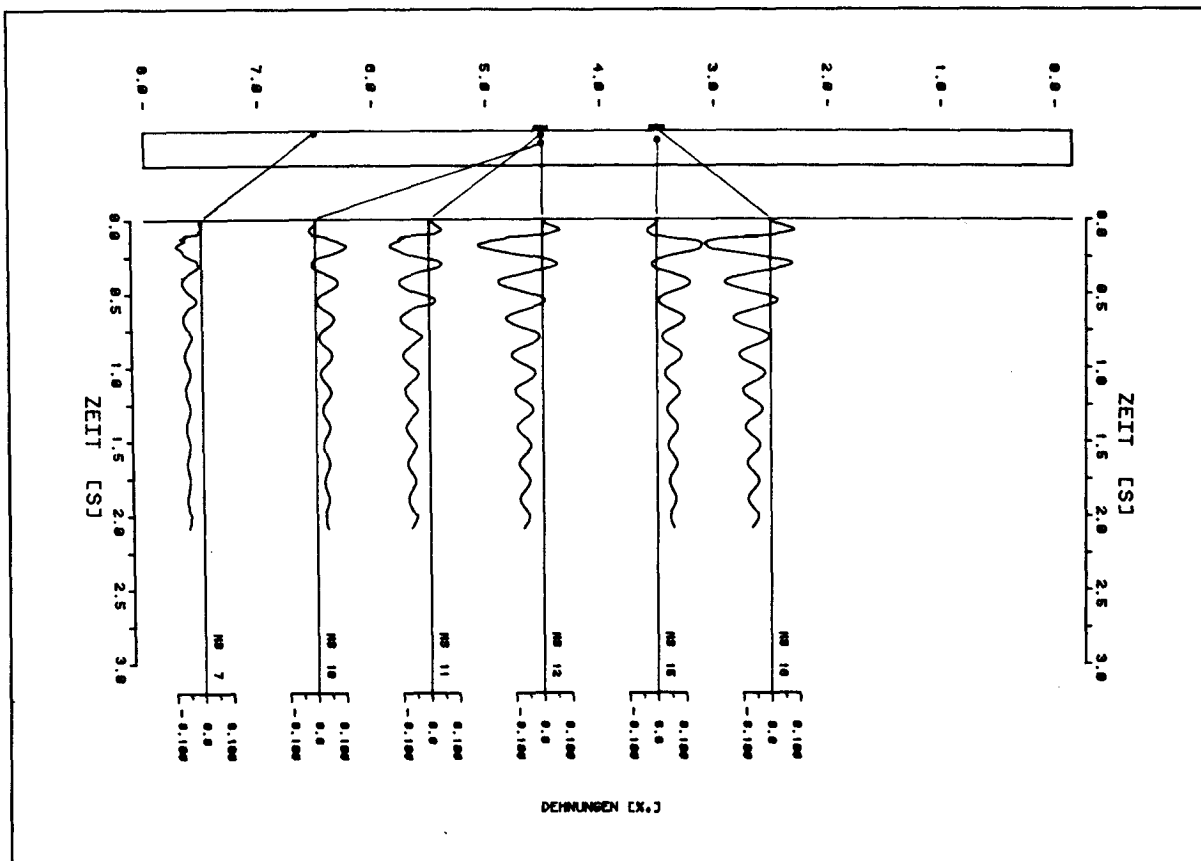


Bild B7.1-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton in einzelnen Balkenpunkten und -querschnitten

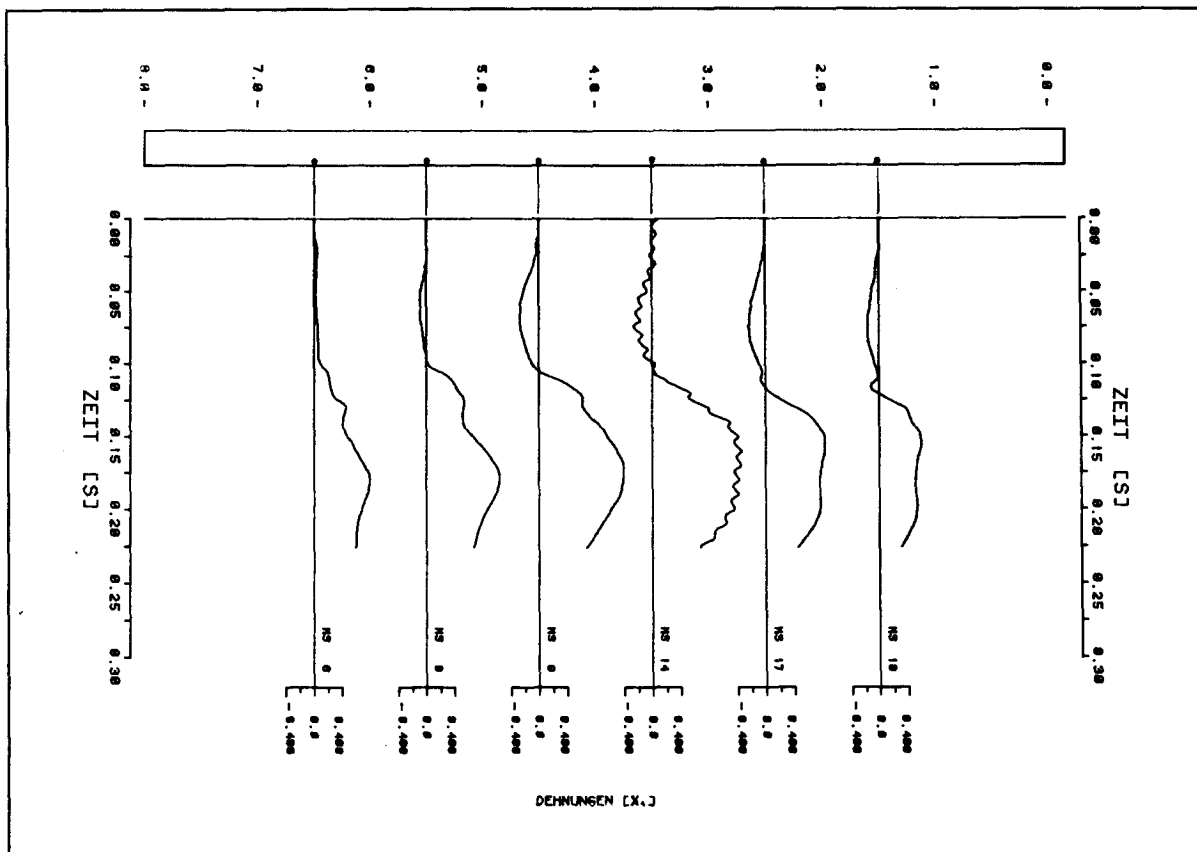


Bild B7.1-7: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

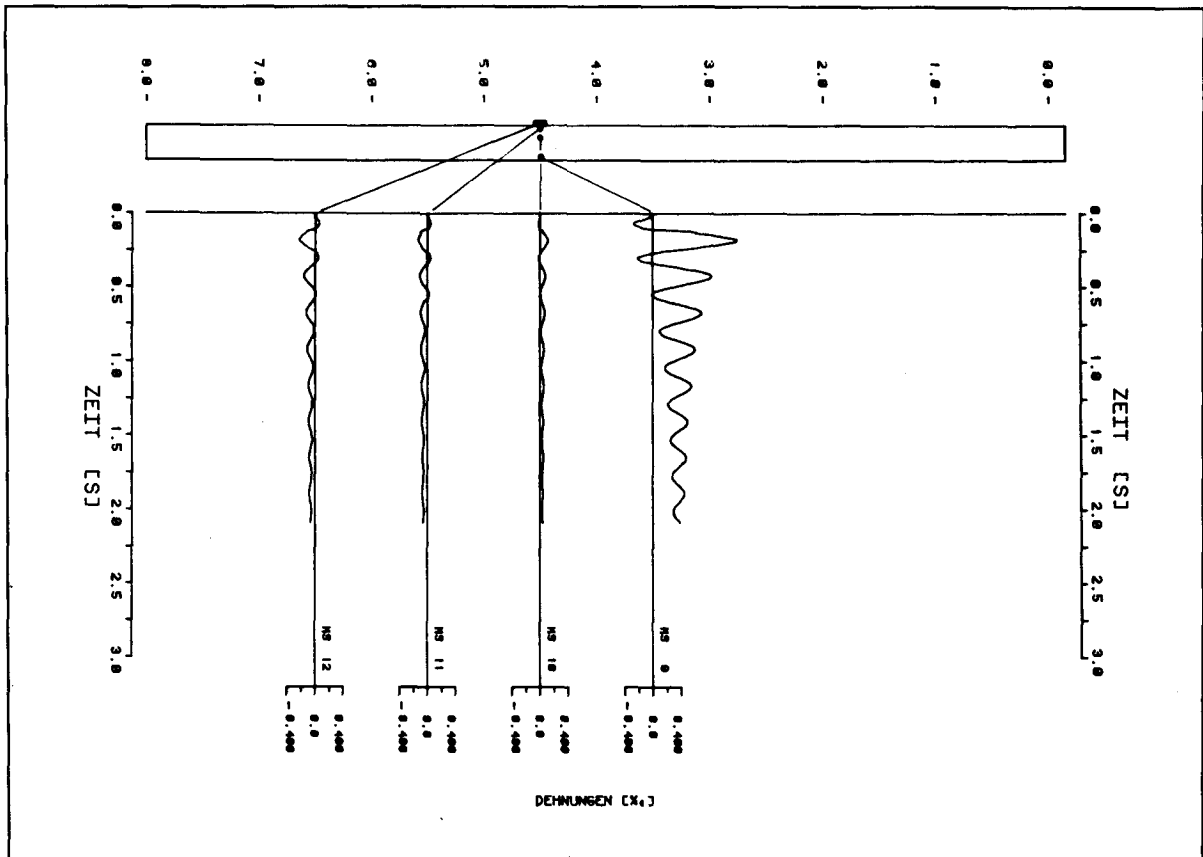


Bild B7.1-8: Zeitverläufe der Dehnungen der Längsbewehrung und des Betons in einem Balkenquerschnitt

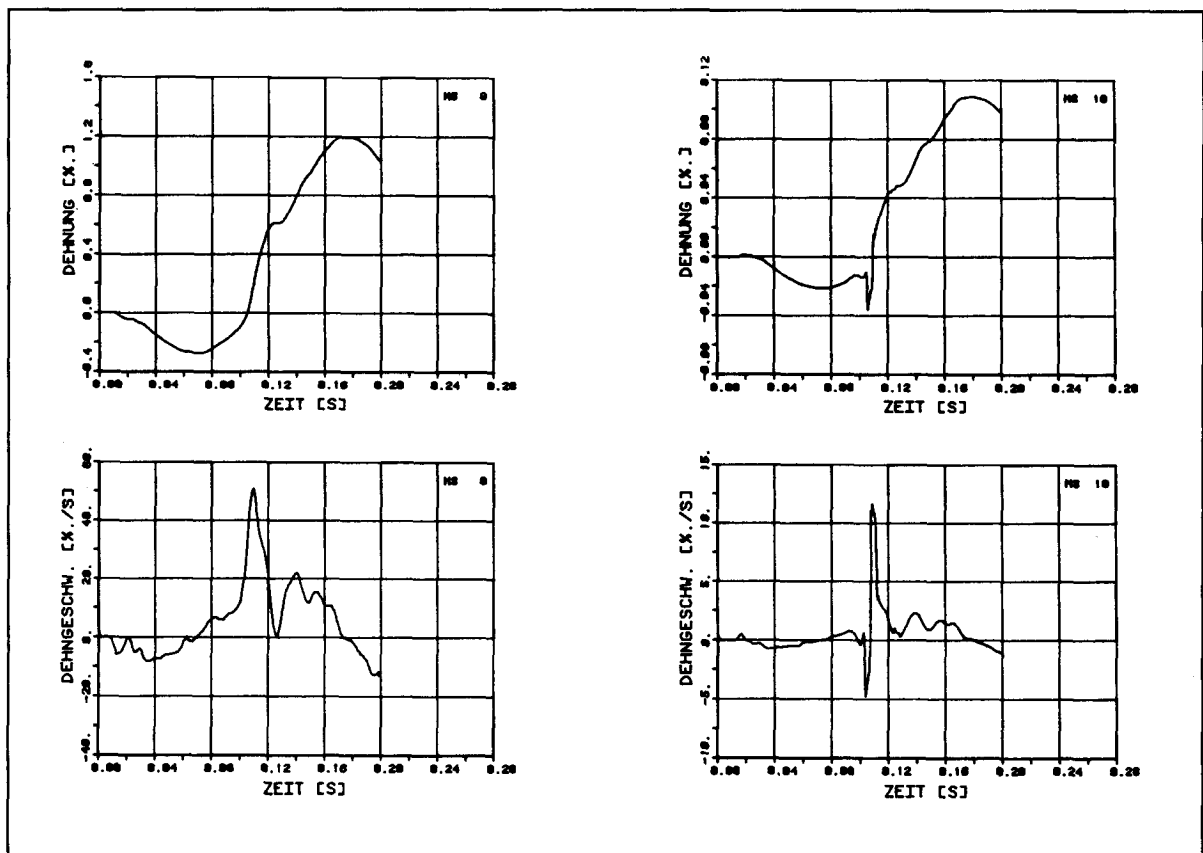


Bild B7.1-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



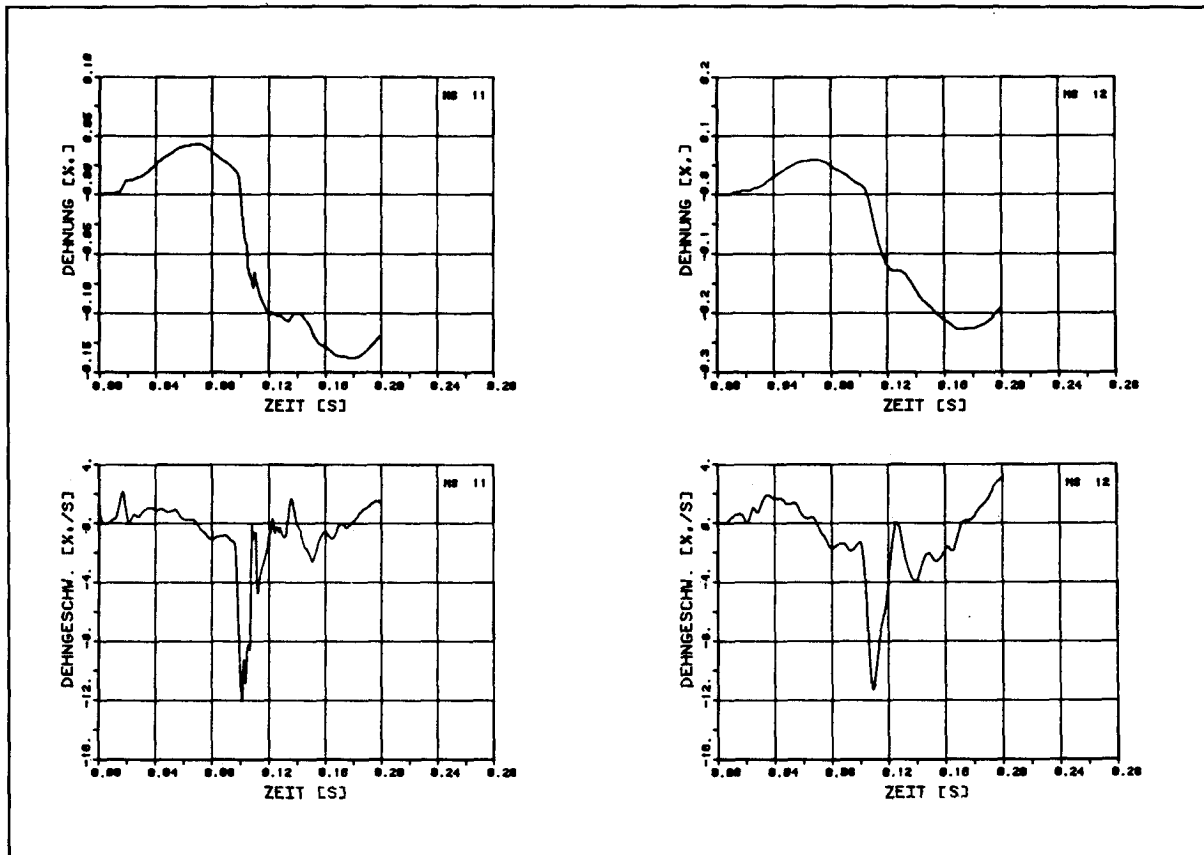


Bild B7.1-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B7.2

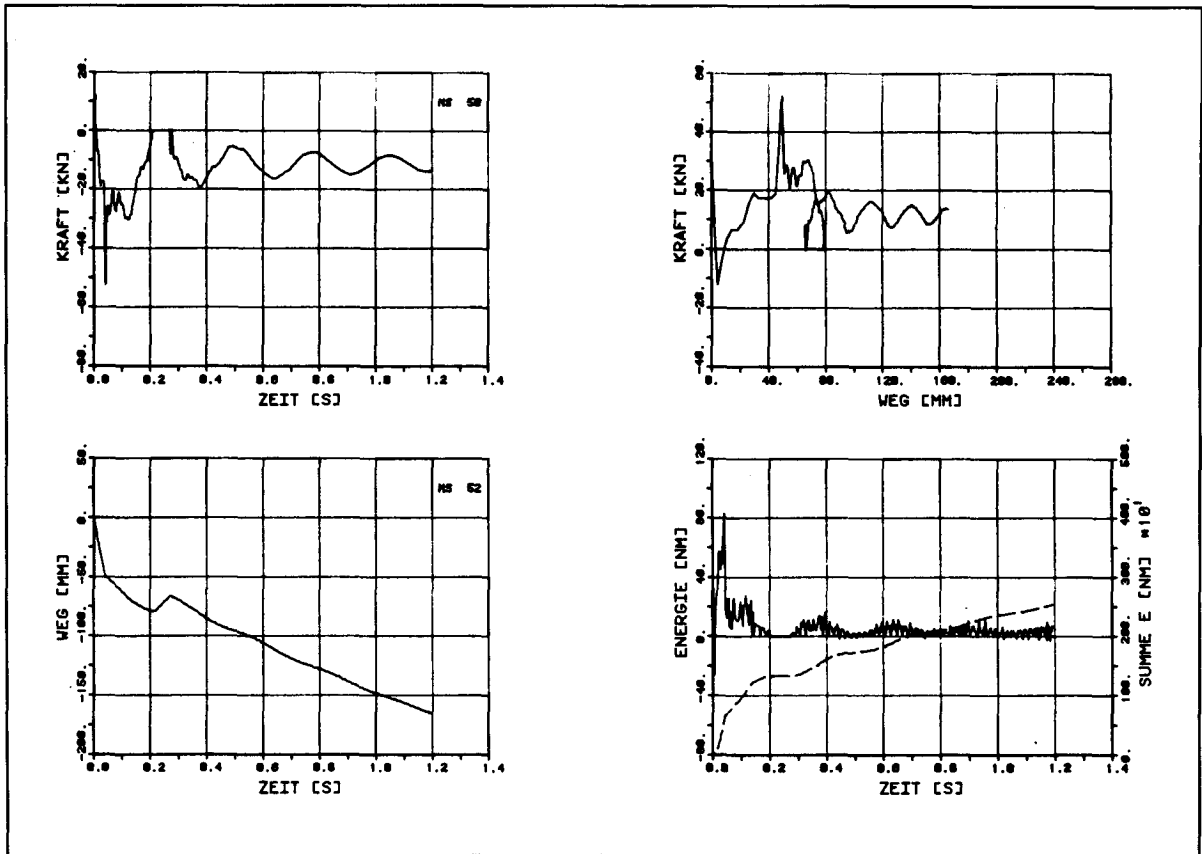


Bild B7.2-1: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

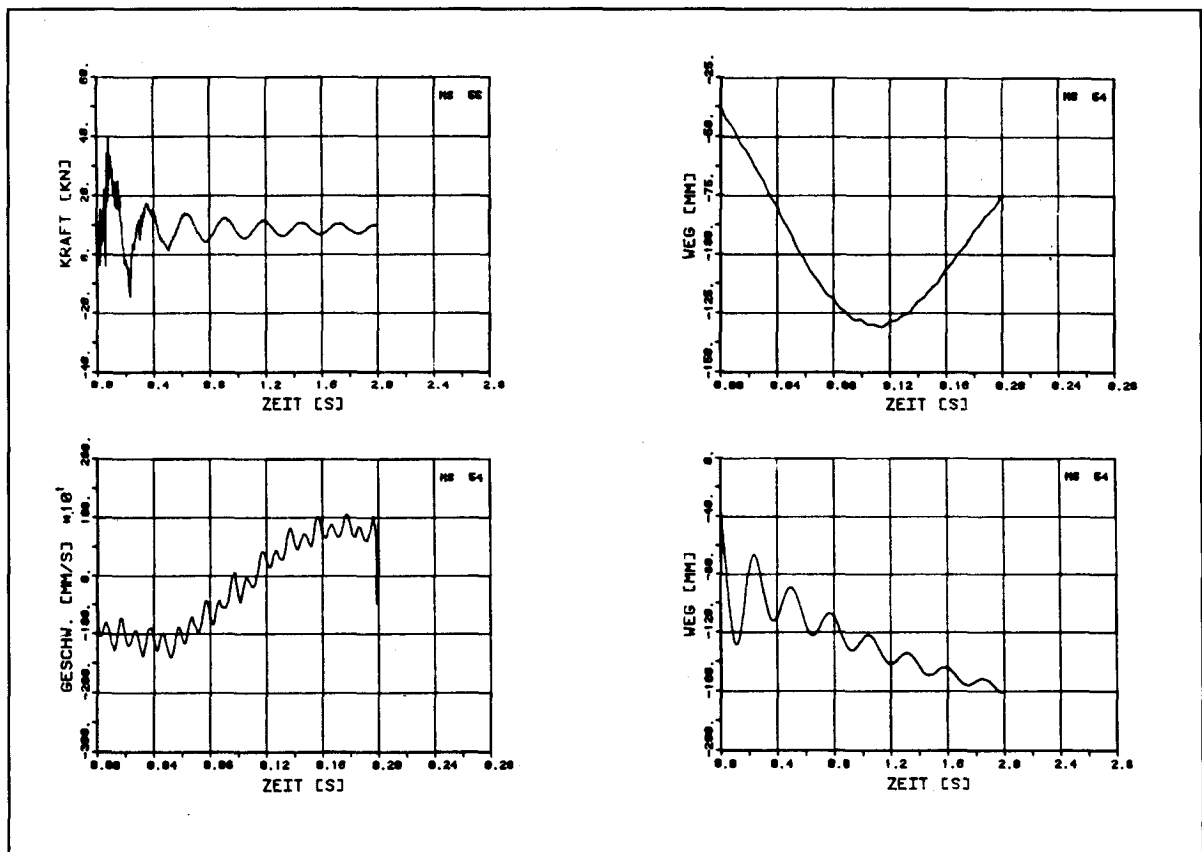


Bild B7.2-2: Zeitverläufe für Gelenkreaktion und Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit

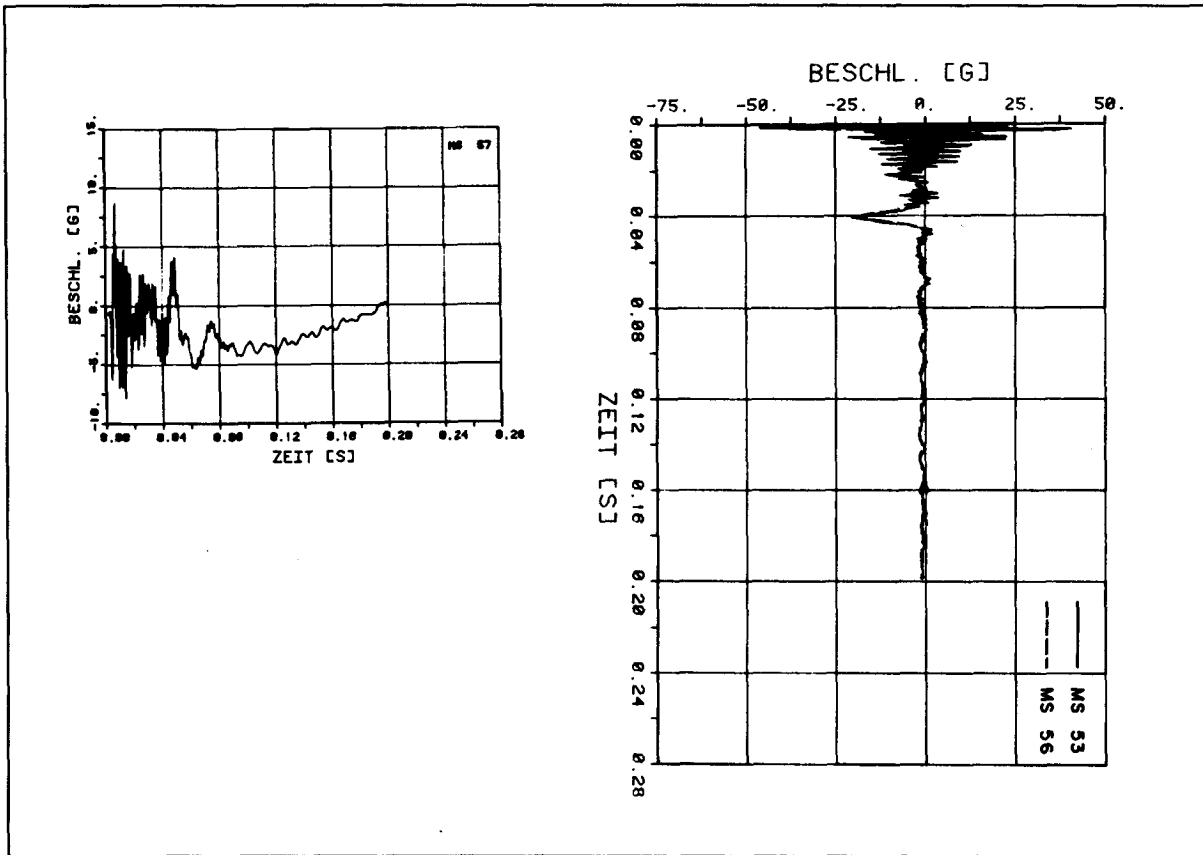


Bild B7.2-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzel-Darstellungen

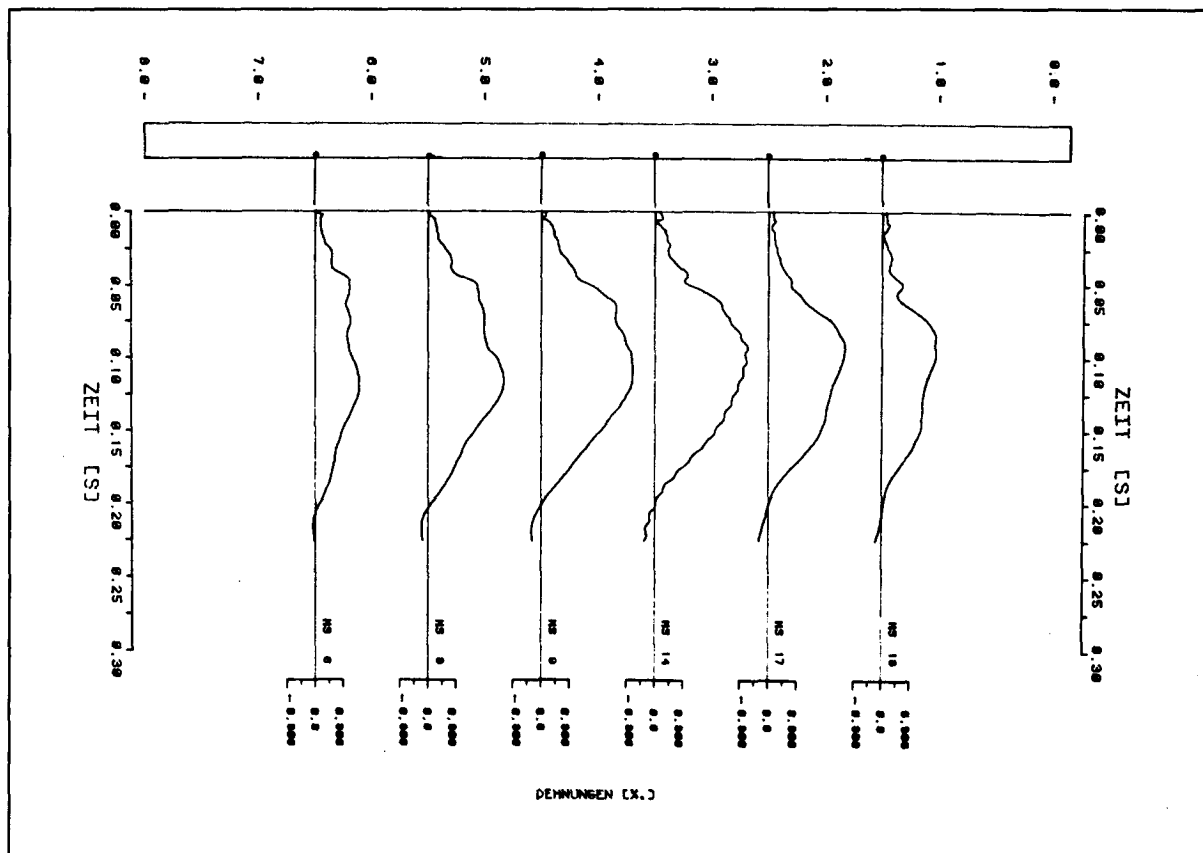


Bild B7.2-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

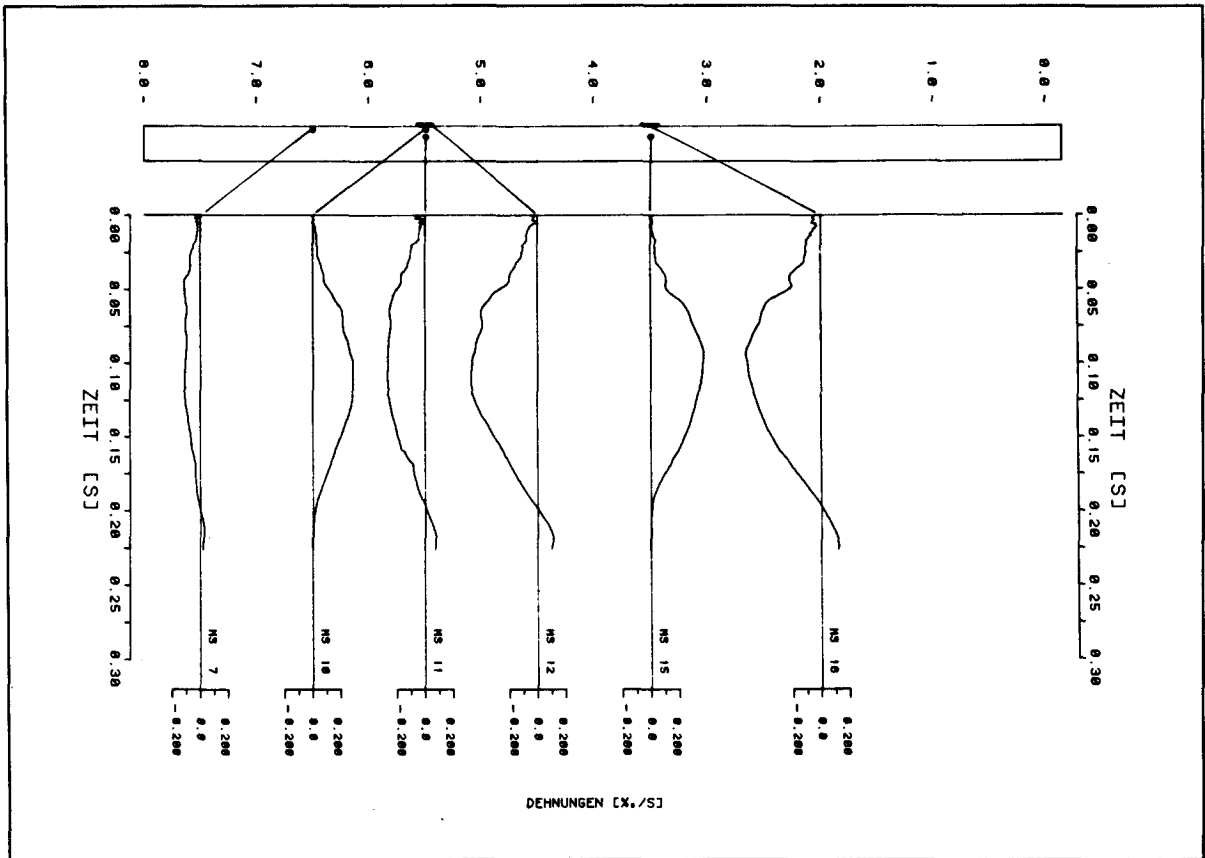


Bild B7.2-5: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton in einzelnen Balkenpunkten und -querschnitten

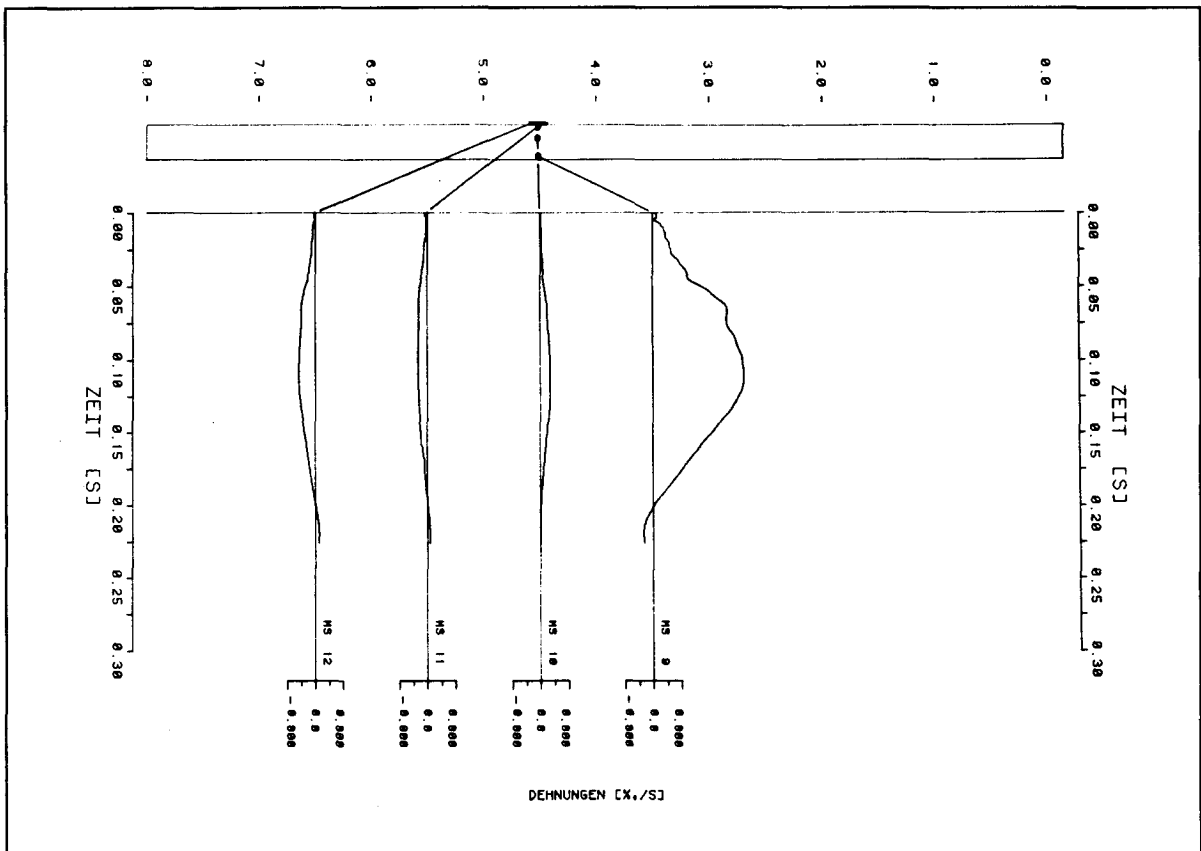


Bild B7.2-6: Zeitverläufe der Dehnungen der Längsbewehrung und des Betons in einem Balkenquerschnitt

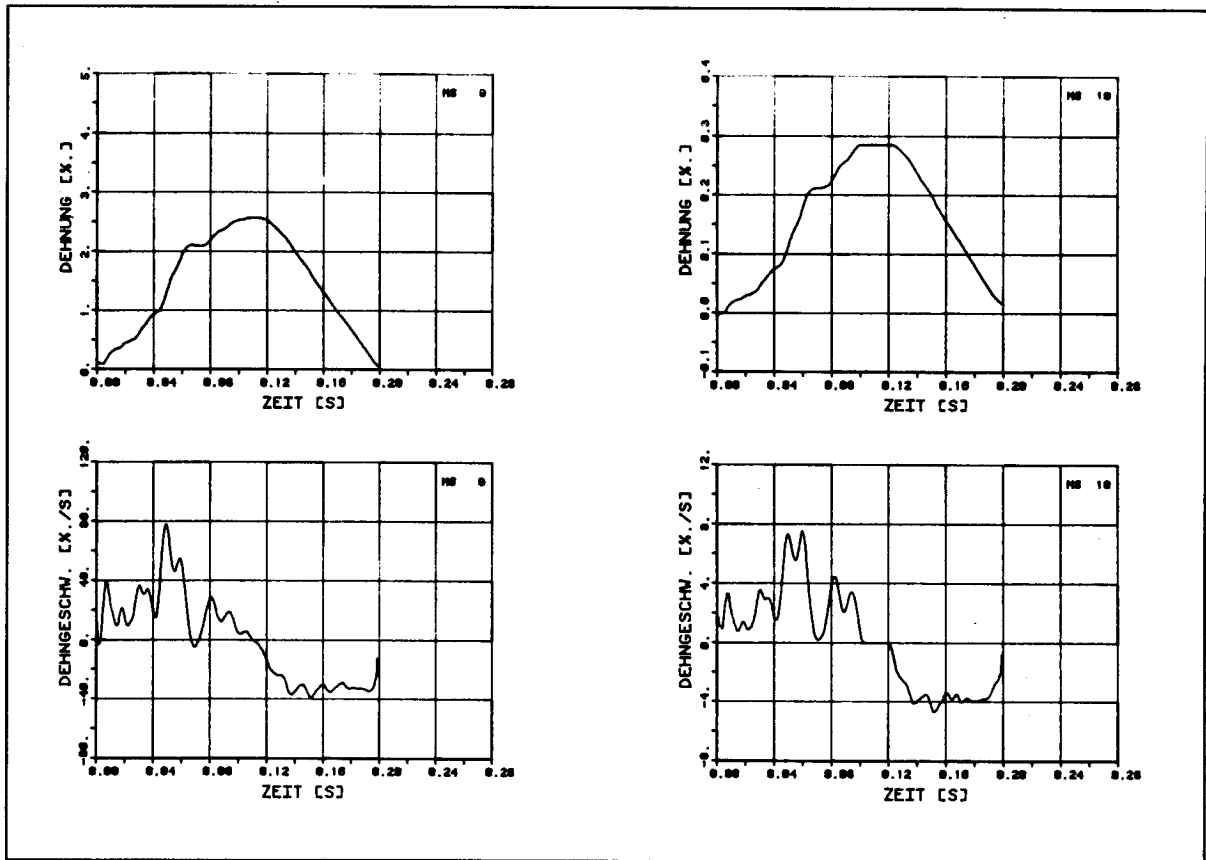


Bild B7.2-7: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

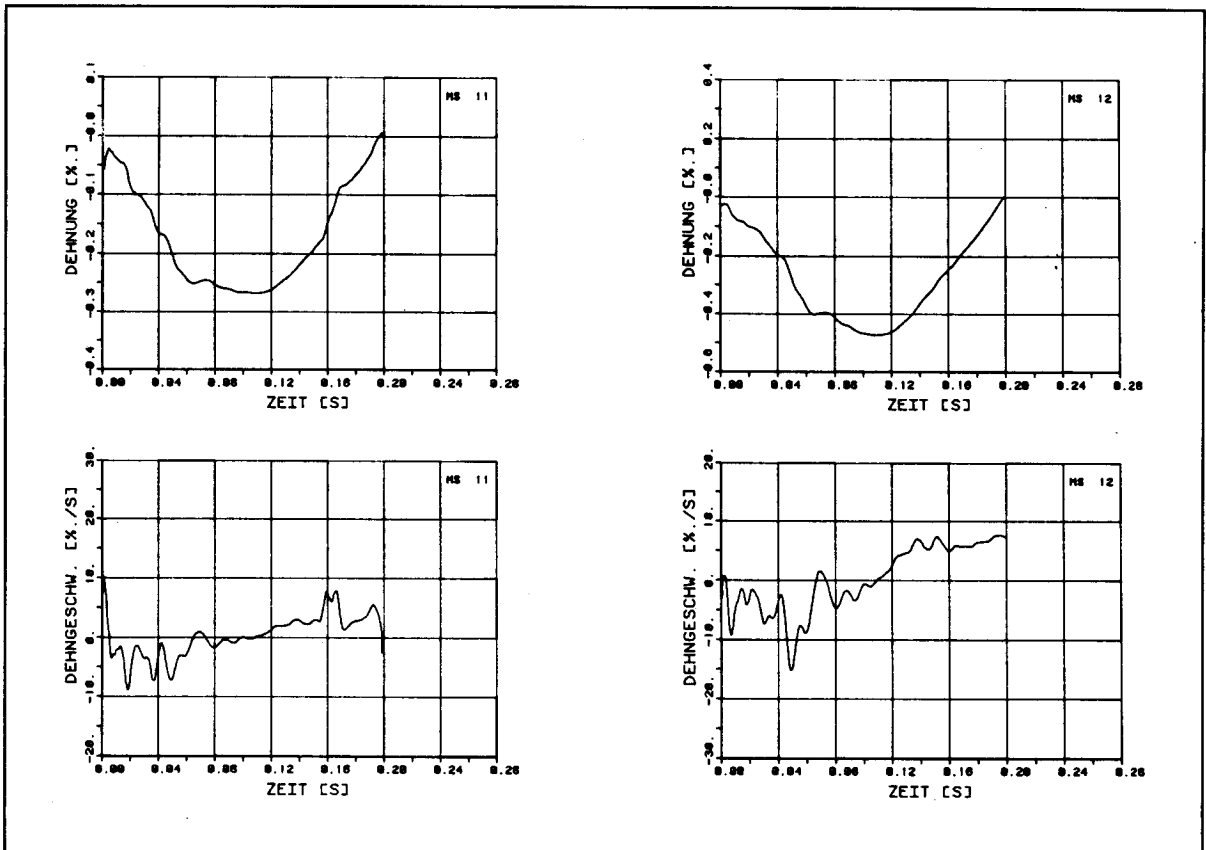


Bild B7.2-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B7.3

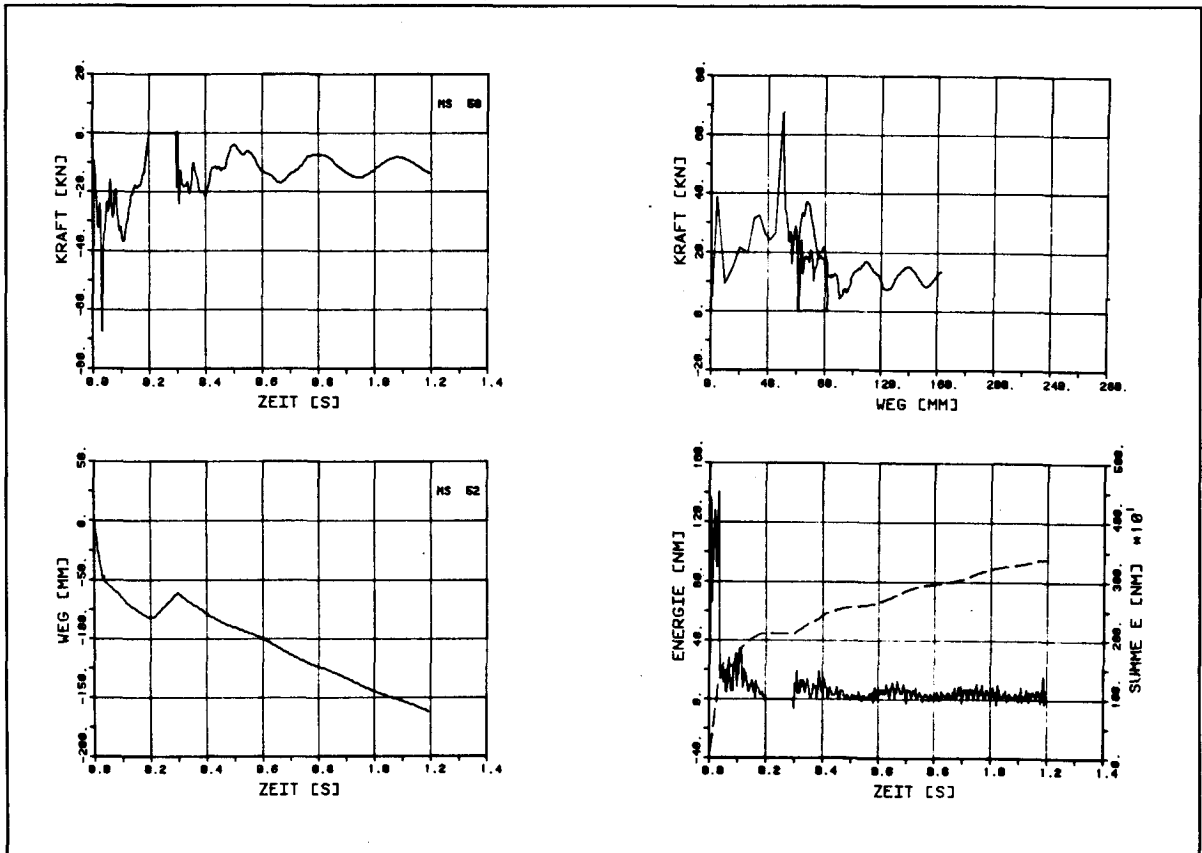


Bild B7.3-1: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

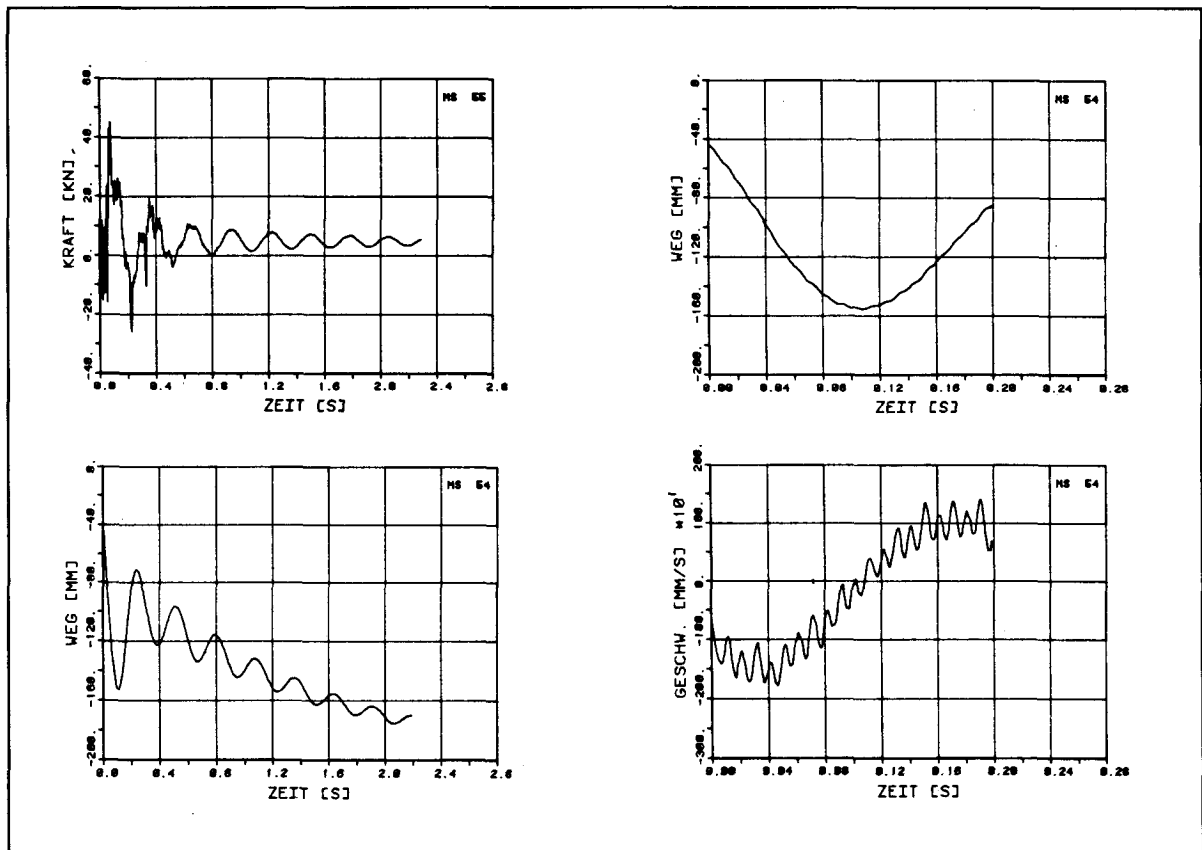


Bild B7.3-2: Zeitverläufe für Gelenkreaktion und Durchbiegung in Balkenmitte und dazugehörige Geschwindigkeit

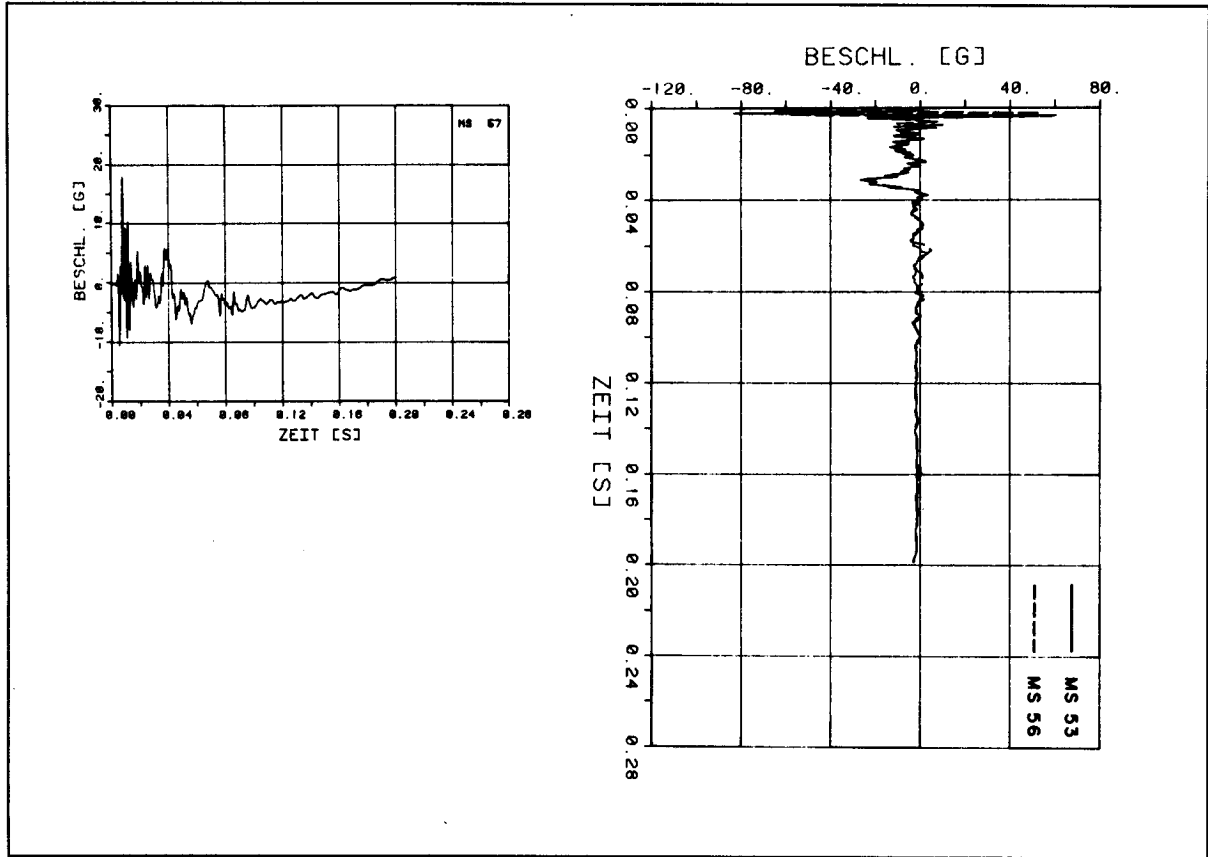


Bild B7.3-3: Zeitverläufe der Beschleunigungen in Einzeldarstellungen

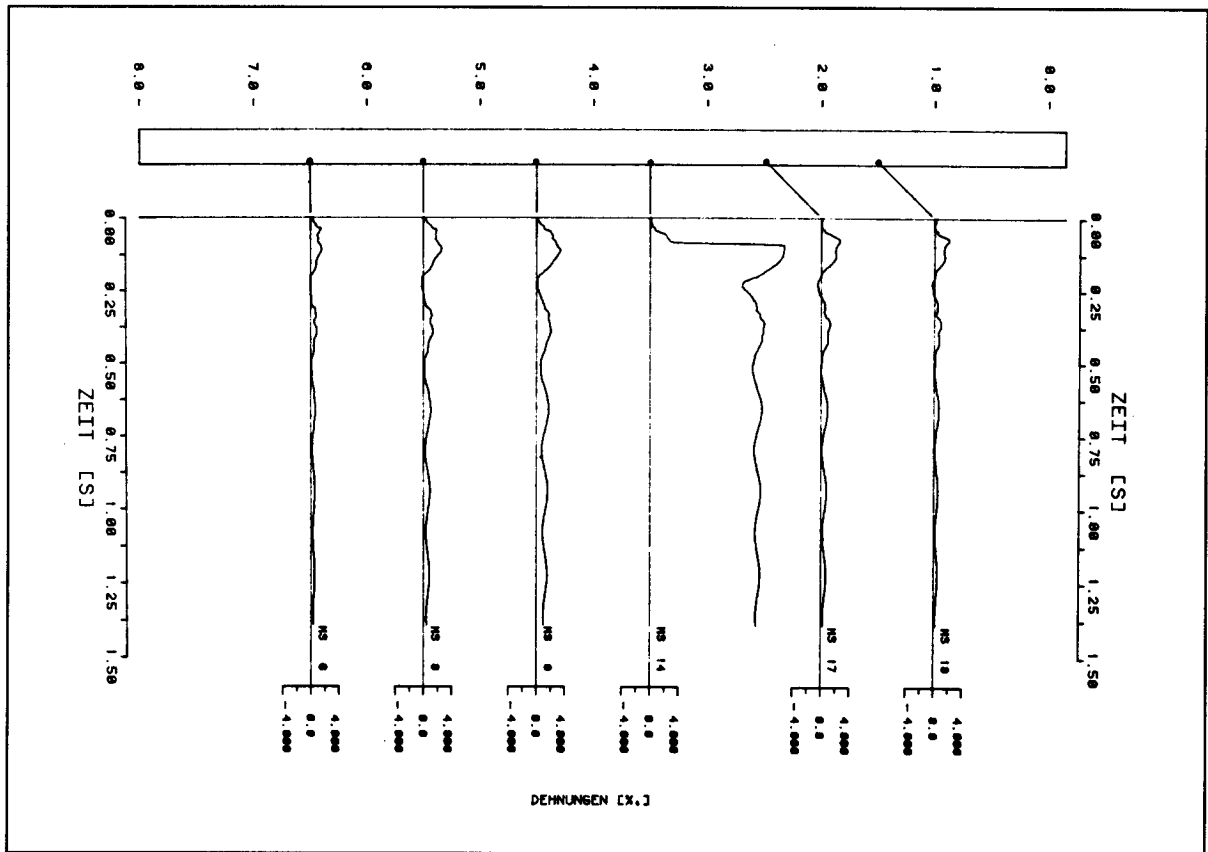


Bild B7.3-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

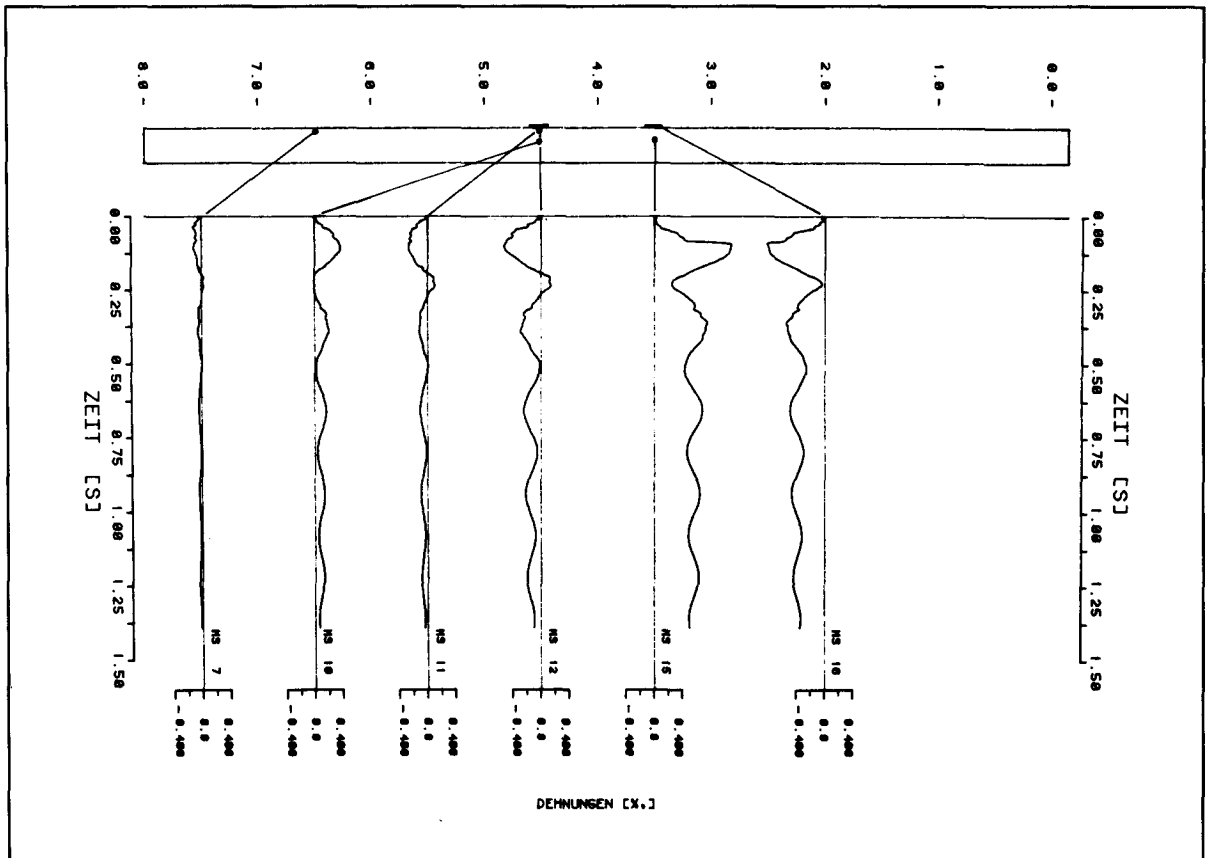


Bild B7.3-5: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton in einzelnen Balkenpunkten und -querschnitten

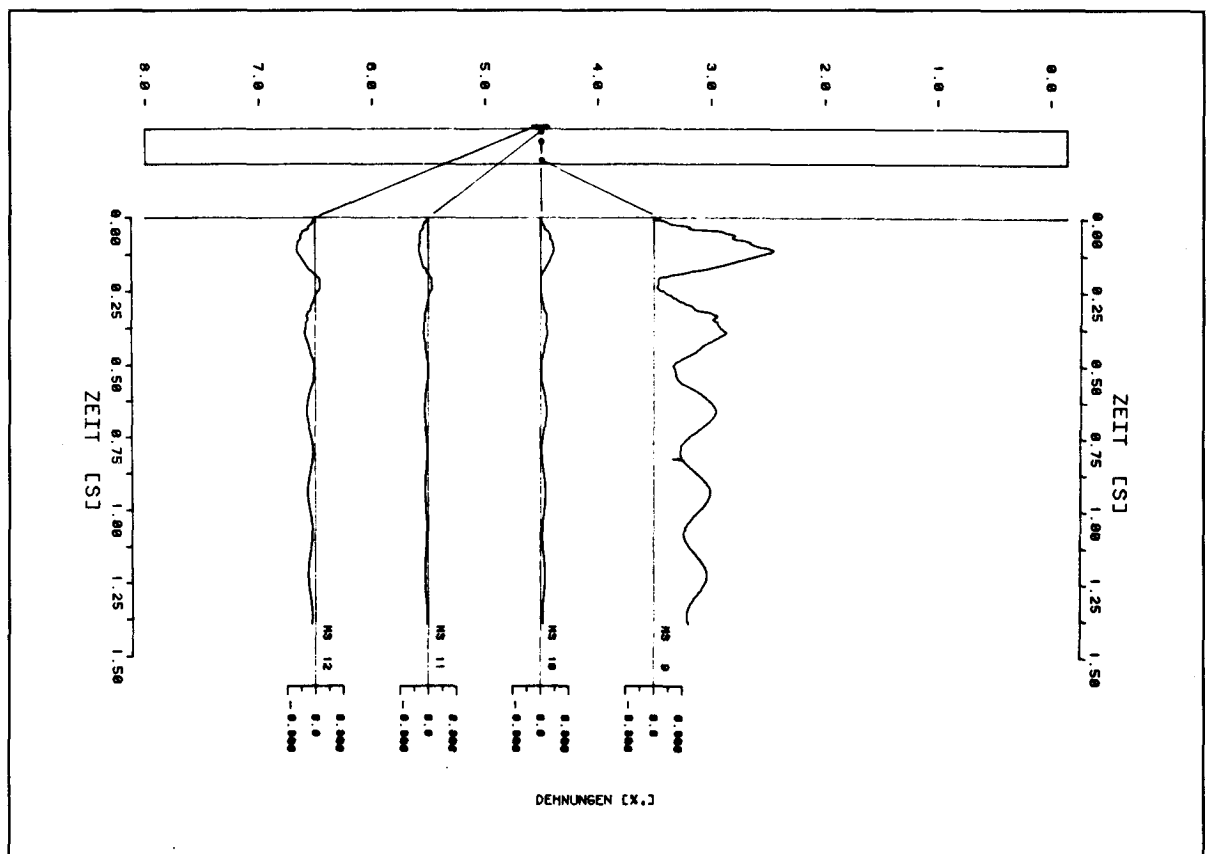


Bild B7.3-6: Zeitverläufe der Dehnungen der Längsbewehrung und des Betons in einem Balkenquerschnitt



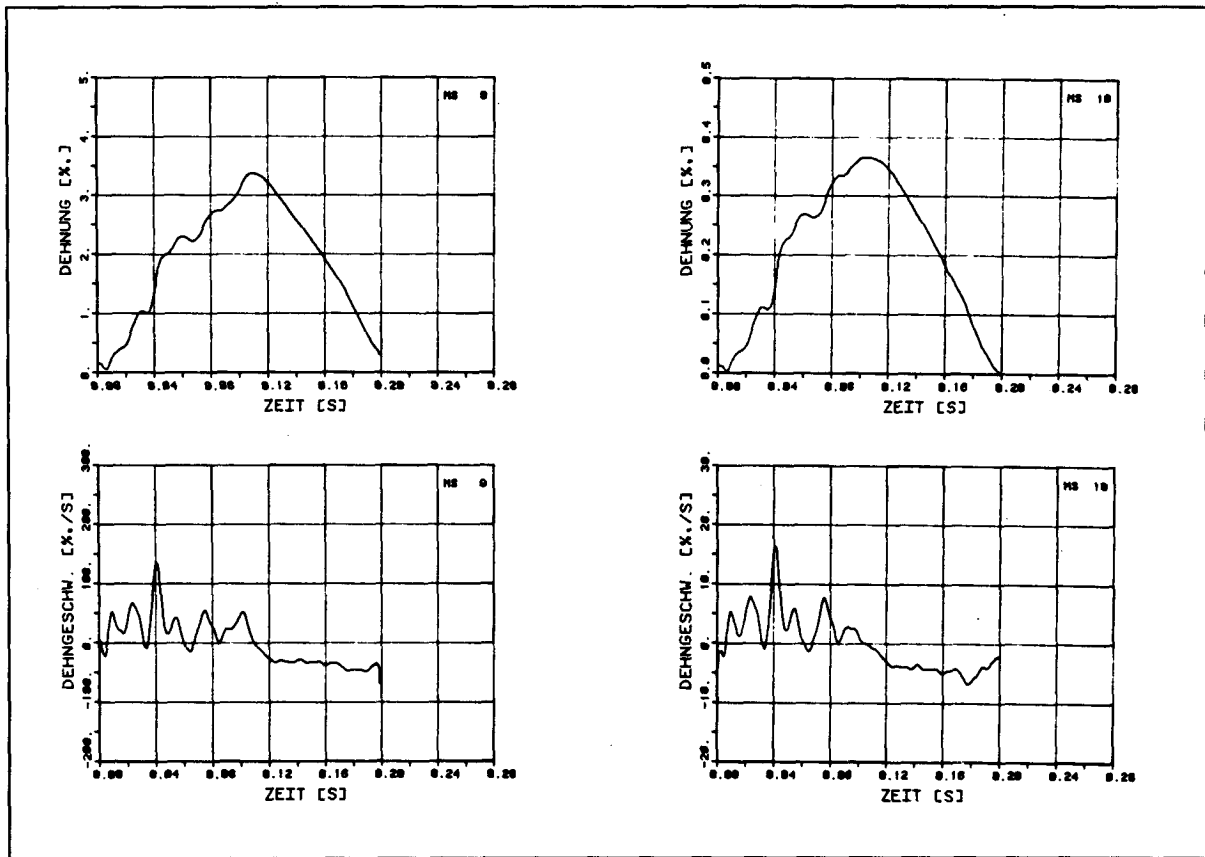


Bild B7.3-7: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren und oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

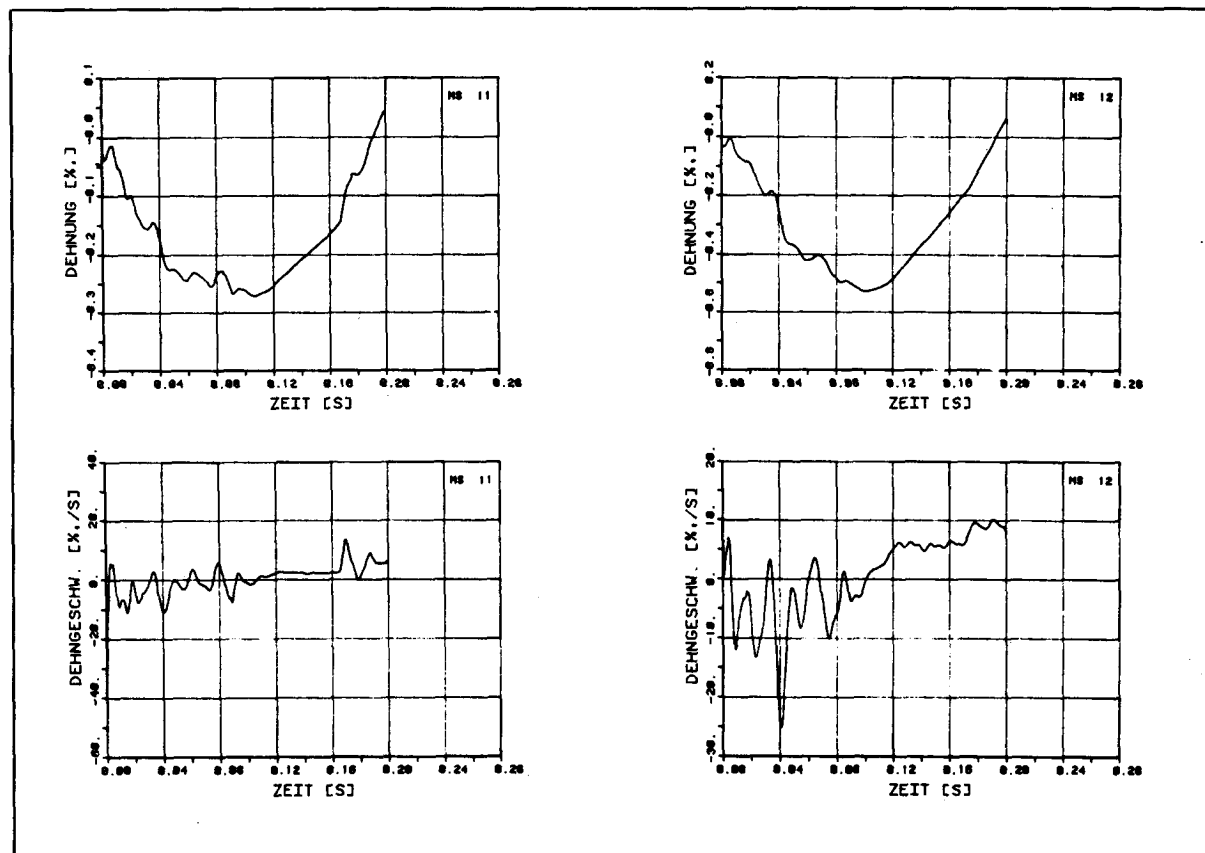


Bild B7.3-8: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B7.4

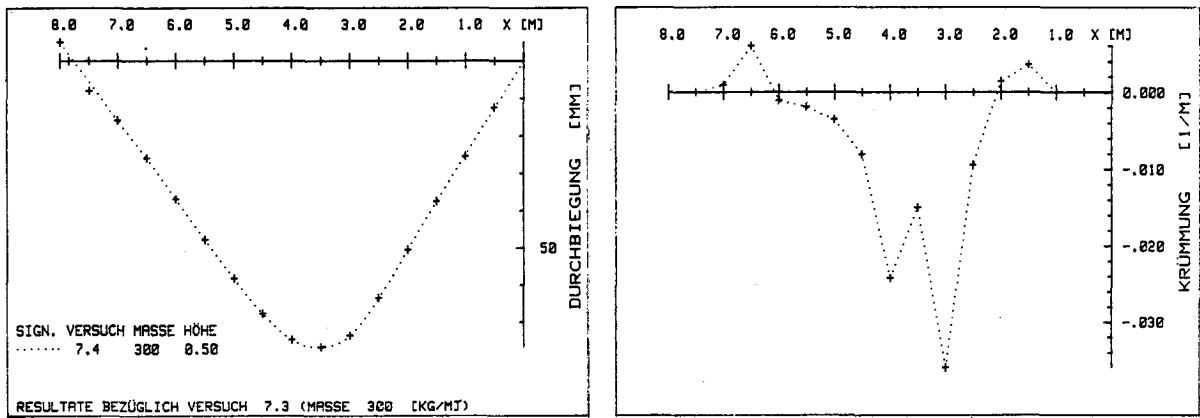


Bild B7.4-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B7.4

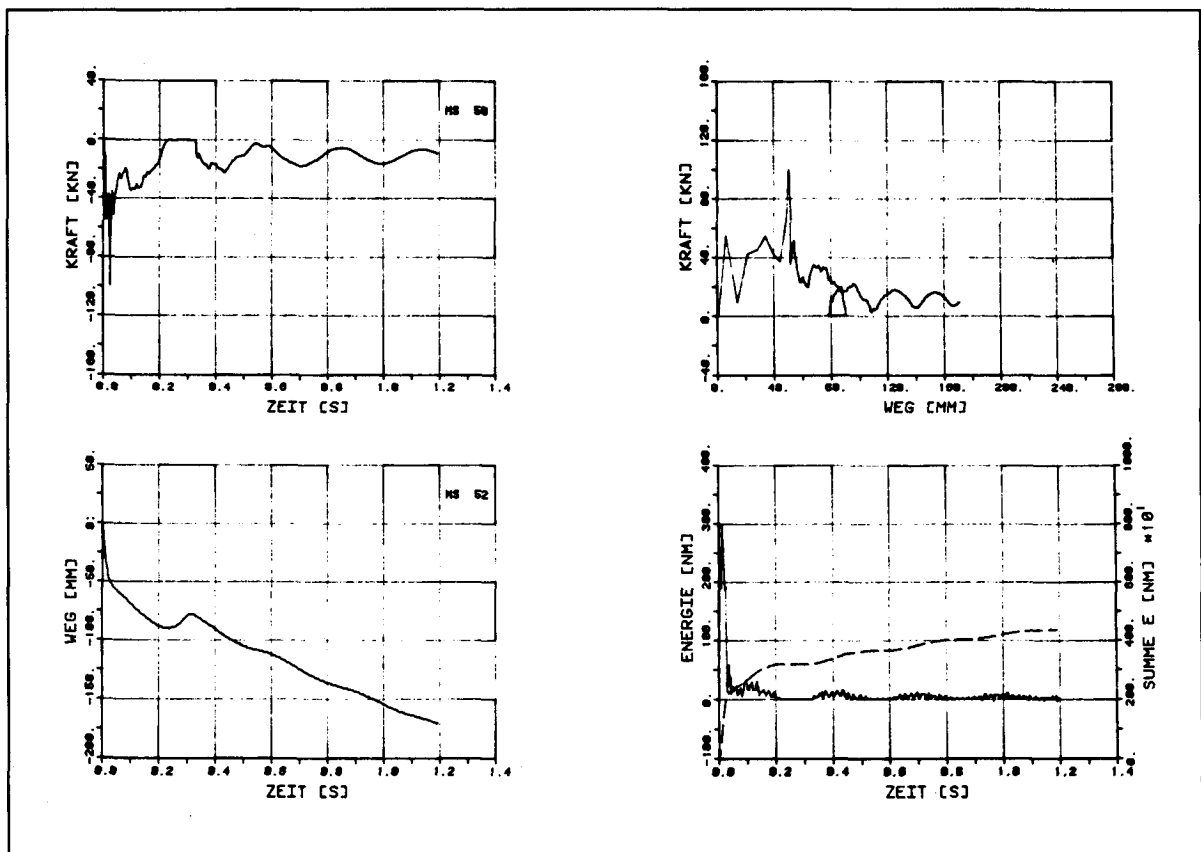


Bild B7.4-2: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

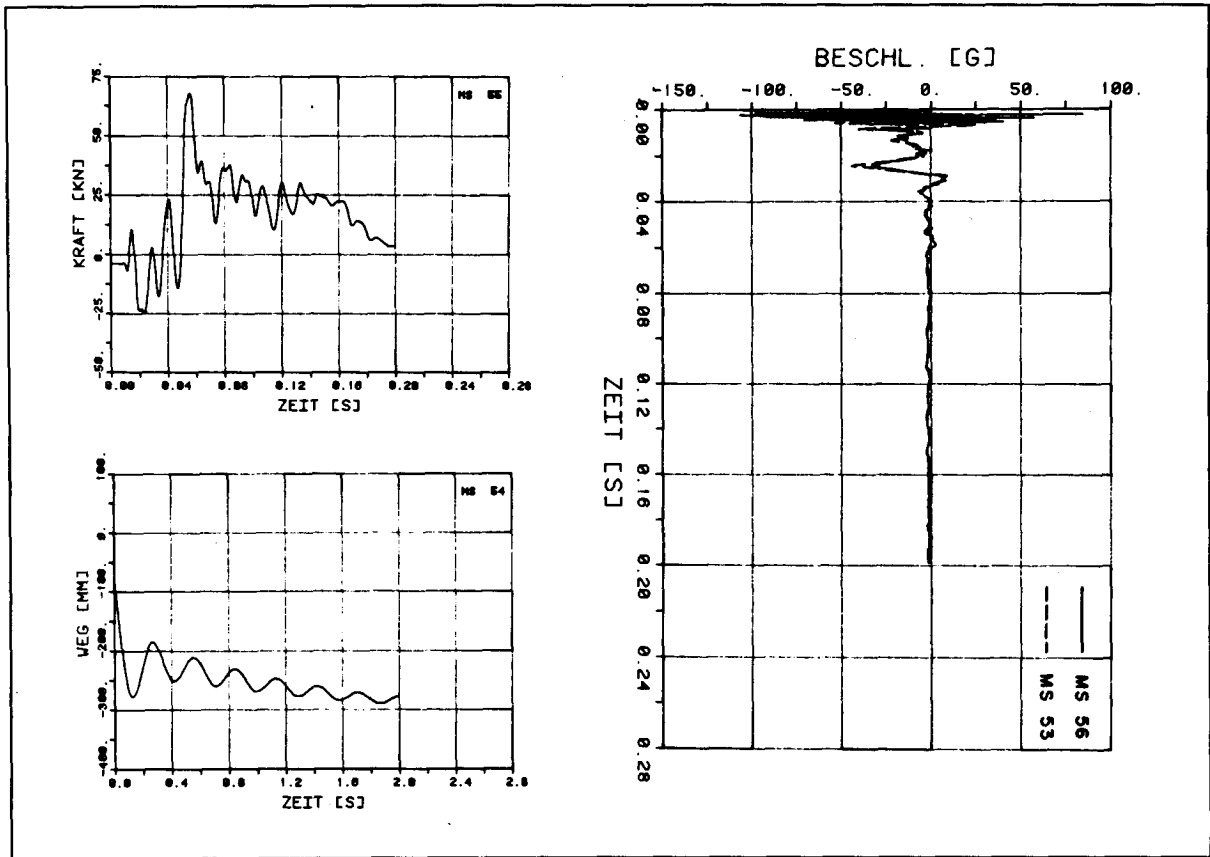


Bild B7.4-3: Zeitverläufe für Gelenkreaktion, Durchbiegung in Balkenmitte und Beschleunigungen

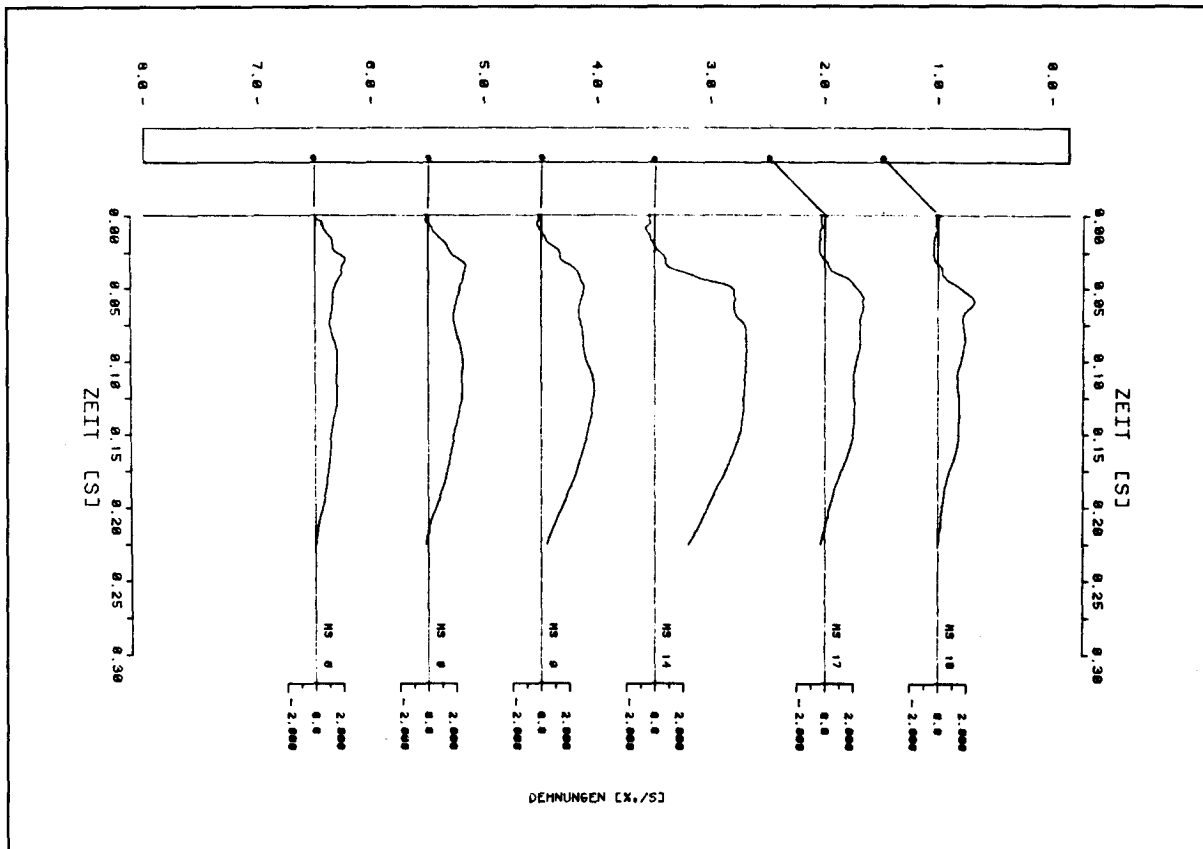


Bild B7.4-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

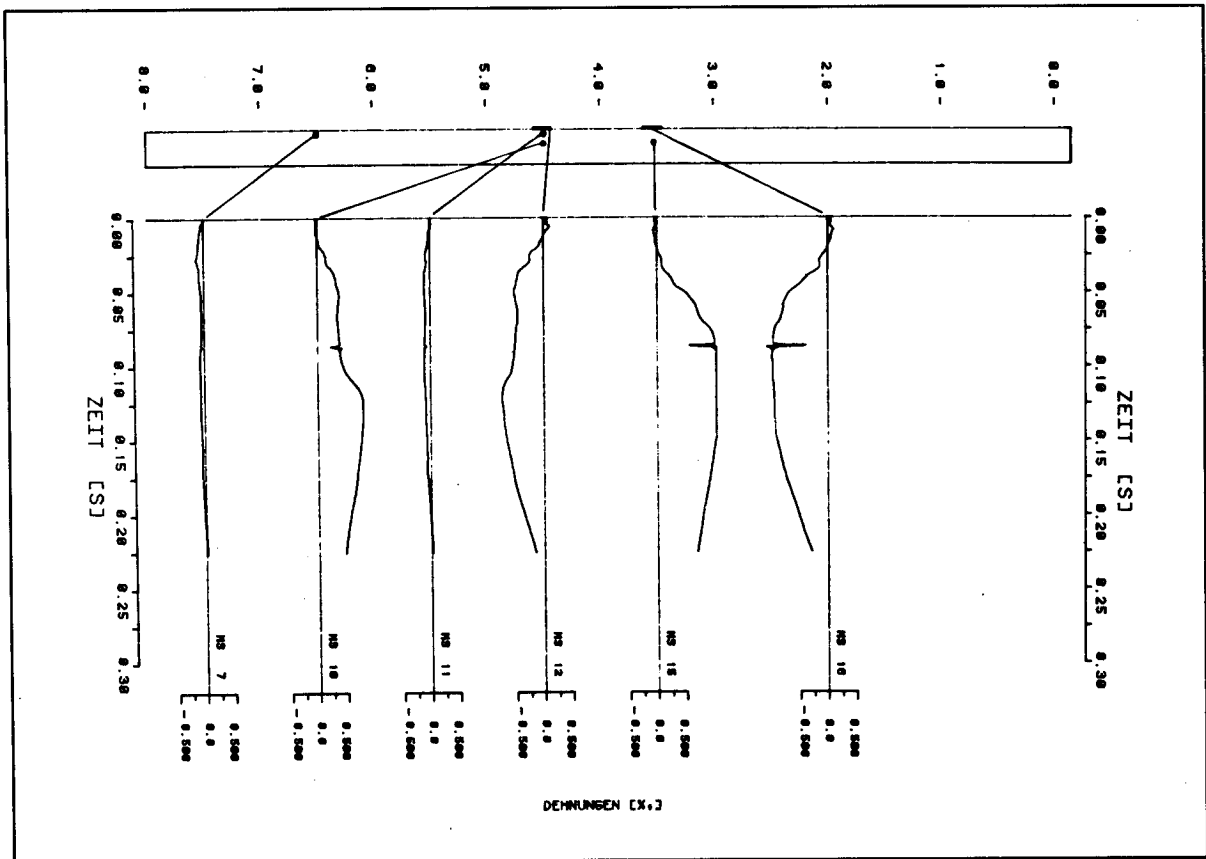


Bild B7.4-5: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton in einzelnen Balkenpunkten und -querschnitten

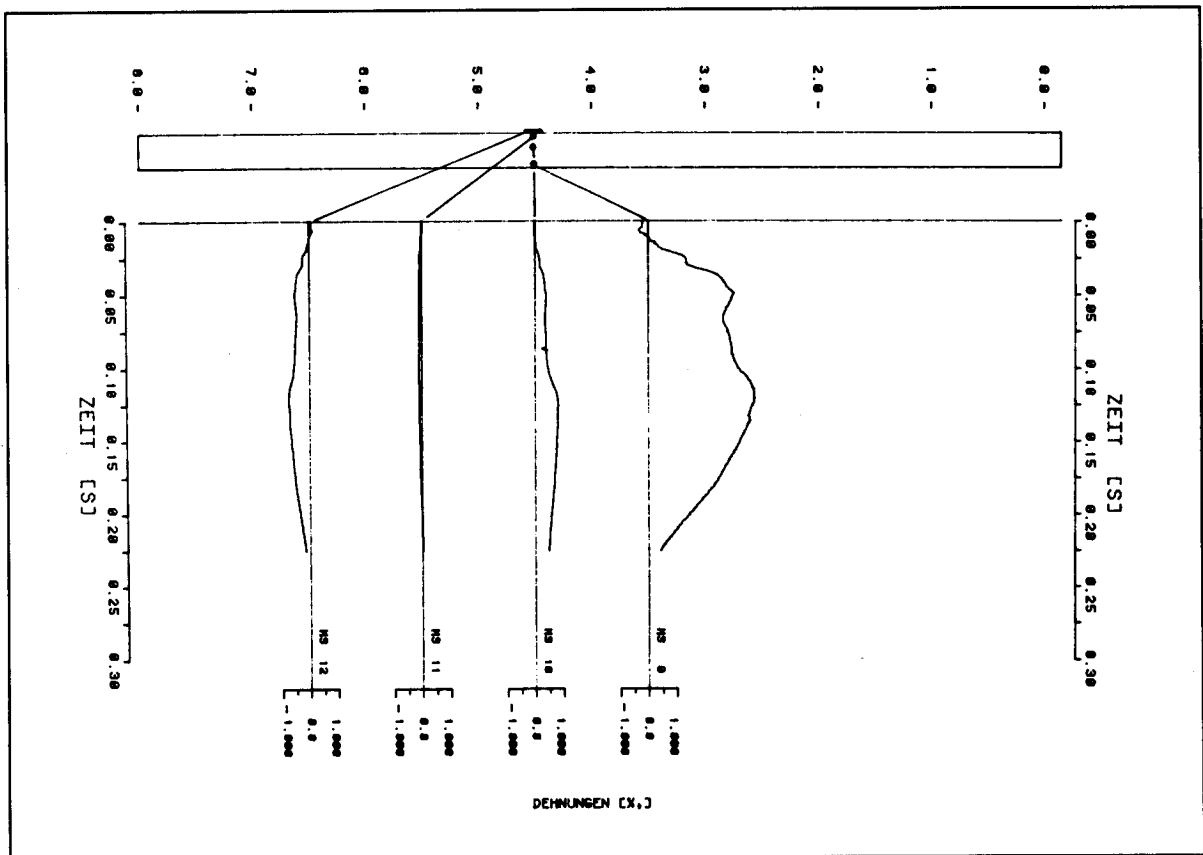


Bild B7.4-6: Zeitverläufe der Dehnungen der Längsbewehrung und des Betons in einem Balkenquerschnitt

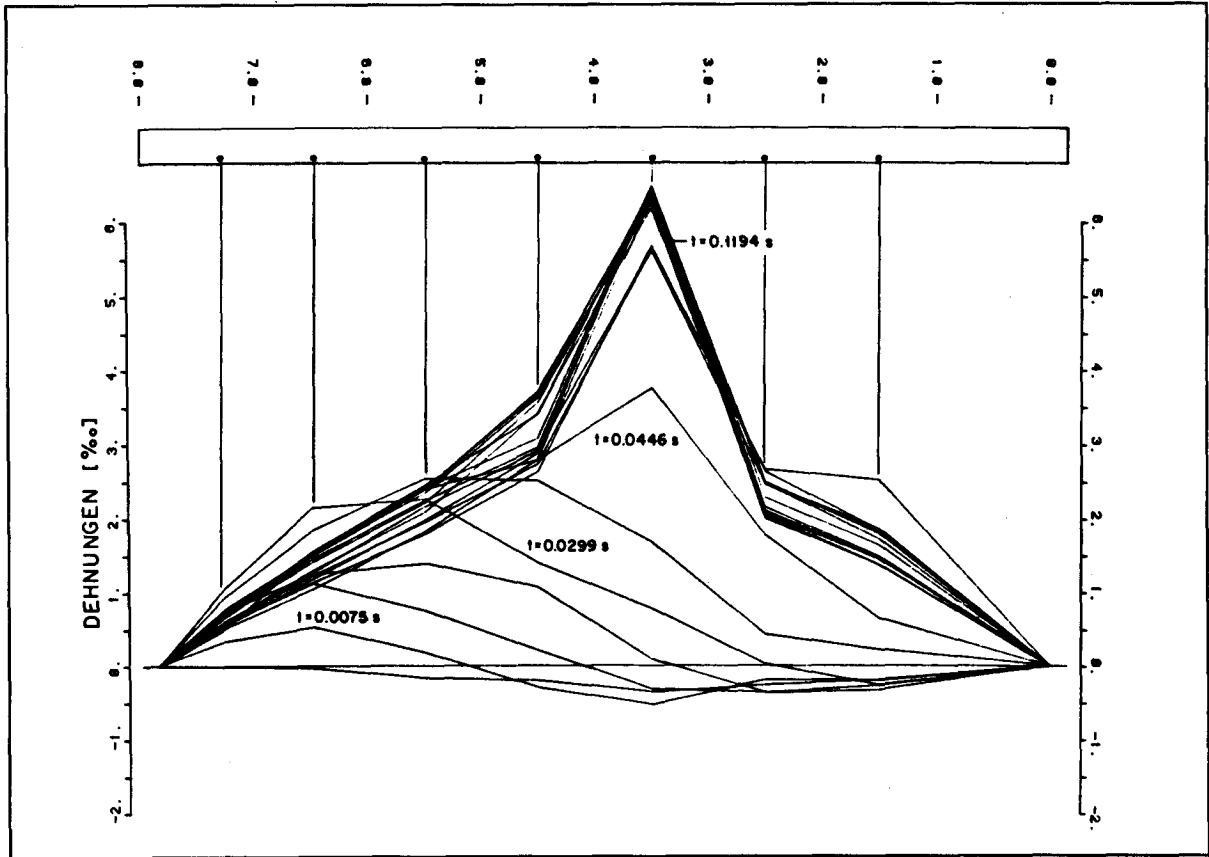


Bild B7.4-7: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.0000$  s -  $0.1194$  s,  $\Delta t = 0.0075$  s)

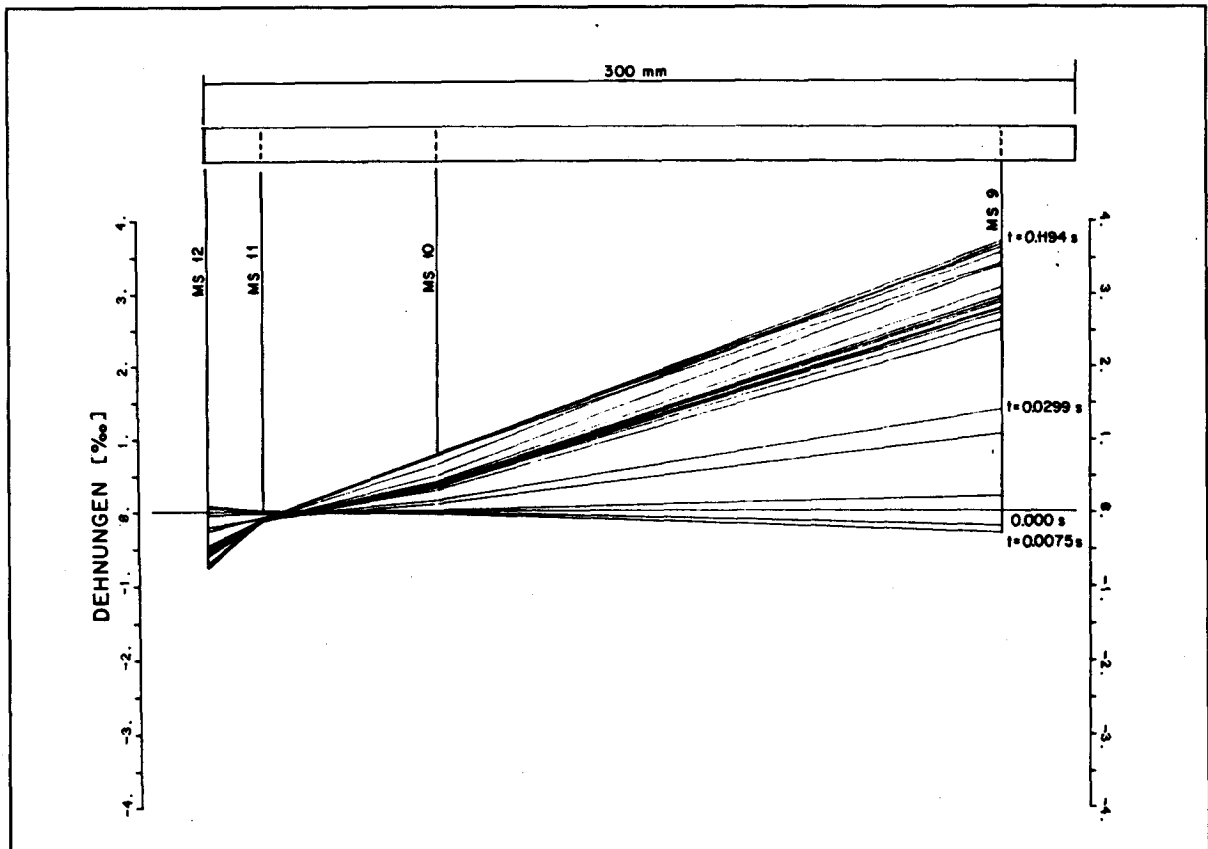


Bild B7.4-8: Verlauf der Dehnungen in einem Balkenquerschnitt zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.0000$  s -  $0.1194$  s,  $\Delta t = 0.0075$  s)

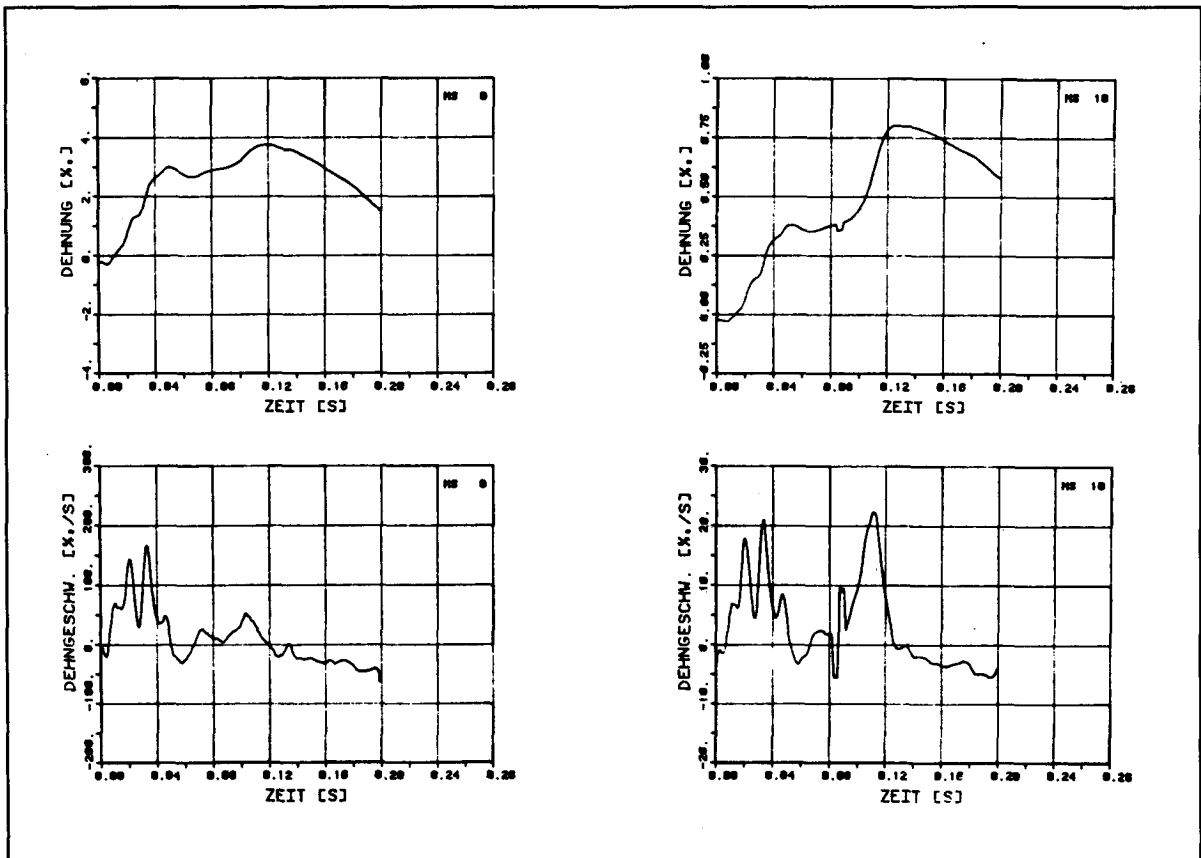


Bild B7.4-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren und oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

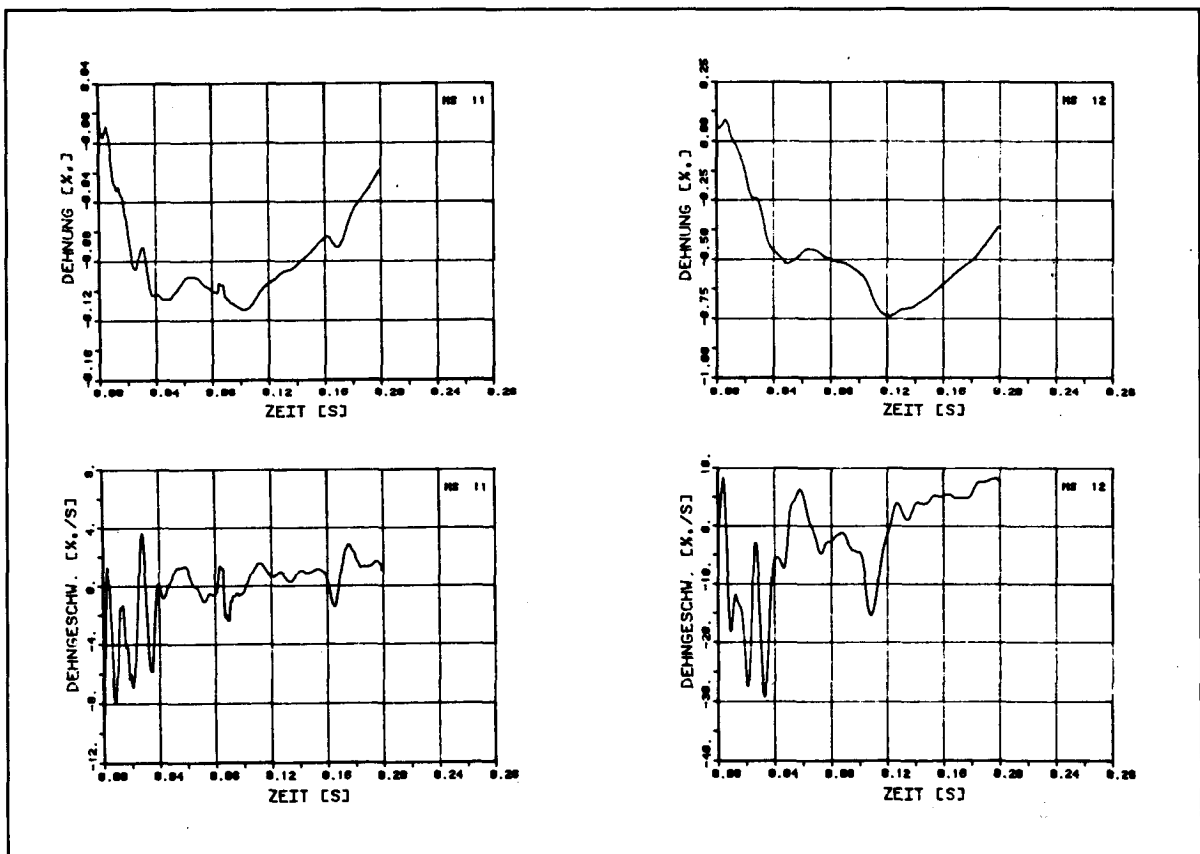


Bild B7.4-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B7.5

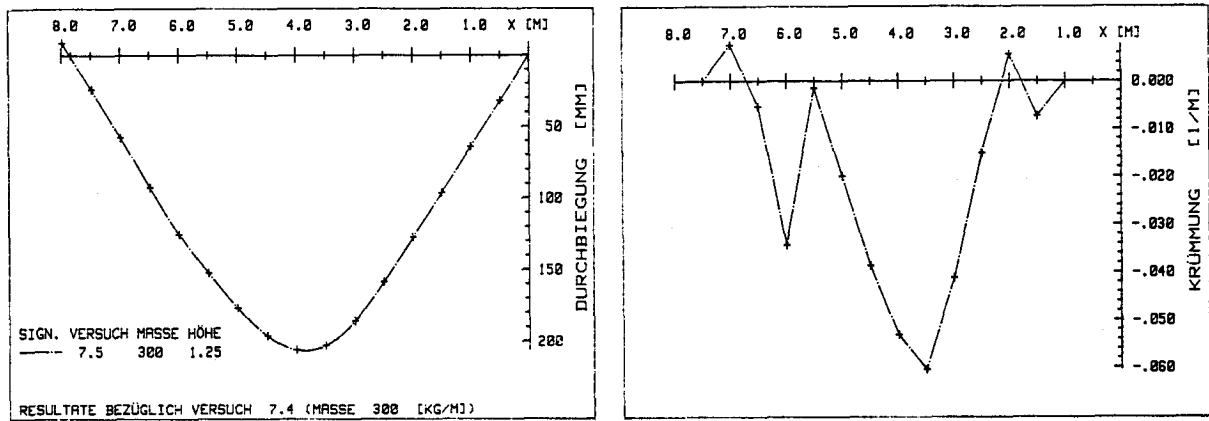


Bild B7.5-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen Versuch B7.5

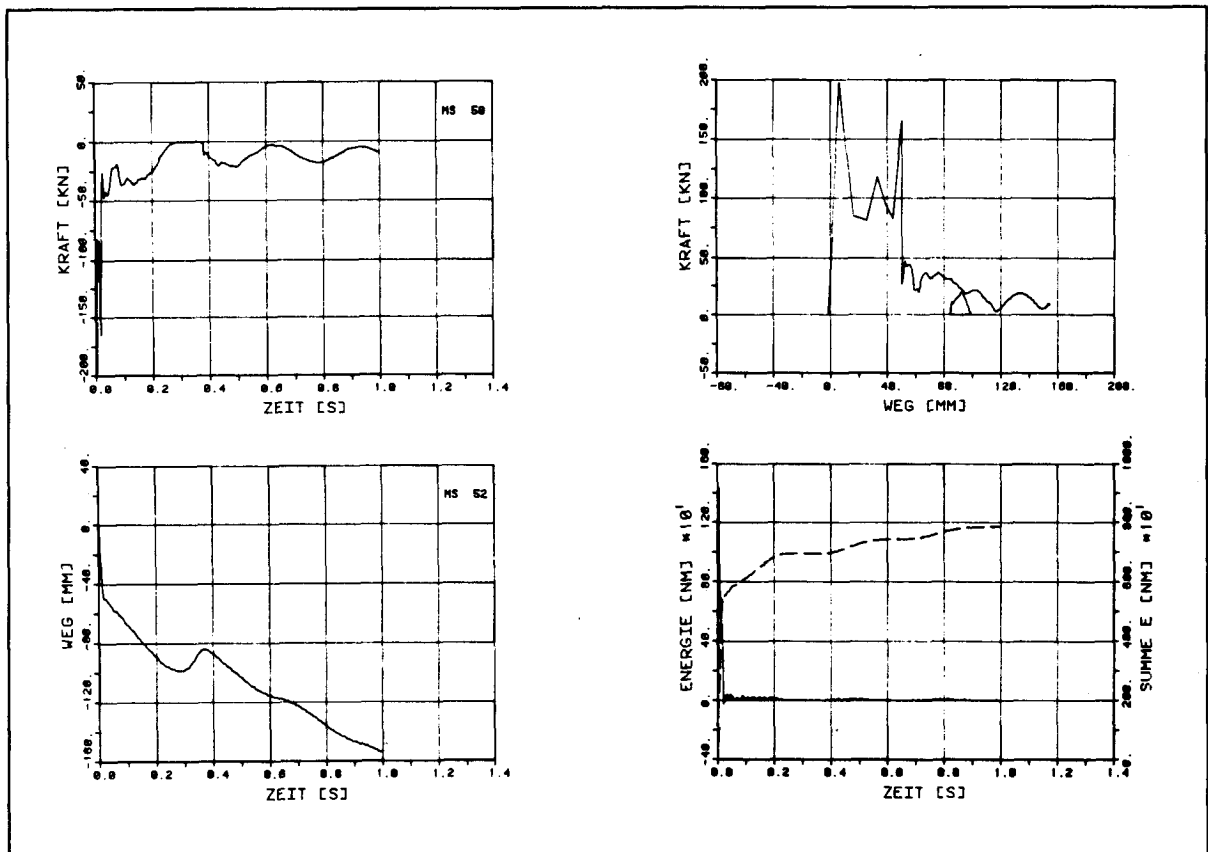


Bild B7.5-2: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

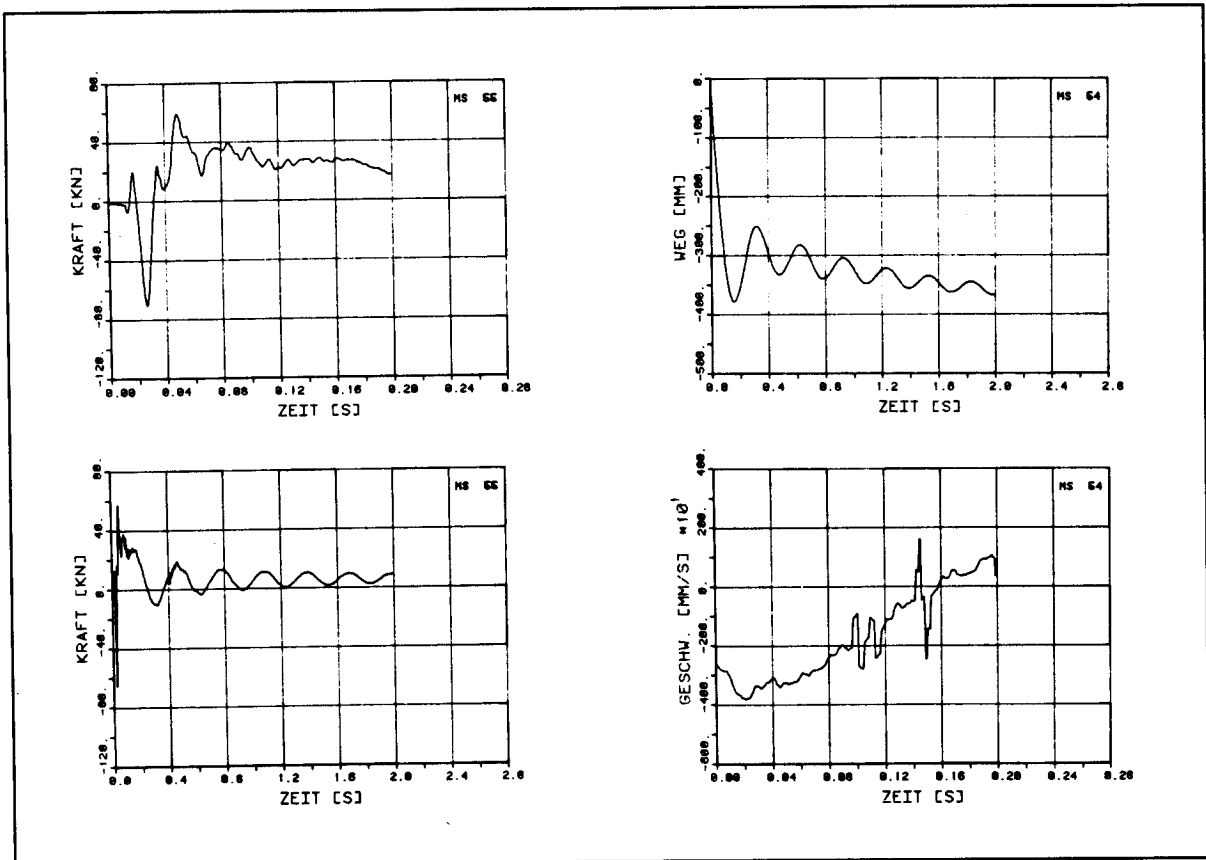


Bild B7.5-3: Zeitverläufe für Gelenkreaktion und Durchbiegung in Balkenmitte und daraus abgeleitete Geschwindigkeit

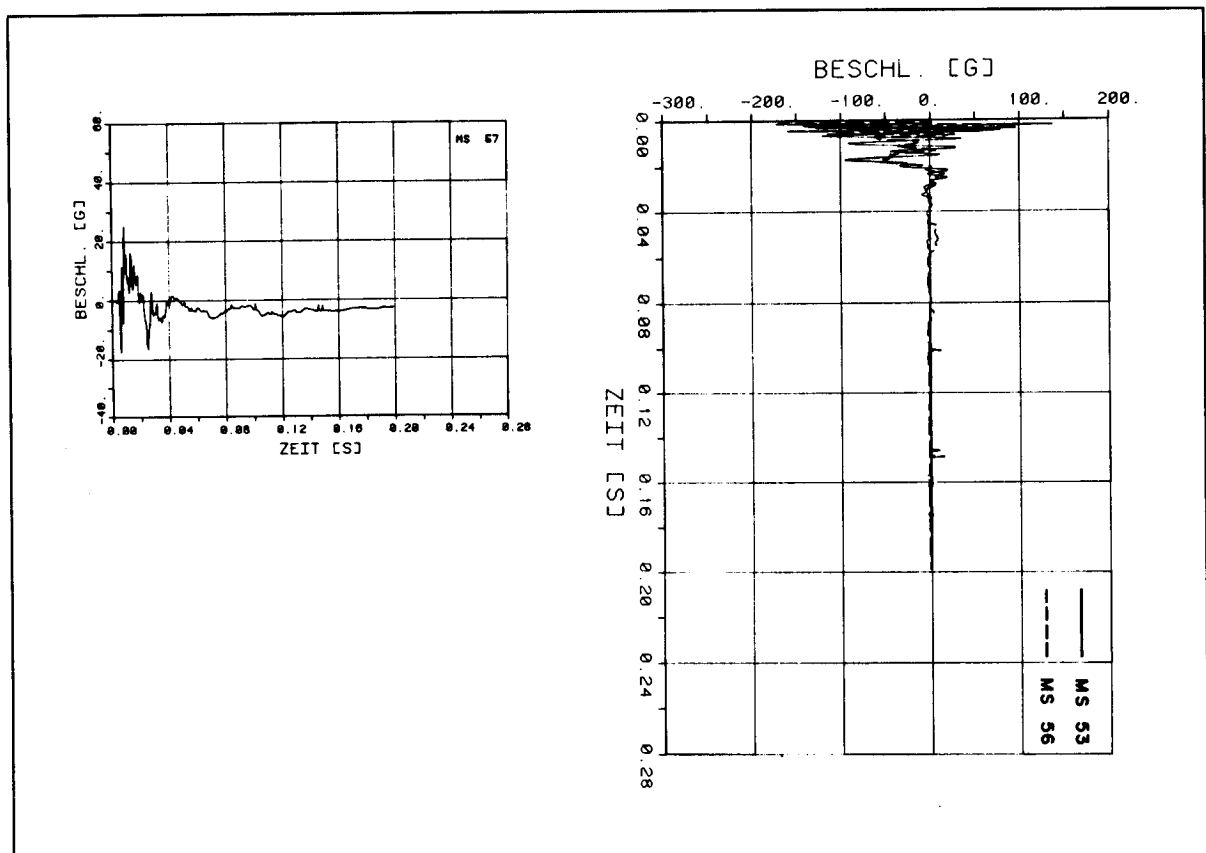


Bild B7.5-4: Zeitverläufe der Beschleunigungen



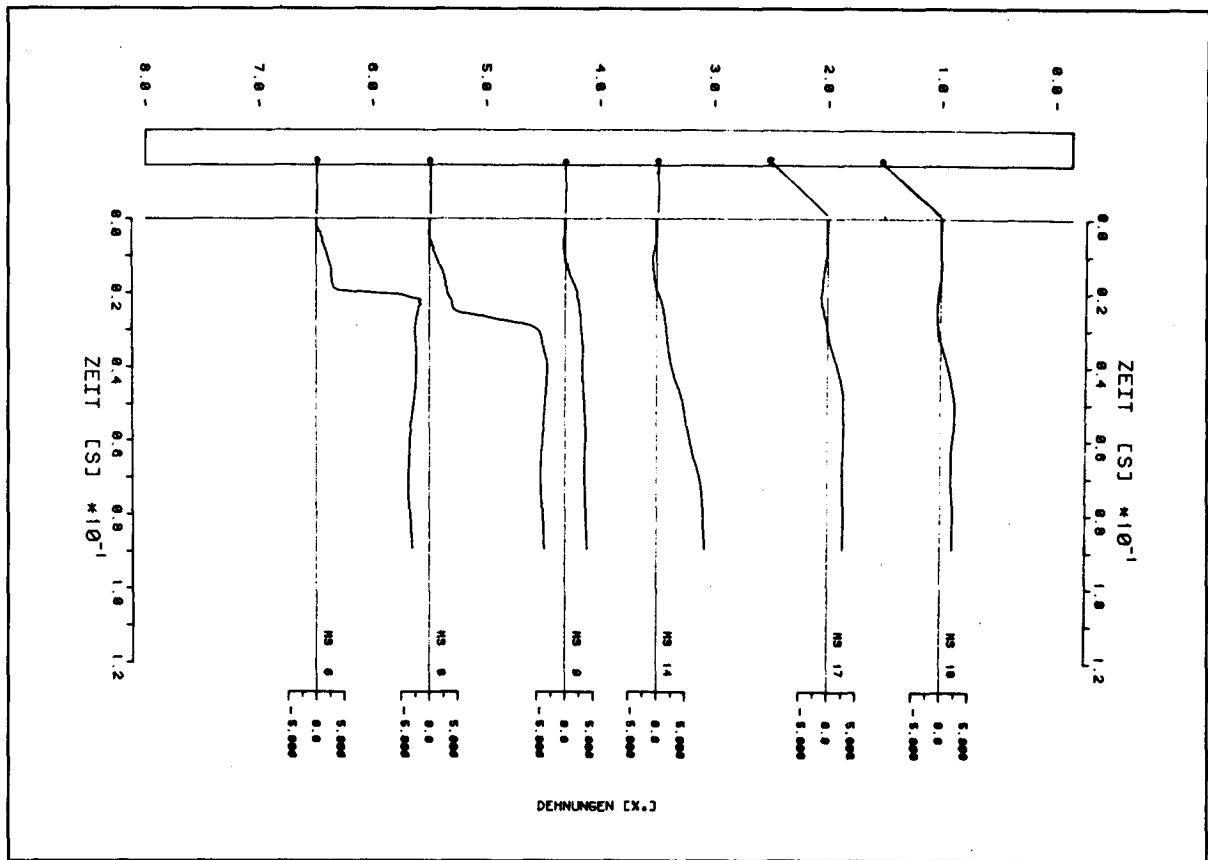


Bild B7.5-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

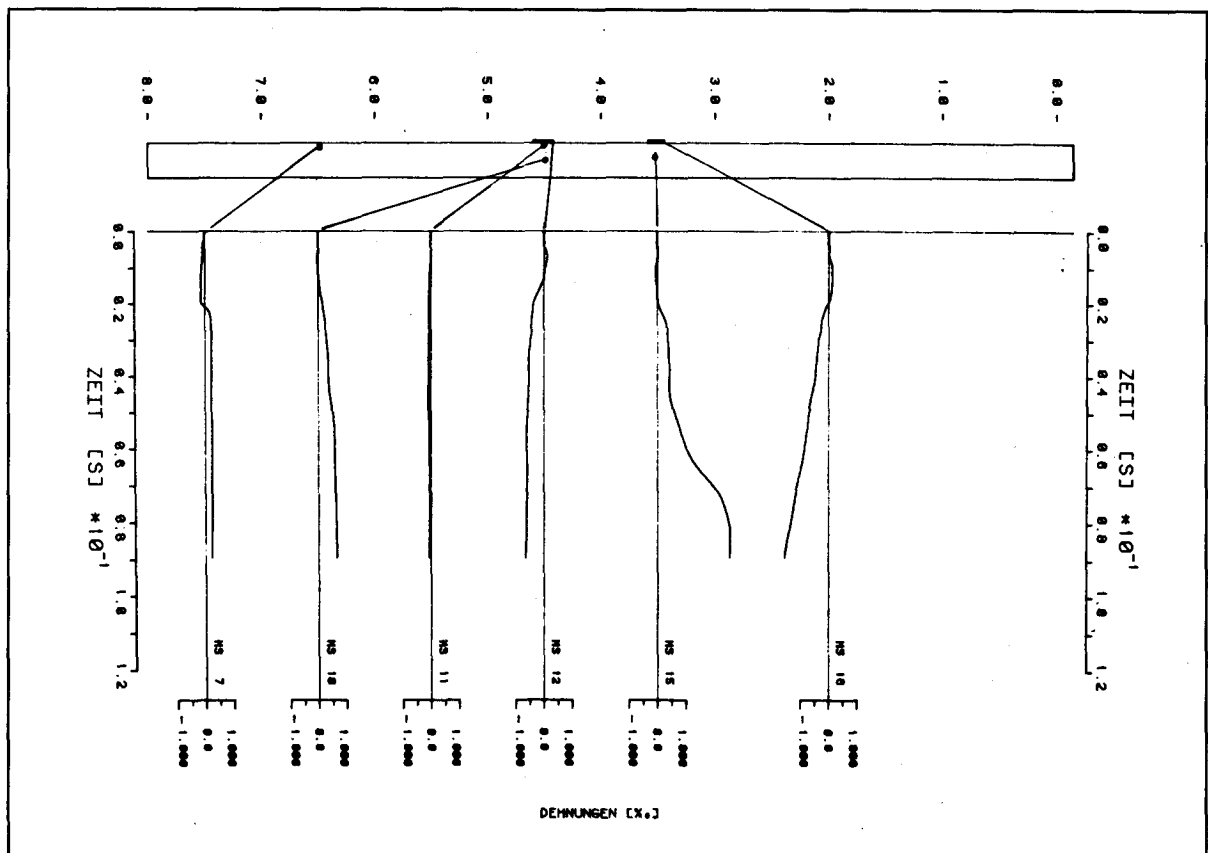


Bild B7.5-6: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton in einzelnen Balkenpunkten und Querschnitten

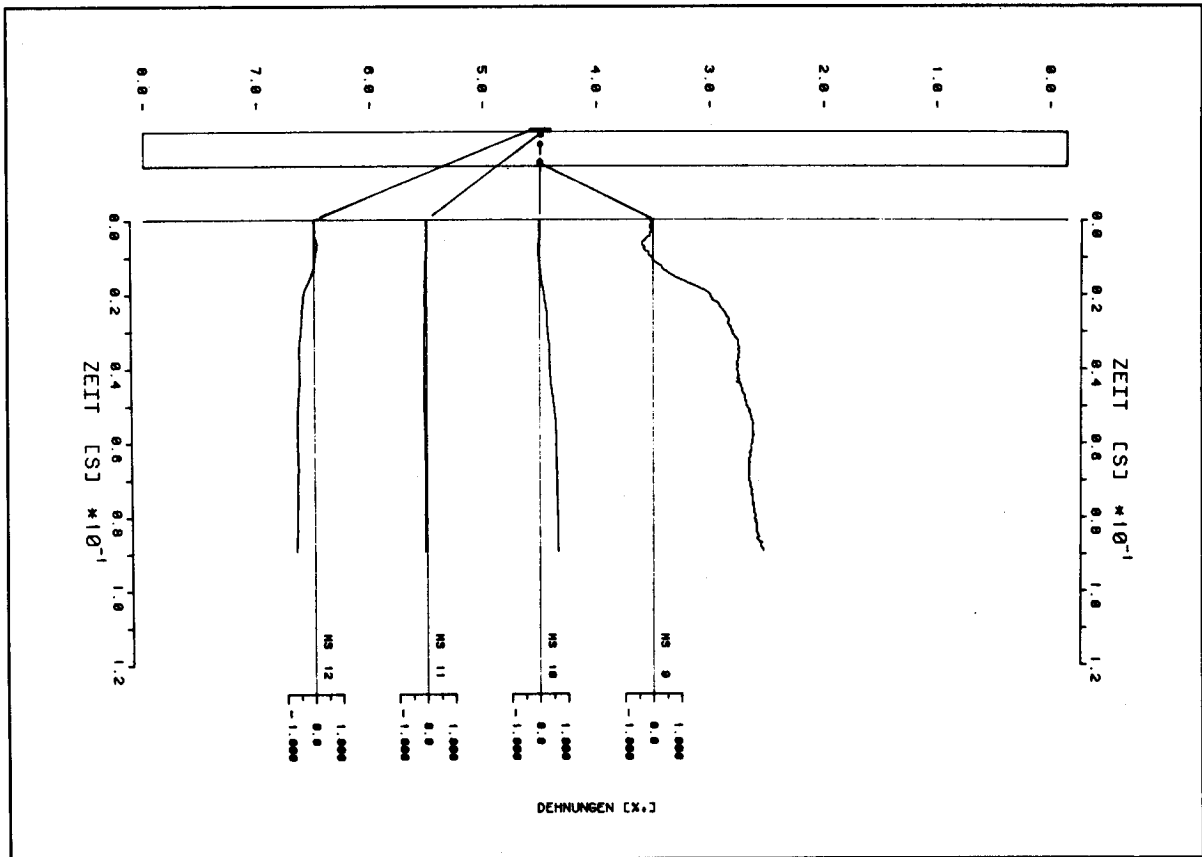


Bild B7.5-7: Zeitverläufe der Dehnungen der Längsbewehrung und auf dem Beton in einem Balkenquerschnitt

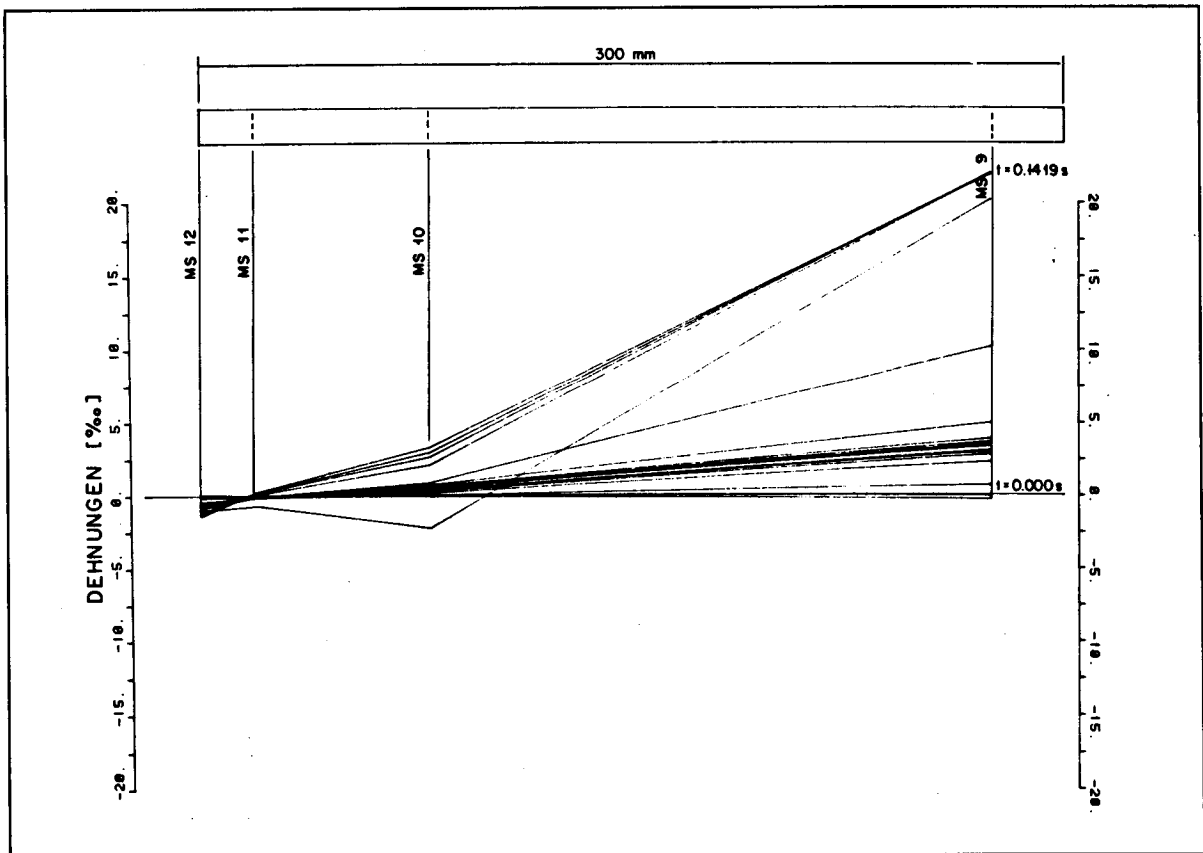


Bild B7.5-8: Verlauf der Dehnungen in einem Balkenquerschnitt zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.000 \text{ s} - 0.142 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.0075 \text{ s}$ )

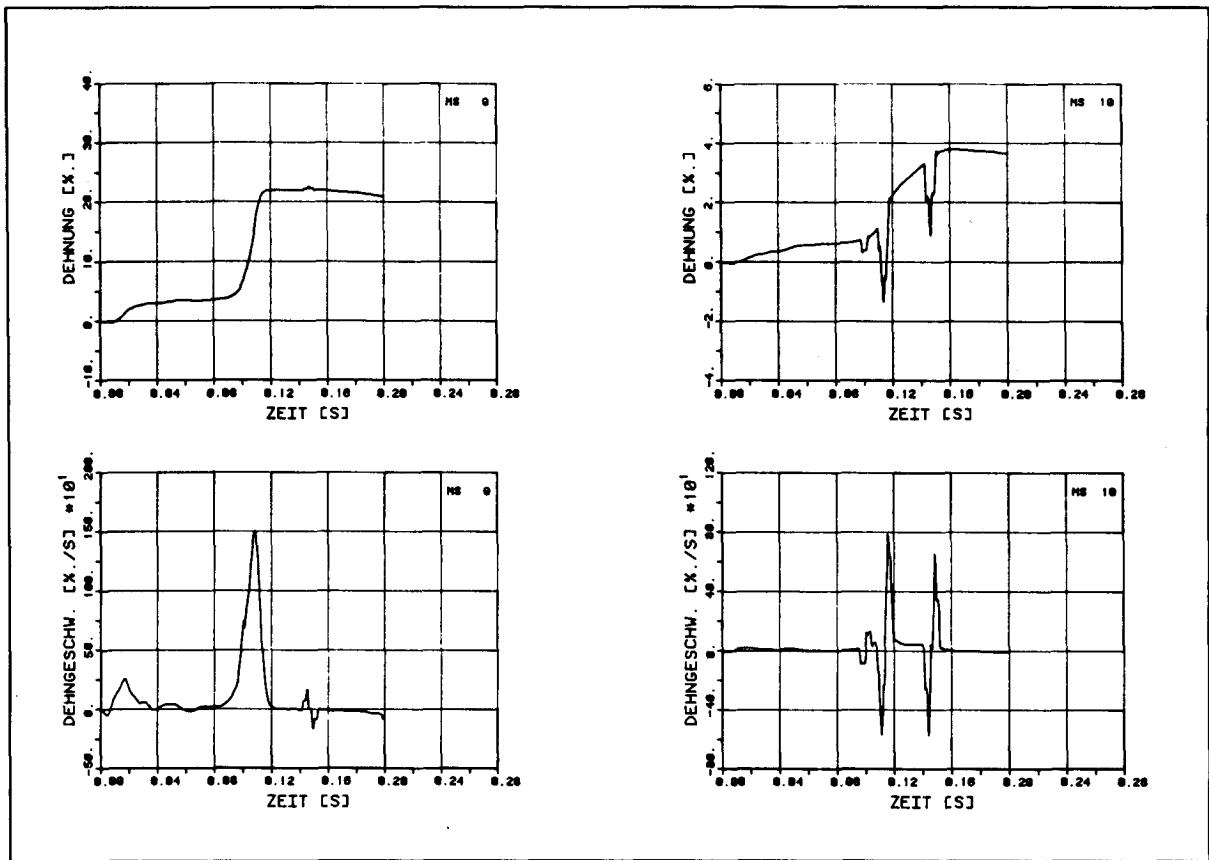


Bild B7.5-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren und oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

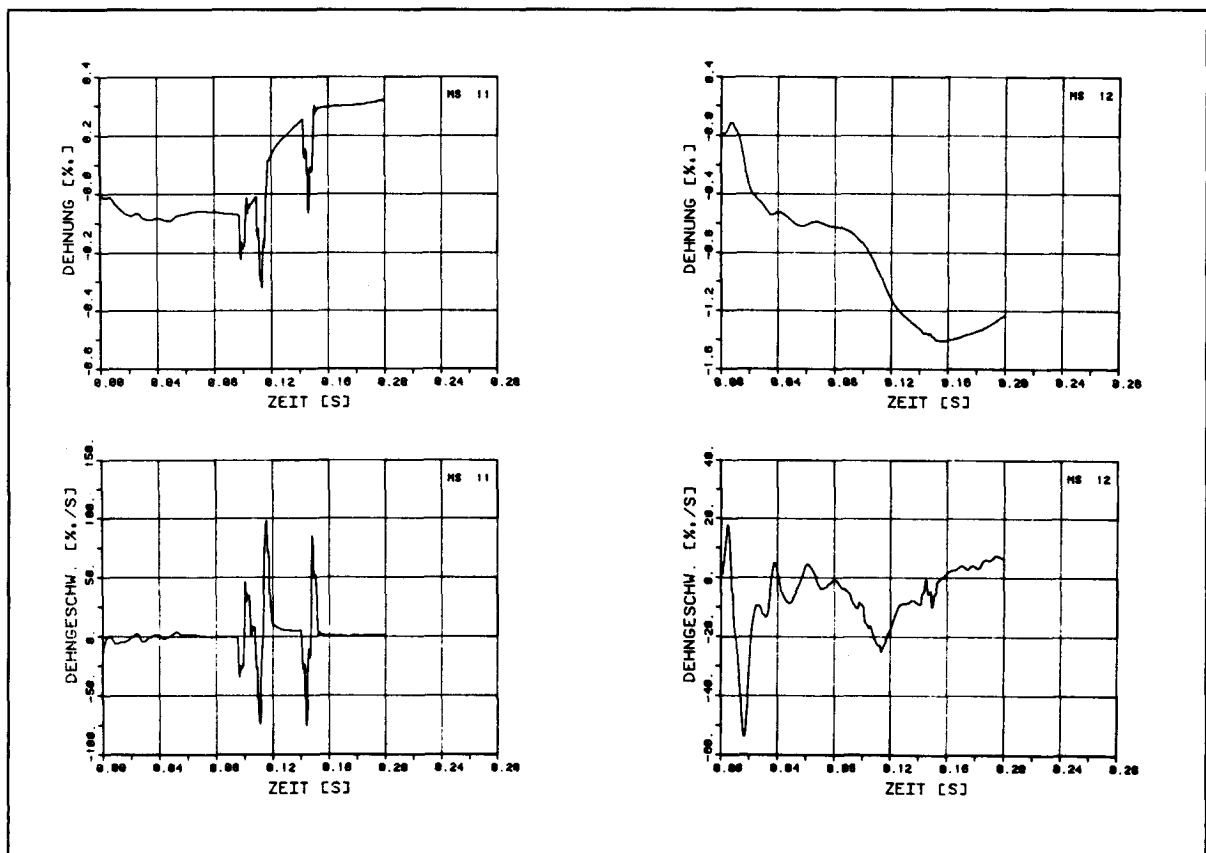


Bild B7.5-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B7.6

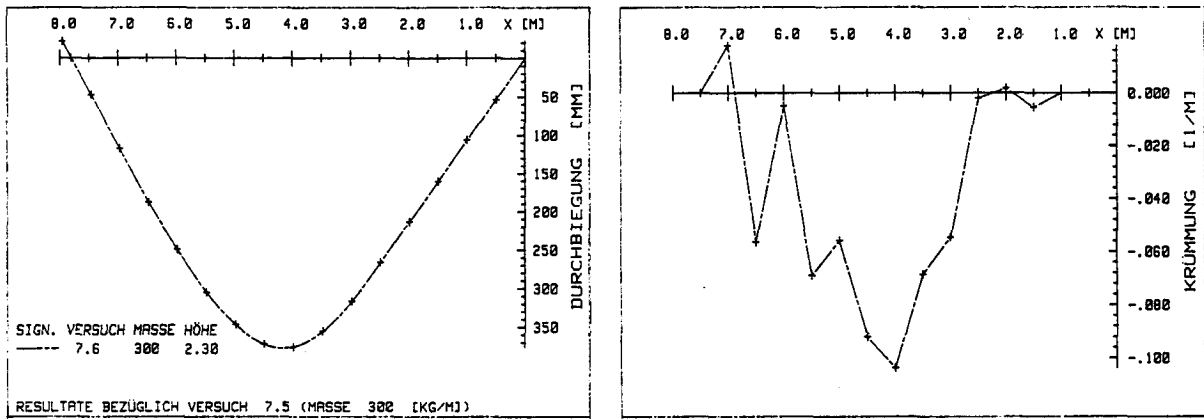


Bild B7.6-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B7.6

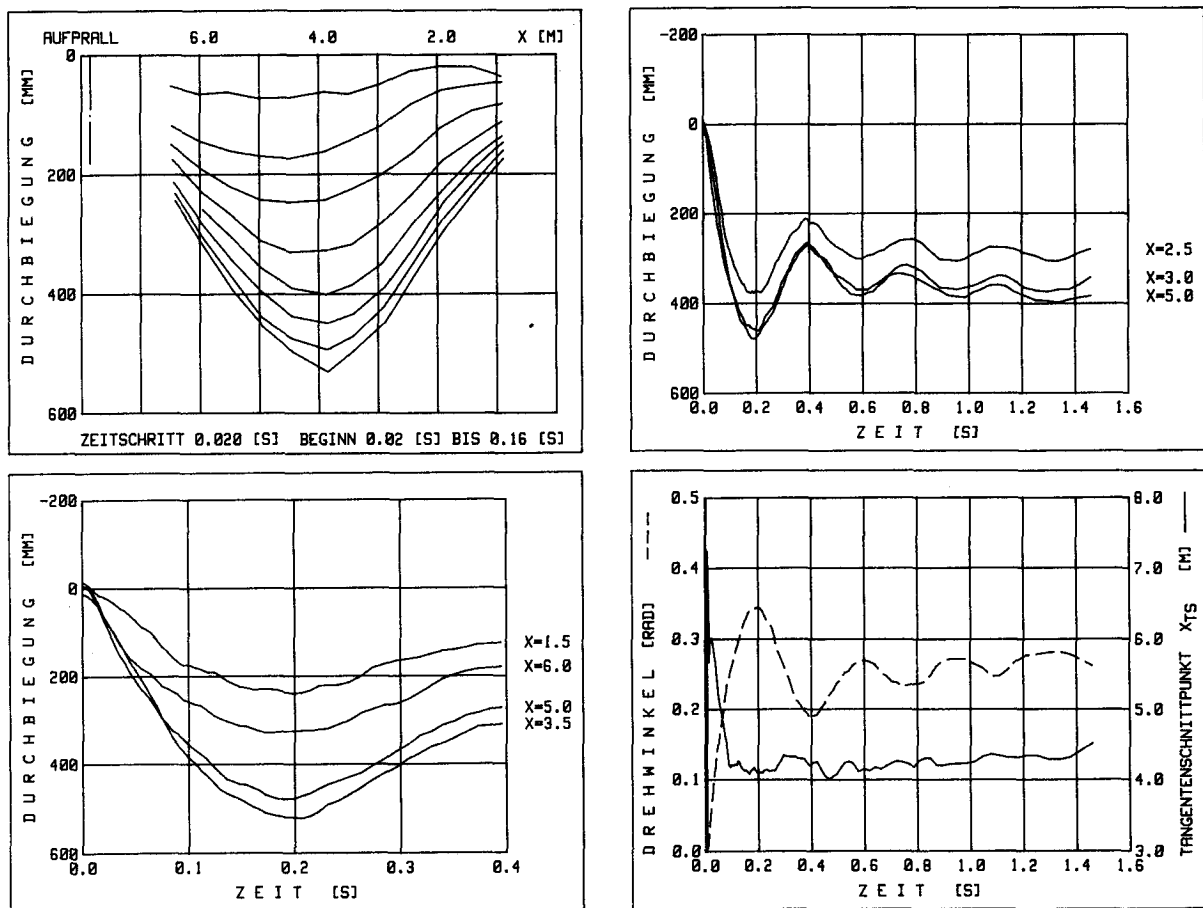


Bild B7.6-2: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

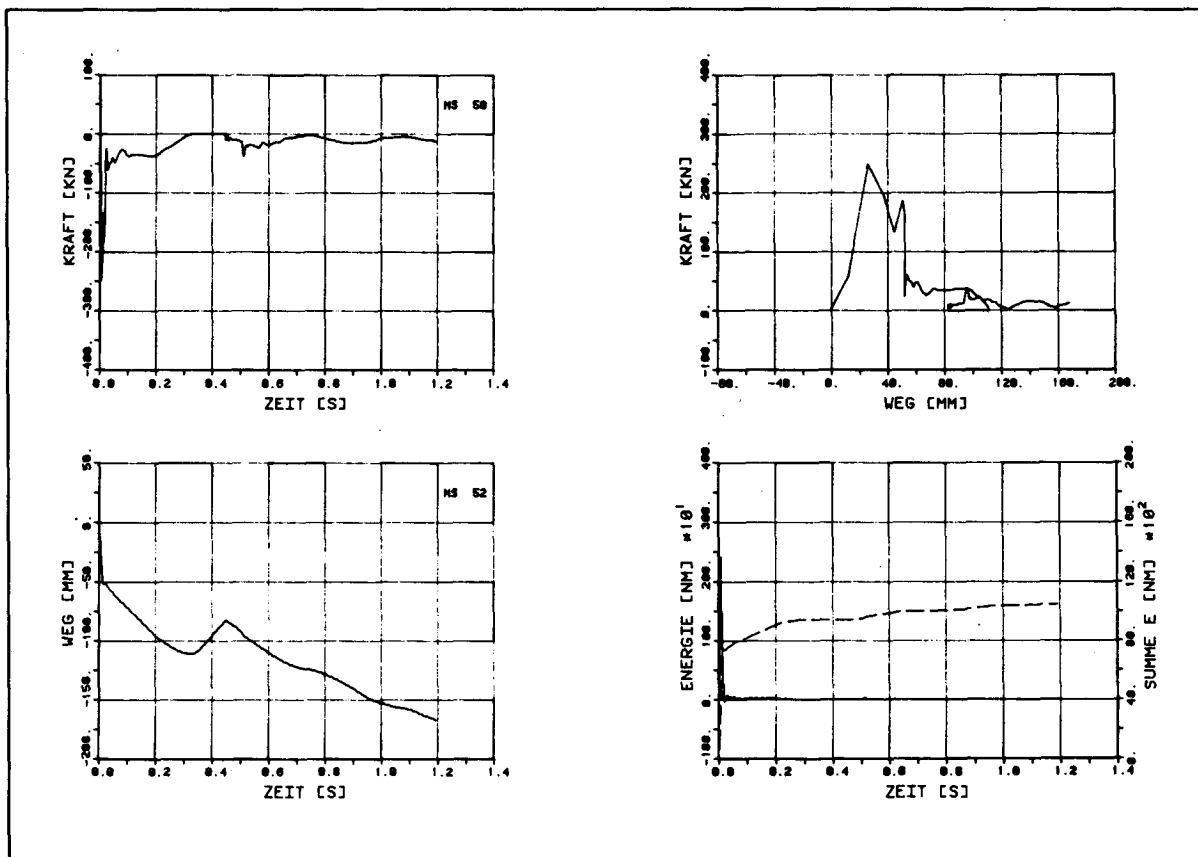


Bild B7.6-3: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

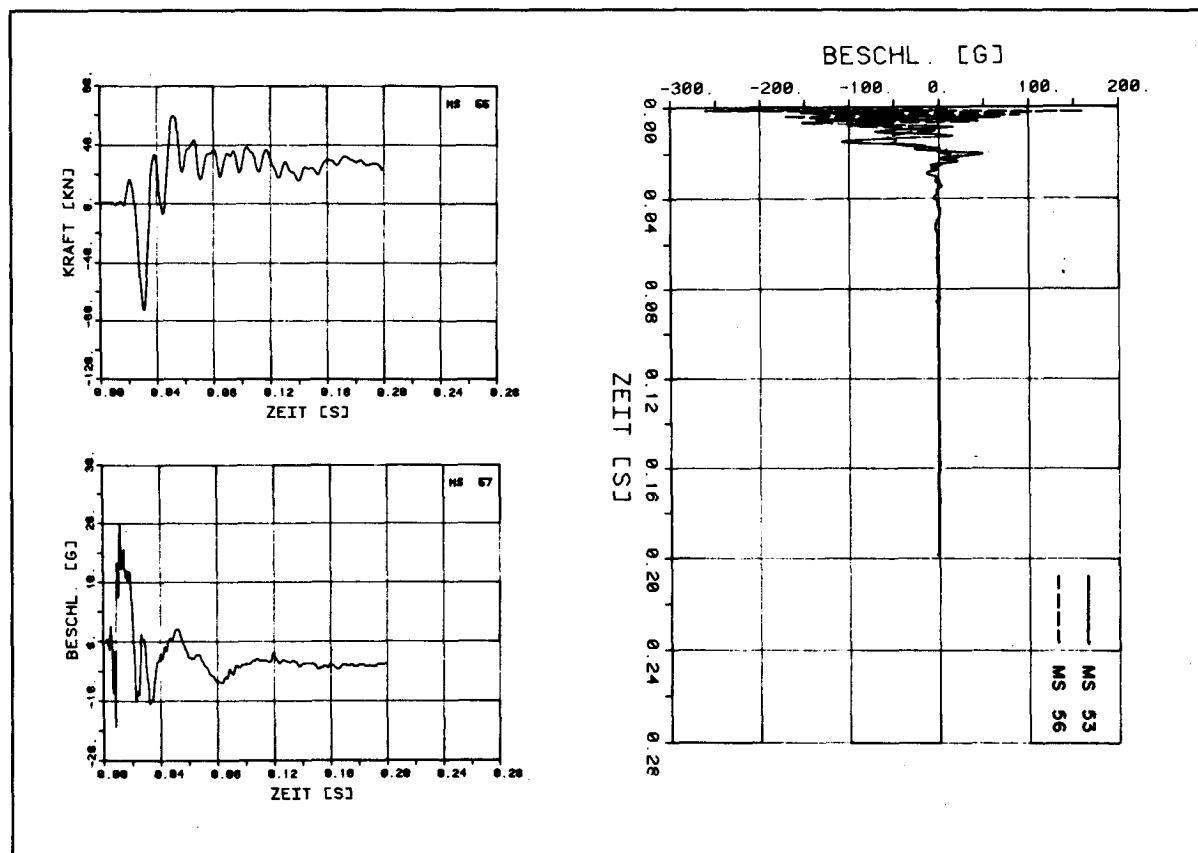


Bild B7.6-4: Zeitverläufe für Gelenkreaktion und Beschleunigungen

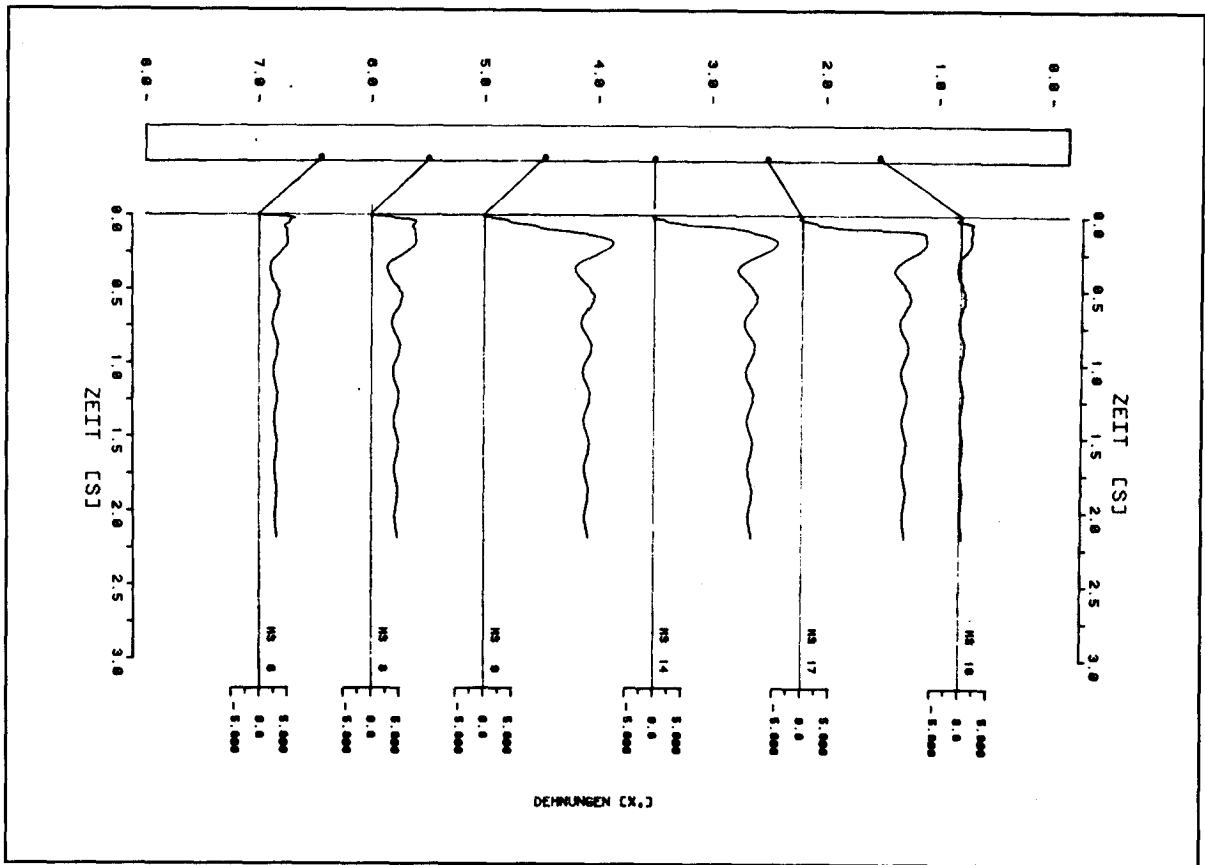


Bild B7.6-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

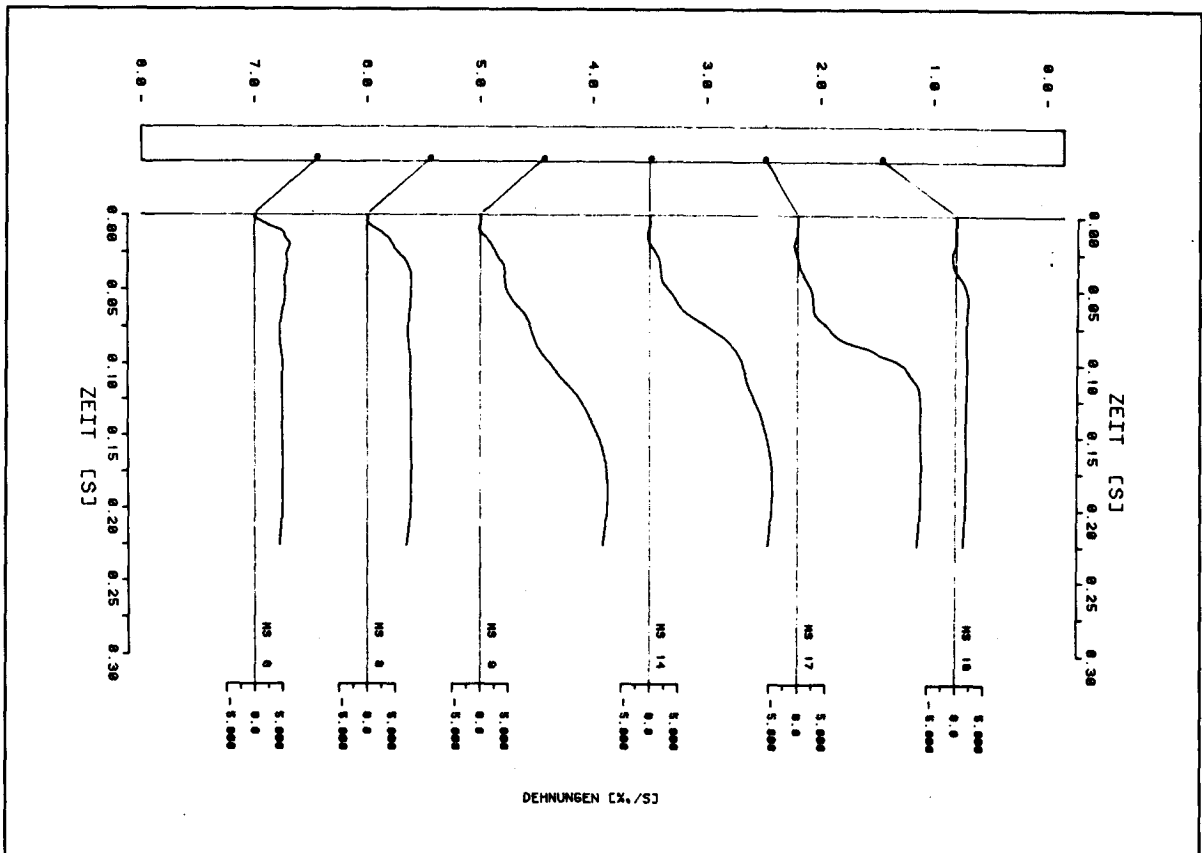


Bild B7.6-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

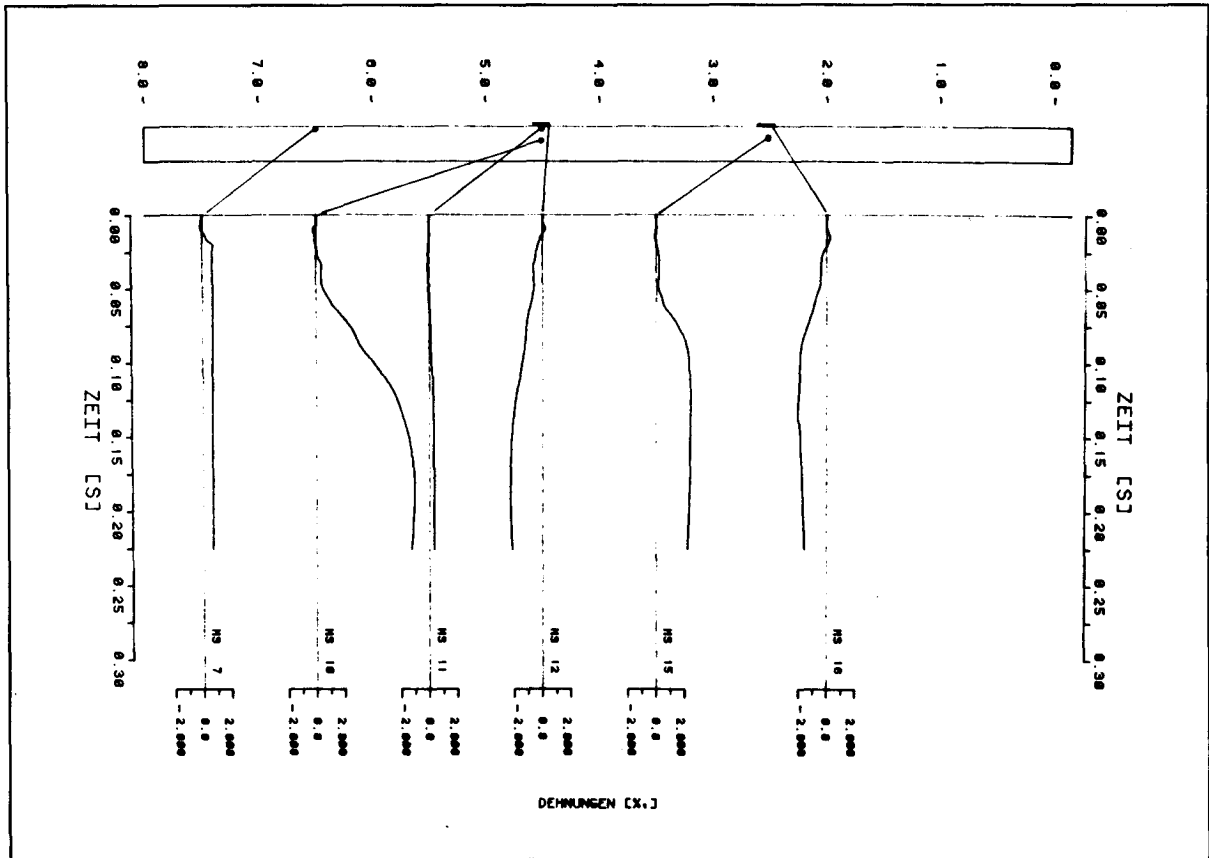


Bild B7.6-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton in einzelnen Balkenpunkten und -querschnitten

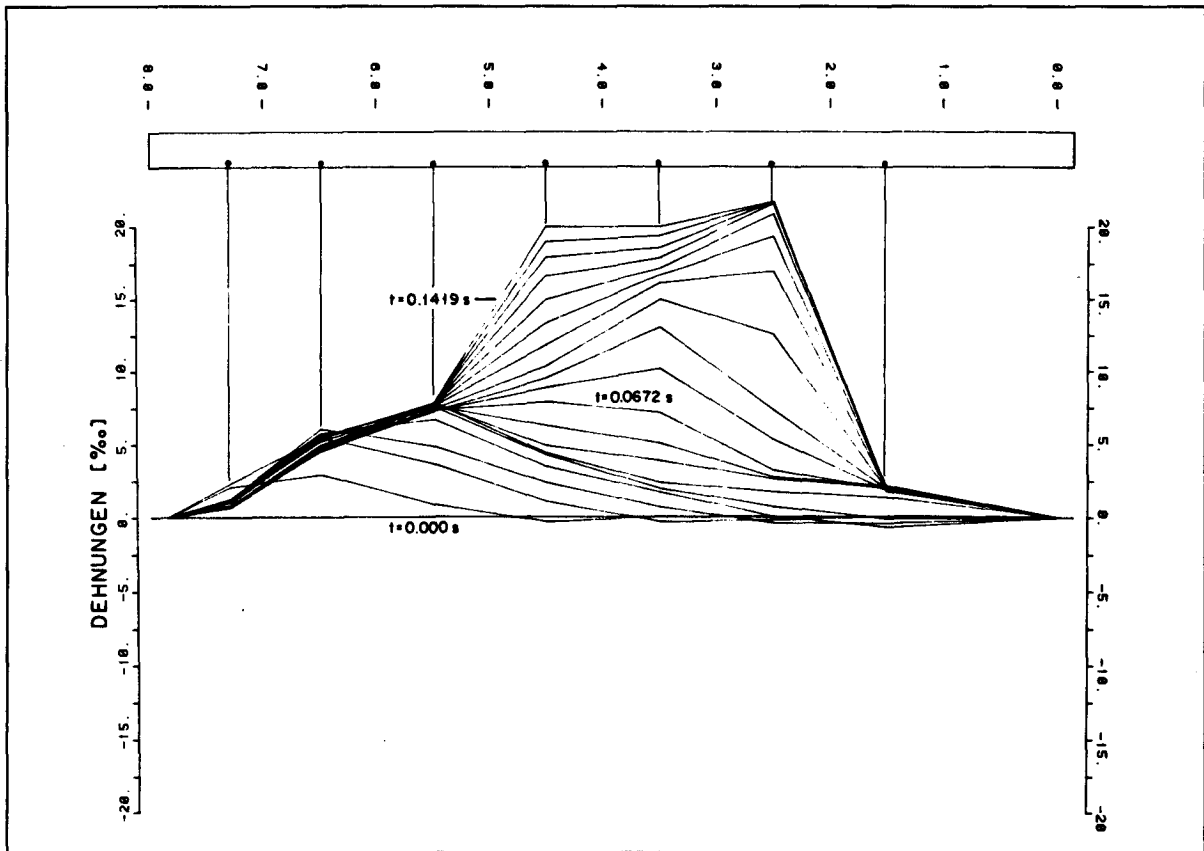


Bild B7.6-8: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.000\text{ s} - 0.1419\text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.0075\text{ s}$ )

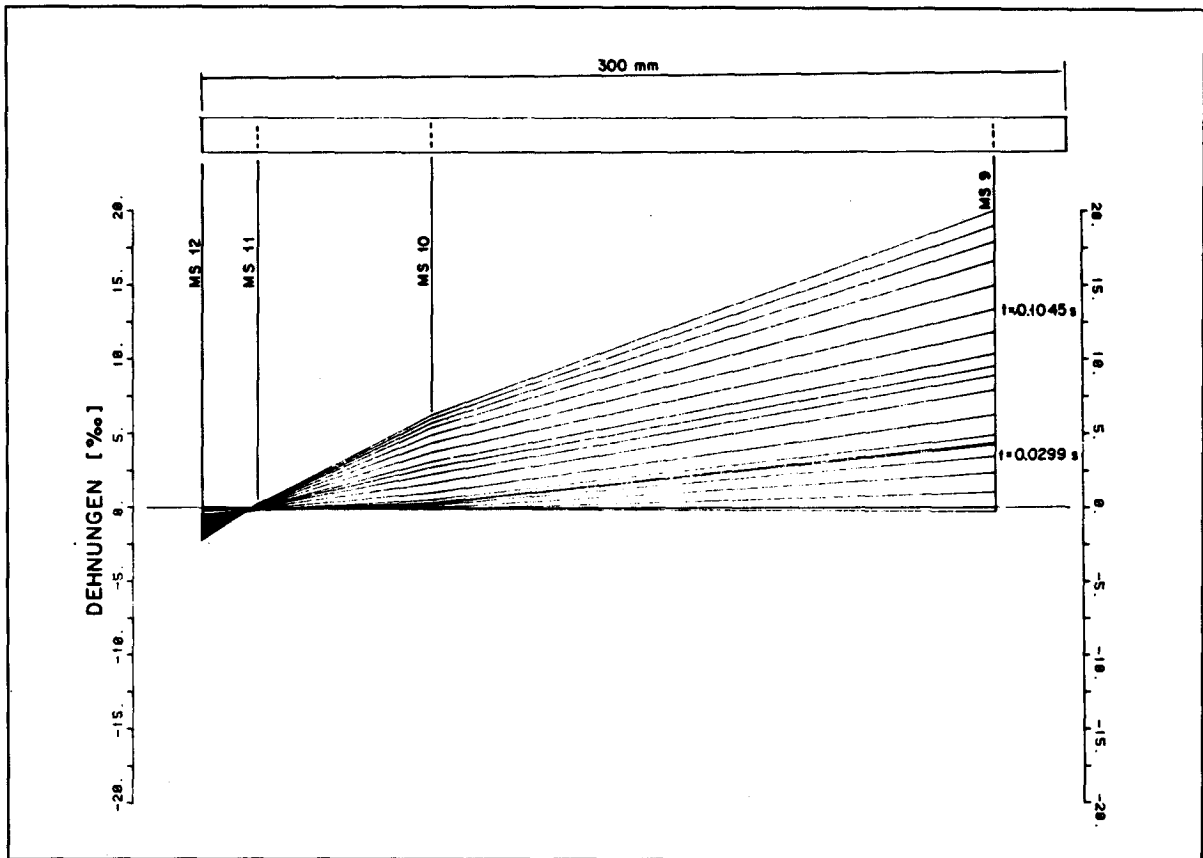


Bild B7.6-9: Verlauf der Dehnungen in einem Balkenquerschnitt zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0,000$  s -  $0,1419$  s,  $\Delta t = 0,0075$  s)

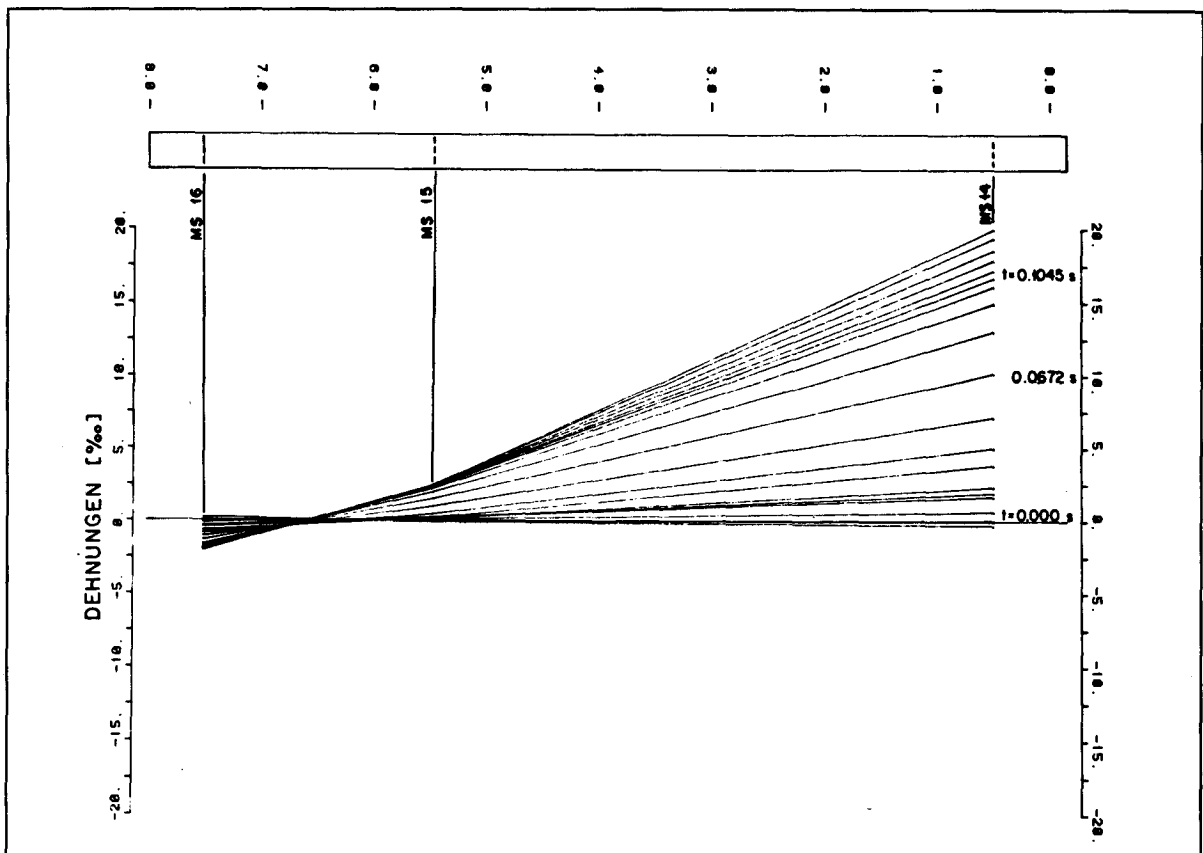


Bild B7.6-10: Verlauf der Dehnungen in einem Balkenquerschnitt zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0,000$  s -  $0,1419$  s,  $\Delta t = 0,0075$  s)



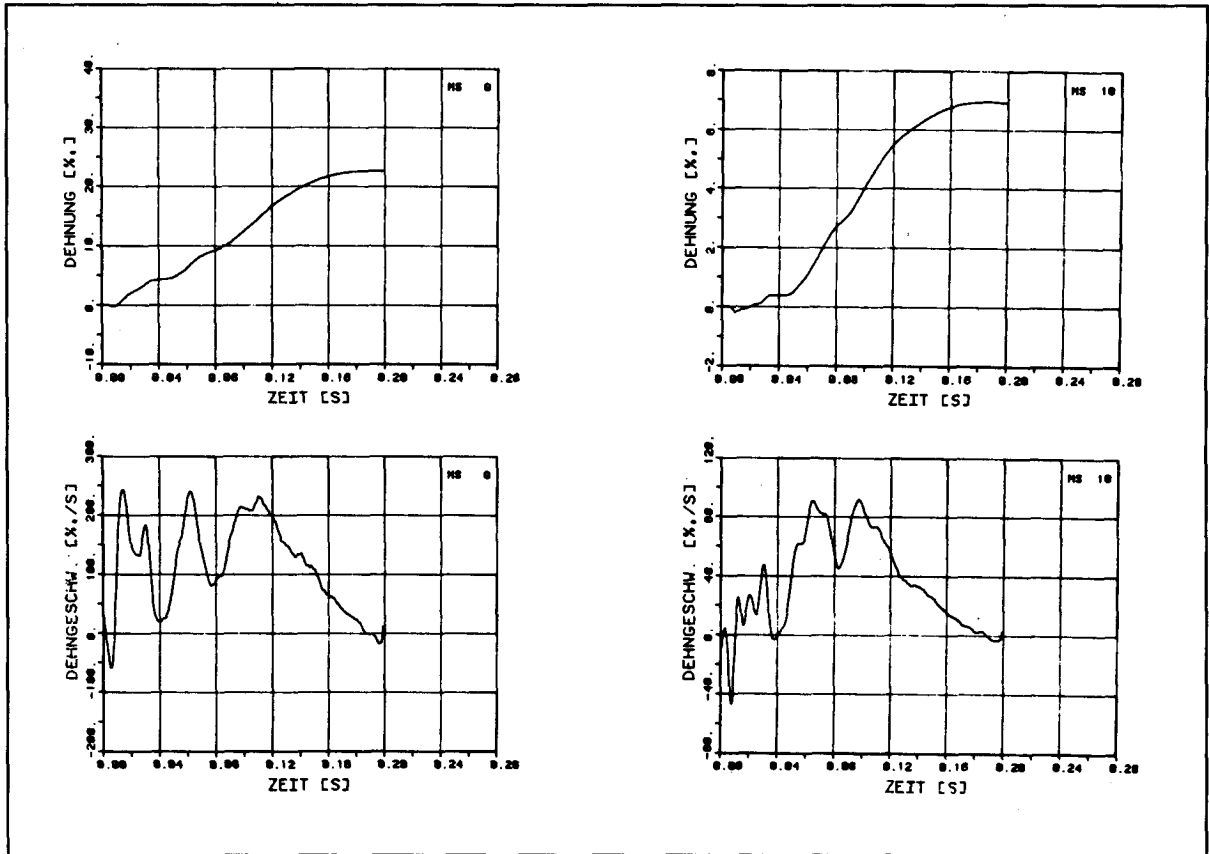


Bild B7.6-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren und oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

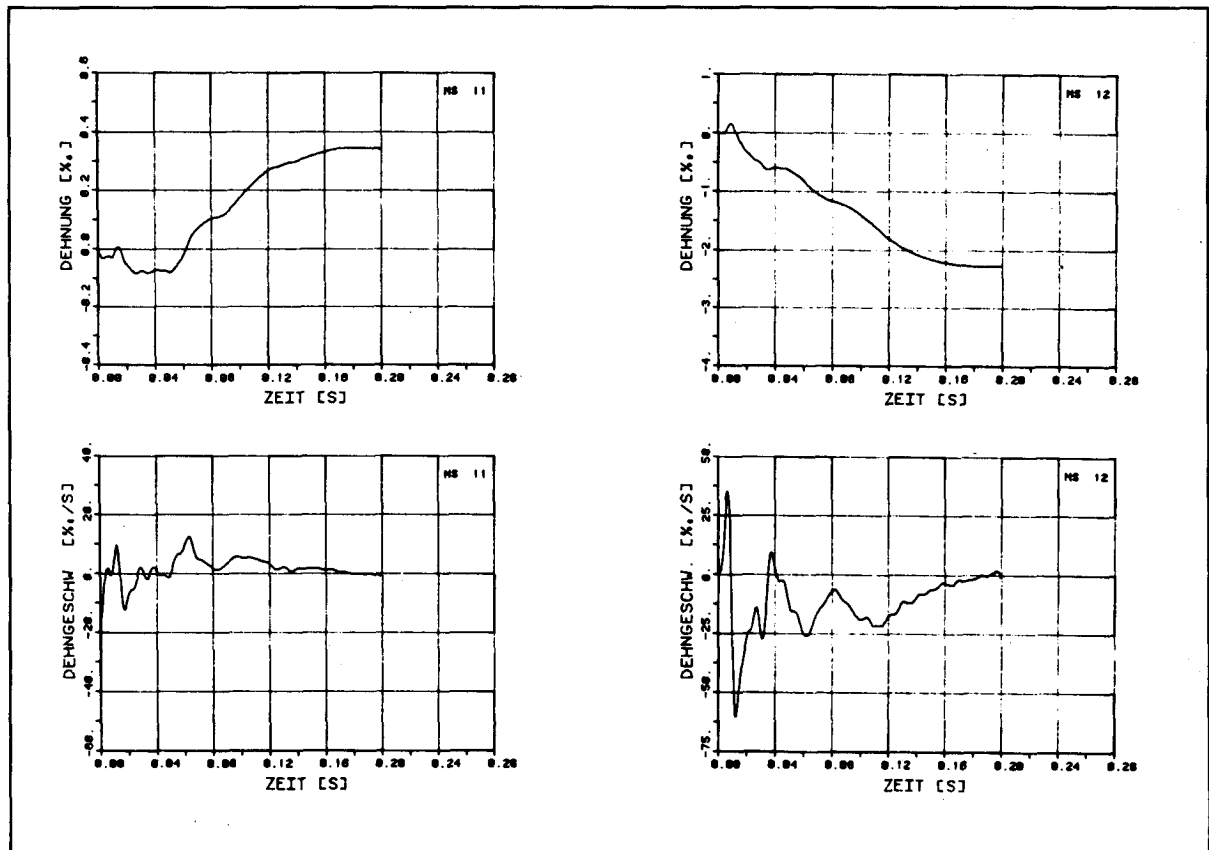


Bild B7.6-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B7.7

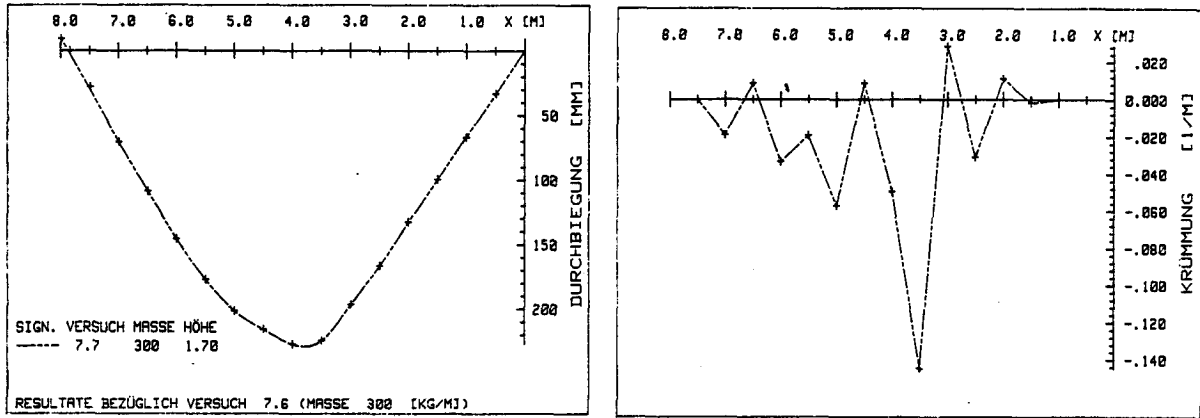


Bild B7.7-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B7.7

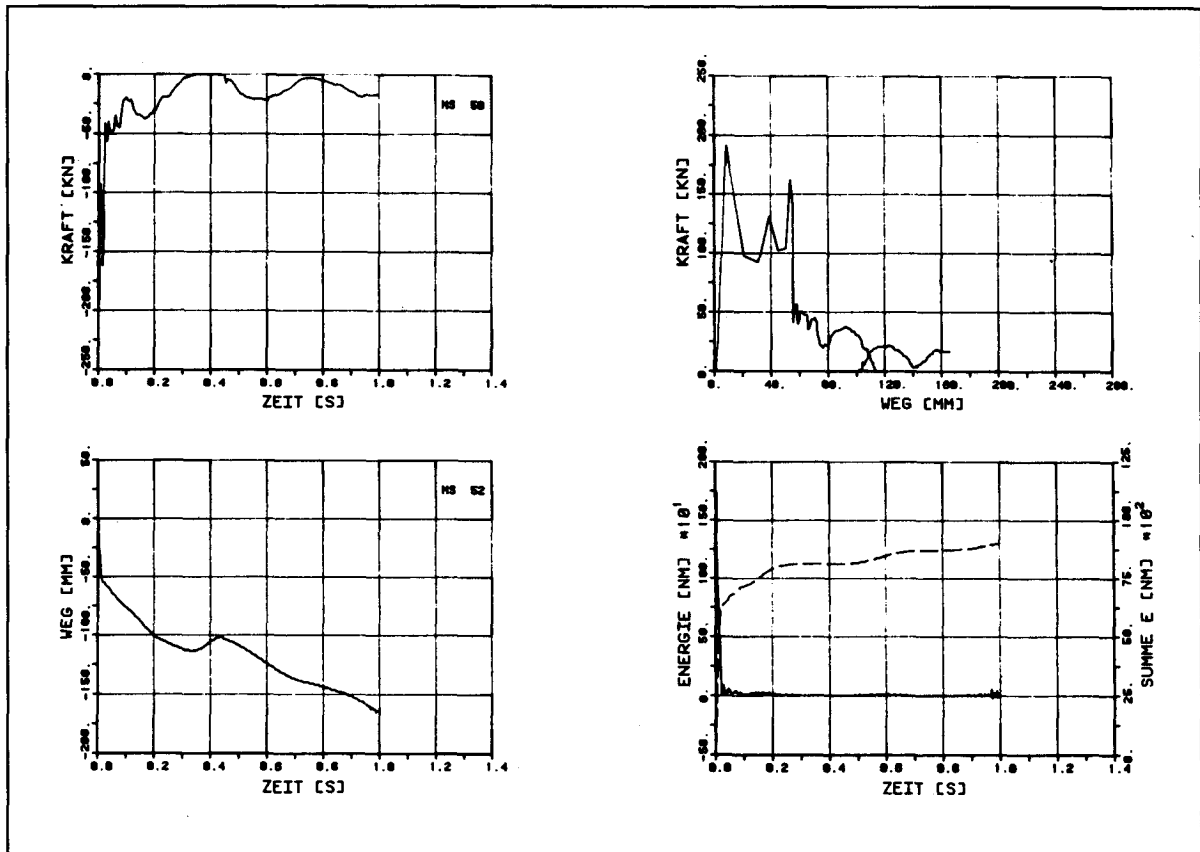


Bild B7.7-2: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stosdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

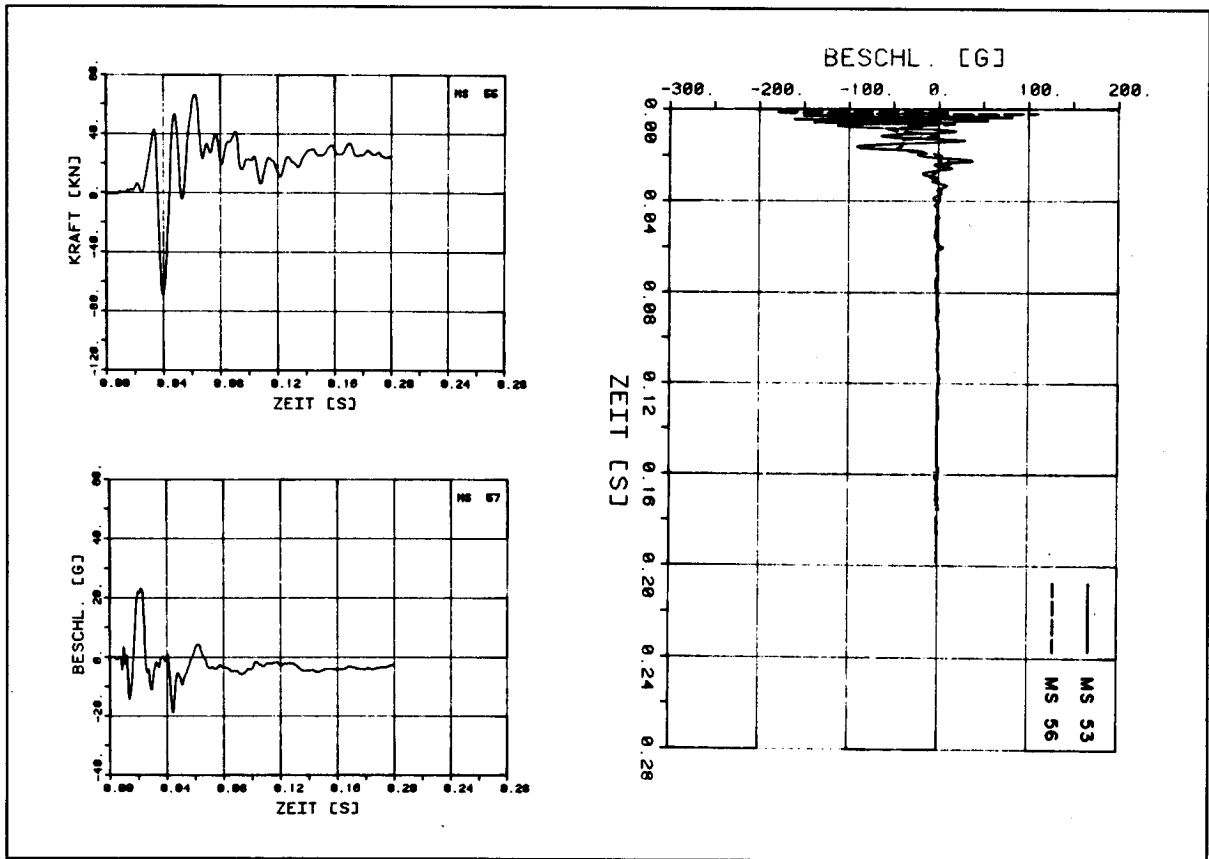


Bild B7.7-3: Zeitverläufe für Gelenkreaktion und Beschleunigungen

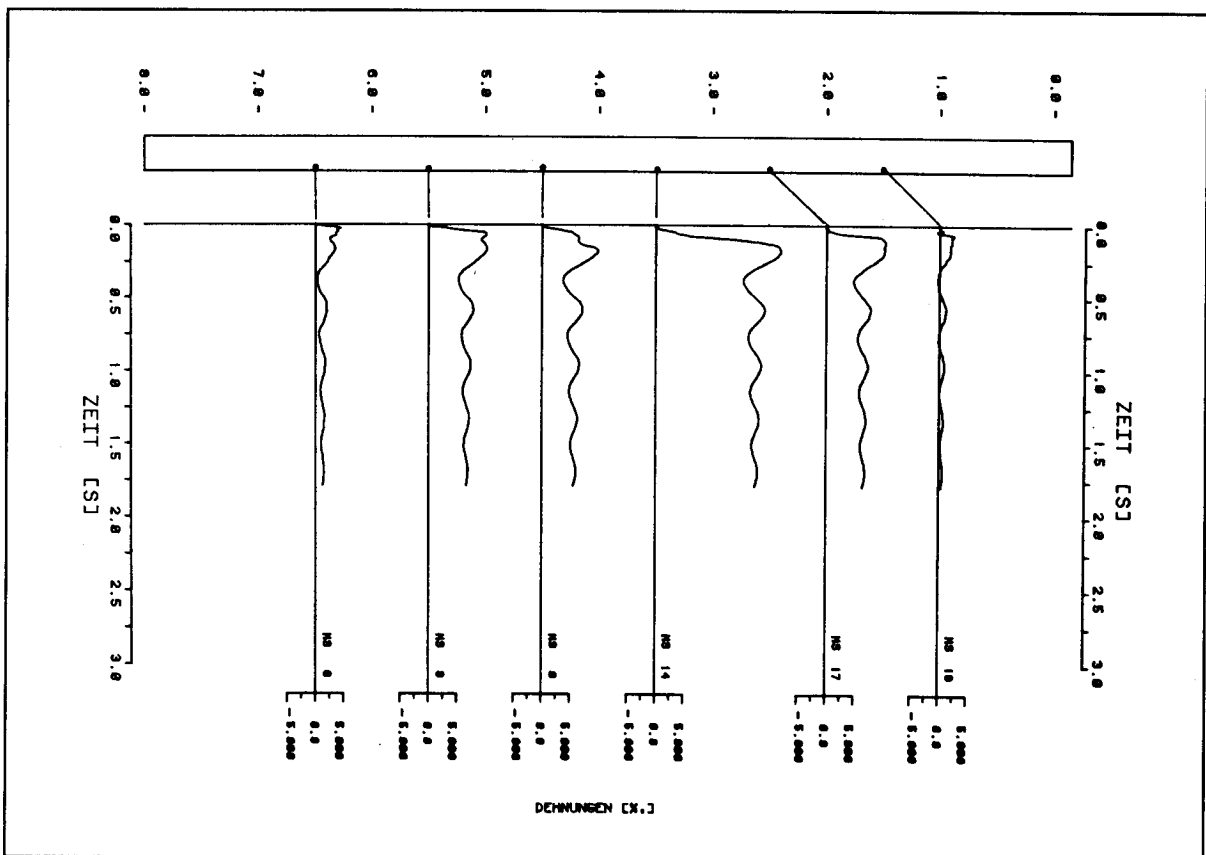


Bild B7.7-4: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

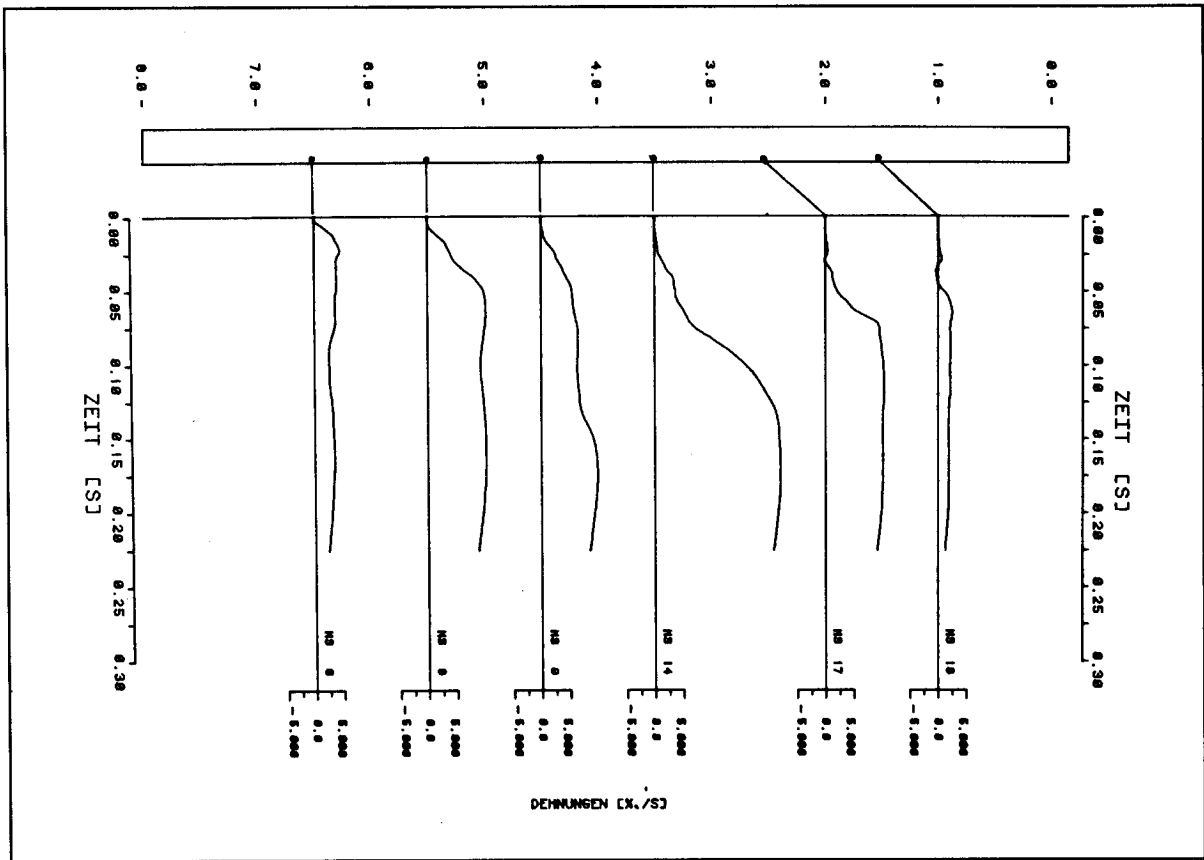


Bild B7.7-5: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

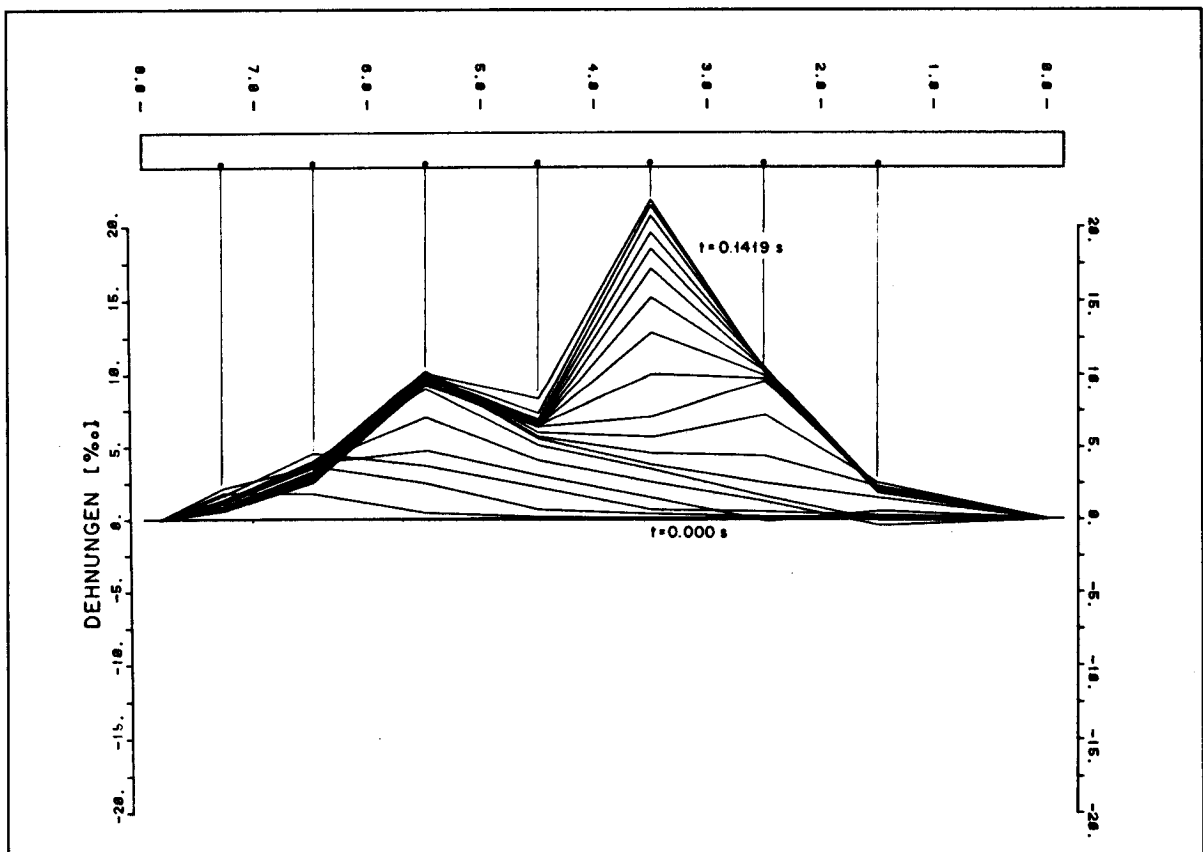


Bild B7.7-6: Verlauf der Dehnungen entlang der unteren Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.000 \text{ s} - 0.1419 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.0075 \text{ s}$ )

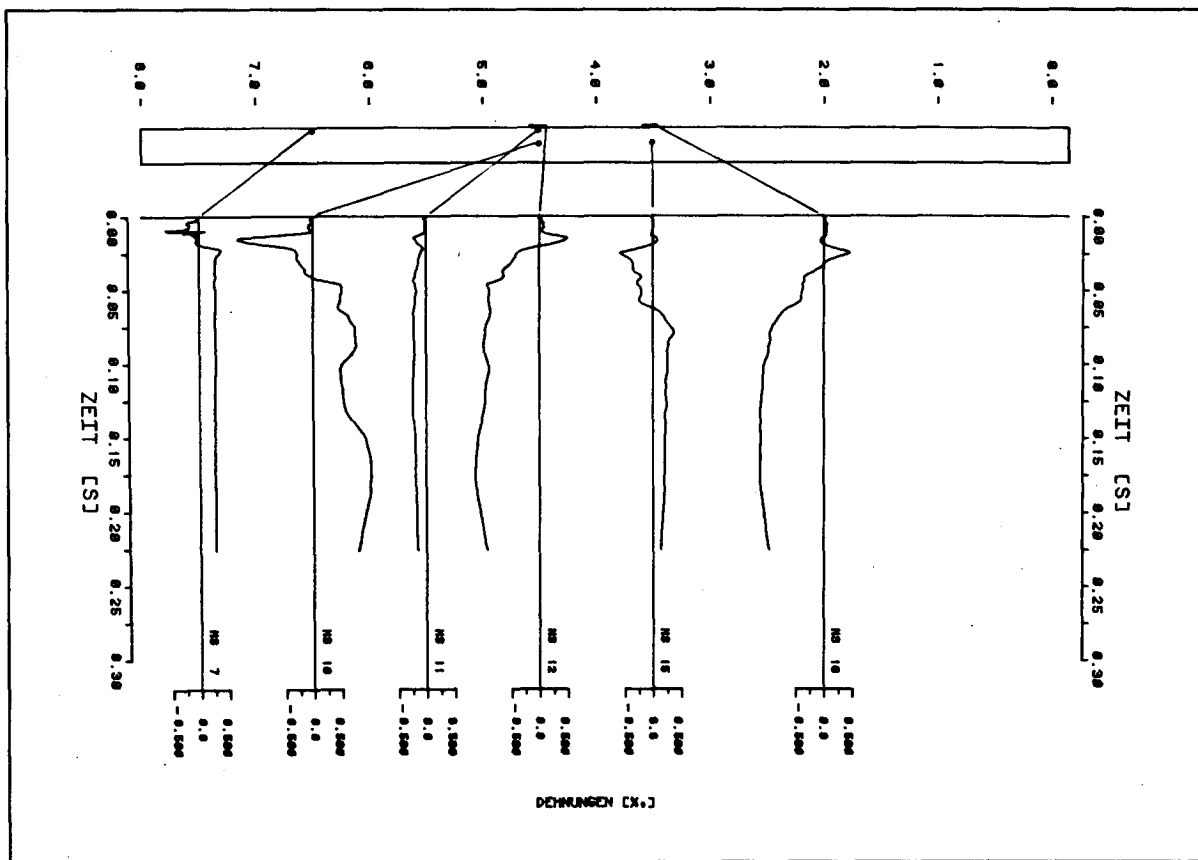


Bild B7.7-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton in einzelnen Balkenpunkten und -querschnitten

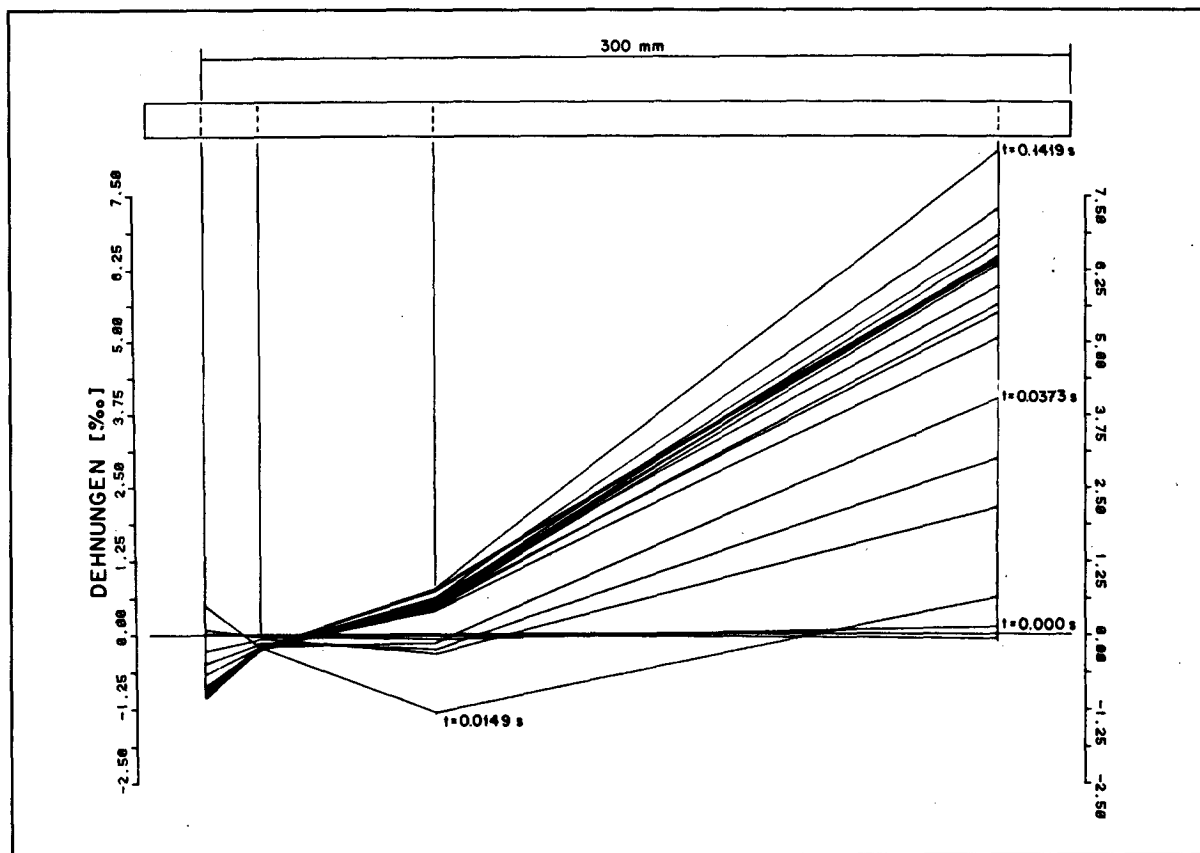


Bild B7.7-8: Verlauf der Dehnungen in einem Balkenquerschnitt zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.000 \text{ s} - 0.1419 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.0075 \text{ s}$ )

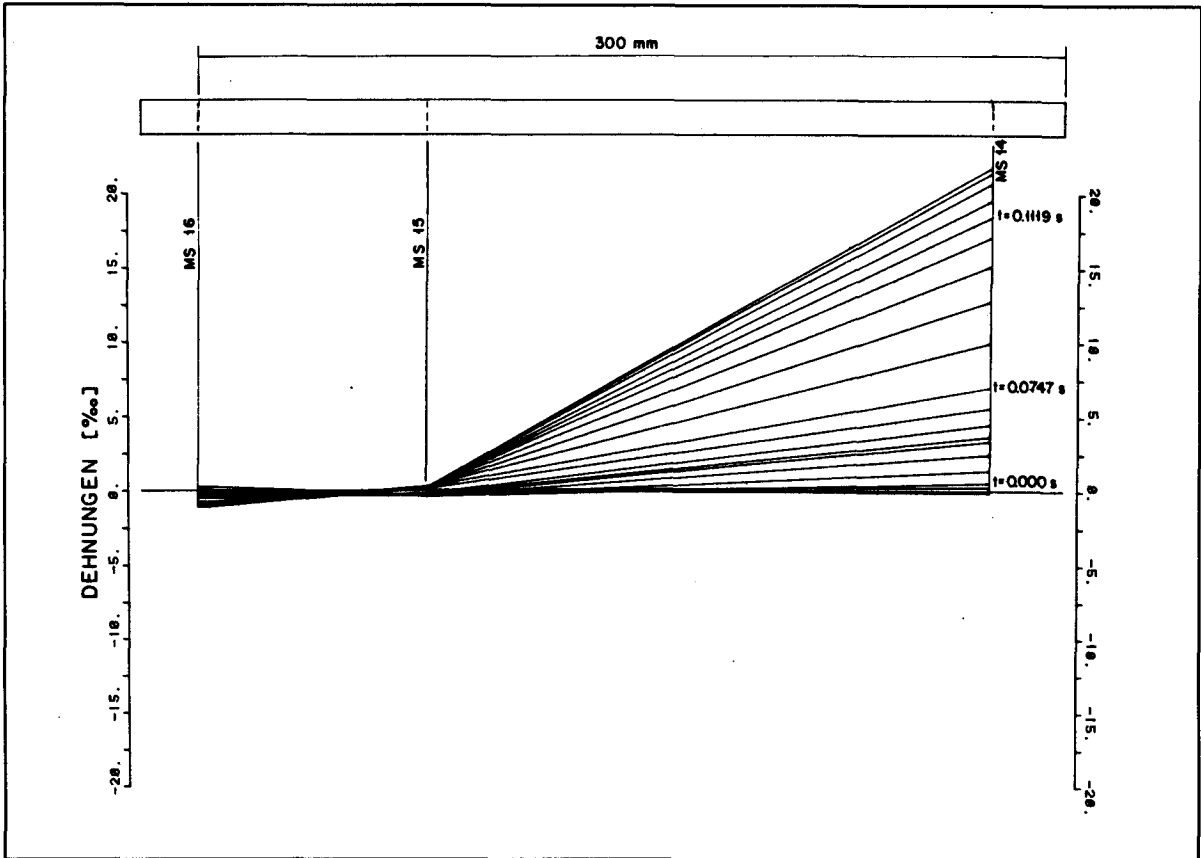


Bild B7.7-9: Verlauf der Dehnungen in einem Balkenquerschnitt zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.000 \text{ s} - 0.1419 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.0075 \text{ s}$ )

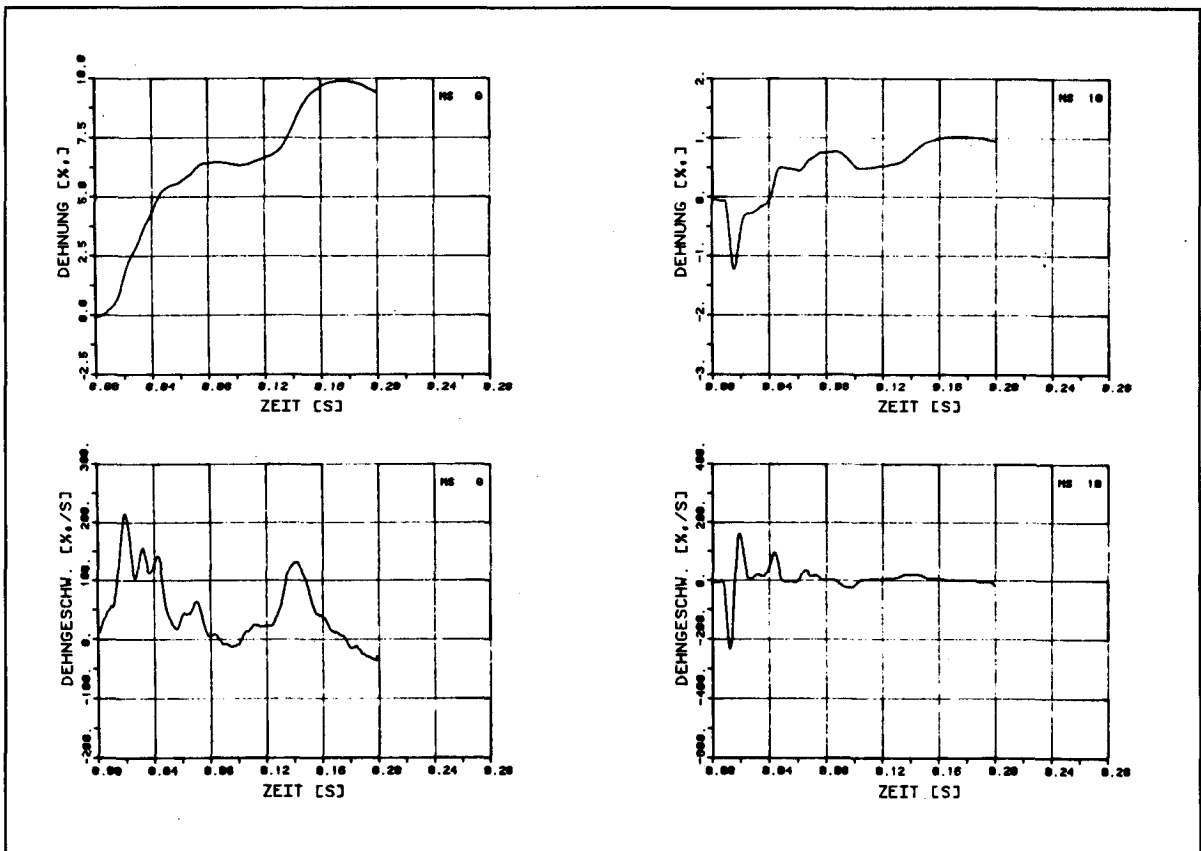


Bild B7.7-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren und oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

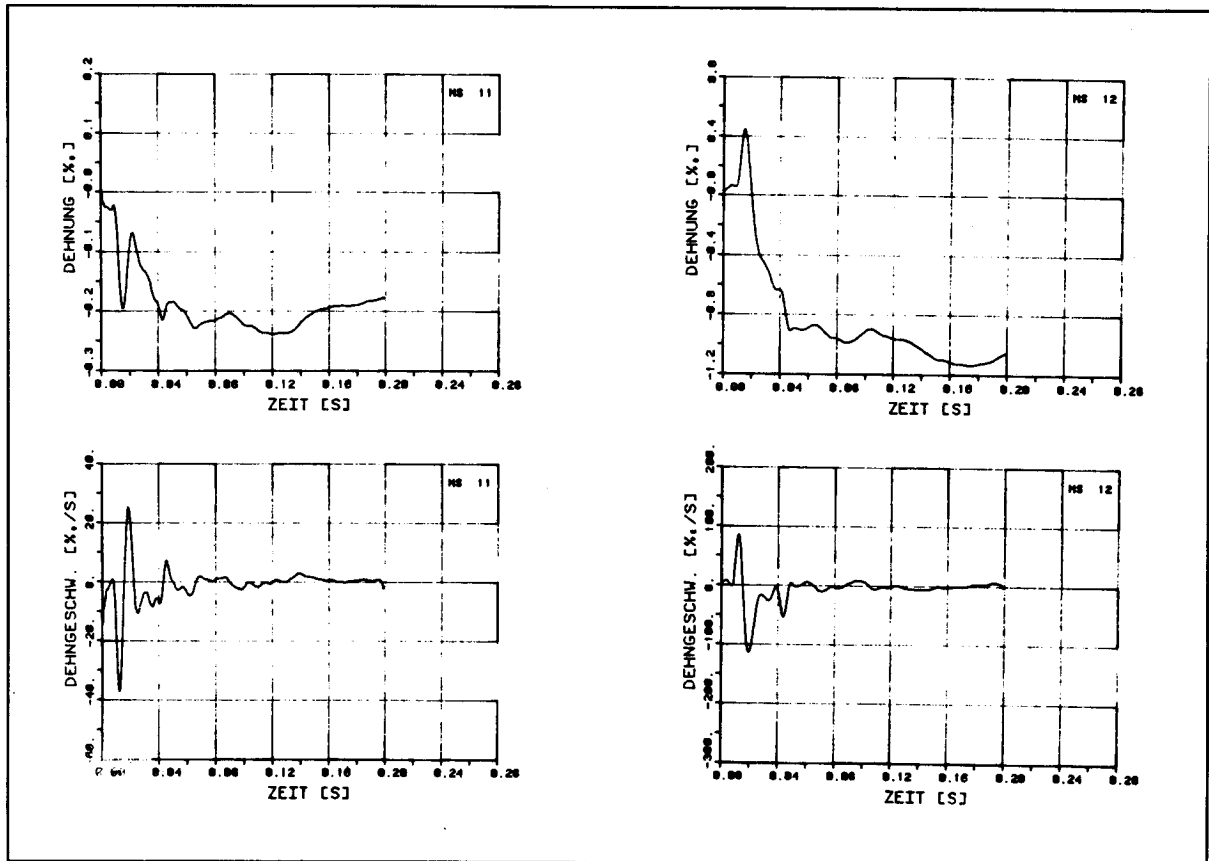


Bild B7.7-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und auf dem Beton und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten





zusätzlichen Schwächung auf rund 70 kNm gesunken.

Im Aufprallbereich sind nach dem 1. Versuch B8.1 deutliche Schubrisse mit bis zu 10/100 mm Rissweite aufgetreten. Im 2. Versuch B8.2 weiten sich diese Risse auf maximal 20/100 mm aus.

#### Bleibende Dehnungen

Die mittels Deformeter gemessenen, mittleren Stauchungen und Dehnungen betragen im Bereiche von  $x = 2.50$  m bis  $x = 6.50$  m auf dem Beton rund 4 % bzw. rund 15 % auf der unteren Längsbewehrung. Im Bereich der grössten Beanspruchung (bei  $x = 3.60$  m) übersteigen die Messwerte nach Abschluss der Versuche den möglichen Messbereich von rund 6 % bzw. 25 %.

#### Energieaufnahmevermögen

Die aus den Nivellements-Messungen abgeleiteten Krümmungsverläufe konzentrieren sich für den 2. und 3. Versuch (B8.2 und B8.3) in erster Linie auf den Bereich der grössten Zerstörungen ( $x = 3.00 - 4.00$  m) mit einem lokalen Maximum von  $0.30 \text{ m}^{-1}$  bzw.  $0.13 \text{ m}^{-1}$ , während für den 1. Versuch B8.1 ein gleichmässigerer Krümmungsverlauf mit einem Mittelwert von  $0.04 \text{ m}^{-1}$  und einem Maximum von  $0.10 \text{ m}^{-1}$  resultieren. Die plastische Länge beträgt  $l_{pl} = 4.0$  m. Bezogen auf die gesamte, zur Verfügung stehende potentielle Energie ergibt sich für den Versuch B8.1 ohne Zusatzmasse eine Energieaufnahme von rund 53 %. Dieser Wert passt gut in eine lineare Abhängigkeit zwischen Energieaufnahme und Längsbewehrungsgehalt. Die beiden weiteren Versuche haben ebenfalls Werte über 50 % ergeben. Sie stehen damit über den vergleichbaren Werten von Balken B4. Dies dürfte mit der wesentlich fortgeschrittenen lokalen Zerstörung des Balken B8 zusammenhängen, die ein exaktes Berechnen des noch vorhandenen plastischen Momentes als Grundlage zur Ermittlung der Energieaufnahme stark erschwert.

#### Aufprall- und Gelenkreaktion, Beschleunigungen

Die Versuche B8.2 und B8.3 passen sich gut in die durch die Versuche mit den Balken B4 und B5 vorgegebene lineare Abhängigkeit zwischen maximaler Aufprallreaktion und Fallhöhe ( $H$ )<sup>3/5</sup> ein. Für den Versuch B8.1 wurden auch andere Abhängigkeiten untersucht. Z.B. kann im Vergleich mit den bis auf den Bewehrungsgehalt analogen Balken B3 und B11 eine Zunahme der maximalen Aufprallreaktion mit zunehmendem Längsbewehrungsgehalt festgestellt werden. Im weiteren kann im Vergleich mit B5 eine lineare Abhängigkeit von der Masse der Form ( $m$ )<sup>3/5</sup> beobachtet werden.

Bei der Grösse der maximalen Gelenkreaktion oder den maximalen Beschleunigungen kann wiederum keine Abhängigkeit ermittelt werden. Die beiden Maximalwerte aus dem Versuch B8.1 sind mit Ausnahme von Versuch B4.7 aus allen Versuchen der 1. Serie am grössten.

#### Dehnungsmessungen während der Versuche

In allen Versuchen kann anhand der zahlreichen Dehnmessstellen auf der unteren und oberen Längsbewehrung eine ausgeprägte Biegewelle beobachtet werden, welche vom Aufprallpunkt gegen das Gelenk wandert. Dabei werden auf der oberen Längsbewehrung bei  $x = 1.50$  m bis zu 4 % Dehnung erreicht. Die maximale Stauchung dieser Bewehrung tritt bei  $x = 3.50$  m auf und beträgt für den Versuch B8.1 5,5 %. Auf der Schubbewehrung können im Aufprallbereich Maximalwerte von 1.1 % gemessen werden.

#### Dehngeschwindigkeiten

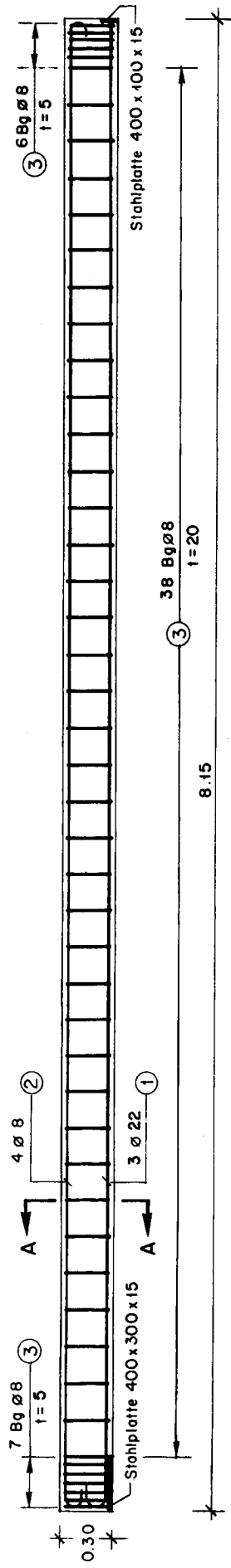
Die maximalen Dehngeschwindigkeiten erreichen im 1. Versuch B8.1 auf der unteren Längsbewehrung  $\dot{\epsilon} = 4.0 \text{ s}^{-1}$ , auf der oberen Längsbewehrung  $\dot{\epsilon} = 0.5 \text{ s}^{-1}$  und auf der Schubbewehrung  $\dot{\epsilon} = 0.04$  bis  $0.08 \text{ s}^{-1}$ . Für die Versuche B8.2 und B8.3 liegen die entsprechenden Werte zwischen  $\dot{\epsilon} = 0.2$  und  $1.0 \text{ s}^{-1}$  (untere Längsbewehrung),  $\dot{\epsilon} = 0.05$  und  $0.25 \text{ s}^{-1}$  (obere Längsbewehrung) und  $\dot{\epsilon} = 0.04$  und  $0.12 \text{ s}^{-1}$  (Schubbewehrung).

Eigenfrequenz, Dämpfung

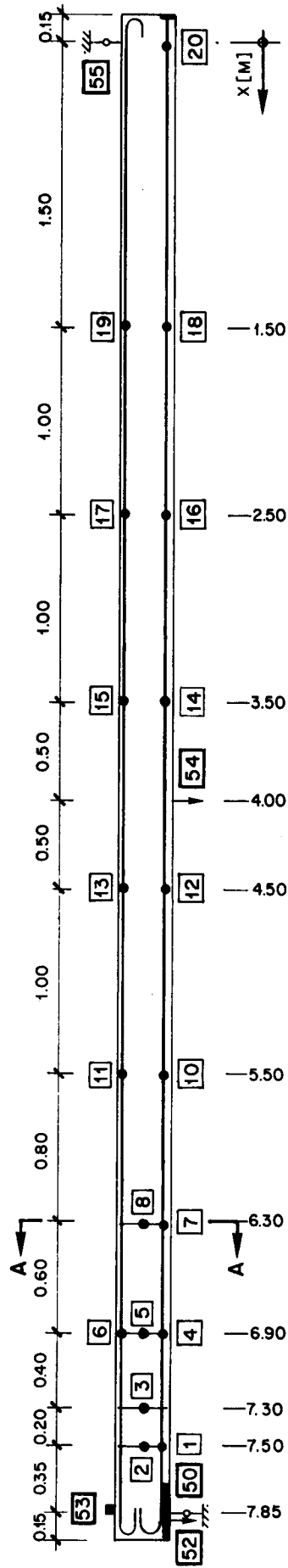
Die in den Ausschwingversuchen ermittelte Eigenfrequenz des Balkens fällt von  $f = 7.89$  Hz auf  $f = 4.31$  Hz nach dem 1. Versuch B8.1. Die Bleizusatzmasse (Verdoppelung der Masse) reduziert die Eigenfrequenz auf  $f = 3.43$  Hz, was nicht der theoretisch zu erwartenden Abminderung von Faktor  $(2)^{1/2}$  entspricht. Die gemessene Frequenz von  $f = 3.43$  Hz bedeutet somit, dass infolge der Zusatzmasse eine Versteifung des Balkens um 27 % eingetreten ist. Nach Abschluss der Versuche betrug dieser versteifende Einfluss immer noch 18 %. Die gleichzeitig ermittelten Dämpfungskoeffizienten steigen wiederum mit zunehmender Beanspruchung von  $\xi = 0.031$  auf maximal  $\xi = 0.064$ , um dann auf einen Endwert von  $\xi = 0.013$  abzufallen. Die aus dem 1. Schwingungszyklus nach dem Aufprall ermittelten  $\xi$ -Werte liegen bedeutend höher, d.h. zwischen  $\xi = 0.11$  und  $\xi = 0.16$ .

# BALKEN B8

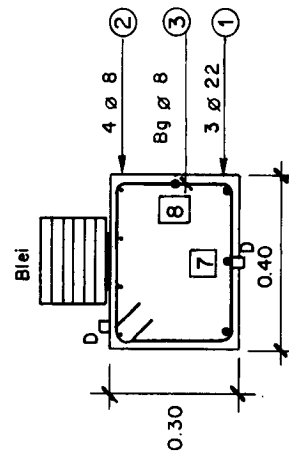
BEWEHRUNGSPLAN



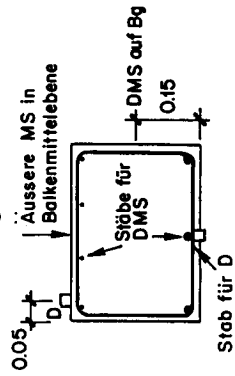
MESSTELLENPLAN



SCHNITT A-A

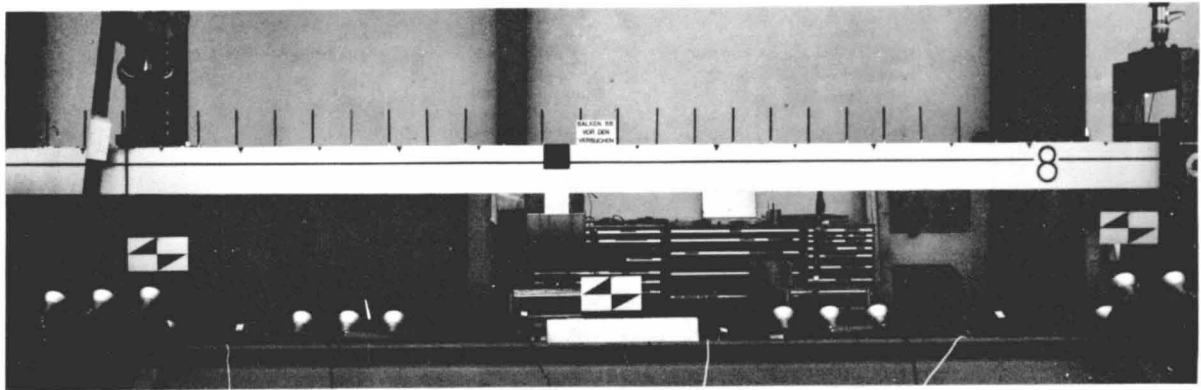


ANORDNUNG DER MS

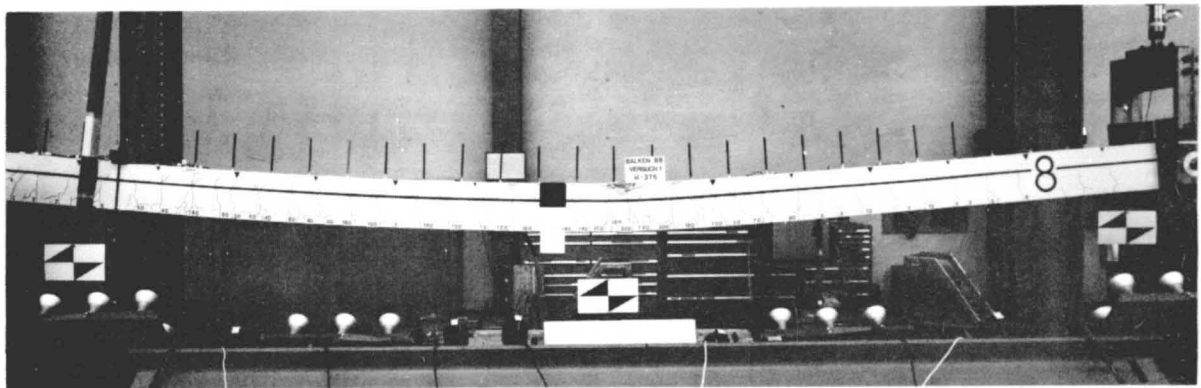


Symbol	Nummer der MS	Bezeichnung
●	1-8, 10-20	DMS auf Stahl
○	50, 55	DMS auf Beton
○	53	Kraftmessdose
○	52, 54	Beschleunigungsaufn.
○	ohne Angabe	Wegaufnehmer
○		Deformmeter

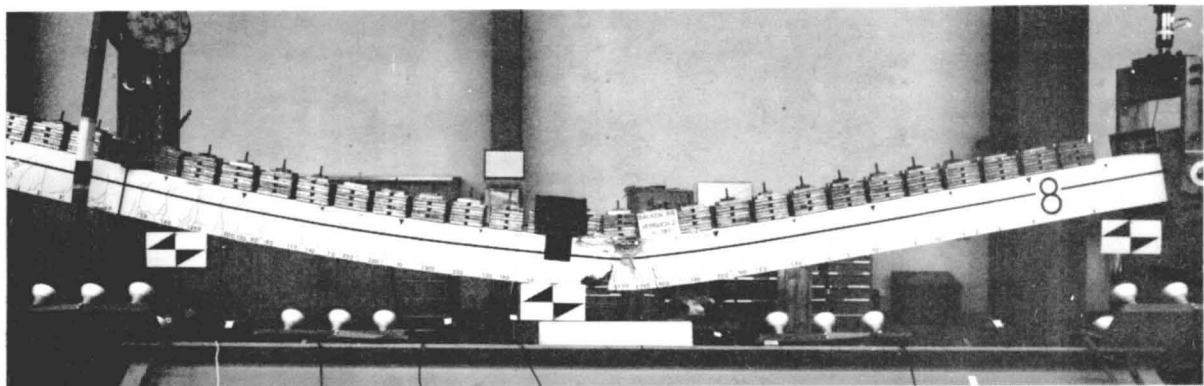
Bild B8.0-1: Bewehrungs- und Messstellenplan



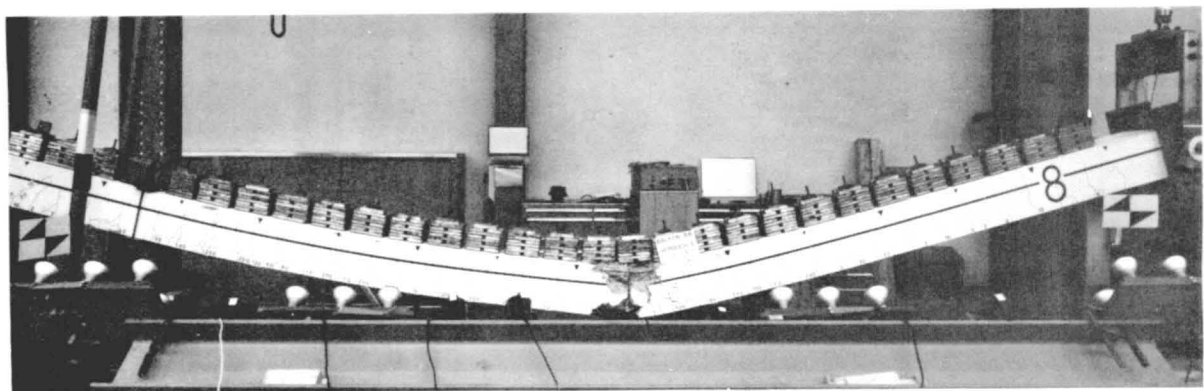
Vor Versuch B8.1



Nach Versuch B8.1

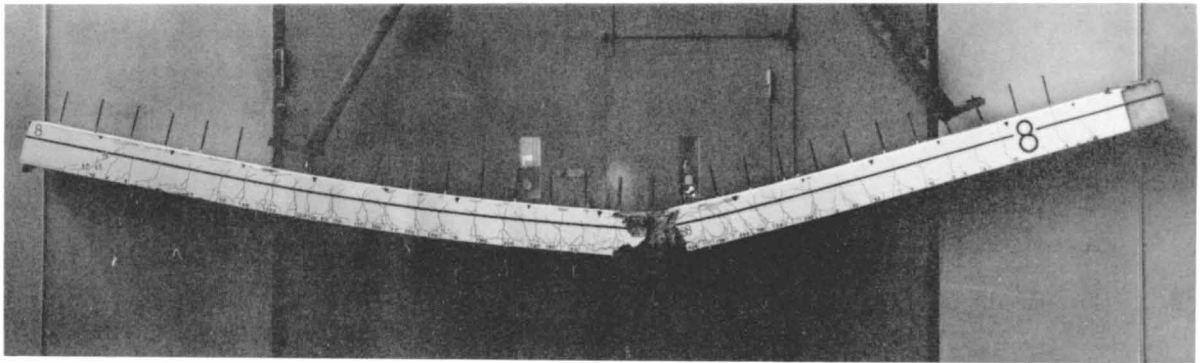


Nach Versuch B8.2

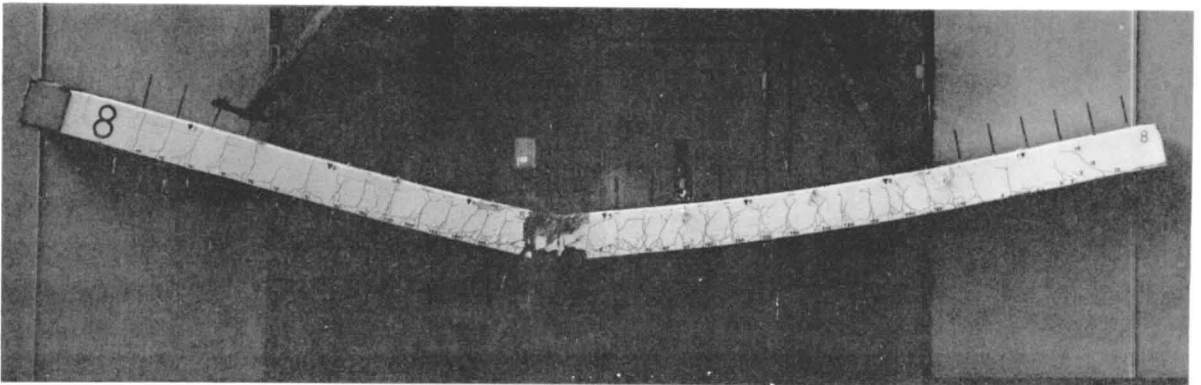


Nach Versuch B8.3

Bild B8.0-2: Uebersichtsfotos vor Versuch B8.1 und nach den Versuchen B8.1, B8.2 und B8.3

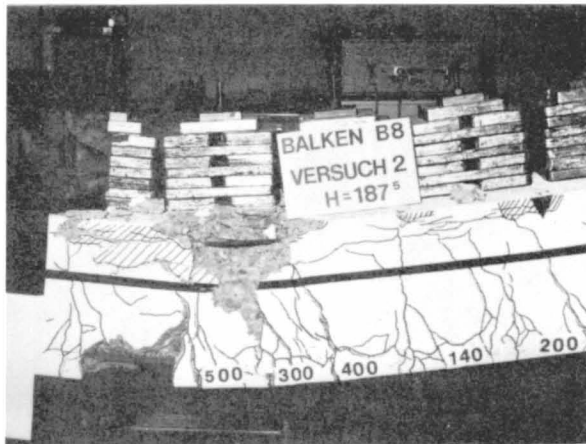


Ausgebauter Zustand , Vorderseite



Ausgebauter Zustand , Rückseite

Bild B8.0-3: Uebersichtsfotos nach den Versuchen im ausgebauten Zustand



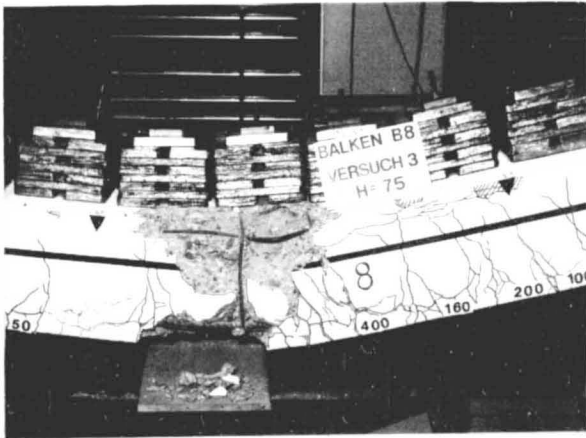
Vorderseite



Rückseite

Bereich der grössten Beanspruchung nach Versuch B8.2

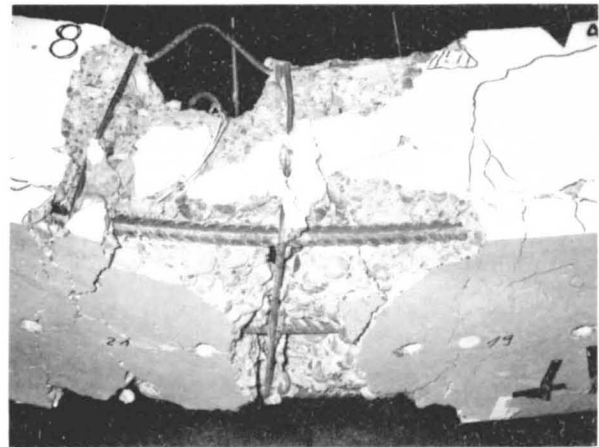
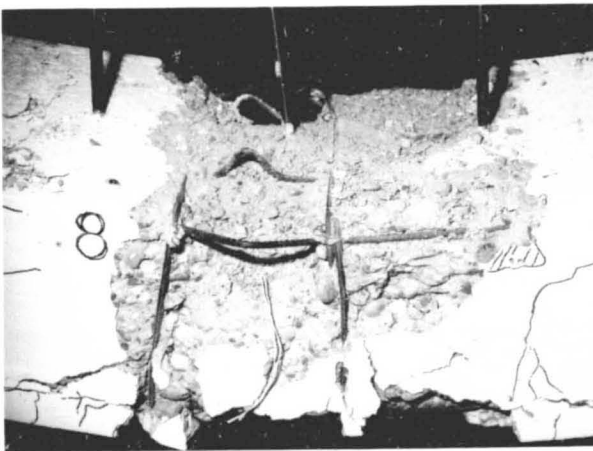
Bild B8.0-4: Detailaufnahmen nach dem Versuch B8.2



Vorderseite,  $x = 2.80 - 4.30$  m

Rückseite,  $x = 2.80 - 4.30$  m

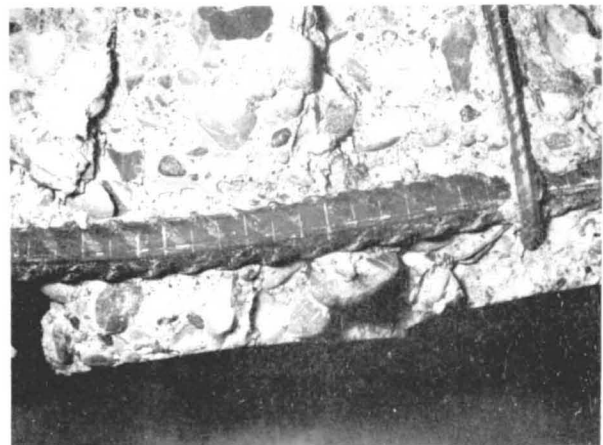
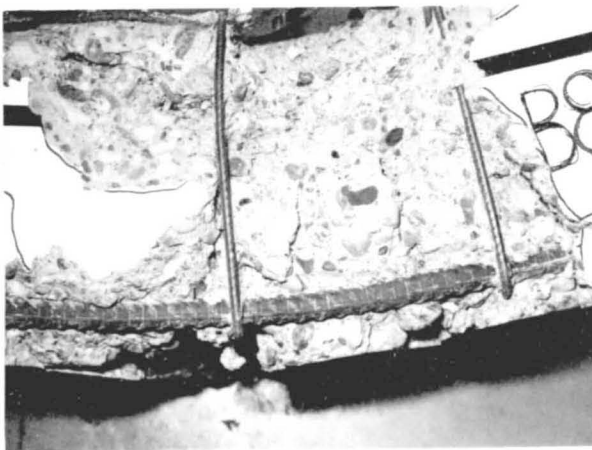
Bereich der grössten Beanspruchung nach Versuch B8.3



Oberseite und Rückseite,  $x = 3.60$  m

Rückseite und Unterseite,  $x = 3.60$  m

Bereich der grössten Beanspruchung nach Versuch B8.3

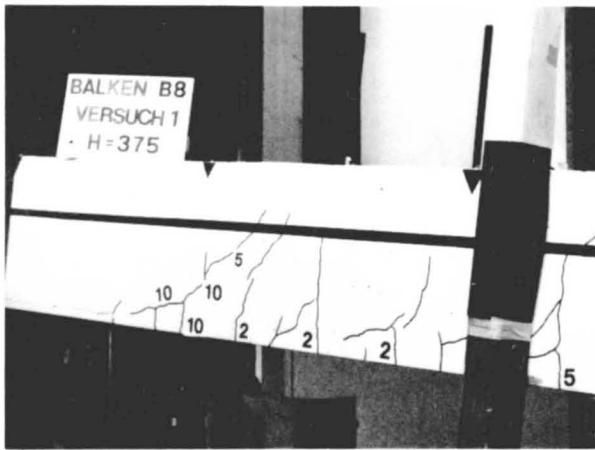


Vorderseite,  $x = 3.60$  m

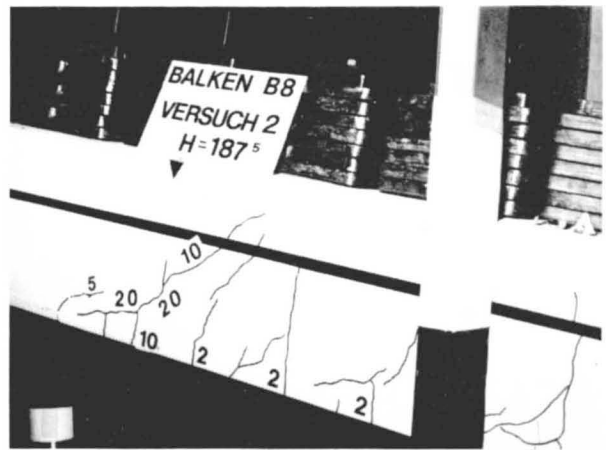
Vorderseite Detail

Bereich der grössten Beanspruchung nach Versuch B8.3

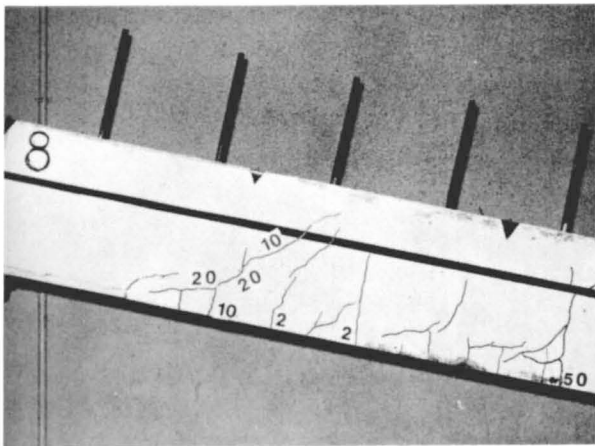
Bild B8.0-5: Detailaufnahmen nach Versuch B8.3



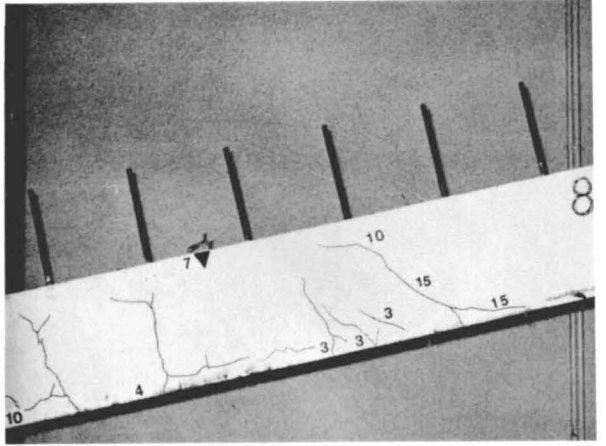
Vorderseite  
Rissbild in der Aufprallzone nach  
Versuch B8.1



Vorderseite  
Rissbild in der Aufprallzone nach  
Versuch B8.2



Vorderseite  
Rissbild in der Aufprallzone nach Abschluss der Versuche



Rückseite

Bild B8.0-6: Detailaufnahmen von der Aufprallzone

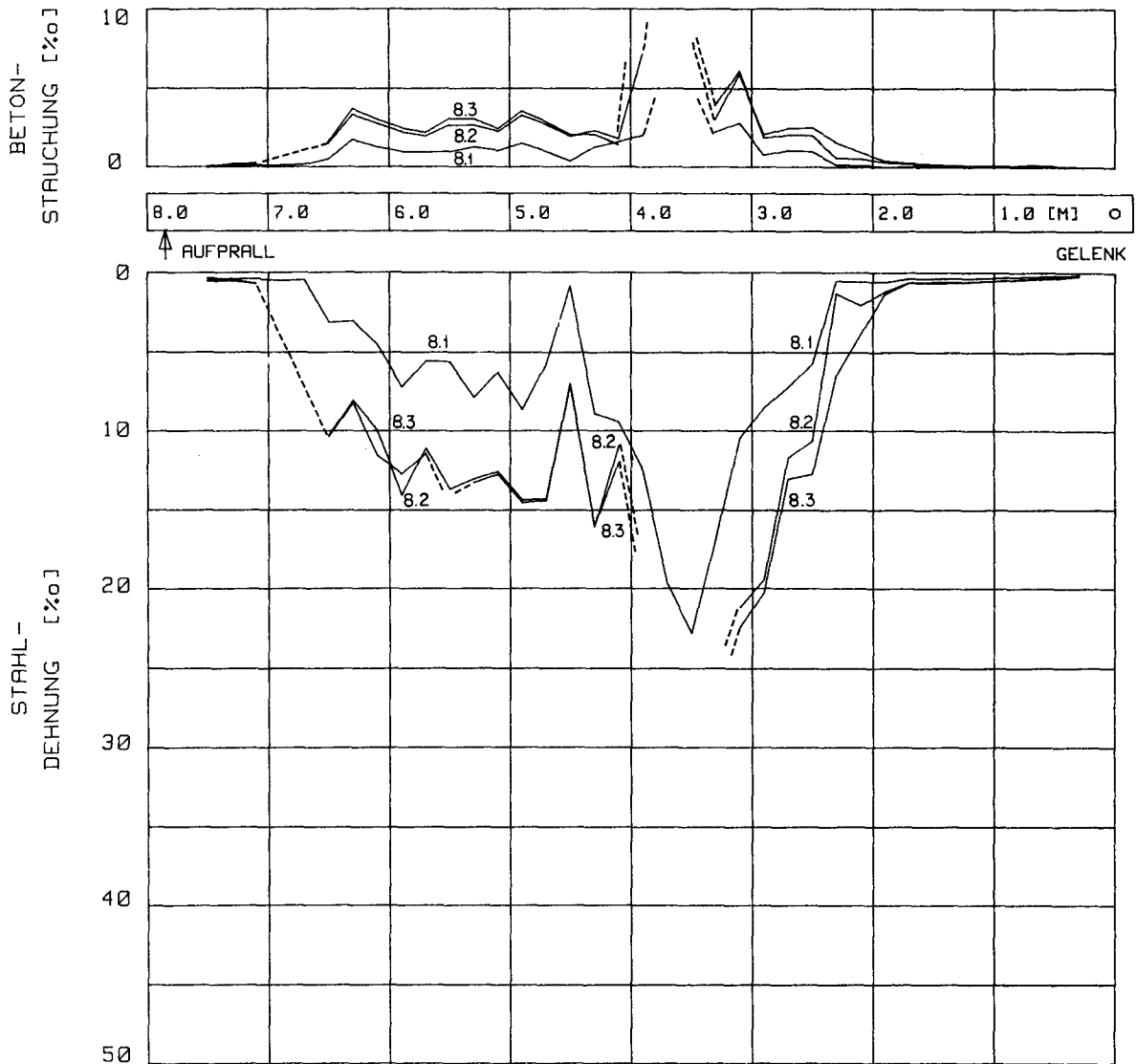


Bild B8.0-7: Dehnungsverläufe aus den Deformermessungen für die Versuche B8.1, B8.2 und B8.3

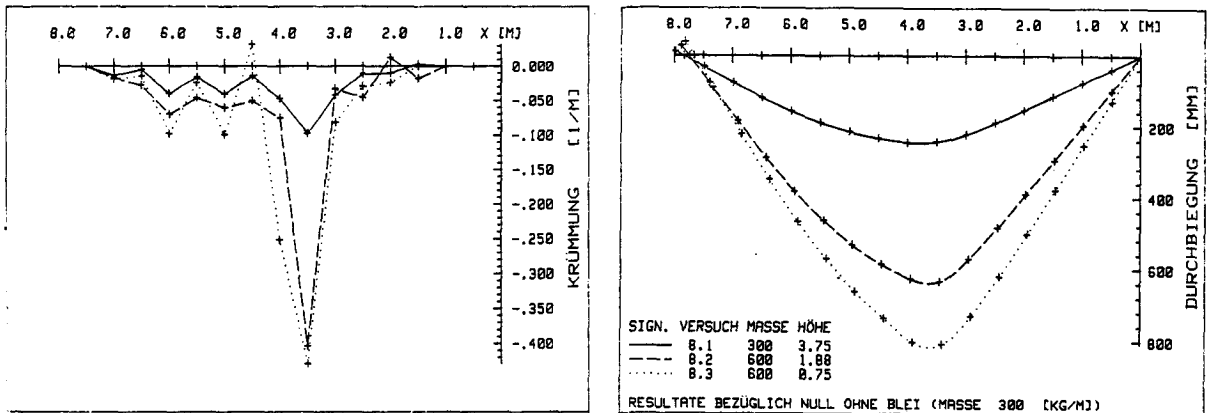


Bild B8.0-8: Biegelinien und Krümmungsverläufe aus den Nivellements - Messungen für die Versuche B8.1, B8.2 und B8.3



VERSUCH B 8.1

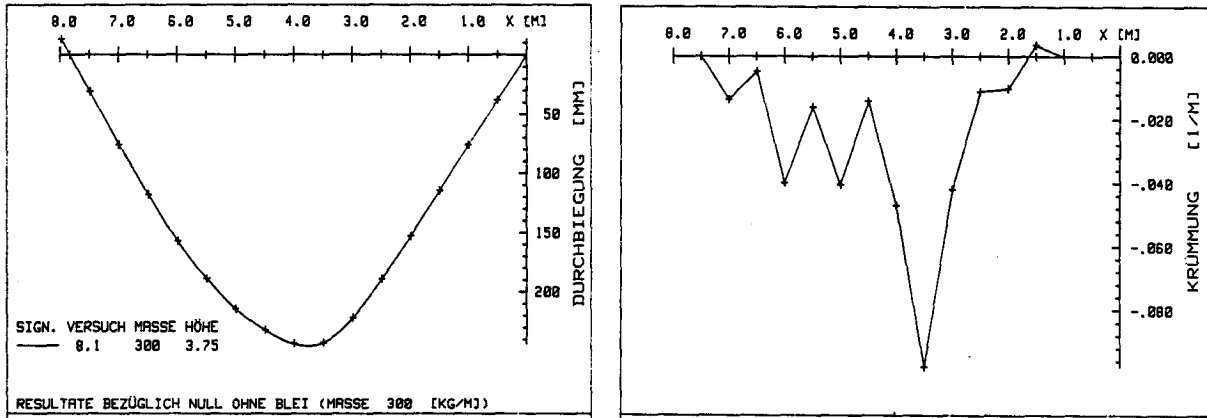


Bild B8.1-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B8.1

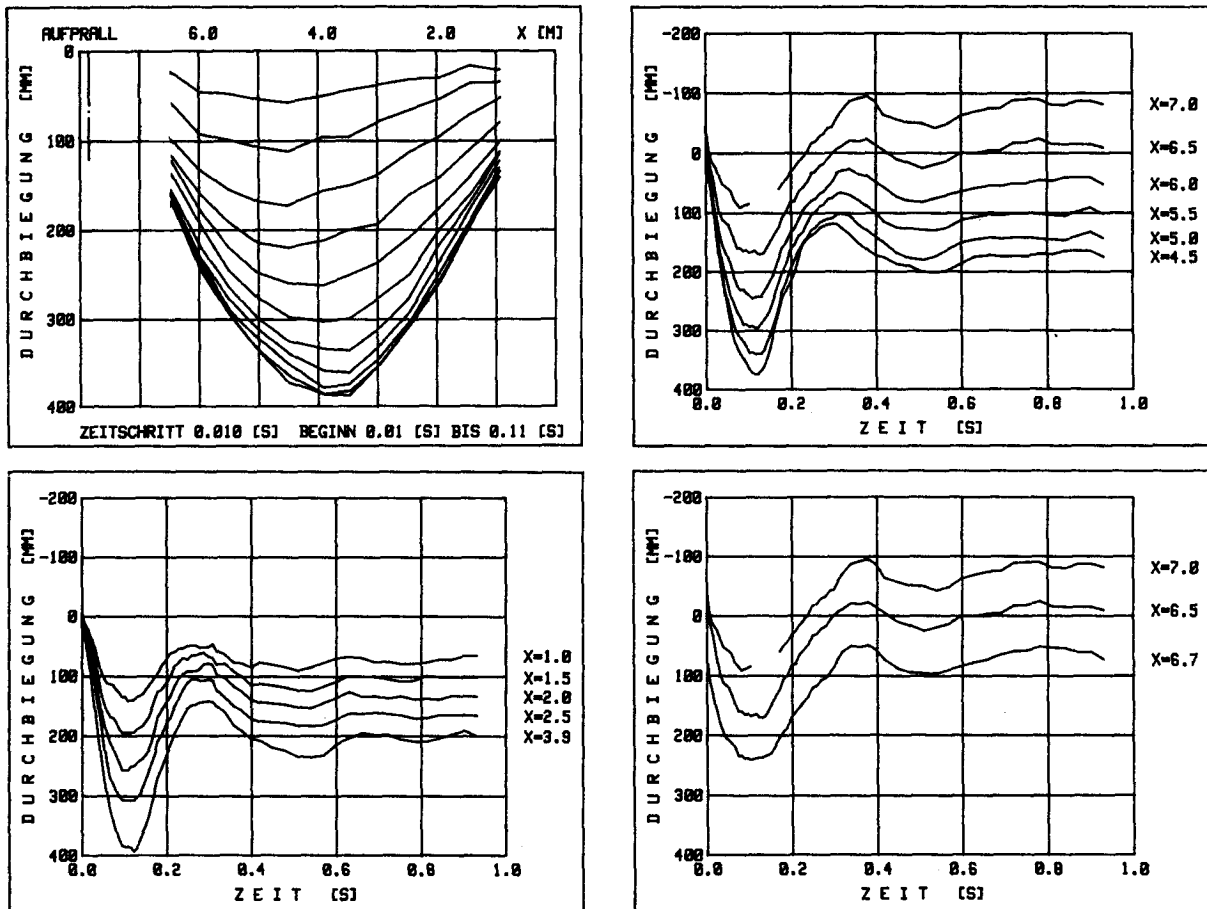


Bild B8.1-2: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen aus den Filmaufnahmen

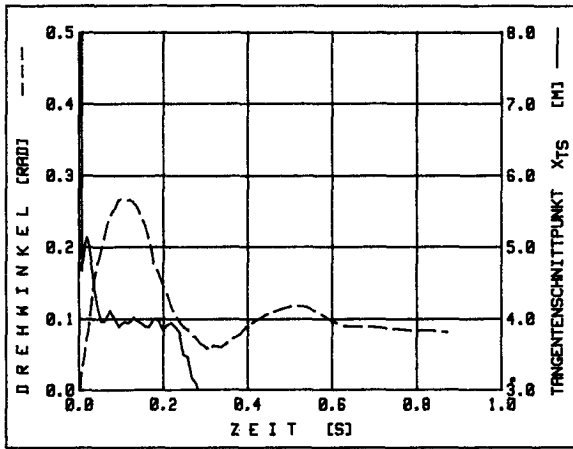
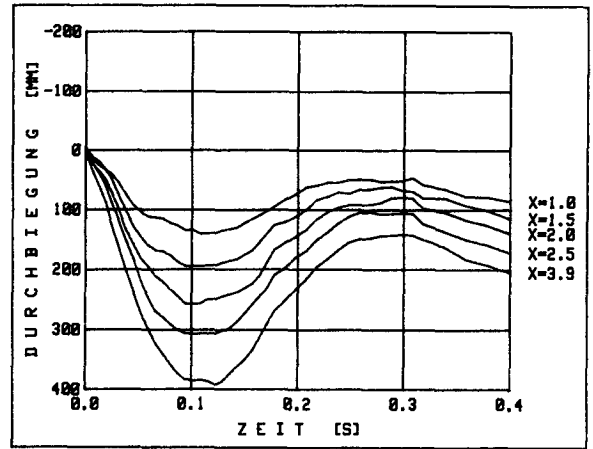
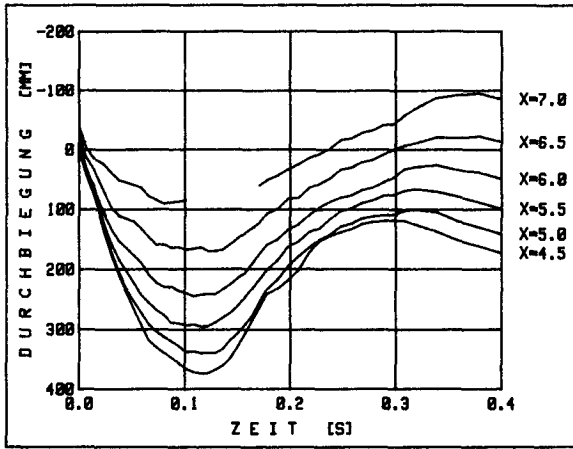


Bild B8.1-3: Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

BALKEN 8 VERSUCH 1  
\*\*\*\*\*

BALKENPARAMETER :

- FALLHOEHE: 3.7 METER
- BRUCHMOMENT: 164 KILO-NEWTON-METER
- MASSE: 300 KILogramm / METER
- BEMERKUNGEN: EICHUNG 09.08.48.00-09.08.-54.00

DIGITALISIERUNGSPARAMETER:

- ANZAHL SAMPLES BEI DER EICHUNG : 400.
- ABTASTERFREQENZ CA. : 4420. HZ
- BANDGESCHWINDIGKEIT BEIM VERSUCH : 30.0 IPS
- BEIM DIGITALISIEREN : 3.7 IPS
- >> ZEITFAKTOR : 8.0

ZUSAMMENSTELLUNG DER EINZELNEN KANAELE

*****													
A/D-WANDLER	AUFZEICHNUNG	UMRECHNUNG	KORR.-FAKTOR	VERST.-FAKTOR	F(X) = A * X + B	EICHPARAMETER	BEMERKUNGEN						
NR:	E	M	NR:	NR:	NR:	A							
*****													
0	0	0	91	S	I	0.000 [ ]	0.000	0.00	0.00	1.00000	0.00000	0.00000	SYNCH. LOSS 1
1	0	0	92	S	I	0.000 [ ]	0.000	0.00	0.00	1.00000	0.00000	0.00000	SYNCH. LOSS 2
2	0	0	93	S	I	0.000 [ ]	0.000	0.00	0.00	1.00000	0.00000	0.00000	SYNCH. LOSS 3
*****													
8	0	0	1	F	I	347.420 [KNJ]	2.000	2.00	2.00	*0.68450	2.82820	2.82820	EVENT.BEGRENZT
9	0	1	2	F	I	159.550 [KNJ]	2.000	2.00	100.00	0.15899	-0.17747	-0.17747	
10	0	1	3	A	I	4.600 [G]	2.000	2.00	100.00	0.24418	-0.67765	-0.67765	
11	0	0	4	E	I	1.000 [%.]	2.060	1.00	1.00	0.00095	-0.00382	-0.00382	
12	0	1	5	E	I	1.000 [%.]	2.060	1.00	1.00	0.00048	-0.00135	-0.00135	
13	0	0	6	W	I	121.000 [MMJ]	2.000	1.00	1.00	0.23613	-0.23735	-0.23735	NACH AUFSCHL. FALSCHER MARKE
14	0	0	7	W	I	262.160 [MMJ]	2.000	1.00	1.00	0.51214	-0.51214	-0.51214	KAMERA HAT NACH AUF. A.M.V.
15	0	0	8	E	I	1.000 [%.]	2.060	1.00	1.00	0.00095	-0.00190	-0.00190	
*****													
16	0	0	9	E	I	1.000 [%.]	2.060	1.00	1.00	0.00095	-0.00195	-0.00195	BEGRENZT
17	0	2	10	E	I	1.000 [%.]	2.060	0.10	10.00	0.00002	-0.00004	-0.00004	
18	0	2	11	E	I	1.000 [%.]	2.060	10.00	10.00	0.00245	0.00746	0.00746	
19	0	3	12	E	I	1.000 [%.]	2.060	10.00	10.00	0.00121	0.00366	0.00366	
20	0	1	13	E	I	1.000 [%.]	2.060	10.00	10.00	0.00488	0.01328	0.01328	
21	0	0	14	E	I	1.000 [%.]	2.060	10.00	10.00	0.00977	0.01921	0.01921	BEGRENZT
22	0	1	15	E	I	1.000 [%.]	2.060	10.00	10.00	0.00480	-0.00505	-0.00505	
23	0	1	16	E	I	1.000 [%.]	2.060	10.00	10.00	0.00481	0.00481	0.00481	
*****													
24	3	2	17	F	I	10.000 [%.]	2.060	0.20	0.40	0.00465	-0.04017	-0.04017	
25	3	3	18	E	I	10.000 [%.]	2.060	0.40	0.40	0.00464	-0.02586	-0.02586	
26	3	1	19	E	I	10.000 [%.]	2.060	1.00	1.00	0.04640	-0.27299	-0.27299	
27	3	1	20	E	I	10.000 [%.]	2.060	1.00	1.00	0.04662	-0.12686	-0.12686	
28	3	3	21	E	I	10.000 [%.]	2.060	1.00	1.00	0.01166	-0.07214	-0.07214	
29	3	0	22	E	I	10.000 [%.]	2.060	1.00	1.00	0.09312	-0.47299	-0.47299	BEGRENZT NICHT GANZ I.0
30	3	1	23	E	I	10.000 [%.]	2.060	1.00	1.00	0.04679	-0.23116	-0.23116	
31	3	3	24	E	I	10.000 [%.]	2.060	0.40	0.40	0.00465	-0.02229	-0.02229	
*****													

Bild B8.1-4: Informationsblatt PCM - Daten

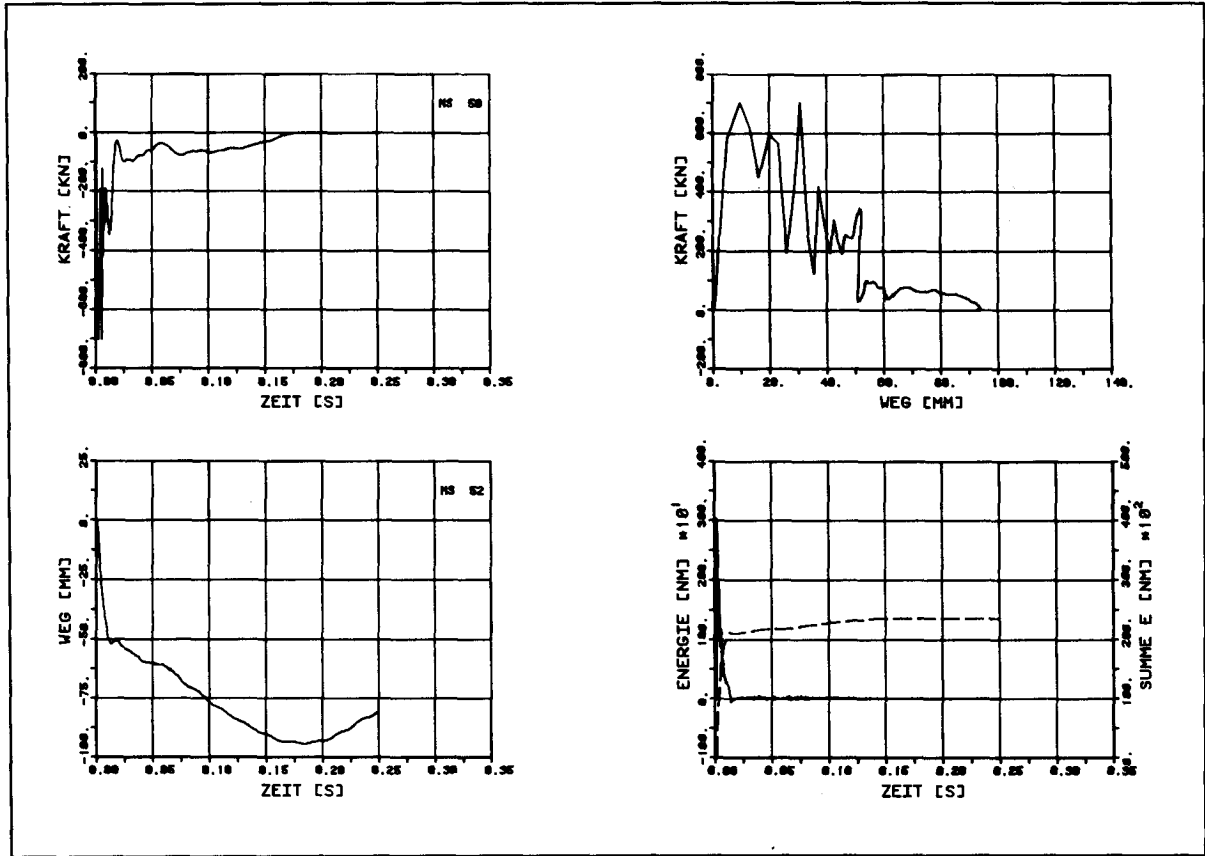


Bild B8.1-5a: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

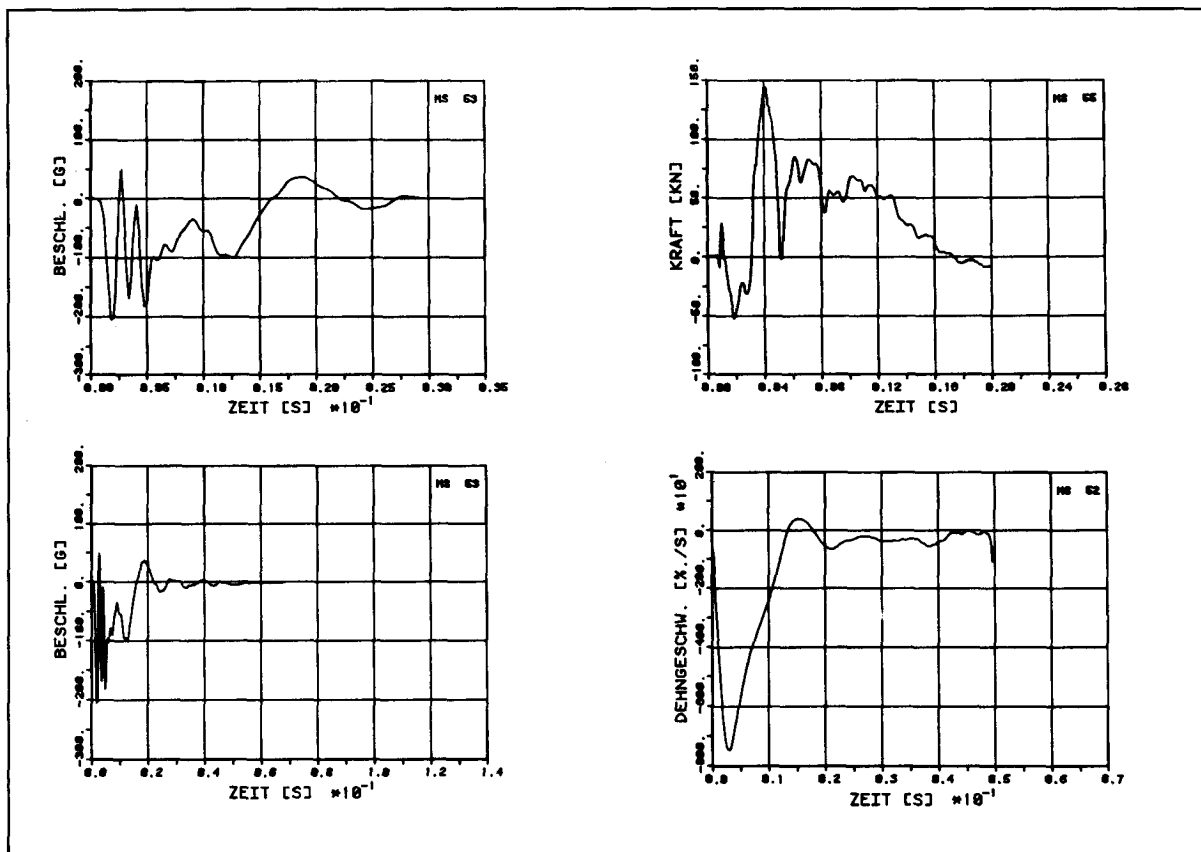


Bild B8.1-5b: Zeitverläufe für die Beschleunigung im Aufprallpunkt, Gelenkreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers

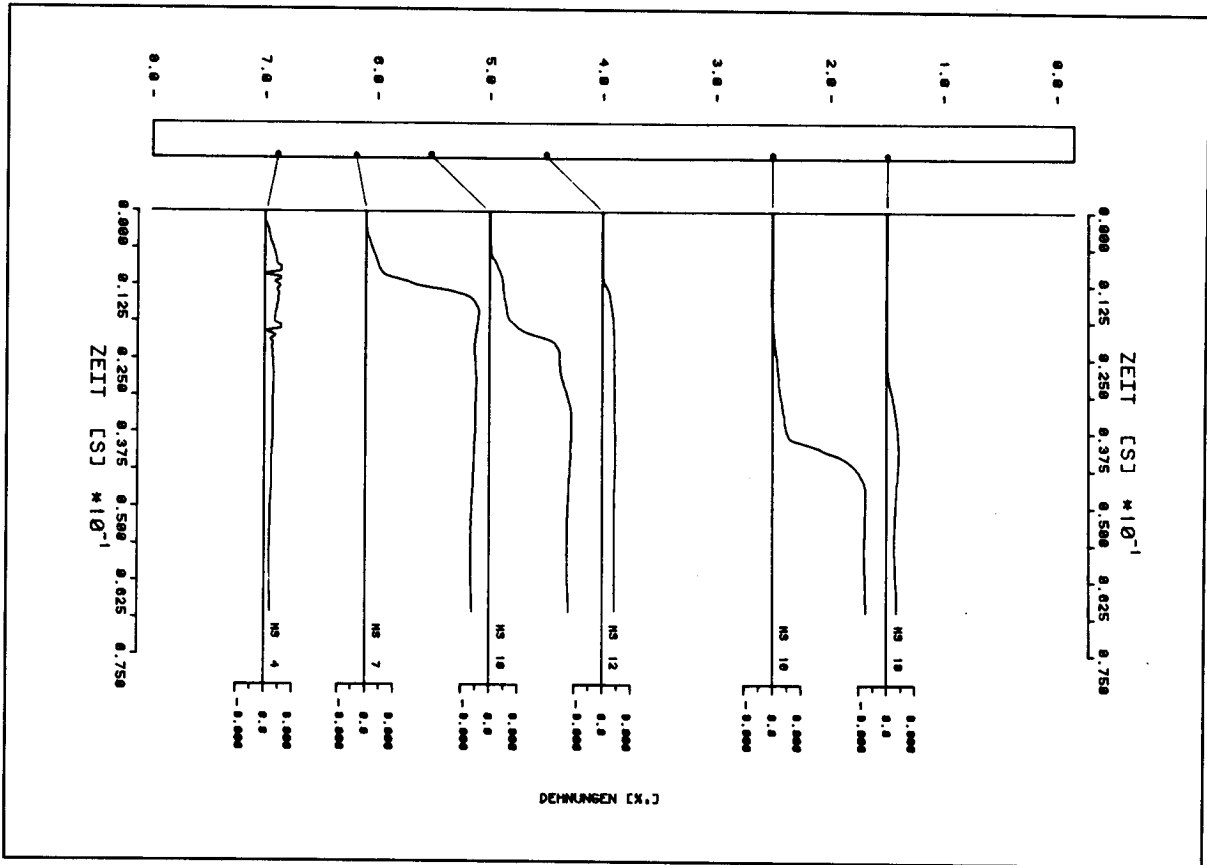


Bild B8.1-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

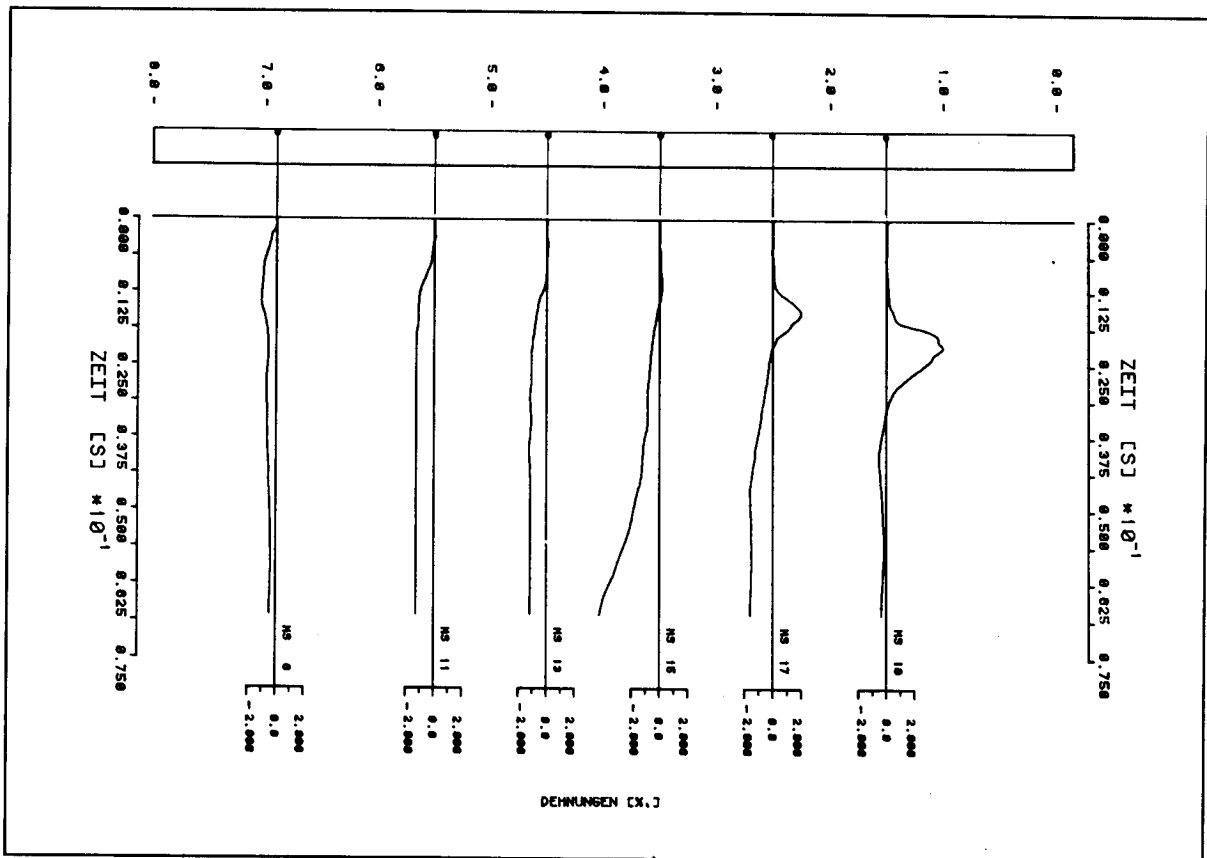


Bild B8.1-7: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

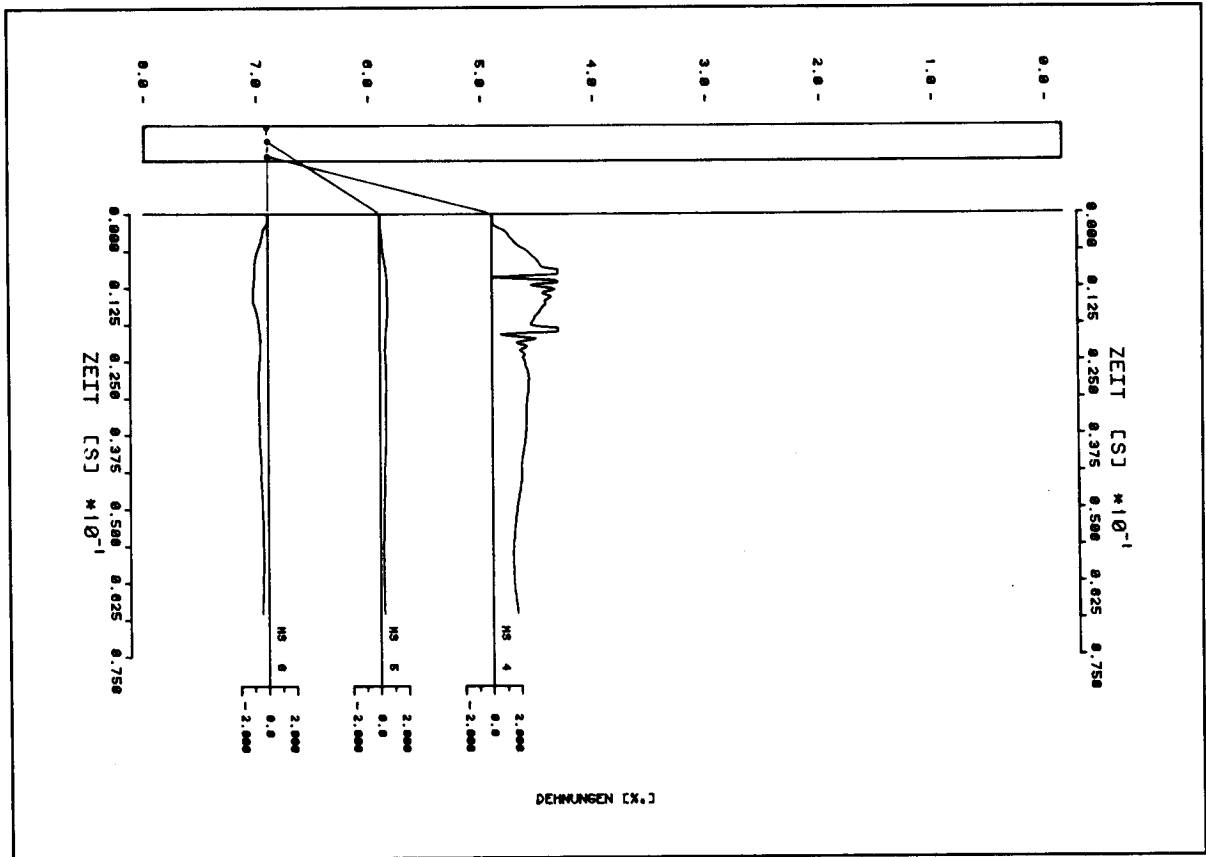


Bild B8.1-8: Zeitverläufe der Dehnungen der Längs- und Schubbewehrung in einem Balkenquerschnitt

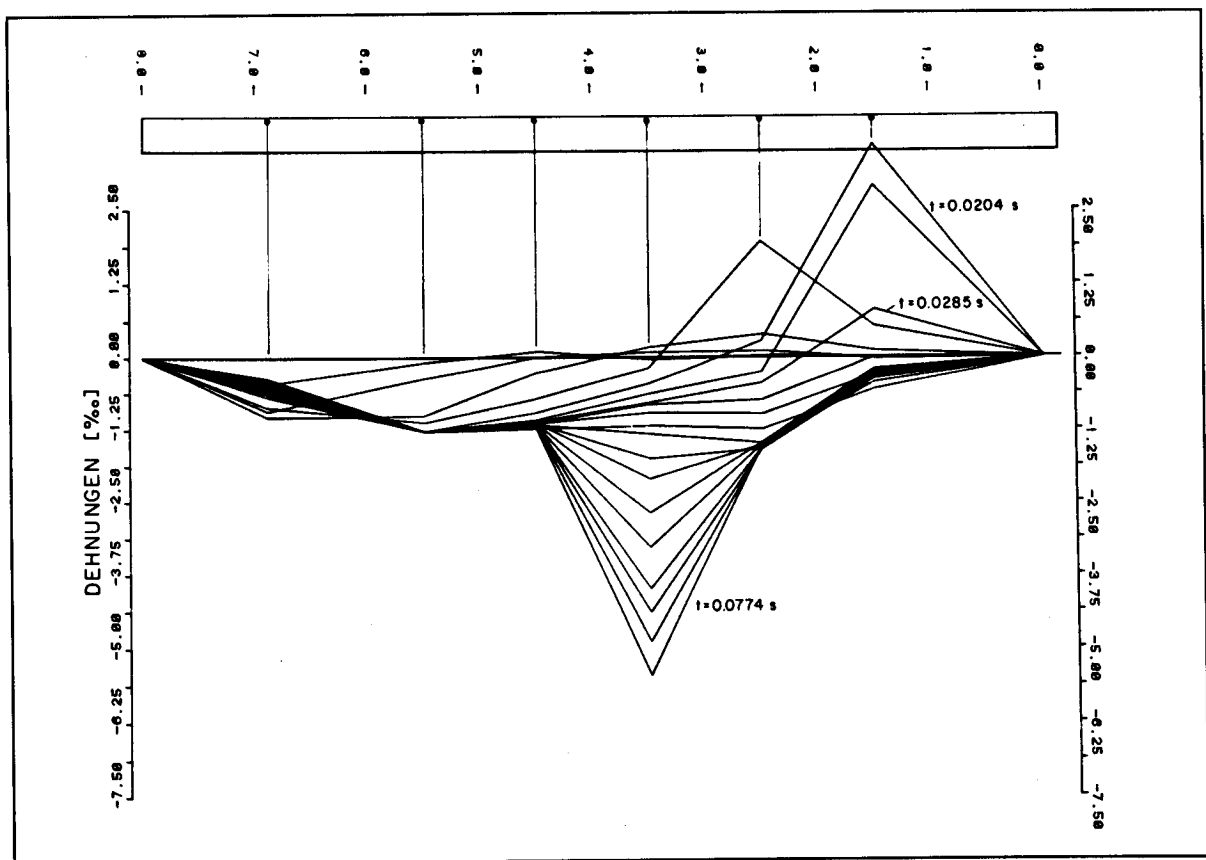


Bild B8.1-9: Verlauf der Dehnungen entlang der oberen Längsbewehrung zu gleichen Zeitpunkten ( $t = 0.0000 \text{ s} - 0.0774 \text{ s}$ ,  $\Delta t = 0.0041 \text{ s}$ )

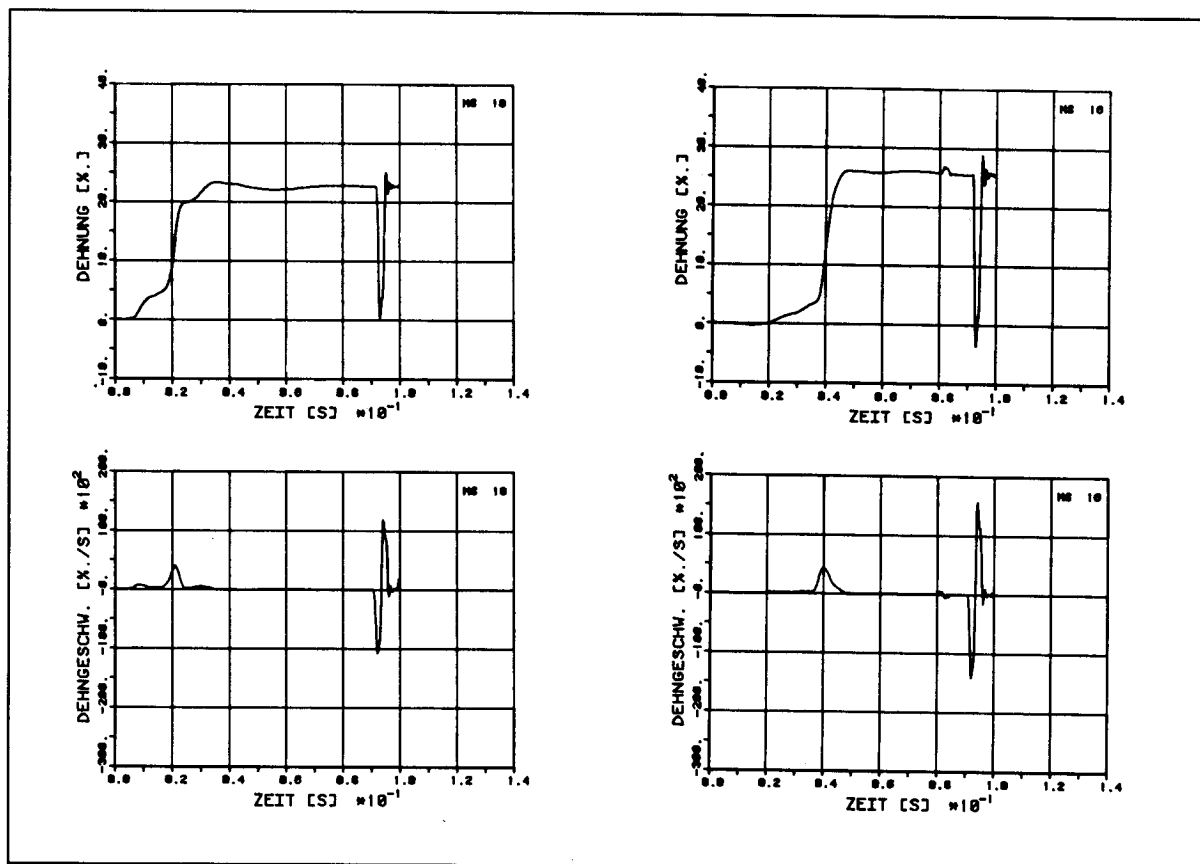


Bild B8.1-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

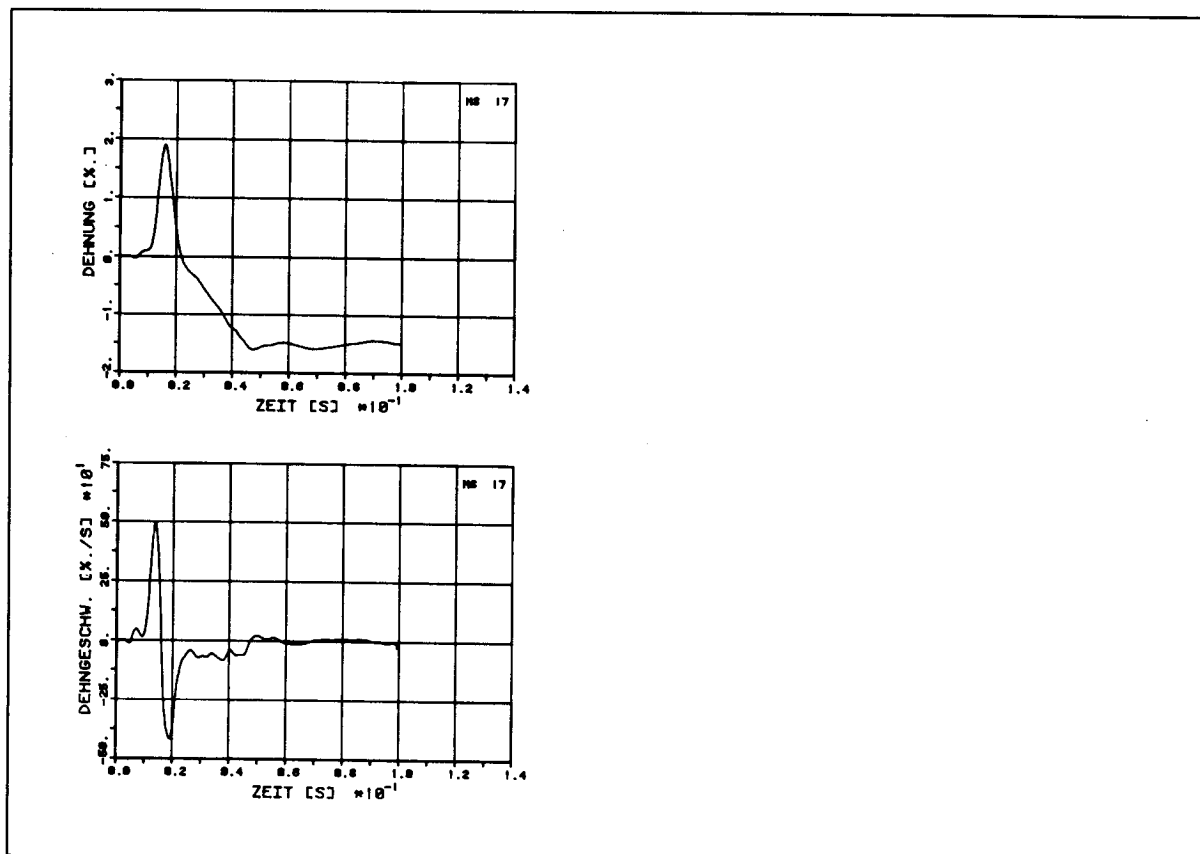


Bild B8.1-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

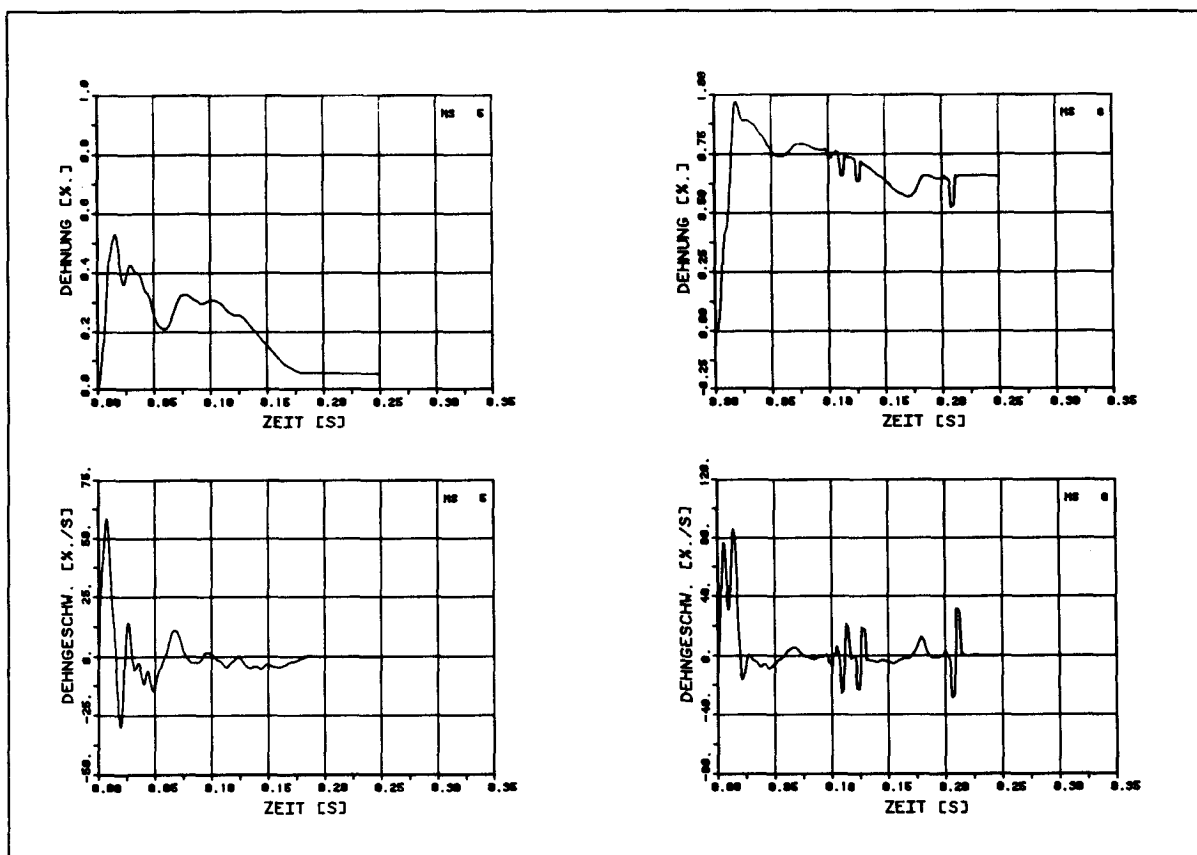
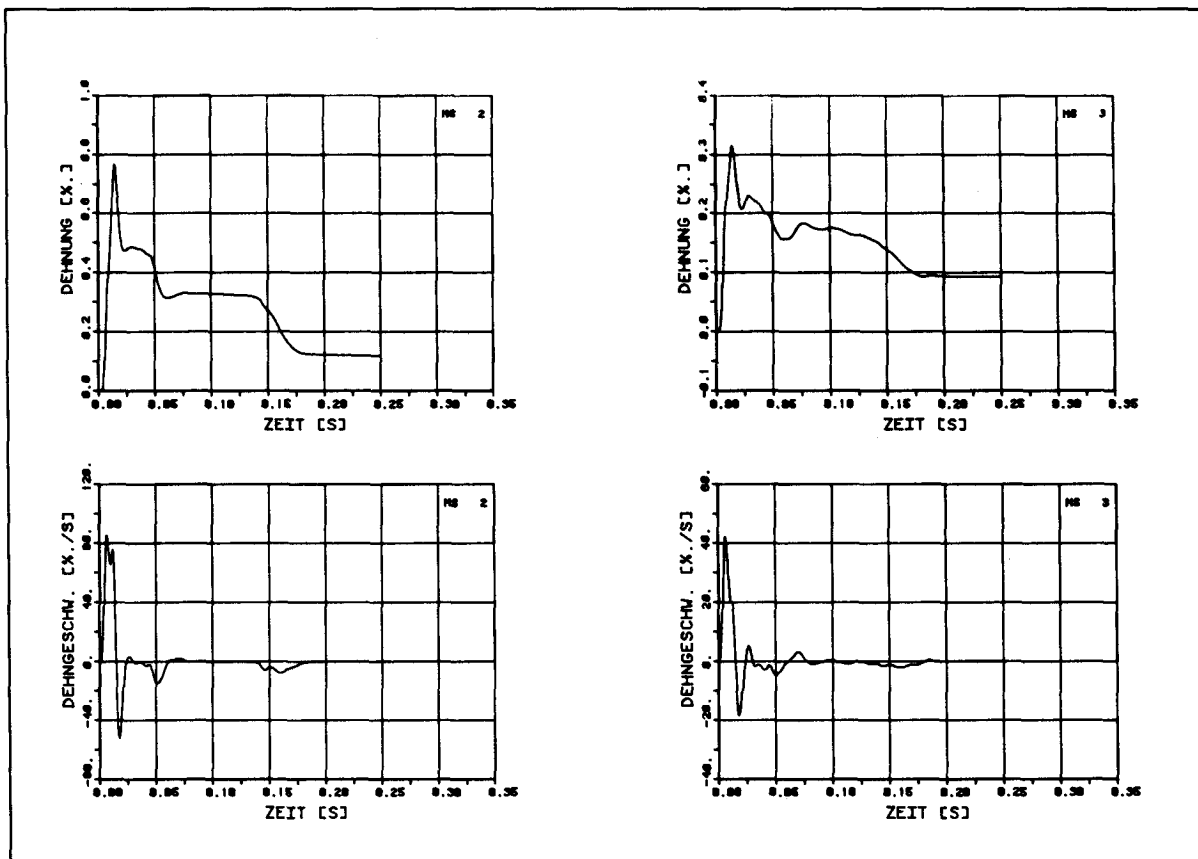


Bild B8.1-12: Zeitverläufe von Dehnmesstellen auf der Schubbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten



VERSUCH B 8.2

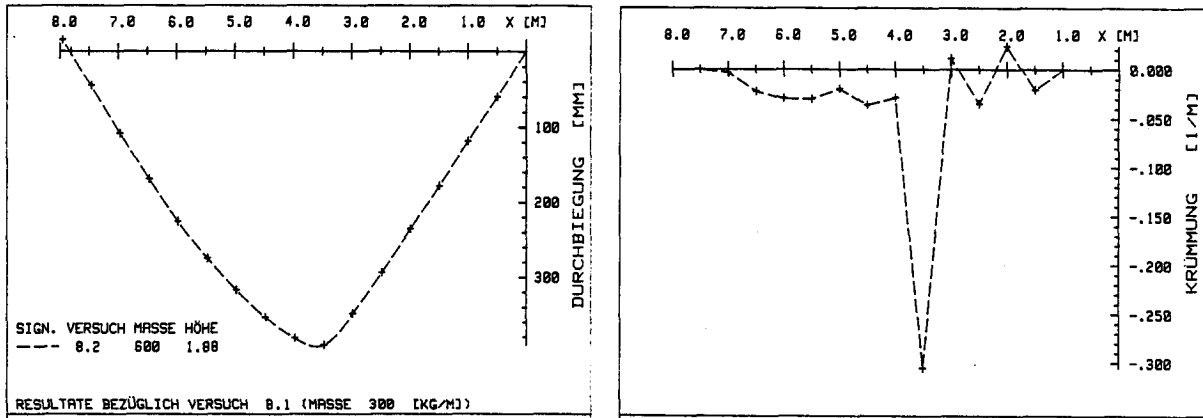


Bild B8.2-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B8.2

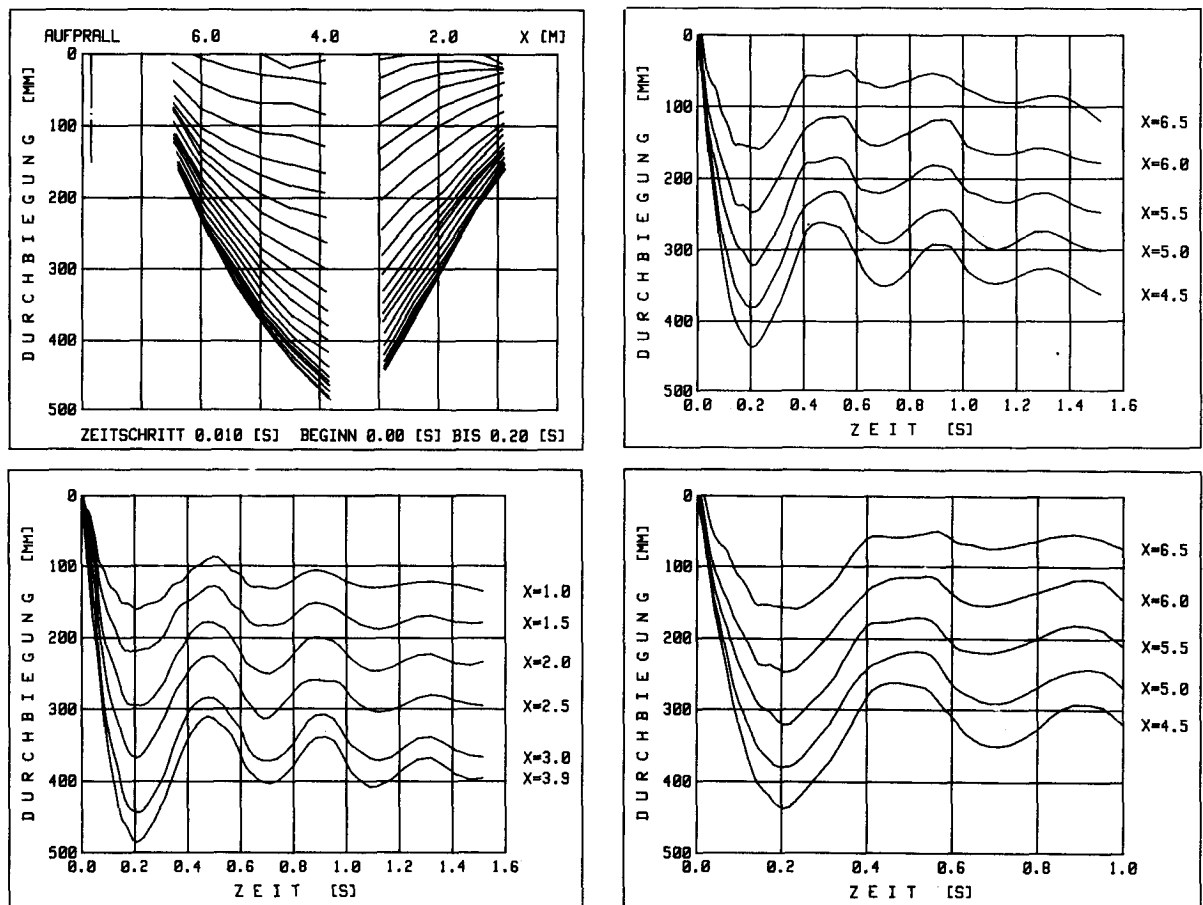


Bild B8.2: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen aus den Filmaufnahmen

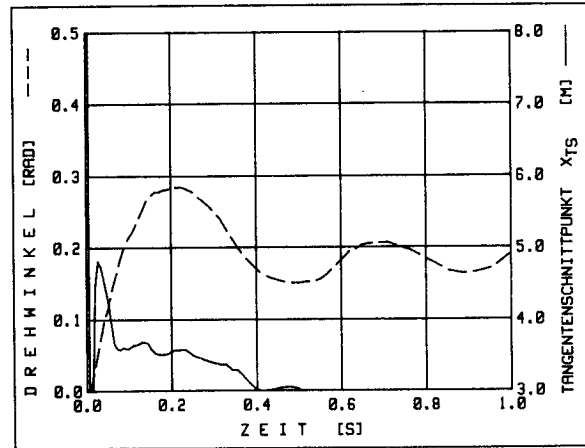
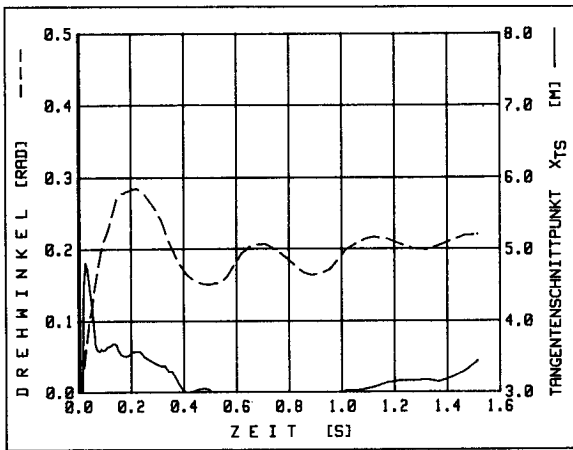
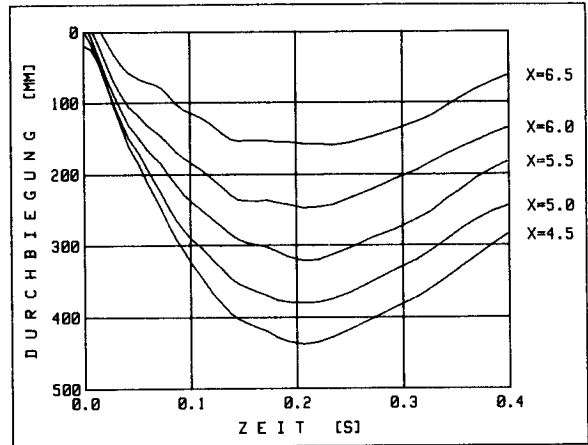
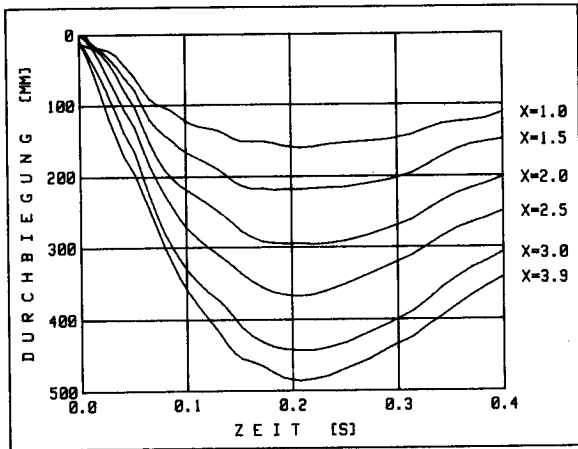
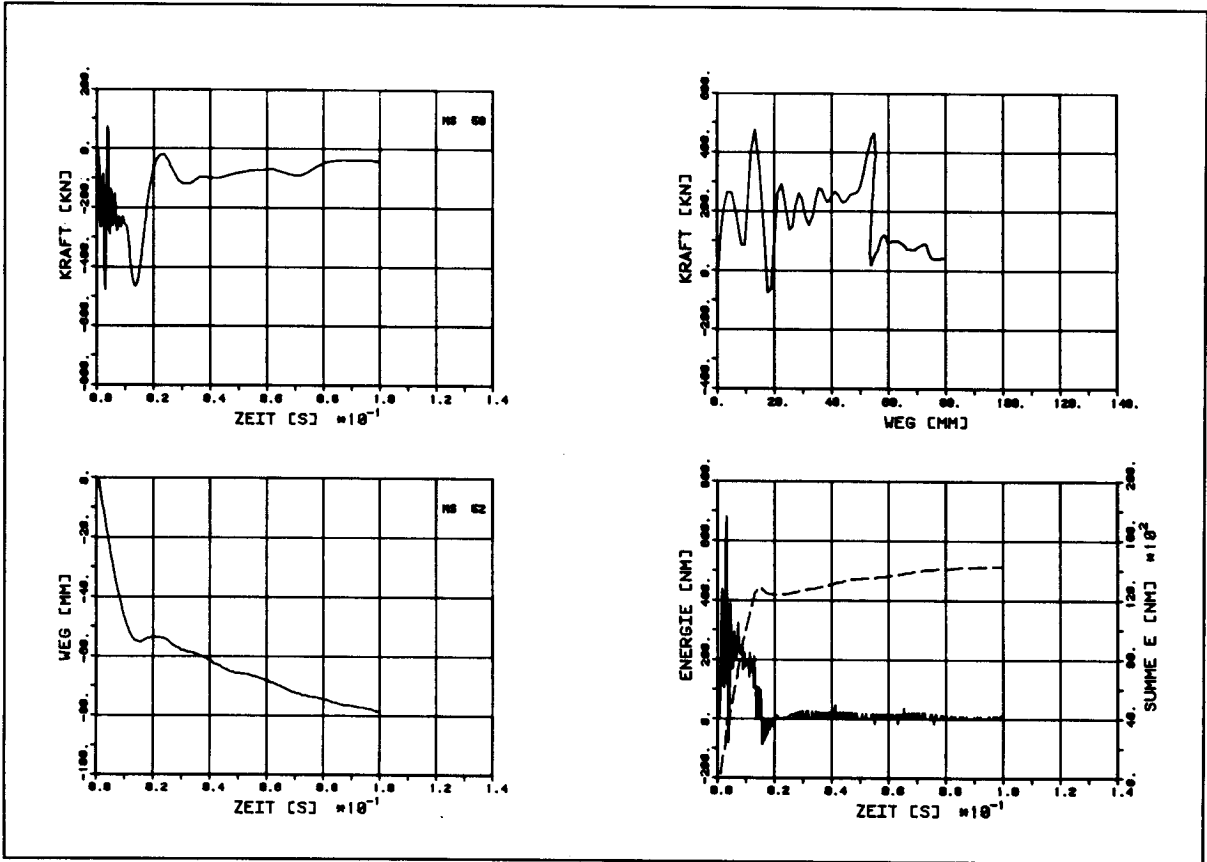


Bild B8.2-3: Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen



B8.2-4: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

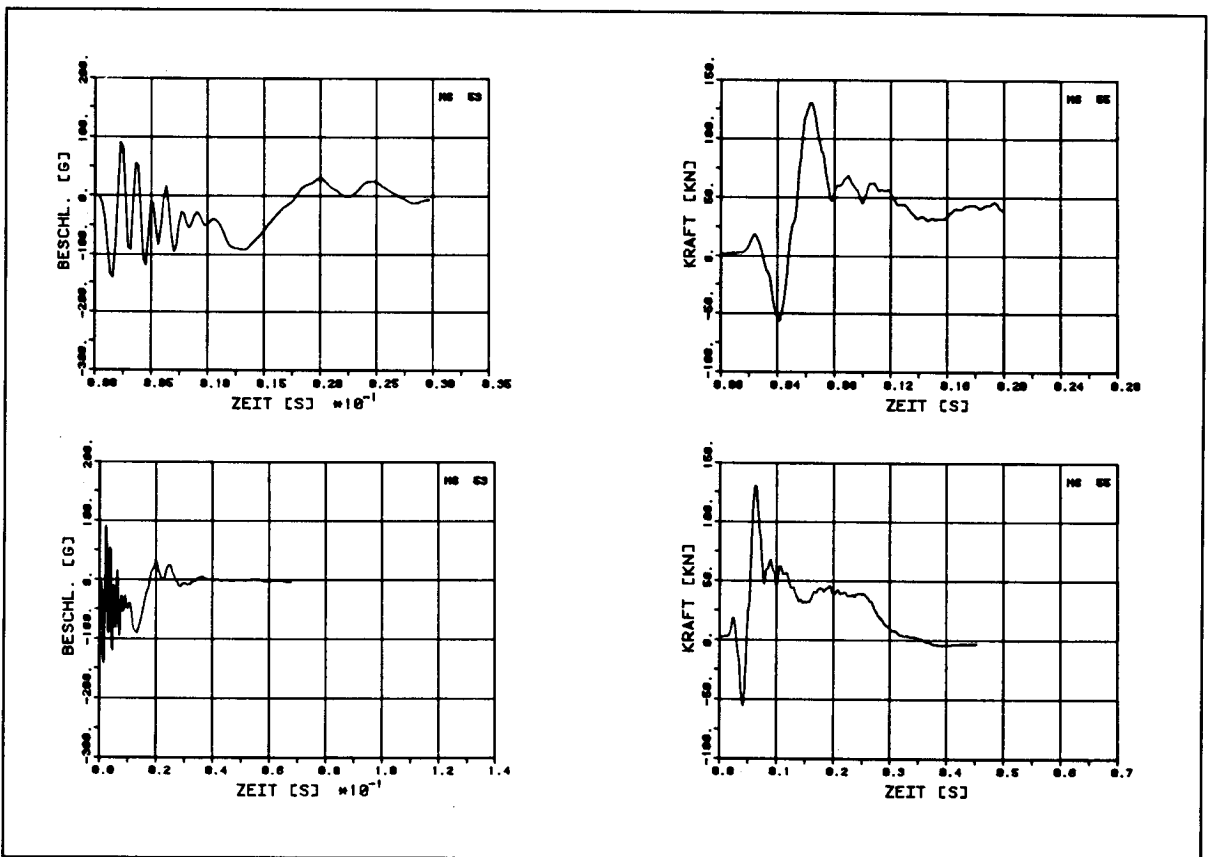


Bild B8.2-5: Zeitverläufe für die Beschleunigung im Aufprallpunkt und die Gelenkreaktion

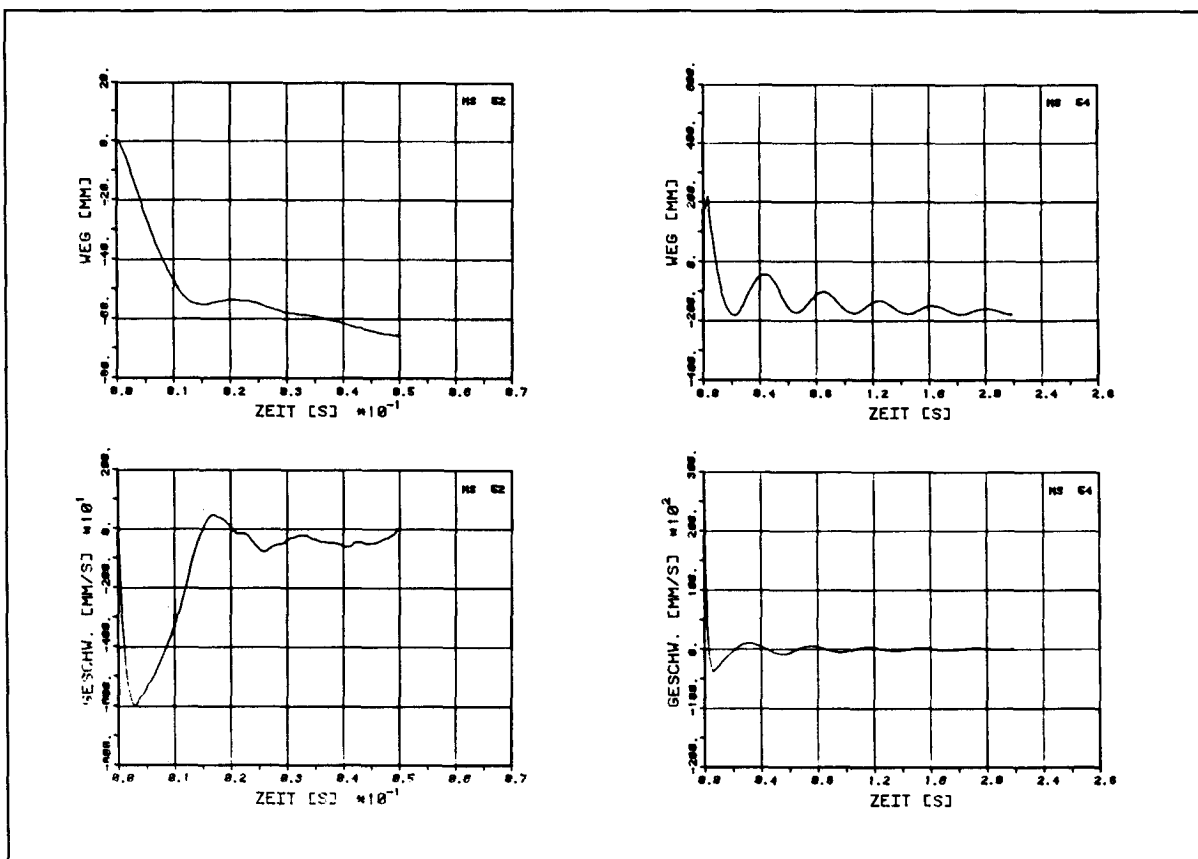


Bild B8.2-6: Zeitverläufe der Einsenkung des Stossdämpfers und der Durchbiegung in Balkenmitte sowie dazugehörige Geschwindigkeiten

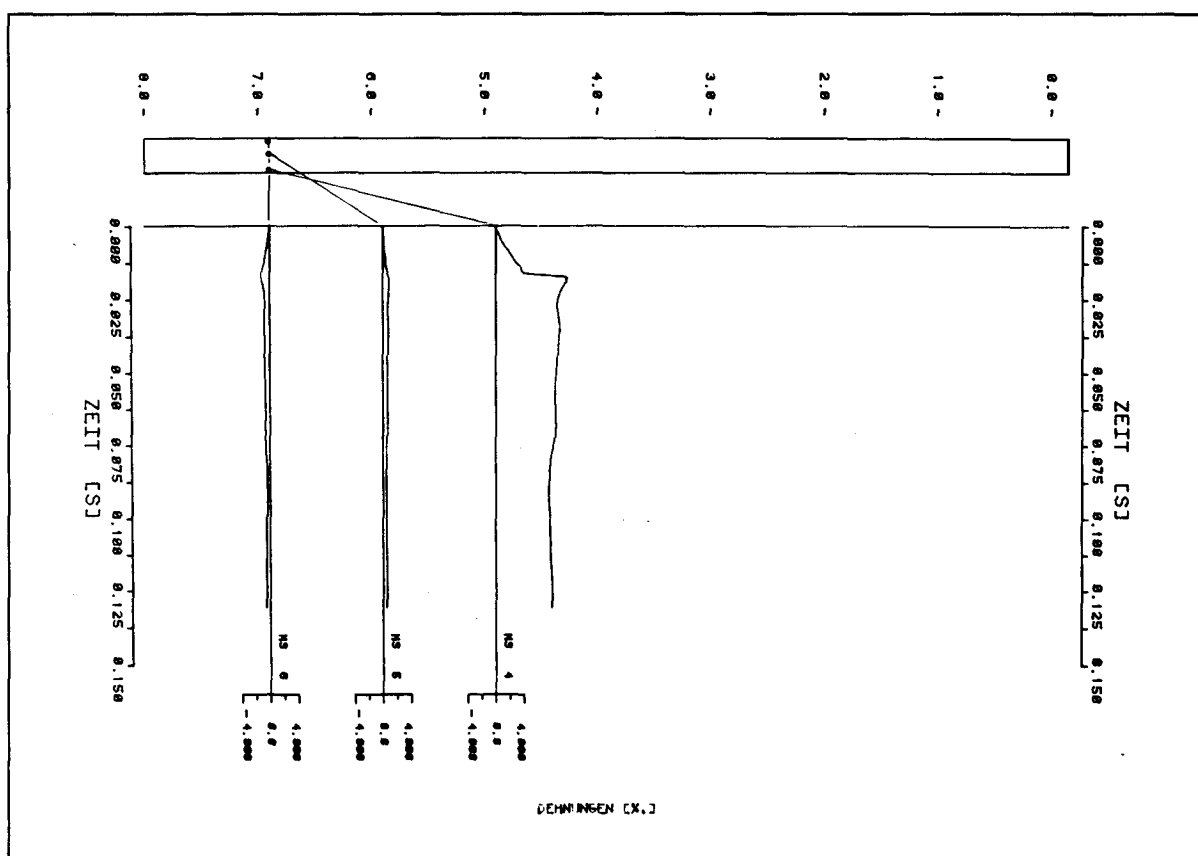


Bild B8.2-7: Zeitverläufe der Dehnungen der Längs- und Schubbewehrung in einem Balkenquerschnitt

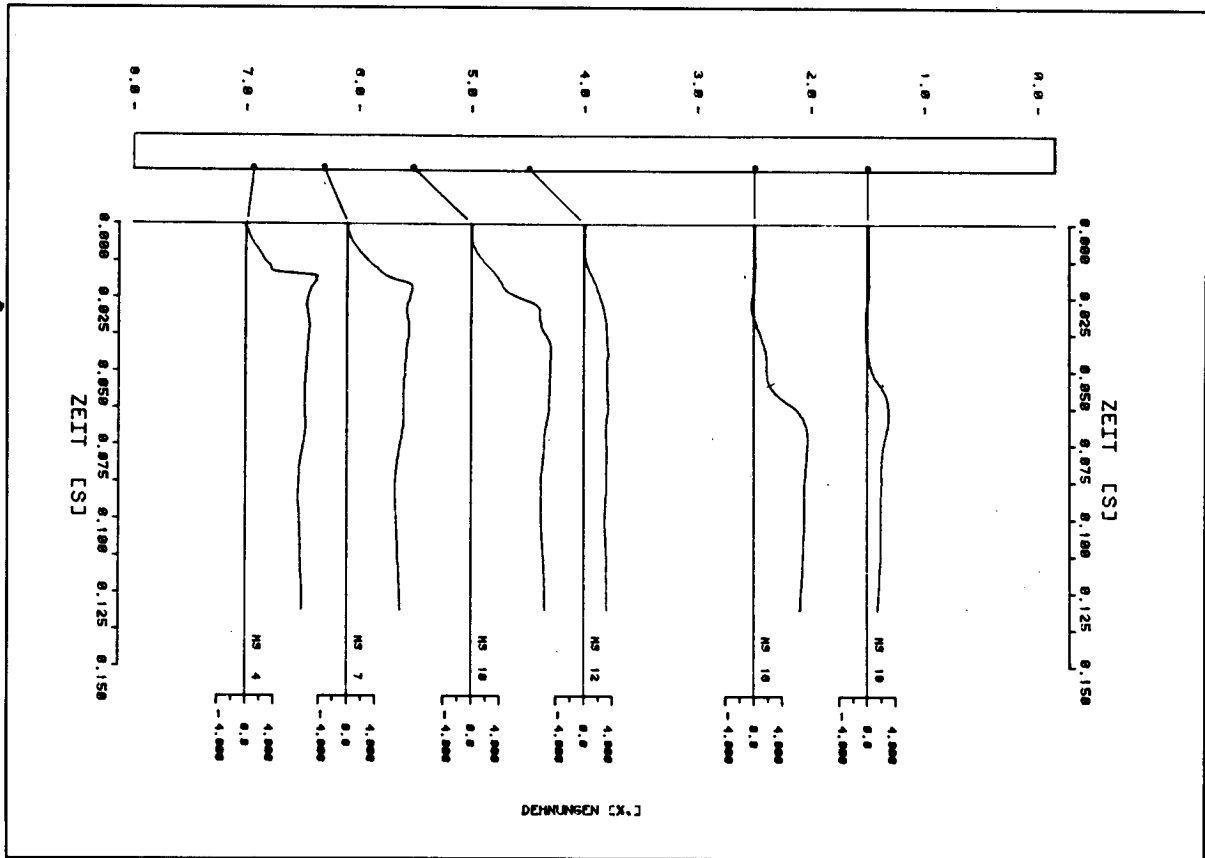


Bild B8.2-8: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

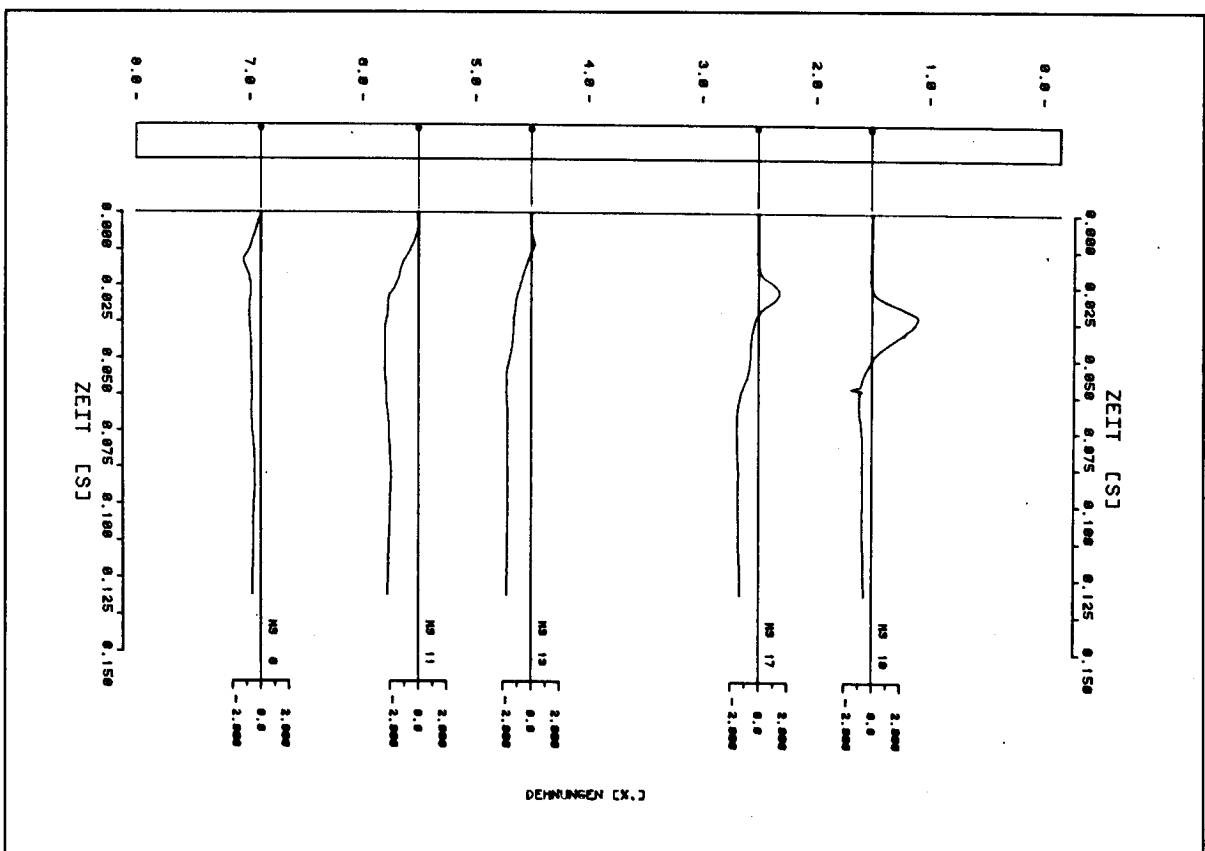


Bild B8.2-9: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

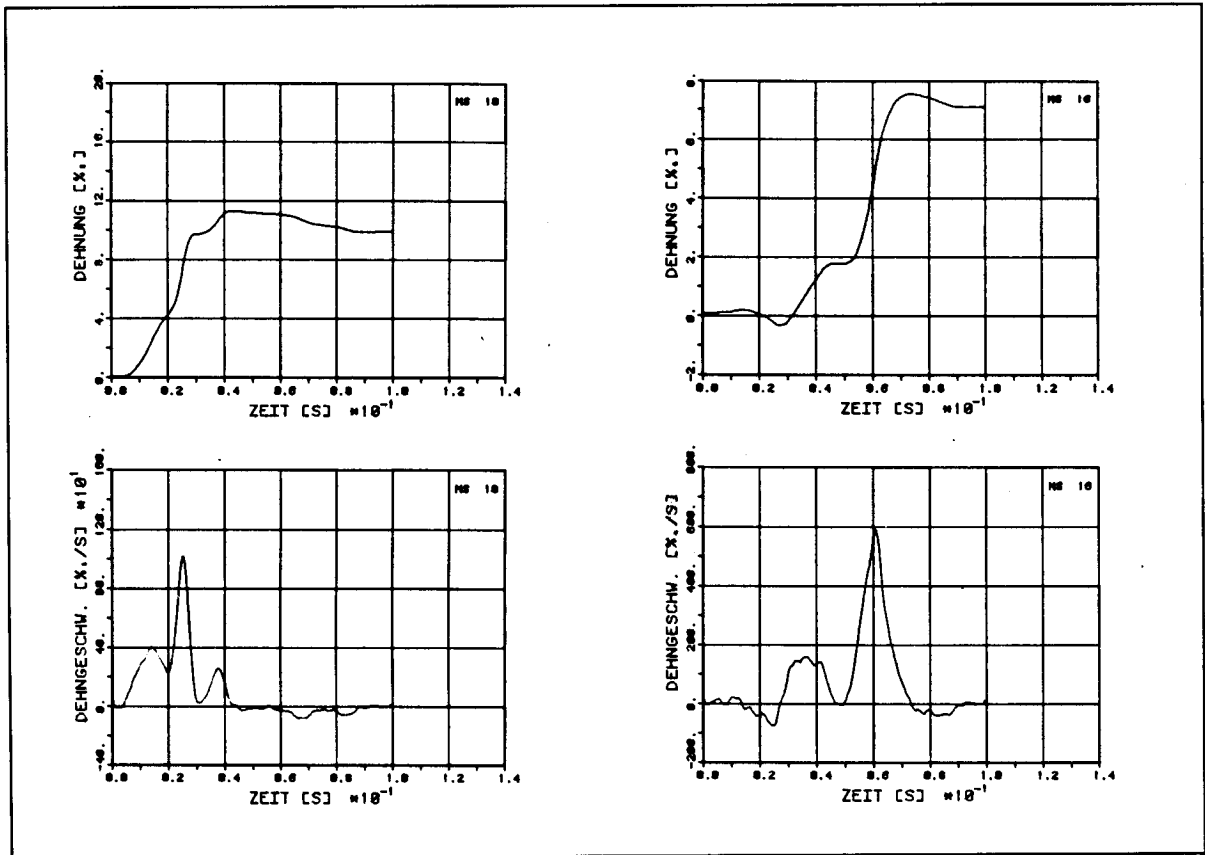


Bild B8.2-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

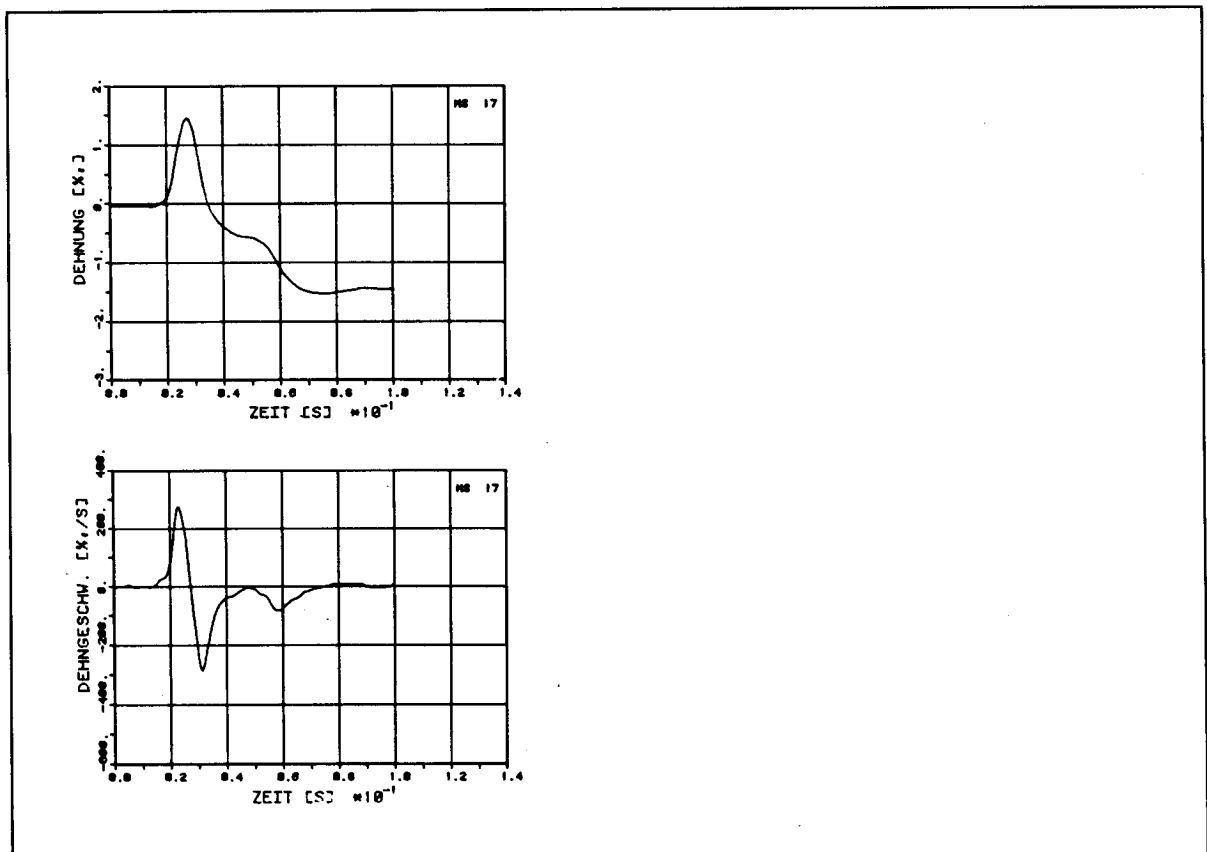


Bild B8.2-11: Zeitverläufe einer Dehnmessstelle auf der oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeit

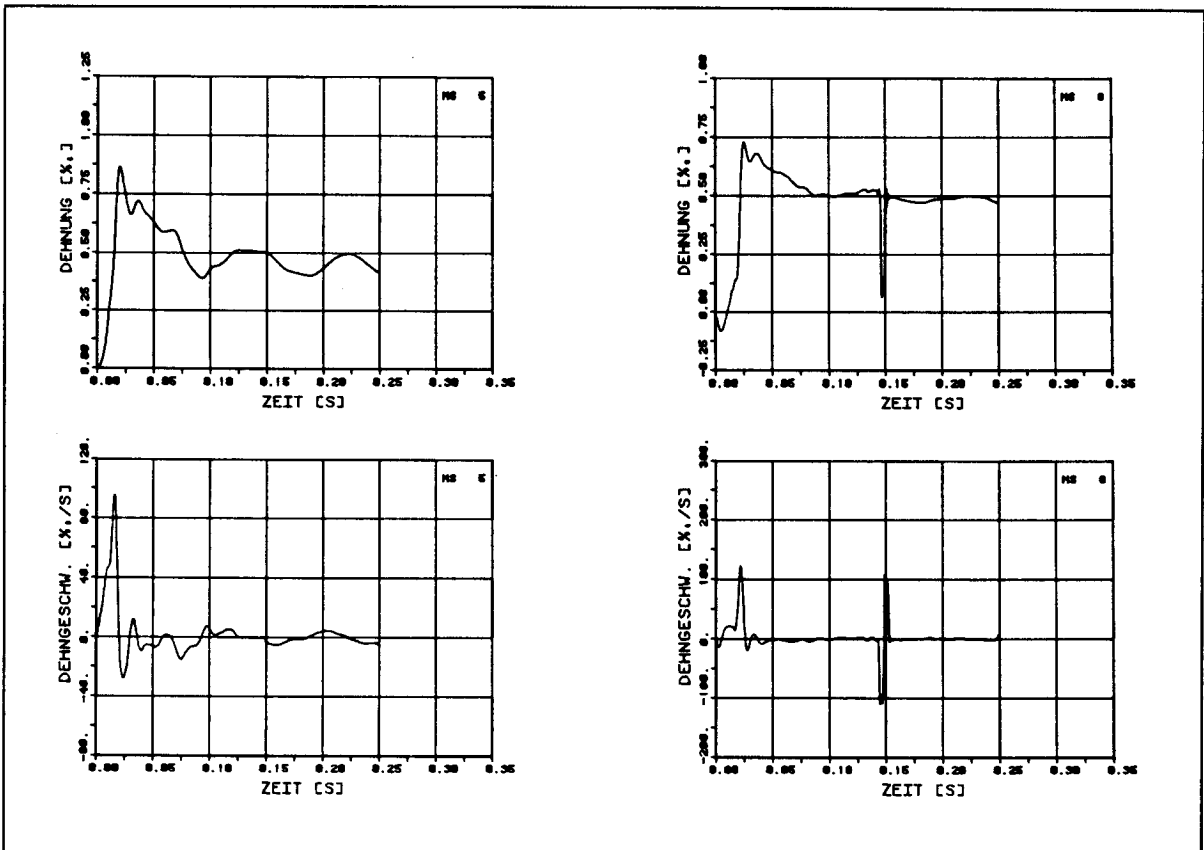
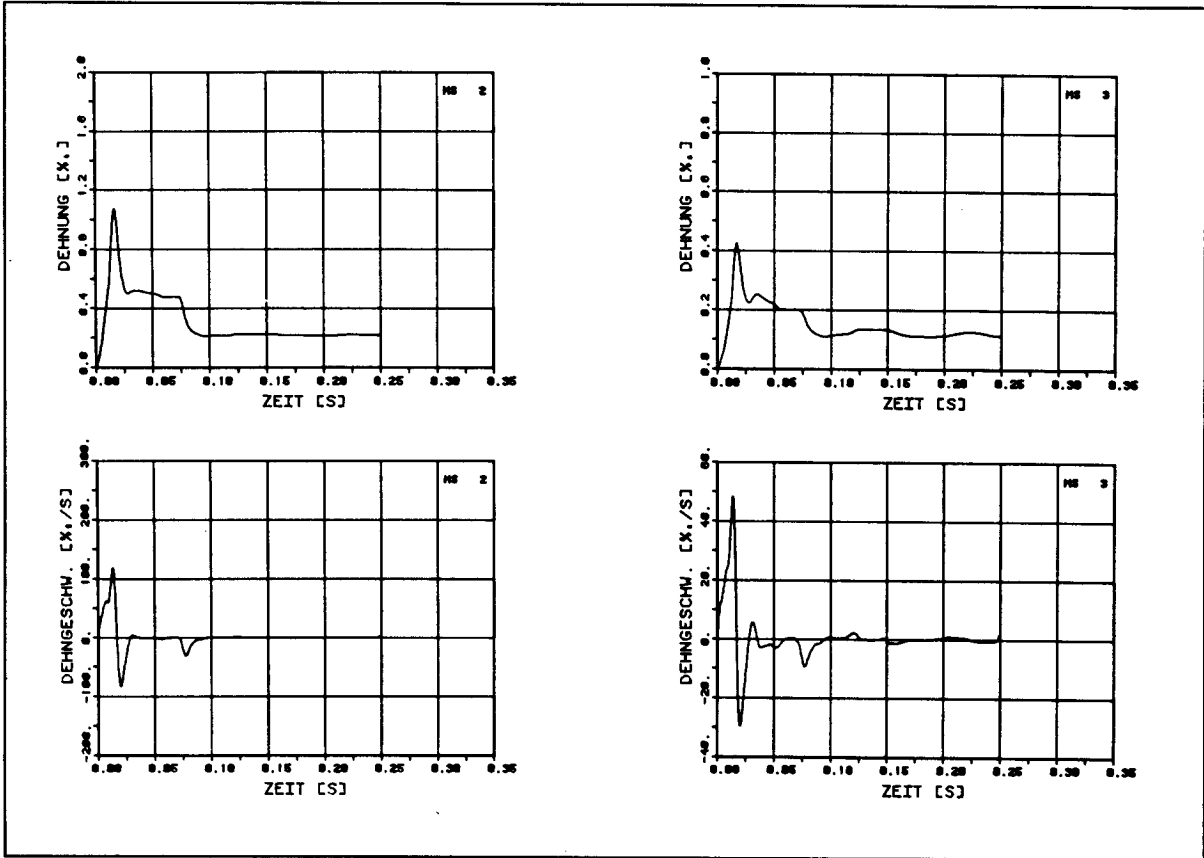


Bild B8.2-12: Zeitverläufe von Dehnmesstellen auf der Schubbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

VERSUCH B 8.3

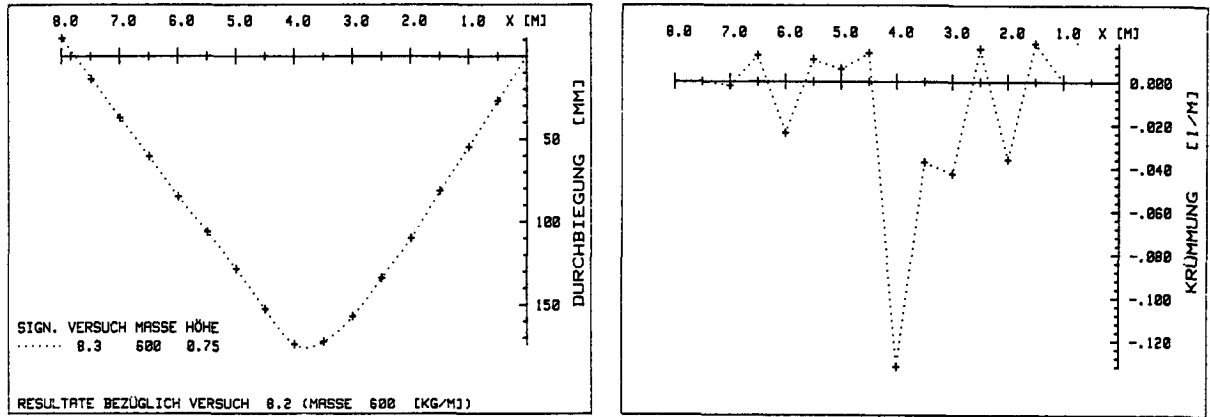


Bild B8.3-1: Biegelinie und Krümmungsverlauf aus den Nivellements - Messungen für Versuch B8.3

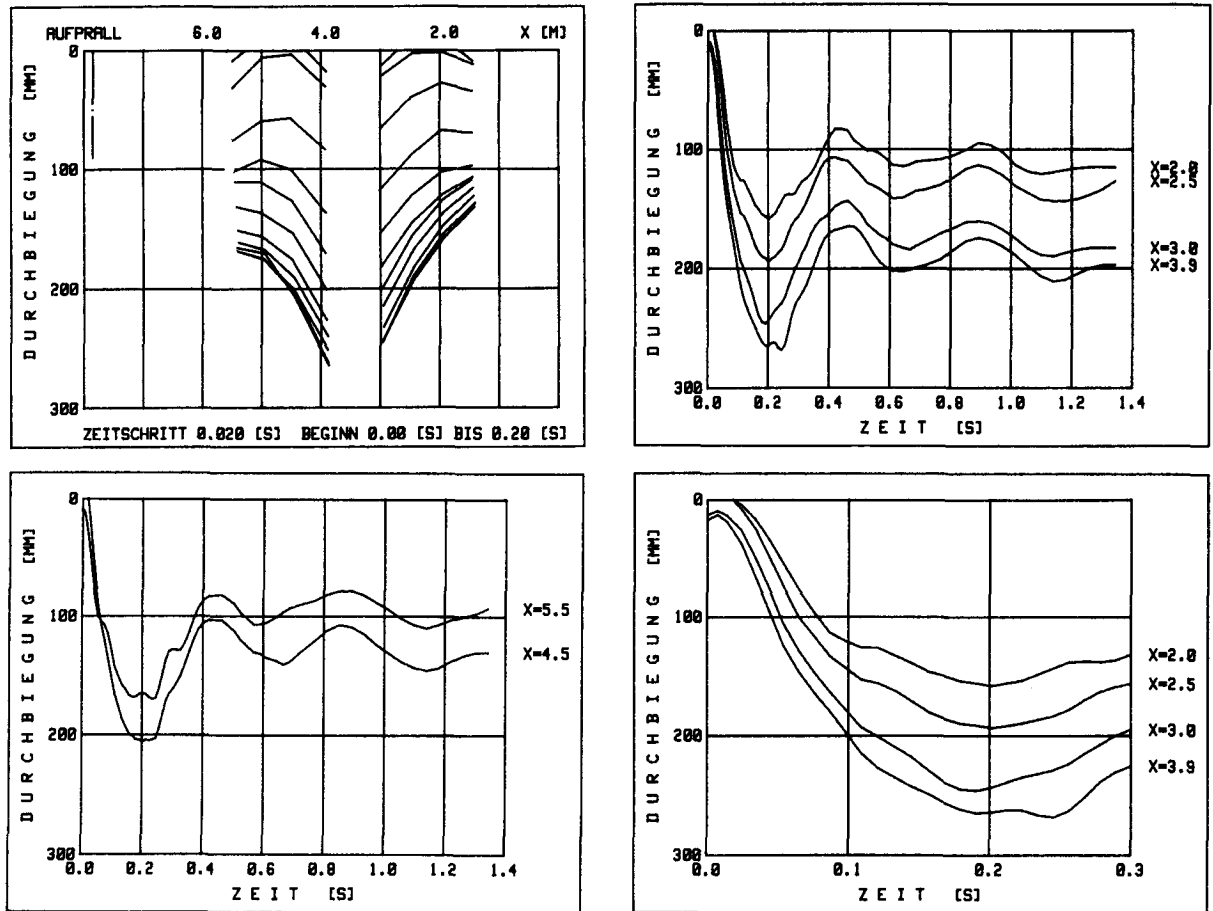


Bild B8.3-2: Biegelinien und Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen aus den Filmaufnahmen



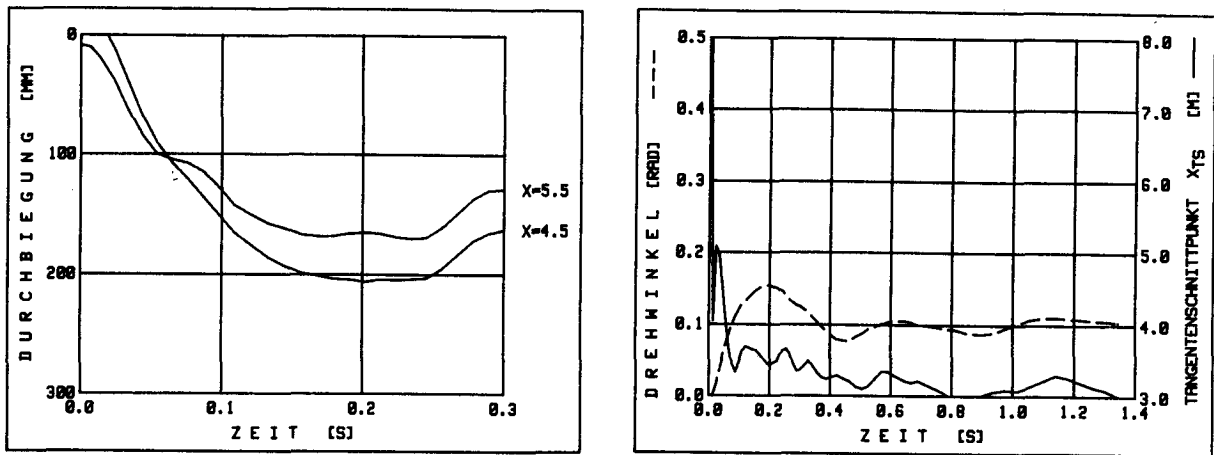


Bild B8.3-3: Zeitverläufe einzelner Balkendurchbiegungen, des Gesamtdrehwinkels und des Tangentenschnittpunktes aus den Filmaufnahmen

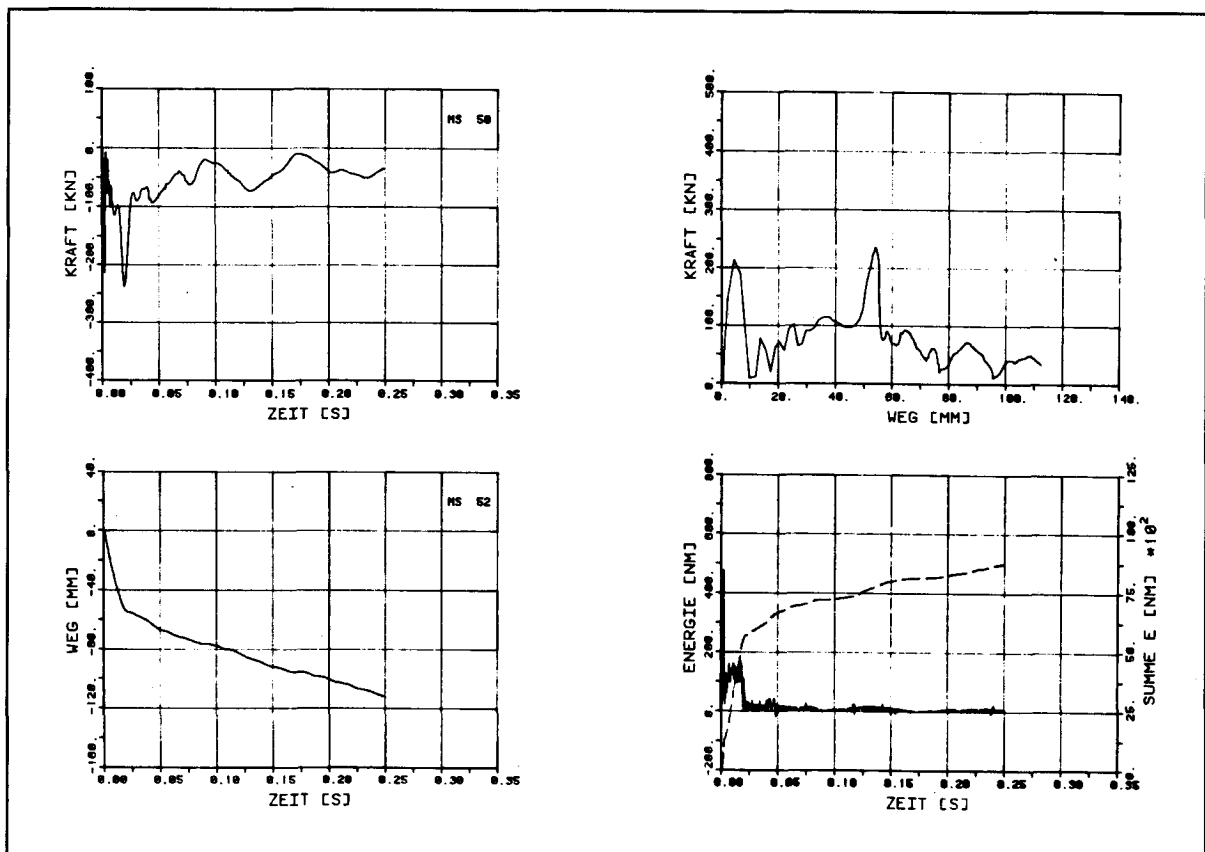


Bild B8.3-4: Zeitverläufe für Aufprallreaktion und Einsenkung des Stossdämpfers sowie daraus ermittelte Kraft-Weg-Charakteristik und Energieaufnahme

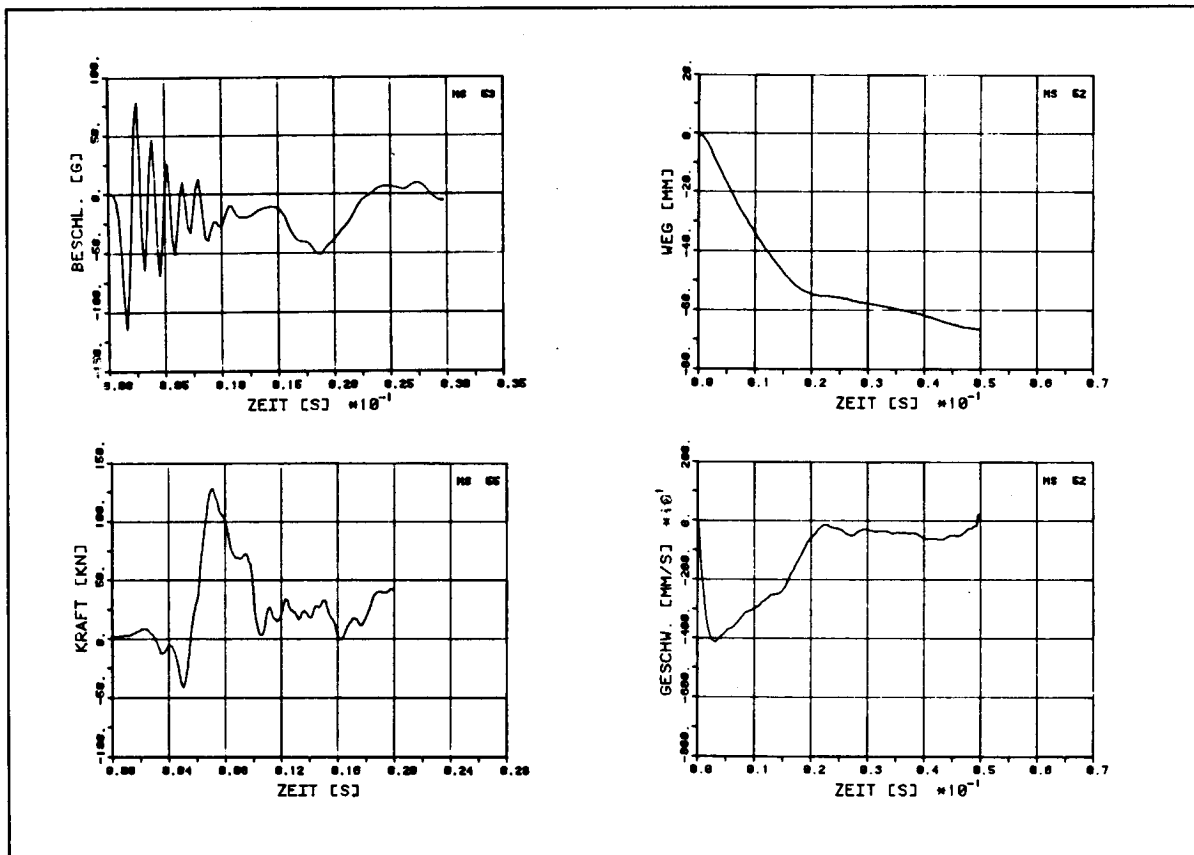


Bild B8.3-5: Zeitverläufe für die Beschleunigung im Aufprallpunkt, die Gelenkreaktion, die Einsenkung des Stossdämpfers und die dazugehörige Geschwindigkeit

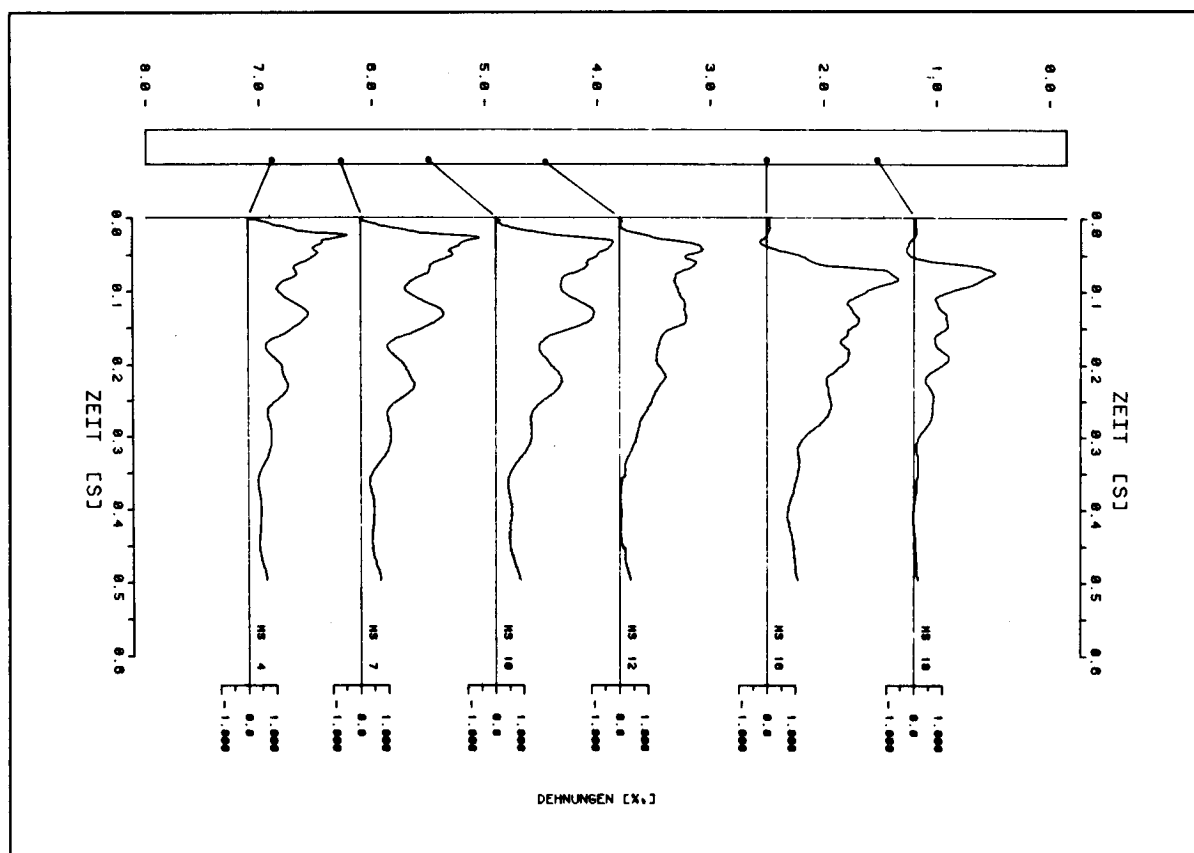


Bild B8.3-6: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

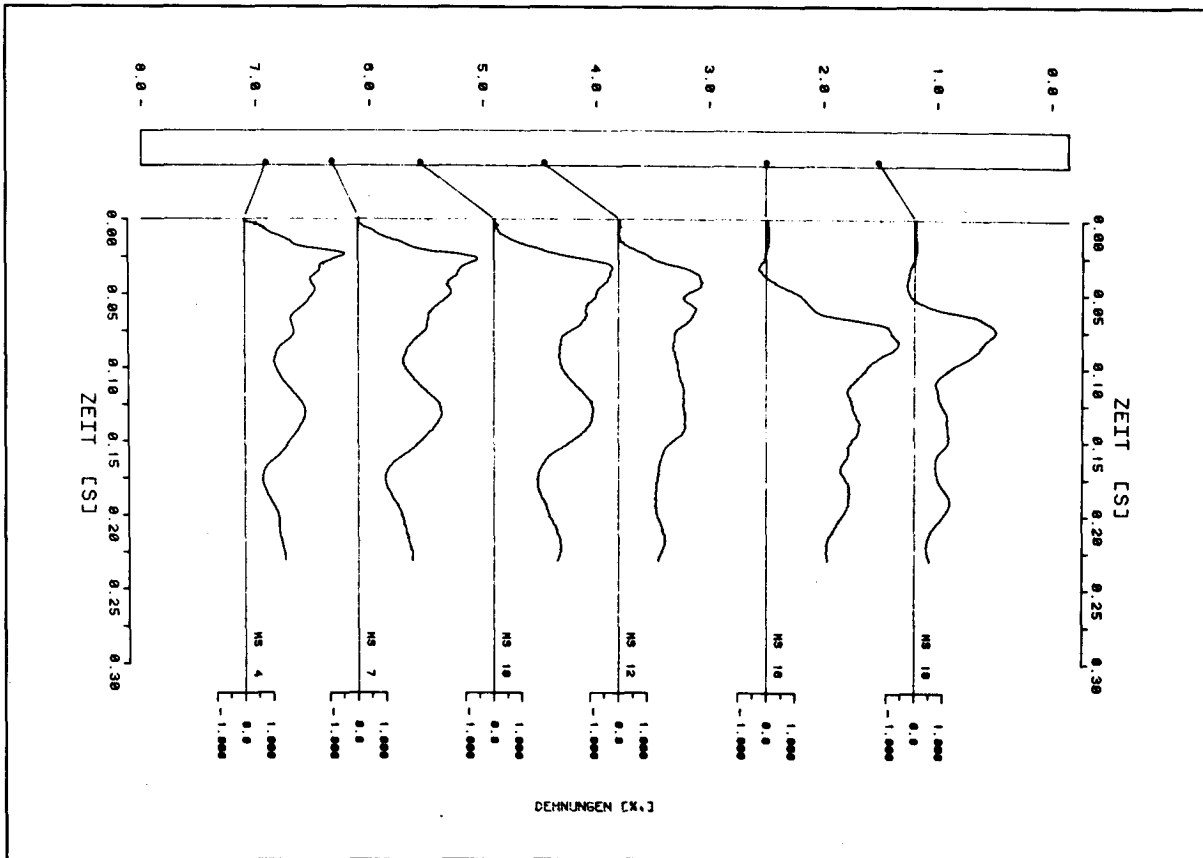


Bild B8.3-7: Zeitverläufe der Dehnungen der unteren Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

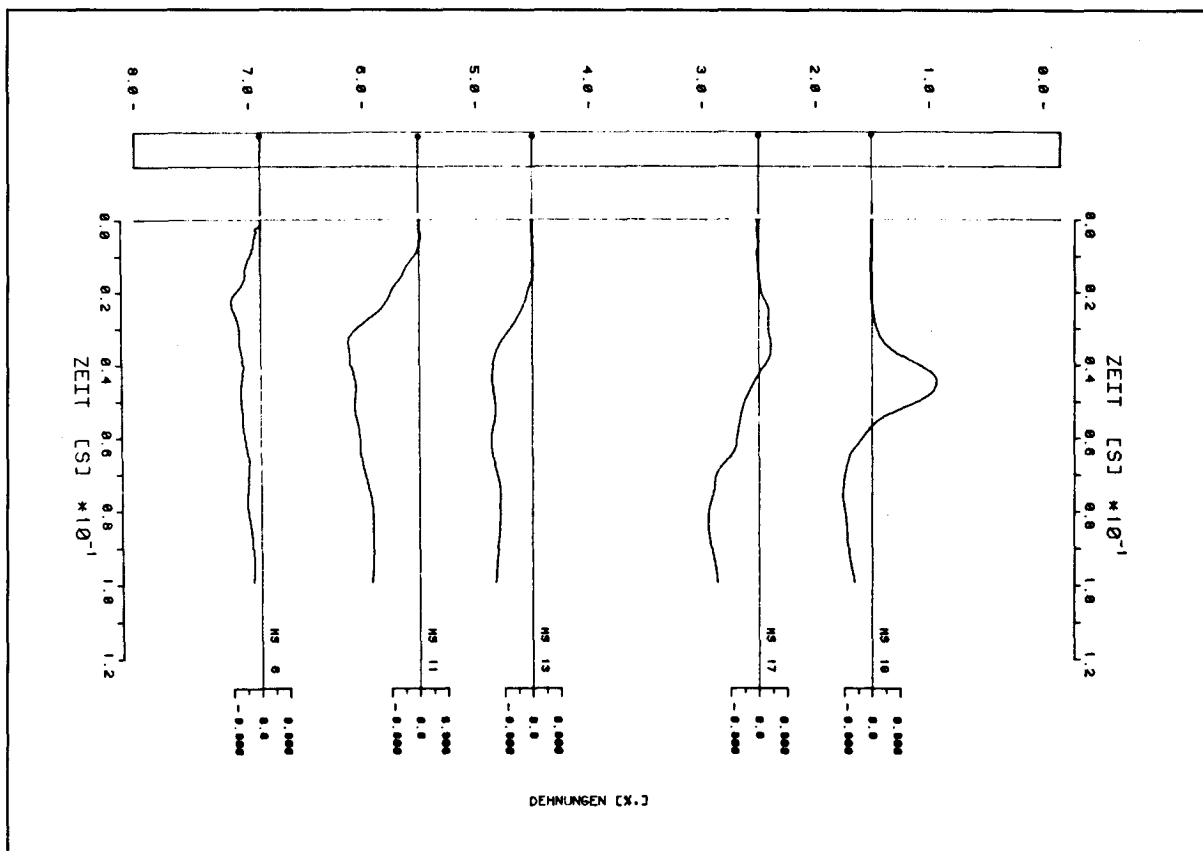


Bild B8.3-8: Zeitverläufe der Dehnungen der oberen Längsbewehrung in einzelnen Balkenpunkten

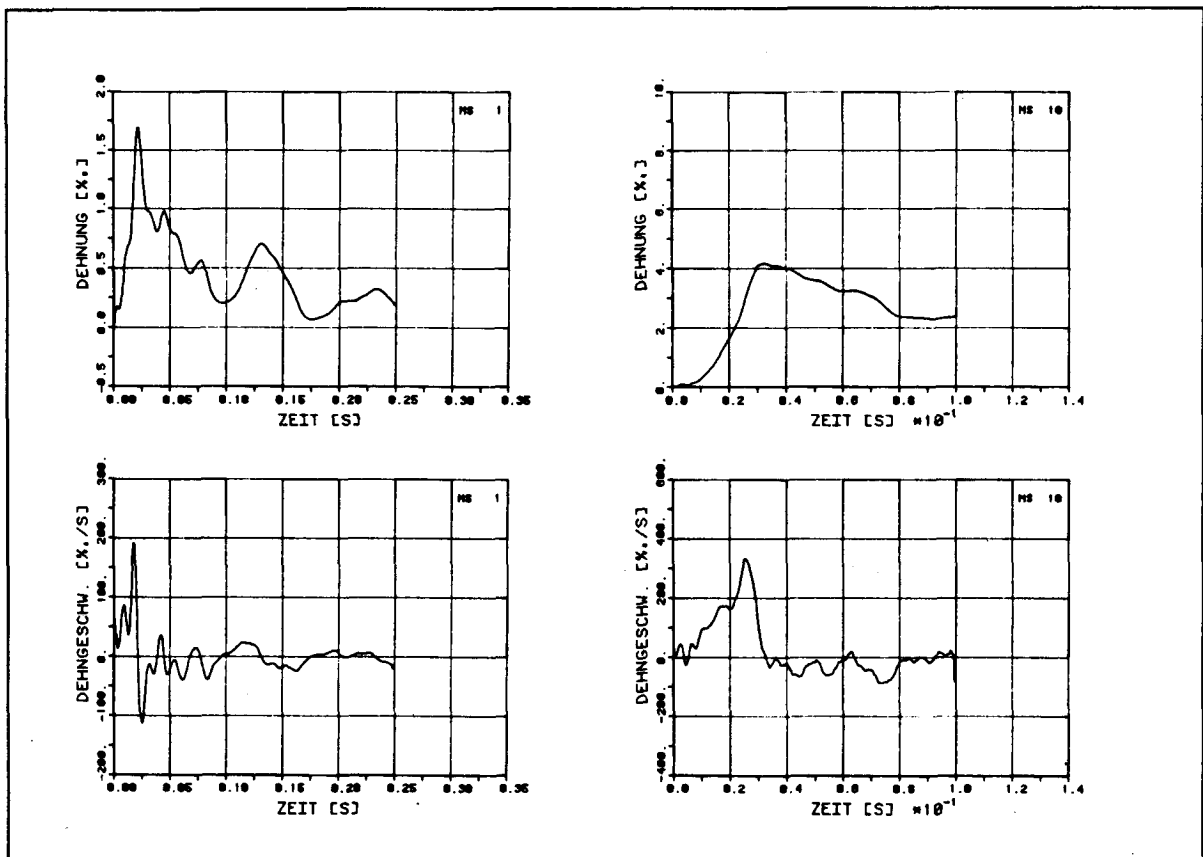


Bild B8.3-9: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

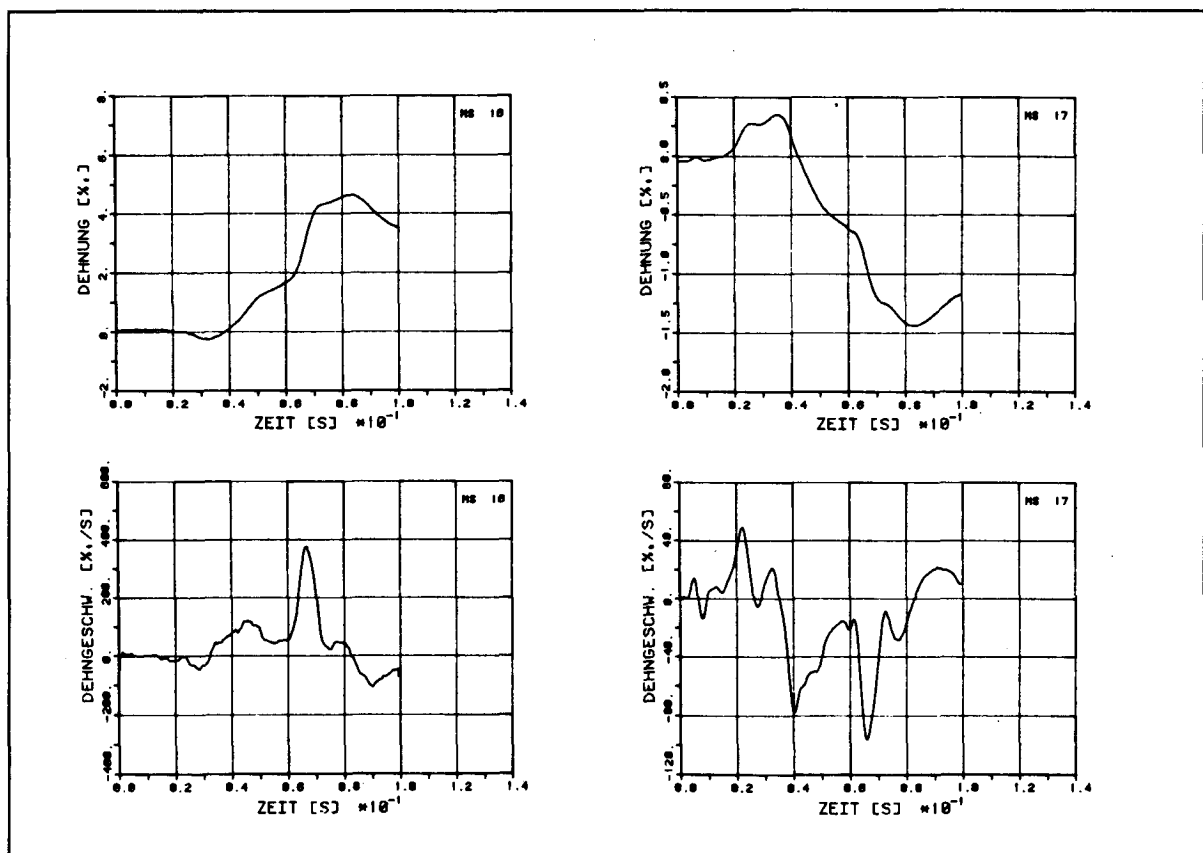


Bild B8.3-10: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der unteren und oberen Längsbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

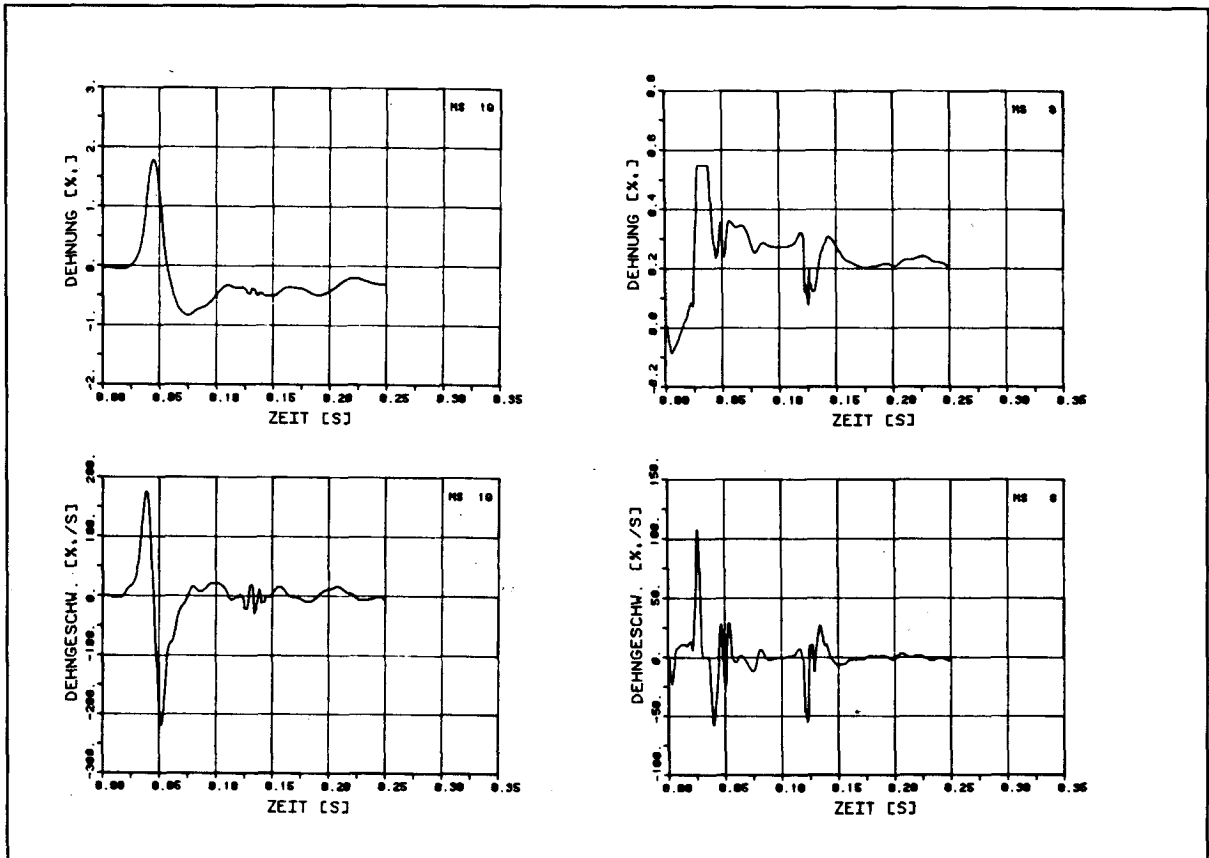


Bild B8.3-11: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der oberen Längsbewehrung und auf der Schubbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten

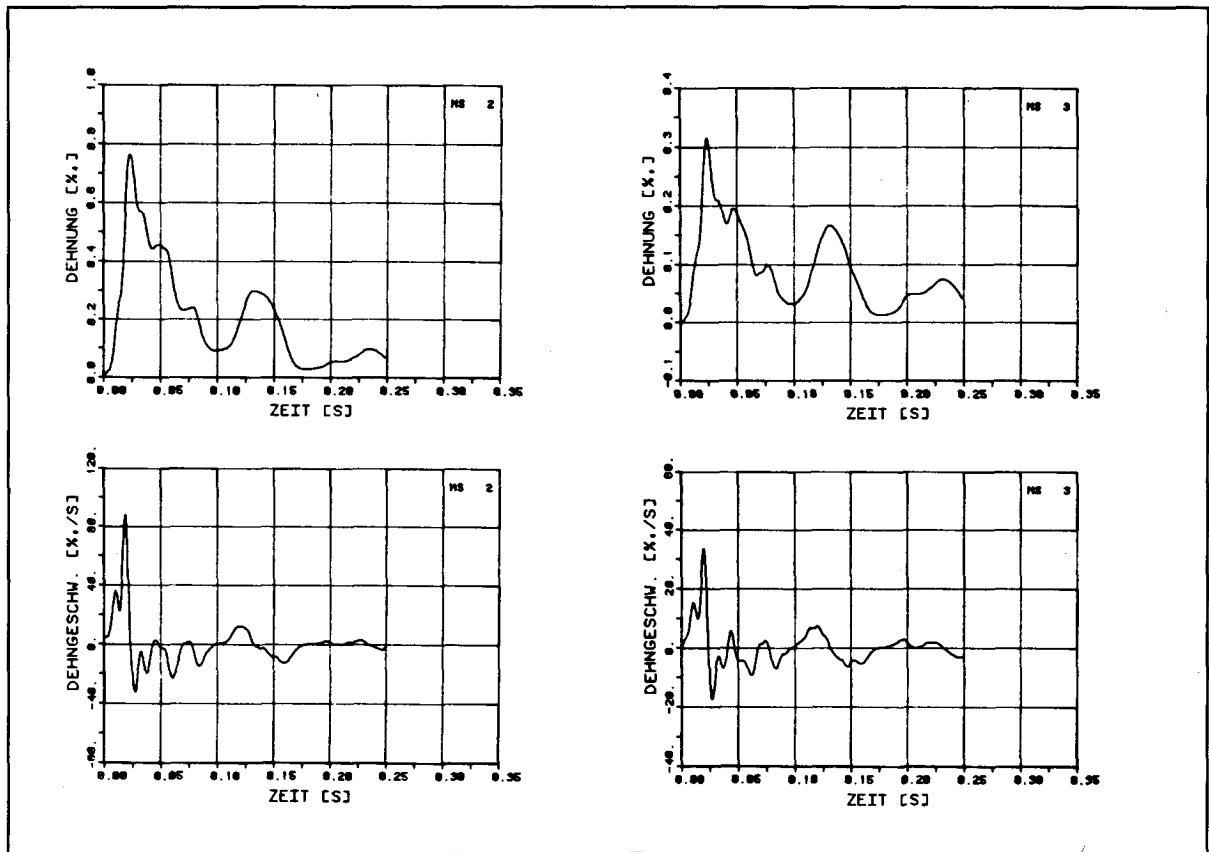


Bild B8.3-12: Zeitverläufe von Dehnmessstellen auf der Schubbewehrung und dazugehörige Dehngeschwindigkeiten