

Untersuchung von 4-seitig
linienförmig gelagerten Scheiben
bei Stoßbelastung

T 2915

T 2915

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2000, ISBN 3-8167-5725-1

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>



FORSCHUNGSBERICHT

Nr. 25-30438

01. Juli 1999

Textseiten: 17

Beilagen : 53

Untersuchung von 4-seitig
linienförmig gelagerten Scheiben
bei Stoßbelastung

Auftraggeber: Deutsches Institut
für Bautechnik
Kolonnenstraße 30
D-10829 Berlin

Berichter: Dipl.-Ing. R. Rück
Dr.-Ing. G.E. Völkel

FMPA BW
Abteilung 2 Baukonstruktionen
Pfaffenwaldring 4
D-70569 Stuttgart

Tel.: 0711/685/2215
Fax: 0711/685/6827
Email: fmpa.abt2@po.uni-stuttgart.de

Inhalt

- 1 Allgemeines und Zielsetzung**
- 2 Literatur**
- 3 Vorüberlegungen**
- 4 Durchgeführte Untersuchungen**
 - 4.1 Versuchsprogramm
 - 4.2 Versuchsaufbau und Messtechnik
 - 4.2.1 Prüfaufbau
 - 4.2.2 Stoßkörper
 - 4.2.3 Messtechnik
 - 4.3 Versuchsdurchführung
 - 4.3.1 Menschen
 - 4.3.2 Dummy
 - 4.3.3 Glaskugelsack
 - 4.3.4 Zwillingsreifen
 - 4.4 Ergebnisse der Untersuchungen
 - 4.4.1 Stoßversuche mit unterschiedlichen Stoßkörpern
 - 4.4.1.1 Vorbemerkung
 - 4.4.1.2 Menschen
 - 4.4.1.3 Dummy
 - 4.4.1.4 Glaskugelsack
 - 4.4.1.5 Zwillingsreifen
 - 4.4.2 Vergleichsversuche mit VSG
 - 4.4.3 Ergebnisse der Referenzversuche
- 5 Erkenntnisse aus den Versuchsergebnissen**
 - 5.1 Stoßcharakteristik
 - 5.2 Beanspruchung des Verglasungselements
 - 5.2.1 Versuche mit Mensch und Dummy
 - 5.2.2 Versuche mit dem Glaskugelsack
 - 5.2.3 Versuche mit dem Zwillingsreifen
 - 5.2.4 Einfluss der Aufprallstelle
 - 5.2.5 Einfluss des Luftdrucks
 - 5.3 Verhalten von ESG beim Bruch
 - 5.4 Verhalten der Unterkonstruktion
 - 5.5 Abschätzung der maximalen Fallhöhe
- 6 Zusammenfassung**

1. Allgemeines und Zielsetzung

Im Sachverständigenausschuss „Glas im Bauwesen“ beim Deutschen Institut für Bautechnik und in der eingerichteten Projektgruppe „Absturzsicherung“ werden derzeit Anforderungen an absturzsichernde Verglasungen und Prüfgrundsätze für den Nachweis der absturzsichernden Eigenschaften diskutiert.

Detaillierte Versuchsergebnisse zur Beanspruchung von Verglasungen beim Aufprall von Menschen sind bislang nicht veröffentlicht. Ziele des im Referat 25 (Glasbau, Klebtechnik) der FMPA durchgeführten Forschungsvorhabens waren daher:

- Erfassung der Beanspruchung einer realen Verglasungskonstruktion beim Aufprall eines Menschen
- Vergleich verschiedener Ersatz-Stoßkörper
- Untersuchung des Einflusses der Parameter Aufprallstelle und Reifenluftdruck mit dem Ersatz-Stoßkörper „Zwillingsreifen“
- Vergleichender Versuch mit einer VSG-Scheibe und dem „Zwillingsreifen“.

Das Forschungsvorhaben wurde im wesentlichen durch das DIBt, zum Teil auch durch Eigenleistung der FMPA finanziert. Der Dummy wurde von der Firma Thyssen Hünnebeck GmbH zur Verfügung gestellt.

2. Literatur

- [1] W. Hess: Sprint - Lauf - Gehen, Sportverlag, Berlin 1991
- [2] DIN 52 337:1985-09
- [3] ETB-Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“, Ausgabe Juni 1985, Mitteilungen IfBt 2/1987
- [4] E DIN EN 12 600:1996-12
- [5] Petzold, Marusch, Schramm: Der Baustoff Glas, Berlin 1990
- [6] Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen, Entwurfsfassung August 1998, Deutsches Institut für Bautechnik
- [7] R.K. Müller u.a.: Mechanische Größen elektrisch gemessen, Band 45 Kontakt und Studium, Grafenau 1984
- [8] P. Profos, T. Pfeifer (Hrsg.): Grundlagen der Messtechnik, München 1992

- [9] W. Struck, E. Limberger: Die Energieübertragung auf leichte, nichttragende Bauteile beim Stoß mit einem Glaskugelsack im Vergleich zum Schulterstoß, Mitteilungen IfBt 5/1978

3. Vorüberlegungen

Ausgangspunkt der Untersuchungen ist die denkbare Einwirkung im Falle eines Aufpralls eines Menschen auf eine Verglasung. Als maßgebende Ausgangsgröße wird der Impuls I als Produkt von Laufgeschwindigkeit v und Masse m des Menschen betrachtet:

$$I = m \cdot v \quad (1).$$

Mögliche Laufgeschwindigkeiten sind in Tabelle 1 auf Beilage 1 dargestellt. Für 2 Probanden wurde die erreichbare Laufgeschwindigkeit in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Anlaufstrecke ermittelt. Die Ergebnisse sind dem Diagramm in Bild 1a auf Beilage 1 zu entnehmen.

Bei einer angenommenen Masse eines Sprinters von 90 kg und einer maximal erreichbaren Geschwindigkeit von 12 m/s erhält man als denkbare Obergrenze einen Impuls von 1000 kgm/s. Bei einem für das Bauwesen realistischen Szenario (Schnelles Laufen eines Nichtsportlers mit einer Masse von 80 kg) ergibt sich eine Obergrenze von $I_{\text{Mensch, real}} = 400 \text{ kgm/s}$.

4. Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Versuchsprogramm

Zunächst wurden umfangreiche Vorversuche durchgeführt, um die Messtechnik, an die bei dynamisch ablaufenden Vorgängen mit großen Beschleunigungen besondere Anforderungen gestellt werden müssen, einzustellen und die Messprogramme zu optimieren. Die anschließend durchgeführten Versuchsreihen können Tabelle 2 auf Beilage 2 entnommen werden.

Bei allen Versuchsreihen 1-4 mit einem 8 mm dicken Einfachelement (ESG-Scheibe oder Aluminiumplatte) wurde die Aufprallgeschwindigkeit und damit der Impuls variiert. Zusätzlich wurde bei den Versuchen mit dem Dummy der Einfluss der Körperlage beim Aufprall untersucht. Es wurden Schulterstöße, Stöße mit dem Kopf und kombinierte Stöße mit einem ca. gleichzeitigen Aufprall von Kopf und Schulter realisiert.

Bei den Versuchsreihen mit dem Zwillingstreifen wurden die Lage der Aufprallstelle (Elementmitte, Seite und Ecke) und der Reifenluftdruck variiert. Bei einer Versuchsreihe wurden die Schrauben der Pressleisten nur schwach angezogen.

Schließlich wurden 3 ergänzende Vergleichsversuche mit einer VSG-Scheibe, bestehend aus 2 Einzelscheiben aus Floatglas mit Dicken von je 6 mm und einer dazwischenliegenden 0,76 mm dicken PVB-Folie, durchgeführt.

4.2 Versuchsaufbau und Messtechnik

4.2.1 Prüfaufbau

Details des Versuchsaufbaus bei der FMPA mit einer gängigen Pfosten-Riegel-Konstruktion und der Messstellen können den Bildern 1b bis 6 auf den Beilagen 3 bis 7 entnommen werden.

Die Abmessungen der 4-seitig liniengelagerten Elemente betragen $b \times h = 1050 \times 2057 \text{ mm}^2$ bei einem Einstand der Kanten von 9 - 15 mm. Um den Einfluß der Steifigkeit der Konstruktion auf die Beanspruchung abschätzen zu können, erfolgte der Stoß bei den Versuchen mit dem Zwillingstreifen nicht nur in Elementmitte, sondern es wurden auch Stöße auf der Seite und im Bereich der Elementecke ausgeführt.

Als Verglasungselement wurde eine Scheibe aus Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) eingebaut. Bei einer solchen ESG-Scheibe wird nach der Herstellung des Basisglases (Floatglas) in einem Vorspannprozeß durch schnelle Abschreckung des auf ca. 600°C erwärmten Glases ein innerer Spannungszustand erzeugt, der zu einer größeren Belastbarkeit bei Biegebeanspruchung führt [5].

Aus Sicherheitsgründen und aus betrieblichen Gründen wurde bei einigen Versuchsreihen eine Aluminiumplatte als Ersatz für die ESG-Scheibe eingebaut. Ein grundsätzlicher Unterschied ist wegen der ähnlichen Materialkennwerte von E-Modul und Dichte nicht zu erwarten. Die größere Querdehnzahl von 0,34 bei Aluminium im Vergleich zu 0,23 bei ESG führt bei Aluminium bei gleicher Belastung zu etwas kleineren Werten der Dehnungen und der Durchbiegung im Vergleich zu Glas. Im vorliegenden Fall können die Differenzen bis zu 10 % betragen.

4.2.2 Stoßkörper

Das Gewicht der Menschen betrug zwischen 75 und 89 kg.

Der Dummy mit einer Größe von 1,75 m und einem Gewicht von 105 kg besteht aus einem „Skelett“ aus Stahlteilen, die gelenkig miteinander verbunden sind. Die beim Menschen vorhandenen sogenannten Schwabbelmassen sind entsprechend der menschlichen Körperform aus geschäumtem Kunststoff nachgebildet.

Der Glaskugelsack ist ein sphäro-konischer Sack aus Lederelementen, gefüllt mit Glaskugeln mit einem Durchmesser von 3 mm und einer Gesamtmasse von 50 kg. Dieser Stoßkörper wurde bis vor einigen Jahren zum Nachweis der absturzsichernden Eigenschaften von Baukonstruktionen verwandt [3].

Der im Normentwurf [4] beschriebene Zwillingsreifen wird derzeit überwiegend zum Nachweis der absturzsichernden Eigenschaften von Verglasungen eingesetzt. Er besteht aus zwei luftgefüllten Reifen mit einem runden Querschnitt und einem flachen Längsprofil. Die Felgen dieser Reifen sind mit zusätzlichen Stahlteilen verbunden, so dass die Gesamtmasse des Stoßkörpers 50 kg beträgt. Diese Massenangabe sowie der Luftdruck in den Reifen von 4,0 bar entsprechen neusten Festlegungen der europäischen Normungsgremien und sind in [4] noch abweichend beschrieben.

Der Dummy und der Zwillingsreifen sind in den Bildern 7 bis 10 auf den Beilagen 8 und 9, der gesamte Versuchsaufbau mit den Stoßkörpern in den Bildern 11 bis 14 auf den Beilagen 10 und 11 dargestellt.

4.2.3 Messtechnik

Zur Erfassung des dynamischen Verhaltens der beteiligten Stoßpartner - Stoßkörper und Verglasungskonstruktion - wurden einige Sensoren appliziert. Im Bereich der Elementmitte wurde die Durchbiegung mittels eines Wegaufnehmers direkt gemessen. Die dabei eingesetzten Aufnehmer besitzen ein Widerstandselement aus leitendem Kunststoff auf glasfaserverstärktem Kunststoffträger. Der Kollektor besteht ebenfalls aus leitendem Kunststoff und als Schleifer ist ein durch ein Elastomer gedämpfter Mehrfinger-Edelmetall-Schleifer eingesetzt. Dies macht den Wegaufnehmer unempfindlich gegen Schock und Vibration, und daher kann er für die vorliegende Messaufgabe mit stoßartiger Einwirkung mit hohen Beschleunigungswerten eingesetzt werden.

Trotz dieser guten Dämpfungseigenschaften besteht die Gefahr, dass sich die Tastspitze des Aufnehmers vom eingebauten Verglasungselement löst und eine Eigenbewegung ausführt. Um den Kontakt zwischen Probe und Aufnehmer zu verbessern, wurde die Tastspitze mittels einer dünnsschichtig aufgetragenen dauerelastischen Masse mit der Probe gekoppelt. Es zeigte sich bei den Versuchen, dass ab einer Beschleunigung in Höhe der 20fachen Erdbeschleunigung (200 m/s^2) auch diese Maßnahme nicht mehr ausreicht, und somit dieses Messverfahren seine Grenze erreicht.

Parallel zur direkten Durchbiegungsmessung wurde in der Mitte der Verglasung die Beschleunigung des Elements gemessen. Ein an den Stoßkörpern mit Ausnahme der Menschen angebrachter Sensor erfasste deren Beschleunigung. Es wurden piezoelektrische Sensoren mit einer Resonanzfrequenz von 50 kHz und einer unteren Eckfrequenz von 0,7 Hz verwendet. Die Aufnehmer mit einem Gewicht von 5 g können Beschleunigungen bis zu 750 g entsprechend 7500 m/s^2 erfassen.

Das Messprinzip bei diesen Aufnehmern besteht nach [7] und [8] aus dem Piezoeffekt, wonach sich bei einigen kristallinen Stoffen, unter anderen auch bei dem Quarzkristall, elektrische Ladungen auf der Oberfläche bilden, wenn sie belastet werden. Da diese Ladungen praktisch ohne Verzögerung entstehen, ist dieses Messprinzip für sehr schnell ablaufende Vorgänge besonders geeignet. Die Ladungen werden in einem Verstärker in ein 10 V - Spannungssignal umgewandelt.

Die Messung der Beschleunigung erfolgt indirekt durch die Trägheitskraft nach dem Newton-Gesetz, die eine im Sensor vorhandene sogenannte seismische Masse bei Beschleunigungen auf benachbarte Quarzkristallplatten ausübt. Der Quarzkristall zeichnet sich durch eine geringe Temperaturabhängigkeit des Piezoeffekts und einen großen E-Modul von 800.000 N/mm^2 aus, der eine praktisch weglose Messung möglich macht.

Der Beanspruchungszustand im Verglasungselement wurde mit applizierten Dehnmessstreifen erfasst. Im Bereich der Elementmitte wurden die Dehnungen horizontal und vertikal auf beiden Seiten des Elements ermittelt.

Die Messwerterfassung erfolgte mit bis zu 3 Geräten des Typs „Spider 8“ und der Software „catman“ der Firma Spectris. Die Messrate betrug 4800 Messungen je Sekunde und die Gesamtmessdauer wurde mit ca. 0,5 s festgelegt. Die Triggerung erfolgte über das Dehnungssignal in Elementmitte mit einem Schwellenwert von $10 \mu\text{m/m}$. Durch die Aktivierung eines Pretriggers konnte der gesamte Stoßvorgang vollständig erfasst werden.

Alle erfassten Messwerte wurden zunächst in eine Datenbasis geschrieben, wo sie vor der Auswertung und grafischen Darstellung weiterverarbeitet werden konnten. So wurde beispielsweise bei Versuchen mit großer Beschleunigung, bei denen wie oben angesprochen keine direkte Durchbiegungsmessung möglich ist, das Beschleunigungssignal zur Bestimmung der Durchbiegung zweimal integriert.

Die Messung der Geschwindigkeit beim Aufprall der Menschen und des Dummys erfolgte mittels einer Videoanlage. Dabei erfasste eine digitale Videokamera, die seitlich in einem Abstand von ca. 1,80 m von der Stoßstelle entfernt aufgebaut worden war, den Aufprall. Die letzten beiden Einzelbilder vor dem Aufprall mit einer zeitlichen Differenz von $\Delta t = 40$ ms wurden zur Auswertung herangezogen. Mittels einer am Stoßkörper applizierten Messmarke wurden dessen Positionen s_1 und s_2 in den Einzelbildern auf einem zwischen Kamera und Stoßstelle angebrachten Vergleichsmaßstab bestimmt und die Geschwindigkeit v daraus berechnet:

$$v = k \cdot \frac{s_2 - s_1}{\Delta t} \quad (2).$$

Mit dem Korrekturfaktor k wurde berücksichtigt, dass sich der Vergleichsmaßstab nicht im Bereich der Stoßstelle befindet, sondern je nach Aufprallpunkt 0,5 bis 0,8 m davor. Der Wert dieses Korrekturfaktors wurde mit einer Vergleichsmessung vor jeder Versuchsreihe ermittelt.

4.3 Versuchsdurchführung

4.3.1 Menschen

Insgesamt 3 Probanden führten bei dieser Versuchsreihe einen Schulterstoß gegen die Mitte des Elements aus. Es wurden dabei über die Variation der Anlaufstrecke verschiedene Aufprallgeschwindigkeiten realisiert.

4.3.2 Dummy

Bei den Schulterstößen mit dem Dummy wurde dieser am Kopf mit einer Pendellänge von $> 1,5$ m aufgehängt, die Gliedmaßen wurden mittels Seilen am Körper festgebunden, um große Streuungen der Versuchsergebnisse infolge von Baumbewegungen der Arme und Beine zu vermeiden. Der Dummy wurde ausgelenkt und pendelte dann mit der Schulter gegen die Mitte des Verglasungselements.

Für die Kopfstöße wurde der Dummy horizontal liegend aufgehängt und pendelte mit dem Kopf zentral gegen die Elementmitte. Die Körperachse war dabei normal zur Elementebene ausgerichtet.

4.3.3 Glaskugelsack

Der Glaskugelsack wurde wie in [9] beschrieben mit einer Pendellänge $> 1,5$ m aufgehängt, durch ein Zugseil ausgelenkt und nach dem Einstellen der gewünschten Fallhöhe ausgelöst. Die Aufprallgeschwindigkeit wurde über die Fallhöhe d.h. dem Höhenunterschied des geschätzten Schwerpunkts des Sacks vom Ausgangszustand zum ausgelenkten Zustand variiert. Die Aufprallgeschwindigkeit v wurde normalerweise aus der Fallhöhe h berechnet:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (3).$$

Bei einem Versuch wurde die Geschwindigkeit mit der Videoanlage zum Vergleich gemessen.

4.3.4 Zwillingsreifen

Ähnlich wie bei den Versuchen mit dem Glaskugelsack wurde der Zwillingsreifen am oberen Ende mit einer Pendellänge $> 1,5$ m aufgehängt, durch ein Zugseil ausgelenkt und nach dem Einstellen der gewünschten Fallhöhe ausgelöst. Im Gegensatz zum Glaskugelsack wird der Zwillingsreifen so ausgelenkt, dass die Stoßkörperachse immer in Richtung des Aufhänge-seils weist. Die Fallhöhe ist eindeutig zu messen und somit wurde bei den Versuchen die nach (3) berechnete Geschwindigkeit zugrunde gelegt.

4.4 Ergebnisse der Untersuchungen

4.4.1 Stoßversuche mit unterschiedlichen Stoßkörpern

4.4.1.1 Vorbemerkung

Um die verschiedenen Versuchsreihen vergleichen zu können, wurden sogenannte Referenzversuche ausgewählt, bei denen die horizontale Dehnung in der Elementmitte in der gleichen Größenordnung (zwischen 640 und 705 $\mu\text{m}/\text{m}$) lag. Diese Versuche wurden detaillierter ausgewertet und sie werden im Abschnitt 4.4.3 verglichen.

Die Stoßzeit wurde bei den Versuchen mit Menschen und der Versuchsreihe 2.1 mit dem Dummy als Zeitdifferenz zwischen dem ersten Kontakt der Stoßpartner bis zur Unterschreitung eines Schwellenwertes der Dehnung von 10 % des Maximums (in den Tabellen mit T-10% bezeichnet) definiert. Diese Festlegung war notwendig, weil bei den Versuchen mit den Menschen und bei einigen Versuchen mit dem Dummy der Nulldurchgang der Dehnung nach dem ersten Kontakt innerhalb der Messzeit nicht erreicht wurde. Bei den Versuchen mit dem Glaskugelsack, dem Zwillingstreifen und der Versuchsreihe 2.3 mit dem Dummy wurde sie als Zeitdifferenz zwischen dem ersten Kontakt der Stoßpartner und dem ersten nachfolgenden Nulldurchgang der Dehnung (in den Tabellen mit T bezeichnet) definiert.

4.4.1.2 Menschen

Die wichtigsten Ergebnisse der 12 Versuche sind in Tabelle 3 auf Beilage 12 zusammengestellt. Die zeitlichen Verläufe der horizontalen Dehnung (Messstelle 1-H) und der Durchbiegung in Elementmitte von 10 der Versuche sind in den Bildern 15 bis 24 auf den Beilagen 13 bis 17 dargestellt.

Die Ergebnisse des Referenzversuchs mit der Darstellung aller gemessenen Dehnungen, der Verschiebungen und der Beschleunigungen, sind in den Bildern 25 bis 27 auf den Beilagen 18 und 19 dargestellt.

Die erreichten Höchstwerte von Dehnung und Durchbiegung in Elementmitte sowie der Beschleunigung in Elementmitte und im Viertelpunkt (Messstelle 2) und die Stoßzeit sind in Diagrammen in den Bildern 28 bis 31 auf den Beilagen 20 und 21 dargestellt.

4.4.1.3 Dummy

Die wichtigsten Ergebnisse der 35 Versuche mit einem Schulterstoß sind in Tabelle 4 auf den Beilagen 22 und 23 zusammengestellt. Die Ergebnisse der 4 Kopfstöße und der 3 kombinierten Kopf-/Schulterstöße können Tabelle 5 auf Beilage 24 entnommen werden.

Die Ergebnisse des Referenzversuchs (Schulterstoß) mit der Darstellung aller gemessenen Dehnungen, der Verschiebungen und der Beschleunigungen sind in den Bildern 32 bis 34 auf den Beilagen 25 und 26 dargestellt.

Die erreichten Höchstwerte von Dehnung und Durchbiegung in Elementmitte sowie der Beschleunigung in Elementmitte und am Versuchskörper (auf der gegenüberliegenden Schulter) und die Stoßzeit sind für die Versuche mit Schulterstoß in den Bildern 35 bis 39 auf den Beilagen 27 bis 29 dargestellt.

In einem Diagramm (Bild 40 auf Beilage 29) sind die Höchstwerte der Dehnungen der Versuchsreihen mit Kopfstoß und einer der Versuchsreihen mit Schulterstoß eingetragen. Zusätzlich sind von der Versuchsreihe mit kombiniertem Kopf-/Schulterstoß die maximalen Werte der Dehnungen an den Messstellen 1-H (ca. Aufprallpunkt des Kopfes) und der Messstelle 2-H (ca. Aufprallpunkt der Schulter) dargestellt.

4.4.1.4 Glaskugelsack

Die Ergebnisse der 6 Versuche sind in Tabelle 6 auf Beilage 30 zusammengestellt.

Die Ergebnisse des Referenzversuchs mit der Darstellung aller gemessenen Dehnungen, der Verschiebungen und der Beschleunigungen, sind in den Bildern 41 bis 43 auf den Beilagen 31 und 32 dargestellt.

Die erreichten Höchstwerte von Dehnung und Durchbiegung in Elementmitte sowie der Beschleunigung in Elementmitte und am Stoßkörper und die Stoßzeit sind in den Bildern 44 bis 48 auf den Beilagen 33 bis 35 dargestellt. Die Abweichung des Werts bei gemessener Geschwindigkeit von den Ergebnissen bei berechneter Geschwindigkeit resultiert aus der Schwierigkeit, den Schwerpunkt und damit die Fallhöhe des Sacks eindeutig zu bestimmen.

4.4.1.5 Zwillingsreifen

Die wichtigsten Ergebnisse der 31 Versuche mit der Aufprallstelle in Elementmitte und einem Reifenluftdruck von 3,5 bis 4,0 bar sind in Tabelle 7 auf den Beilagen 36 und 37 zusammengestellt. Die Ergebnisse der 4 Versuchsreihen mit Variation der Aufprallstellen und der 3 Versuchsreihen mit unterschiedlichem Reifendruck können den Tabellen 8 und 9 auf den Beilagen 38 und 39 entnommen werden.

Die Ergebnisse des Referenzversuchs (Aufprallpunkt in der Mitte, Reifendruck 4 bar) mit der Darstellung aller gemessenen Dehnungen, der Verschiebungen und der Beschleunigungen sind in den Bildern 49 bis 51 auf den Beilagen 40 und 41 dargestellt.

Die erreichten Höchstwerte von Dehnung und Durchbiegung in Elementmitte, den Beschleunigungen in Elementmitte und am Versuchskörper und die Stoßzeit T (Stoßbeginn bis zum nächsten Nulldurchgang der Dehnung 1-H) und T_{max} (Stoßbeginn bis zum Maximum der Dehnung 1-H) sind für die Versuche mit Aufprallpunkt des Zwillingsreifens mit einer Masse von 45 bis 50 kg in der Scheibenmitte und einem Reifenluftdruck von 3,5 bis 4,0 bar in den Bildern 52 bis 57 auf den Beilagen 42 bis 44 dargestellt.

Ausgewählte Ergebnisse der Versuchsreihen mit Variation der Aufprallstellen und des Reifenluftdrucks sind in den Bildern 58 bis 63 auf den Beilagen 45 bis 47 dargestellt.

4.4.2 Vergleichsversuche mit VSG

Mit einer VSG-Scheibe bestehend aus 2 x 6 mm Floatglasscheiben mit dazwischenliegender PVB-Folie mit einer Dicke von 0,76 mm wurden Versuche mit dem Zwillingsreifen (50 kg und 4,0 bar) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche mit der Aufprallstelle in Scheibenmitte sind Tabelle 10 auf Beilage 48 zu entnehmen und die zeitlichen Verläufe beim Referenzversuch sind in den Bildern 64 bis 66 auf den Beilagen 49 und 50 dargestellt.

4.4.3 Ergebnisse der Referenzversuche

Die Ergebnisse der Referenzversuche mit der VSG-Scheibe sind in Tabelle 11 auf Beilage 51 gegenübergestellt.

Zur Veranschaulichung der Stoßcharakteristik bei den Referenzversuchen mit den verschiedenen Stoßkörpern sind die zeitlichen Verläufe der horizontalen Dehnung im Bereich der Elementmitte in den Bildern 67 und 68 auf Beilage 52 dargestellt.

Die beim Versuch mit der VSG-Scheibe gemessenen Dehnungen sind zusammen mit den entsprechenden Dehnungen eines Versuchs mit der Alu-Platte zusammen in Bild 69 auf Beilage 53 dargestellt.

5. Erkenntnisse aus den Versuchsergebnissen

5.1 Stoßcharakteristik

In den in Abschnitt 4.4.3 erwähnten Bildern 67 und 68 sind die zeitlichen Verläufe der Dehnungen der Referenzversuche dargestellt. Hierbei werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Stoßcharakteristik deutlich. Bei allen 4 geprüften Stoßkörpervarianten zeigt sich zunächst ein ähnlicher Beanspruchungsverlauf mit einem steilen Anstieg bis zu einem Höchstwert und einem anschließenden Abfall.

Bei den Versuchen mit Mensch und Dummy schließt sich an diese erste „Hauptbelastungsphase“ mit einer Dauer zwischen 70 und 90 ms eine „Sekundärphase“ mit geringerem Belastungsniveau und einer Dauer von 100 - 150 ms an. Bei dem Referenzversuch lag dieses Niveau bei ca. 15 % des Belastungsmaximums. Es wurden in anderen Versuchen bis zu ca. 30 % des Höchstwerts festgestellt.

Diese Sekundärphase kann von den Ersatz-Stoßkörpern Glaskugelsack und Zwillingstreifen nicht nachgebildet werden, da bei diesen der Stoßvorgang so elastisch verläuft, dass sich der Stoßkörper nach einer Kontaktzeit von 55-80 ms beim Zwillingstreifen und 70-120 ms beim Glaskugelsack wieder vom Element löst. Es schließt sich an die Kontaktphase eine ausgeprägte leicht gedämpfte Scheibenschwingung an.

Bei einer VSG-Scheibe ist die Dämpfung der Scheibenschwingung wesentlich größer als bei einer Einfachscheibe (Bild 69 auf Beilage 53). Außerdem macht sich das Kriechverhalten der Folie bei der Dehnung in geringem Umfang bemerkbar.

5.2 Beanspruchung des Verglasungselements

5.2.1 Versuche mit Mensch und Dummy

Die Ergebnisse der Versuche mit Menschen streuen relativ stark. Dies hängt mit der individuell verschiedenen Art und Weise des Aufpralls zusammen.

Die Versuche mit dem Dummy sind bei kleineren Geschwindigkeiten relativ gut reproduzierbar. Dies gilt für den Fall, dass Arme und Beine definiert am Körper fixiert werden. Der Schulterstoß mit dem aufgehängten Dummy führt zu Dehnungswerten in Elementmitte, die bei Impulsen bis ca. 200 kgm/s um bis zu 150% oberhalb der Dehnungen bei den Versuchen mit den Menschen liegen. Bei größeren Impulsen streuen die Ergebnisse zunehmend. Ein reiner zentraler Kopfstoß bei horizontal liegendem Dummy führt bei gleichem Impuls zu einer

ca. 2 - 3 fachen Dehnung in Elementmitte gegenüber einem Schulterstoß. Ein kombinierter Kopf-/Schulterstoß bringt in etwa vergleichbare Dehnungen wie der Schulterstoß.

5.2.2 Versuche mit dem Glaskugelsack

Die Versuche mit dem Glaskugelsack führen bei gleichem Impuls zu Dehnungen im Verglasungselement, die nur geringfügig oberhalb der bei den Versuchen mit Menschen erreichten Werten liegen. Die Versuche sind aber problematisch hinsichtlich der genauen Erfassung der Fallhöhe und somit der Geschwindigkeit.

5.2.3 Versuche mit dem Zwillingsreifen

Die Beanspruchung des Elements ist bei den Versuchen mit dem Zwillingsreifen bei gleichem Impuls deutlich höher im Vergleich zu den Versuchen mit Menschen oder mit dem Glaskugelsack. Diese Unterschiede sind bei kleinem Impuls sehr groß und verringern sich mit zunehmendem Impuls.

Der große Vorteil dieses Stoßkörpers liegt in der guten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und der Möglichkeit der einfachen und eindeutigen Festlegung der Fallhöhe.

5.2.4 Einfluss der Aufprallstelle

Im Vergleich zu den Versuchen mit der Aufprallstelle in Elementmitte ergaben sich bei den Versuchen mit der Aufprallstelle an der Seite des Elements bei kleineren Fallhöhen zunächst vergleichbare Dehnungen an den jeweiligen Stoßstellen, bei großen Fallhöhen war die Beanspruchung beim Aufprall an der Seite deutlich größer. Die Beschleunigungswerte des Stoßkörpers und der Scheibe unterschieden sich nicht nennenswert.

Bei den Versuchen mit der Aufprallstelle im Eckbereich ergaben sich bei kleiner Fallhöhe ($h = 10 \text{ cm}$) etwas kleinere, bei mittlerer Fallhöhe ($h = 45 \text{ cm}$) vergleichbare und bei großer Fallhöhe ($h = 120 \text{ cm}$) deutlich größere Werte der Dehnungen an den Aufprallstellen und der Scheibenbeschleunigung. Die Beschleunigungswerte des Stoßkörpers waren bei allen Fallhöhen zwischen 20 und 45 % größer.

5.2.5 Einfluss des Luftdrucks

Der Reifenluftdruck hat bei Fallhöhen bis zu 45 cm einen nur geringen Einfluß auf die Dehnung, die Durchbiegung und die Stoßkörperbeschleunigung. Der Einfluss ist deutlich größer bei der Scheibenbeschleunigung, bei der sich eine Differenz von 60 % bei Luftdrücken von 5,0 bar im Vergleich zu 2,0 bar ergab. Größere Unterschiede ergeben sich auch in der Stoßzeit mit Differenzen zwischen 10 und 12 s. Dabei führt ein größerer Druck zu kürzeren Stoßzeiten.

5.3 Verhalten von ESG beim Bruch

Bei 2 Versuchen kam es zum Bruch der 8 mm-ESG-Scheibe:

Im ersten Fall trat der Bruch bei einem Schulterstoß des Dummys mit einem Impuls von 312 kgm/s auf. Im zweiten Fall versagte die ESG-Scheibe beim Pendelschlag mit dem Reifen am seitlichen Rand mit einem Impuls von 150 kgm/s (Fallhöhe 45 cm).

Die jeweils letzten gemessenen Maximalwerte der Dehnungen lagen bei 1083 (Dummy) bzw. 1546 $\mu\text{m/m}$ beim Zwillingstreifen. Die Stoßkörper pendelten nach dem Bruch relativ wenig gebremst weiter. Es ist somit davon auszugehen, dass die Scheibe im Falle des Versagens nicht viel der kinetischen Energie des Stoßkörpers aufnimmt.

5.4 Verhalten der Unterkonstruktion

Auch ein Versagen im Bereich der Unterkonstruktion kann zum Absturz der Verglasung führen. Bei einem der durchgeführten Versuche scherten 2 Schrauben einer Pfosten/Riegel-Verbindung ab. Infolgedessen wurde die Aluminiumplatte aus der Halterung gedrückt.

5.5 Abschätzung der maximalen Fallhöhe

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann eine Fallhöhe für den Zwillingstreifen abgeschätzt werden, die eine Beanspruchung in der Verglasung zur Folge hat, die dem in der Realität zu erwartenden Impuls eines menschlichen Stoßes von $I_{\text{Mensch, real}} = 400 \text{ kgm/s}$ entsprechen würde.

Eine lineare Regression der Werte der maximalen Dehnungen bei den Versuchen mit den Menschen führt auf die Gleichung:

$$\epsilon = 3,1 \cdot I \quad (4).$$

Dabei ist der Impuls I in kgm/s einzusetzen, die Dehnung ϵ ergibt sich in $\mu\text{m/m}$. Geht man nicht von einer mittleren Stoßcharakteristik aus, sondern von dem ungünstigsten in den Versuchen beobachteten Stoß, so kann folgender Verlauf angesetzt werden:

$$\epsilon = 4,1 \cdot I \quad (5).$$

Die bei $I_{\text{Mensch, real}} = 400 \text{ kgm/s}$ auftretende Dehnung kann mit (5) extrapoliert werden zu $\epsilon_{\text{Mensch, real}} = 1640 \mu\text{m/m}$. Der angenäherte Zusammenhang zwischen der maximalen Dehnung in einer ESG-Scheibe und der Fallhöhe beim Zwillingstreifen kann für Fallhöhen bis zu 100 cm gut mit der Potenzfunktion

$$\epsilon = 450 \cdot h^{0,35} \quad (6)$$

angenähert werden. Die Fallhöhe h ist in cm einzugeben und die Dehnung ϵ ergibt sich in $\mu\text{m/m}$. Umgekehrt kann die Fallhöhe berechnet werden mit:

$$h = e^{\left(\frac{\ln \epsilon - 6,11}{0,35}\right)} \quad (7).$$

Mit (7) erhält man für die Dehnung $\epsilon_{\text{Mensch, real}} = 1640 \mu\text{m/m}$ eine Fallhöhe des Zwillingstreifens von $h = 40 \text{ cm}$.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen eines vom Deutschen Institut für Bautechnik geförderten Forschungsvorhabens wurde die Beanspruchung einer Verglasungskonstruktion bei Stoßbelastung untersucht. Dabei wurden zunächst Schulterstöße von Menschen realisiert. Um von diesen mit relativ geringer Aufprallgeschwindigkeit durchgeführten Versuchen auf die maximal zu erwartende Geschwindigkeit schließen zu können und um den Einfluß anderer Körperlagen beim Aufprall abschätzen zu können, wurden Versuche mit einem Dummy durchgeführt.

Diese Versuche wurden mit Pendelschlagversuchen mit einem Glaskugelsack und mit dem genormten Ersatz-Stoßkörper „Zwillingsreifen“ verglichen.

Als Ergebnisse der Untersuchungen können folgende Punkte festgehalten werden:

1. Bezüglich der Stoßcharakteristik bilden die Pendelschlagversuche mit Zwillingsreifen und Glaskugelsack die Hauptbelastung bei einem menschlichen Stoß gut nach.
2. Eine beim Aufprall von Menschen auftretende Sekundärbeanspruchung mit geringerem Belastungsniveau wird von den Pendelschlagversuchen nicht erfasst.
3. Bei der geprüften Verglasung entspricht ein Pendelschlag mit einer Fallhöhe von 40 cm einem geschätzten real zu erwartenden Schulterstoß mit einem einwirkenden Impuls von 400 kgm/s.
4. Bei einem zentralen Kopfstoß mit der gleichen Aufprallgeschwindigkeit ist die Beanspruchung deutlich höher als beim Schulterstoß.
5. Ein Stoß im Eckbereich führt zu deutlich größeren Beschleunigungen des Stoßkörpers als ein Stoß gegen die Mitte oder gegen die Seite.

Tabelle 1: Übersicht der möglichen Laufgeschwindigkeiten von Menschen

Laufbedingungen	Quelle	Laufgeschwindigkeit		Fallhöhe ¹⁾
		km/h	m/s	cm
100 m - Sprint eines Spitzensportlers	[1]	43	12	734
Schnelles Laufen eines Nichtsportlers	[2]	18	5	127
mittlere Laufgeschwindigkeit		14	3,9	78
Laufen in durchschnittlich großen Zimmern		9	2,5	32
Versuche mit einer Anlaufstrecke von 1 m	-	8,6	2,4	29
dto. mit 4 m	-	18,7	5,2	138

Anmerkungen:

1) Entsprechende Fallhöhe eines Pendelkörpers mit einem Gewicht von 50 kg ohne Berücksichtigung von Reibungseffekten ($h = v^2 / (2g)$).

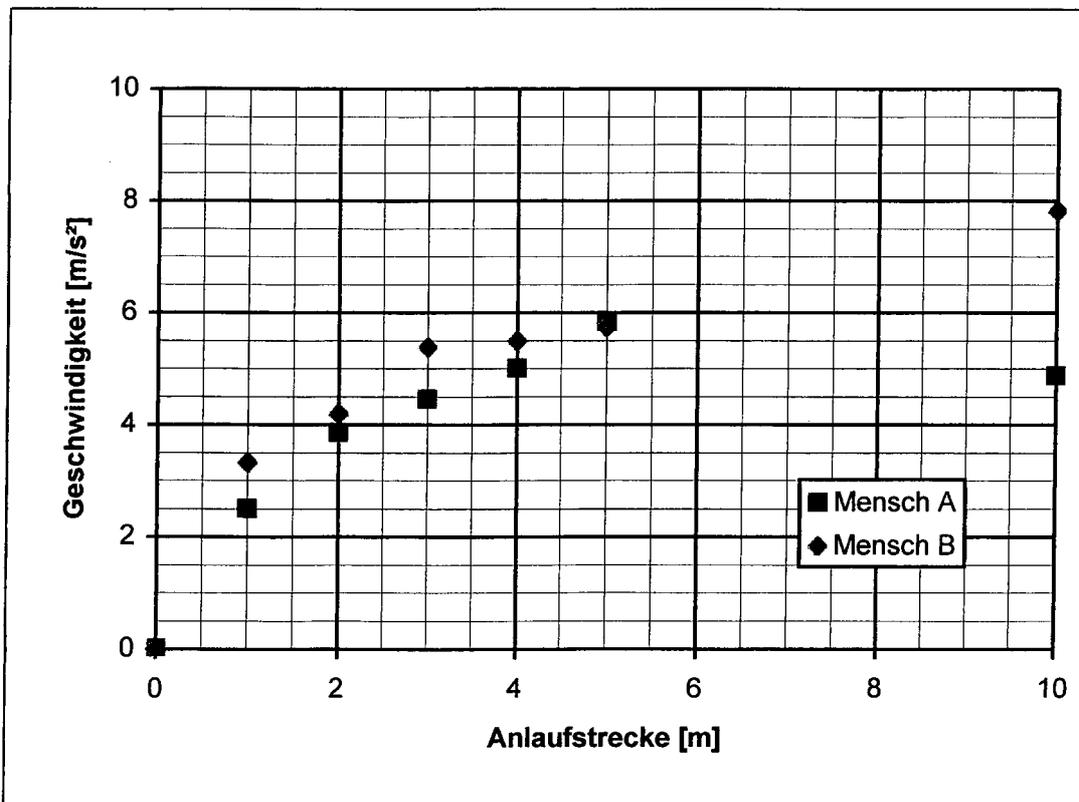


Bild 1a: Bei Anlaufversuchen aus dem Stand erreichte Geschwindigkeit zweier Probanden in Abhängigkeit der Anlaufstrecke

Tabelle 2: Übersicht der durchgeführten Versuchsreihen

Nr.	Eingebautes Element	Stoßkörper	Parameter	geprüfte Varianten
1	Aluminiumplatte (Dicke 8 mm)	Menschen	Gewicht und Geschwindigkeit	Gewicht 75 - 89 kg, $v = 1,3 - 3,1$ m/s
2.1	ESG-Scheibe bzw. Aluminiumplatte (Dicke 8 mm)	Dummy ¹⁾	Material und Geschwindigkeit	Schulterstoß ESG, $v = 1,4 - 3,0$ m/s
2.2				Schulterstoß Alu, $v = 0,4 - 2,3$ m/s
2.3				Schulterstoß Alu, $v = 0,9 - 2,7$ m/s
2.4			Körperlage und Ge- schwindigkeit	Kopfstoß Alu, $v = 0,2 - 1,2$ m/s
2.5				Kopf-/Schulterstoß Alu, $v = 0,5 - 1,6$ m/s
3		Glaskugel- sack ²⁾	Geschwindigkeit	$v = 1,4 - 3,4$ m/s
4.1		Reifen ³⁾	Material und Ge- schwindigkeit	ESG-Januar-99 $v = 1,4 - 2,0$ m/s
4.2				ESG-Juni-99 $v = 1,4 - 3,0$ m/s
4.3				Alu-April-99 $v = 1,4 - 3,7$ m/s
4.4				Alu-Mai-99 $v = 1,0 - 4,9$ m/s
4.5	Alu-Juni-99 $v = 1,0 - 4,9$ m/s			
4.6	Aufprallstelle und Geschwindigkeit		Mitte, Seite, Ecke, $v = 1,4 - 4,9$ m/s	
4.7	Reifenluftdruck und Geschwindigkeit		Luftdruck 2 - 5 bar, $v = 1,0$ bis 4,9 m/s	
5	VSG-Scheibe (2 x 6 mm Floatglas, PVB-Folie 0,76 mm)	Reifen	Geschwindigkeit	$v = 0,6 - 1,3$ m/s

Anmerkungen:

- 1) Dummy mit einer Gesamtmasse von 105 kg
- 2) Glaskugelsack nach ETB-Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“ mit einer Masse von 50 kg
- 3) Zwillingreifen in Anlehnung an E DIN 12 600:1996 mit einer Gesamtmasse von 50 kg und einem Reifenluftdruck von normalerweise 4 bar. Die Versuchsreihe 4.1 wurde mit 45 kg und 3,5 bar, die Versuchsreihe 4.3 mit 50 kg und 4,0 bar durchgeführt.

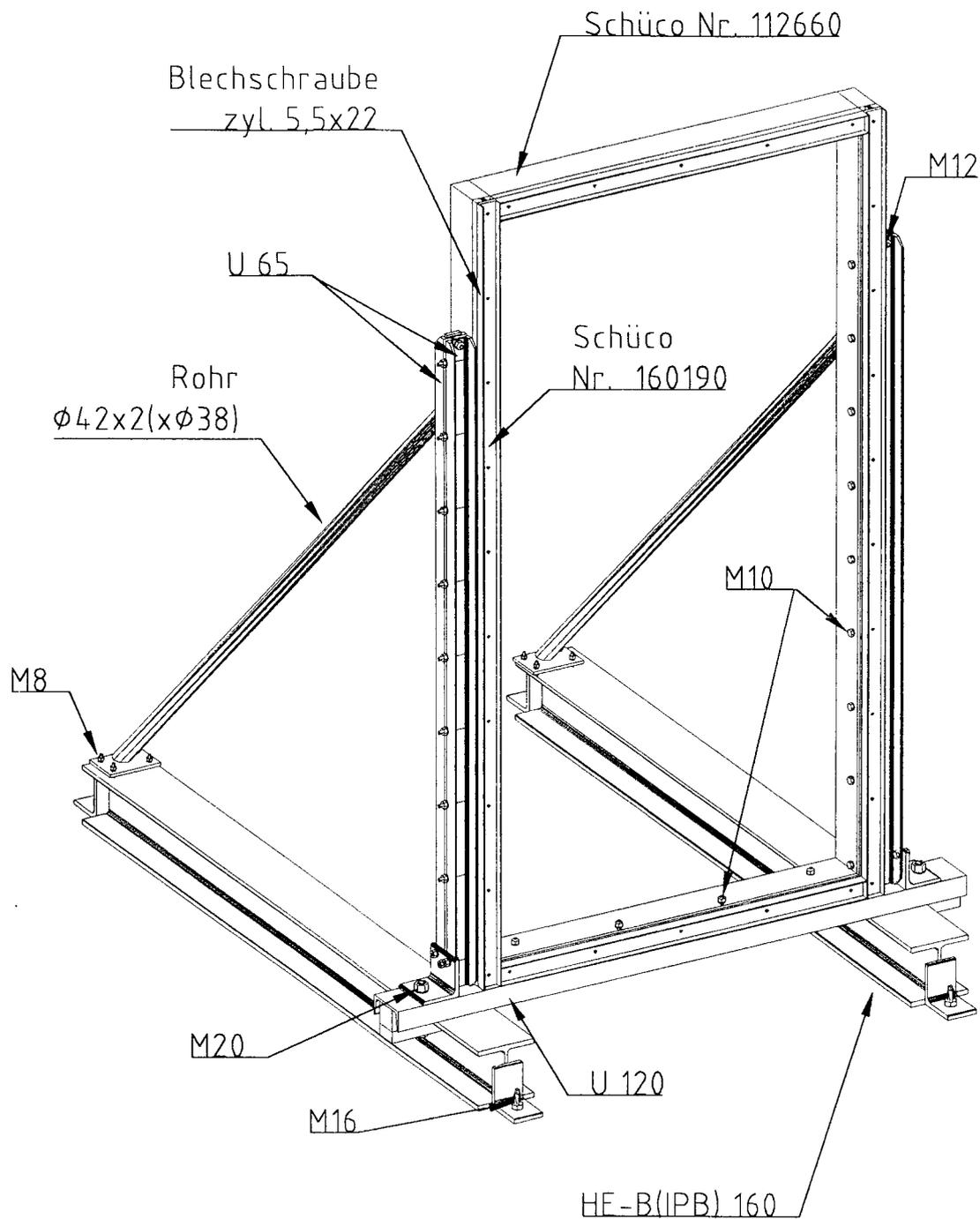
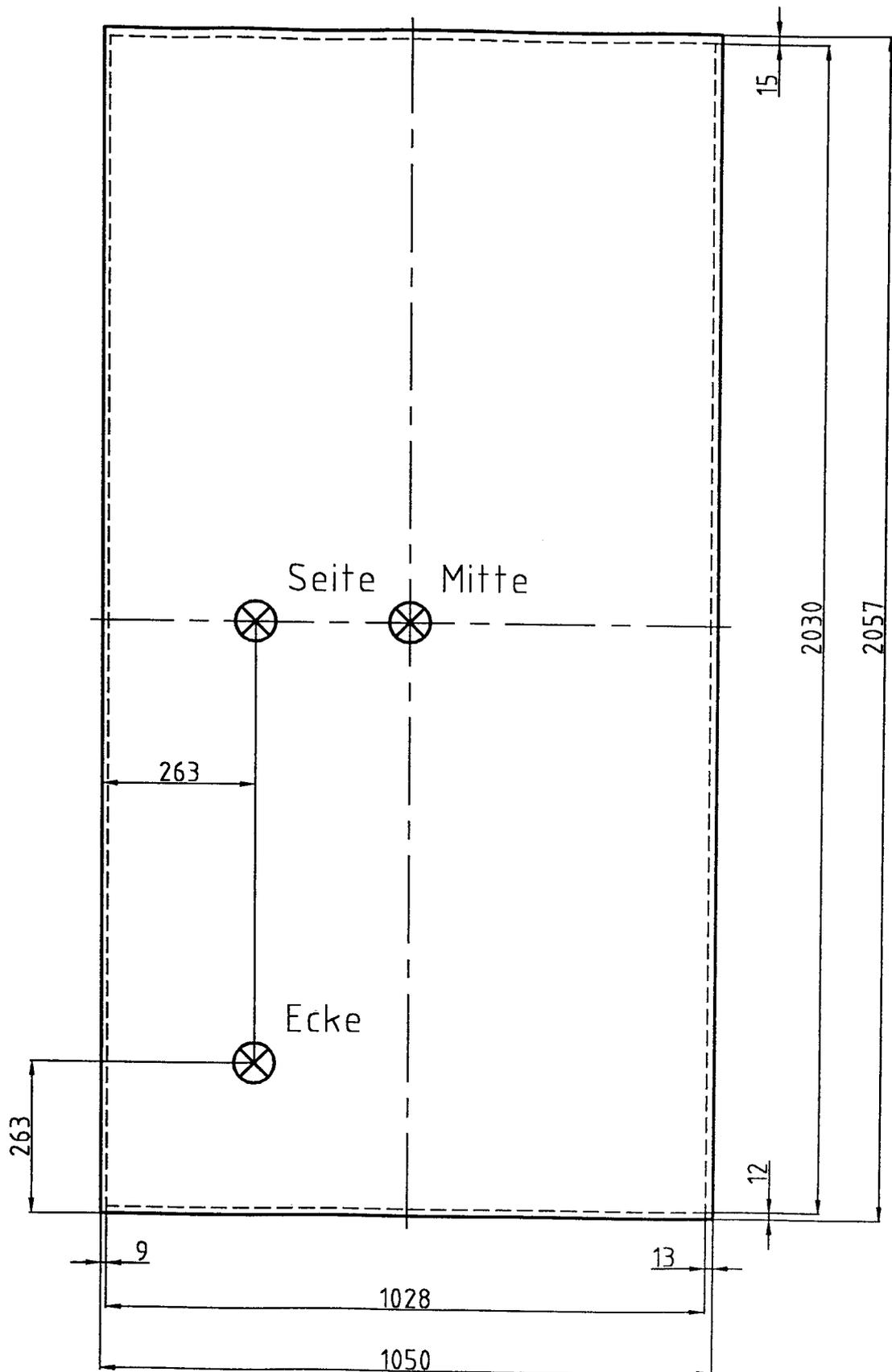
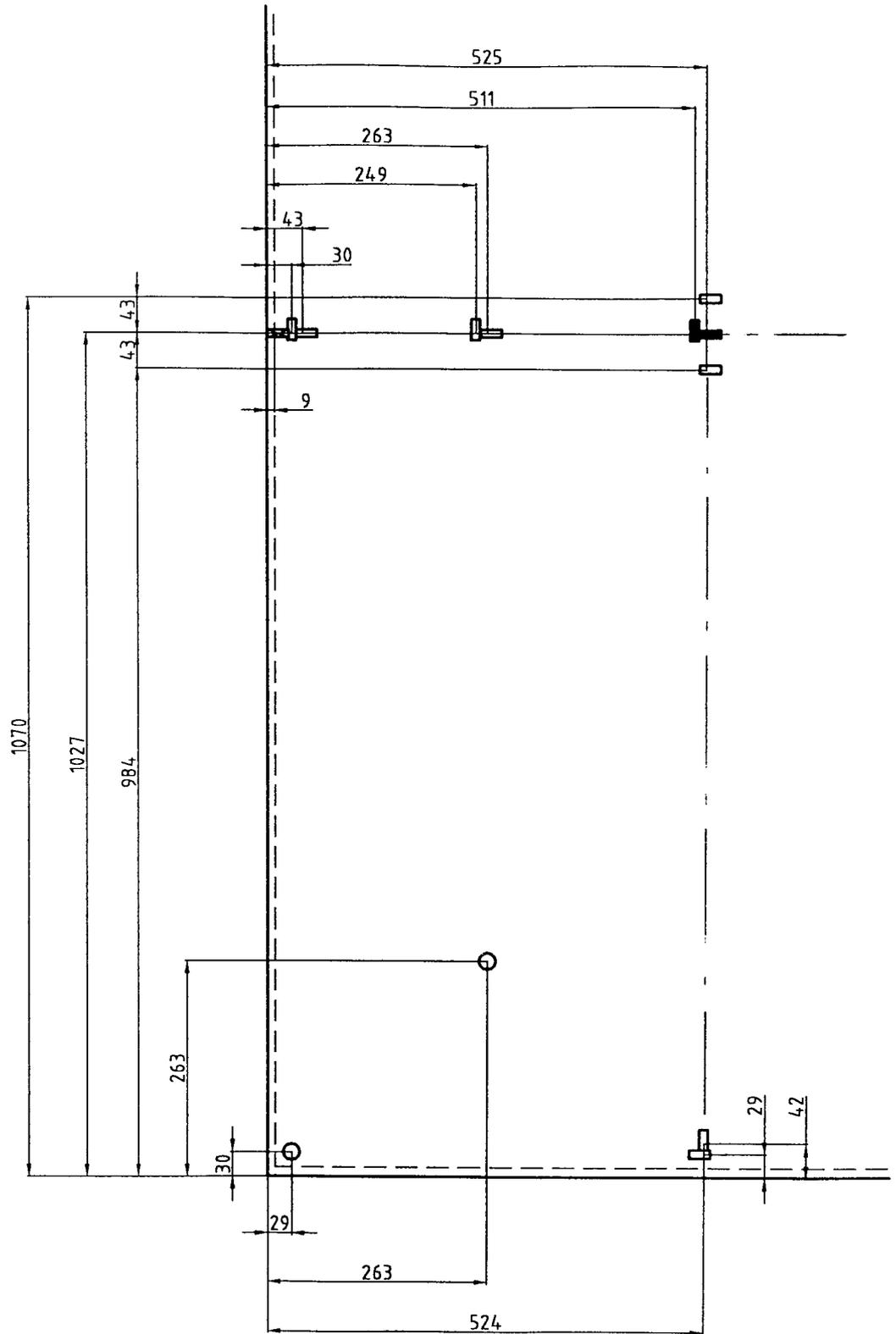


Bild 1b: Aufbau des Prüfstands für die Versuche mit stoßartiger Belastung von flächenhaften Elementen



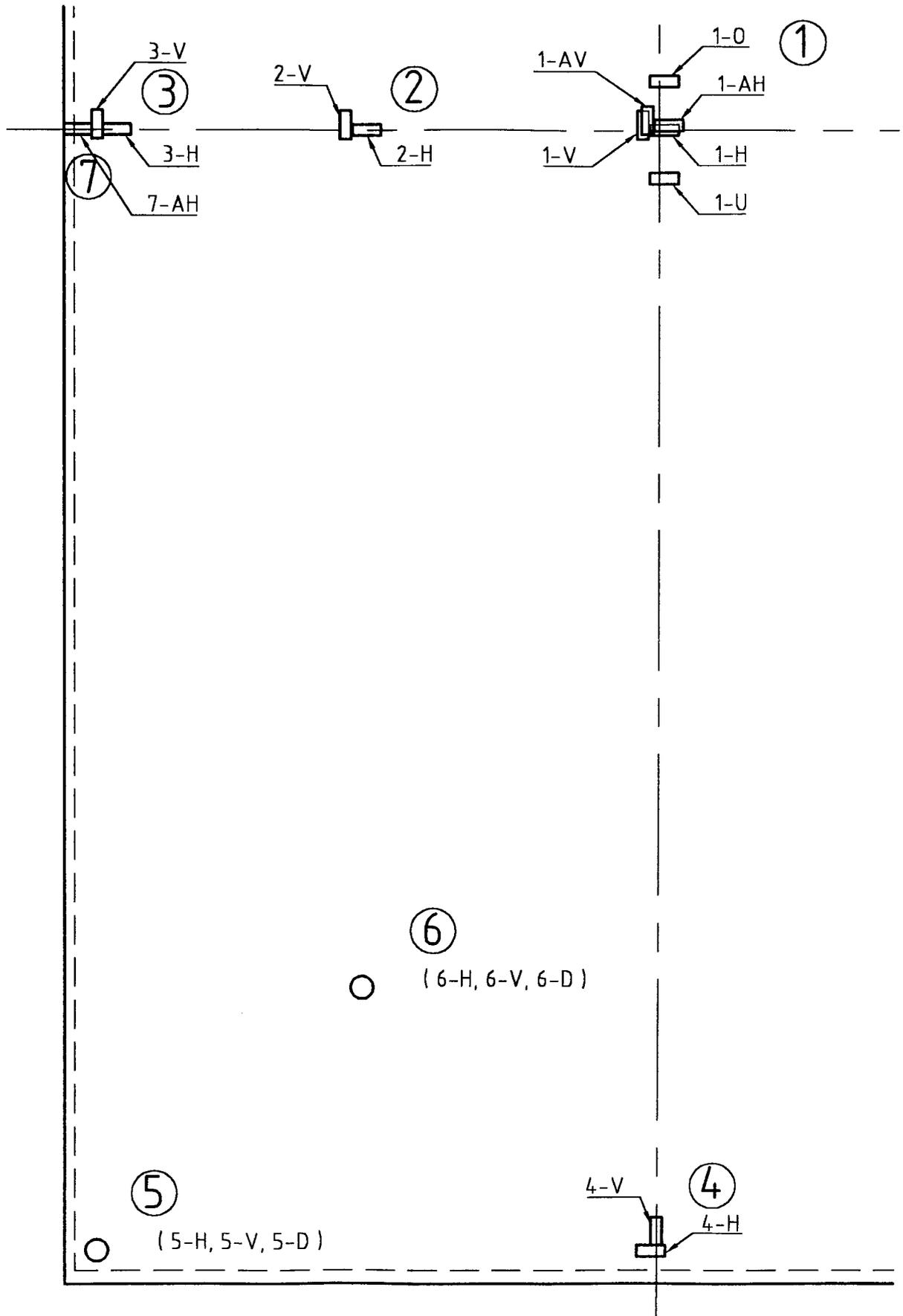
⊗ Aufprallstellen

Bild 2: Abmessungen des eingebauten Elements (Scheiben aus ESG 8 mm, VSG 2 x 6 mm mit 0,76 mm - PVB-Folie bzw. Aluminiumplatte 8 mm) mit Angabe der untersuchten Aufprallstellen



- Einzel-DMS auf der Absturzseite
- Einzel-DMS auf beiden Seiten
- ▨ Einzel-DMS auf der Angriffseite
- DMS-Rosette auf der Absturzseite

Bild 3: Das von der Angriffseite aus betrachtet linke untere Viertel des Elements mit der maximalen Anzahl von Dehnmeßstreifen

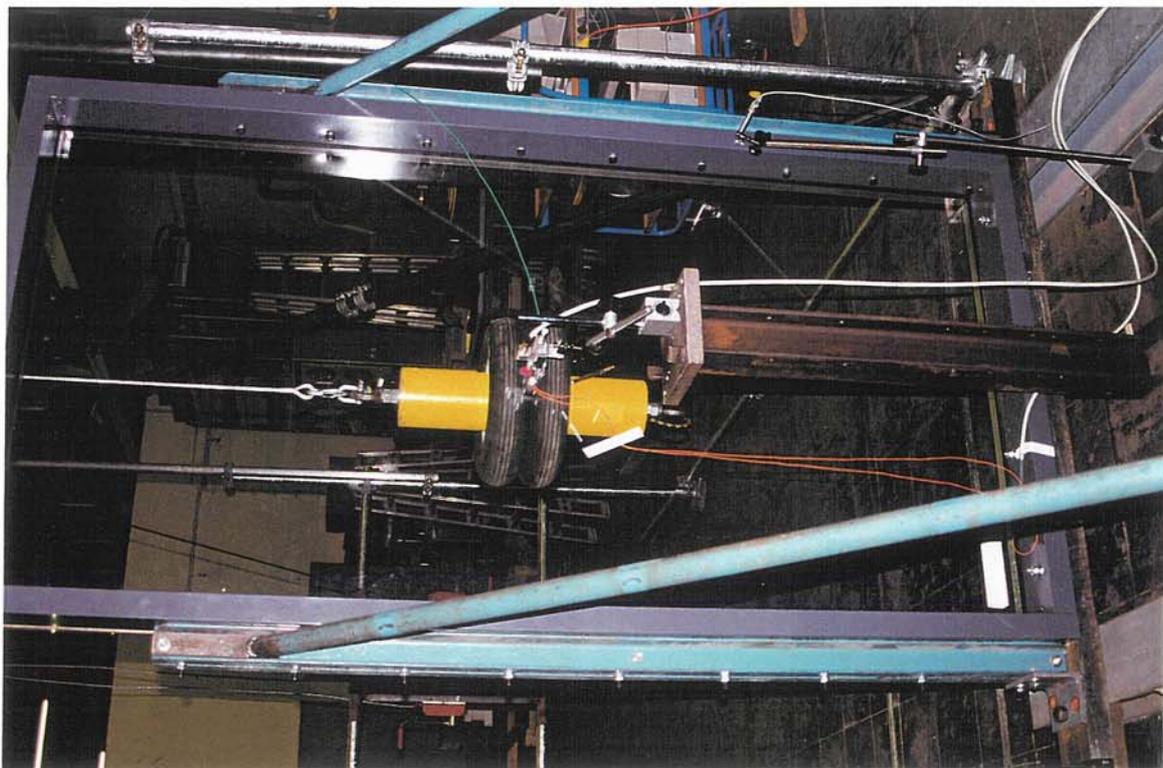


□ Einzel-DMS

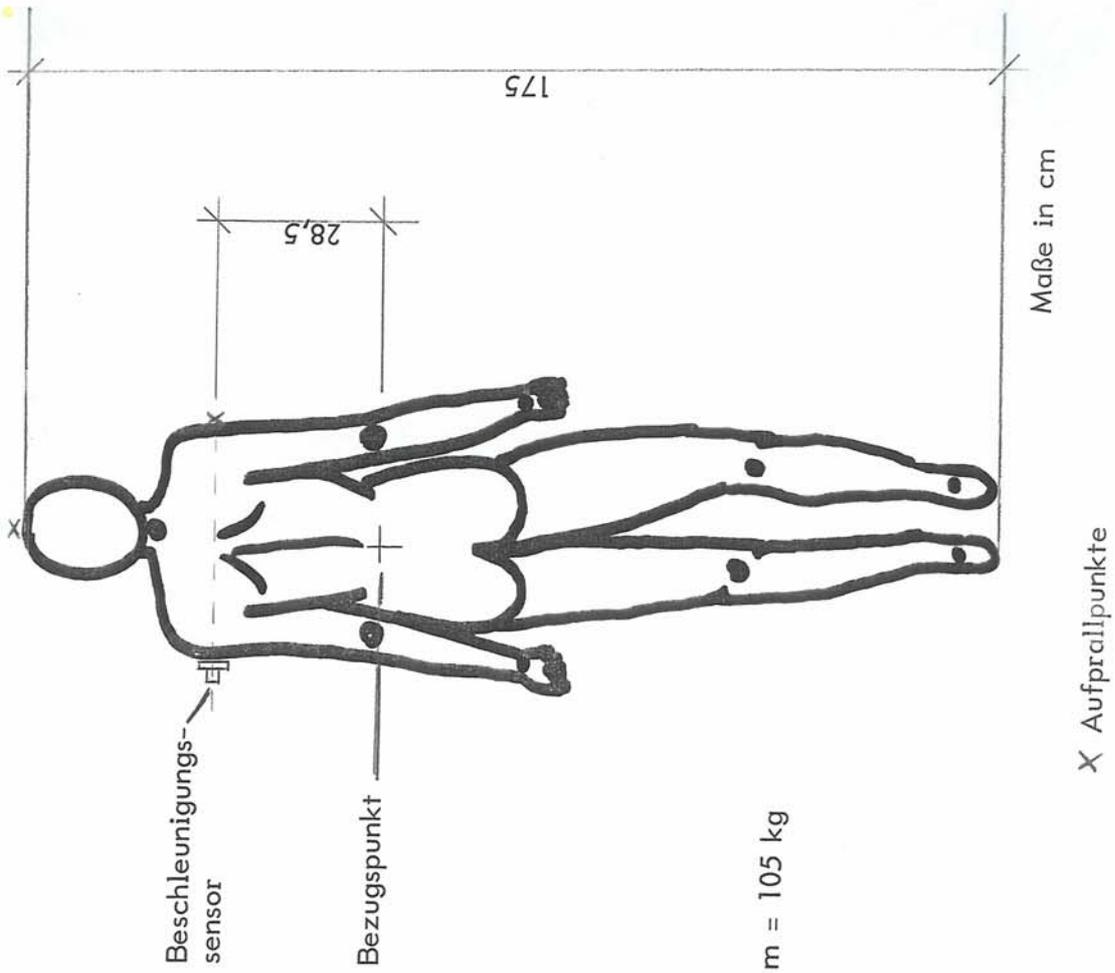
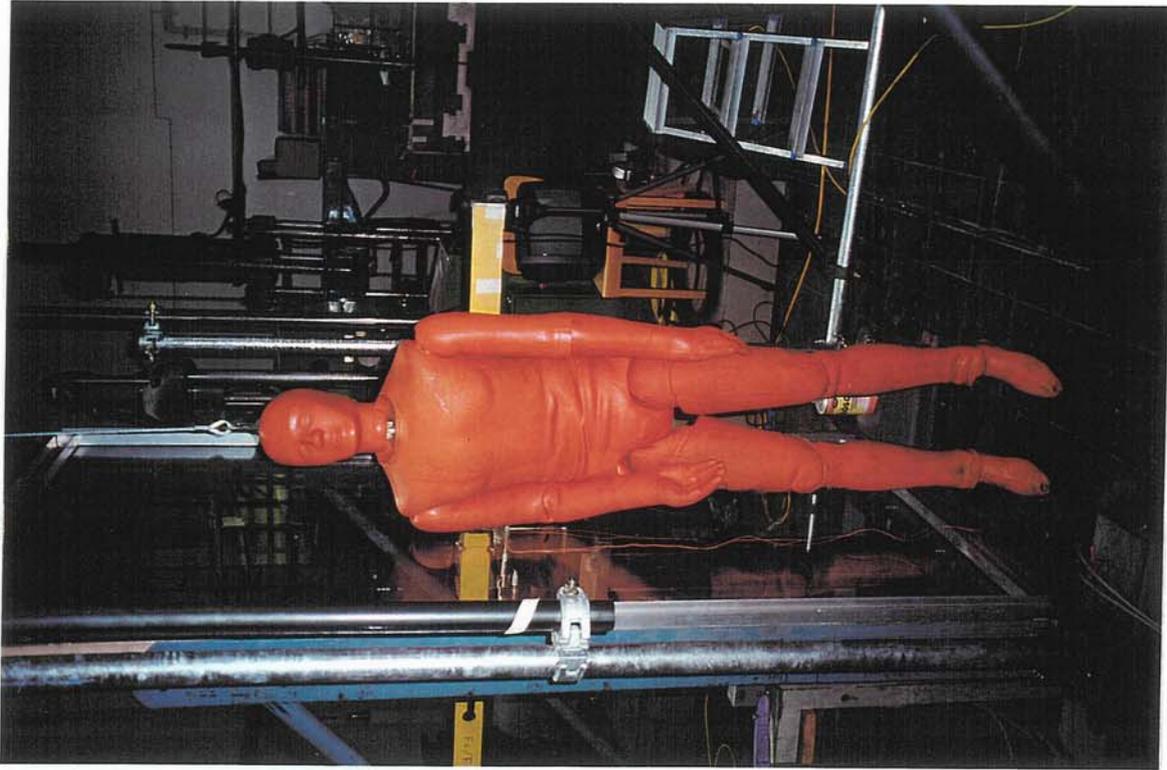
○ DMS-Rosette

M 1:5

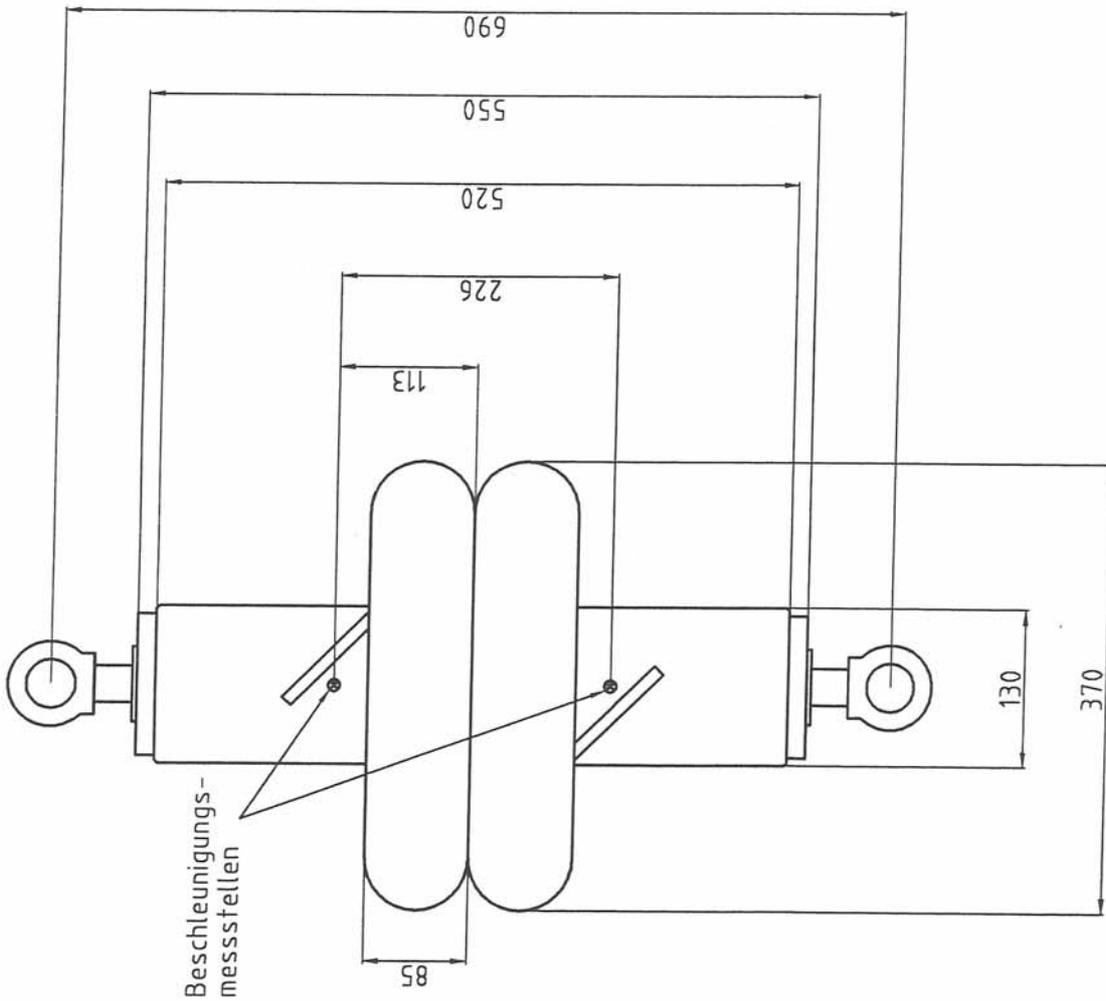
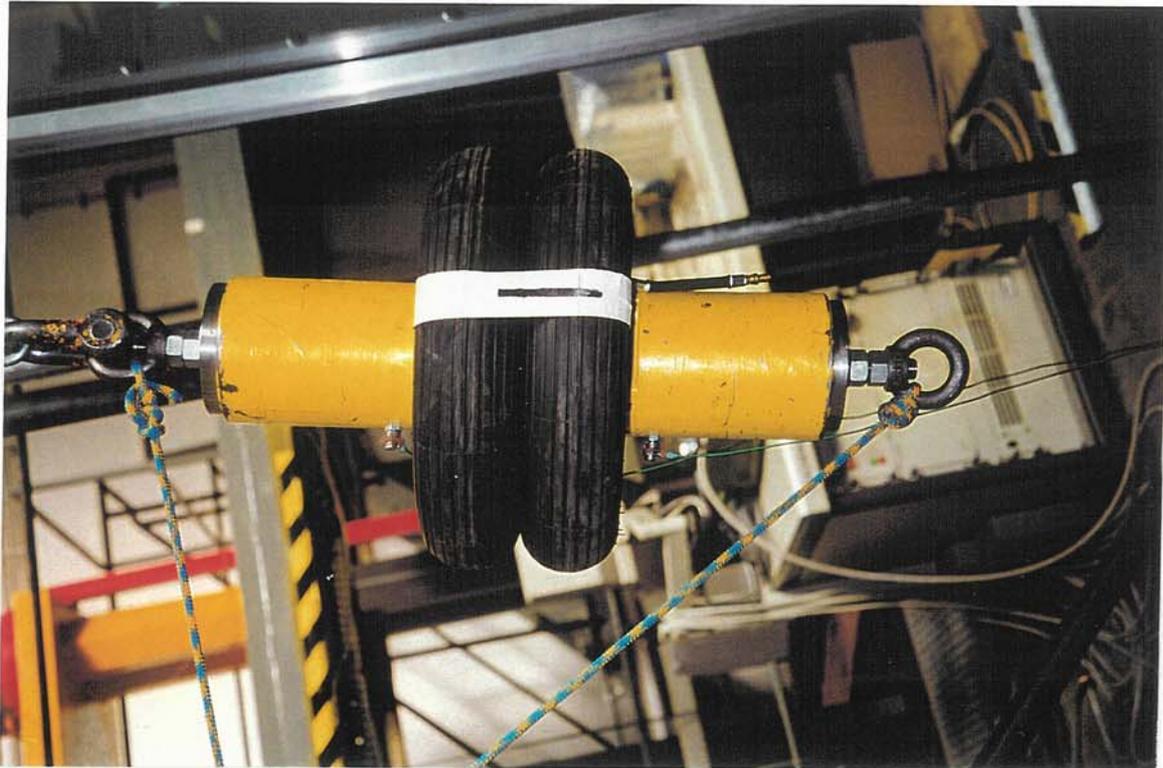
Bild 4: Elementviertel mit Angabe der Bezeichnungen der Messstellen



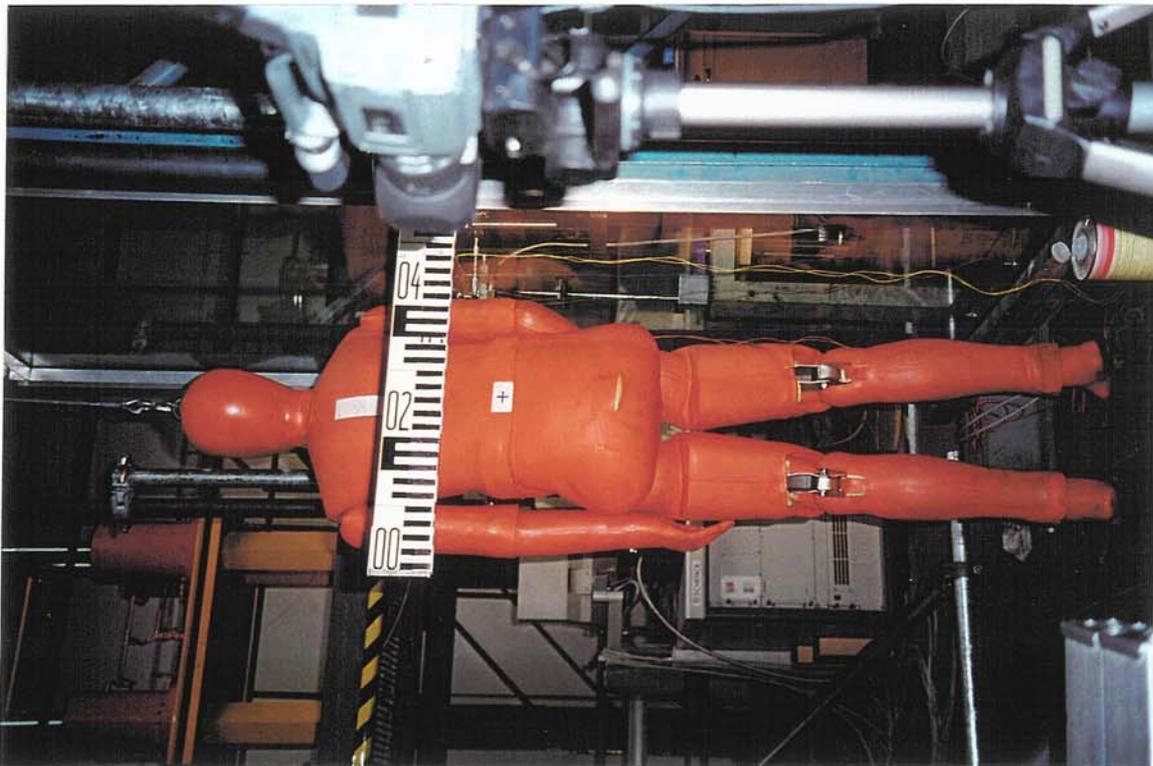
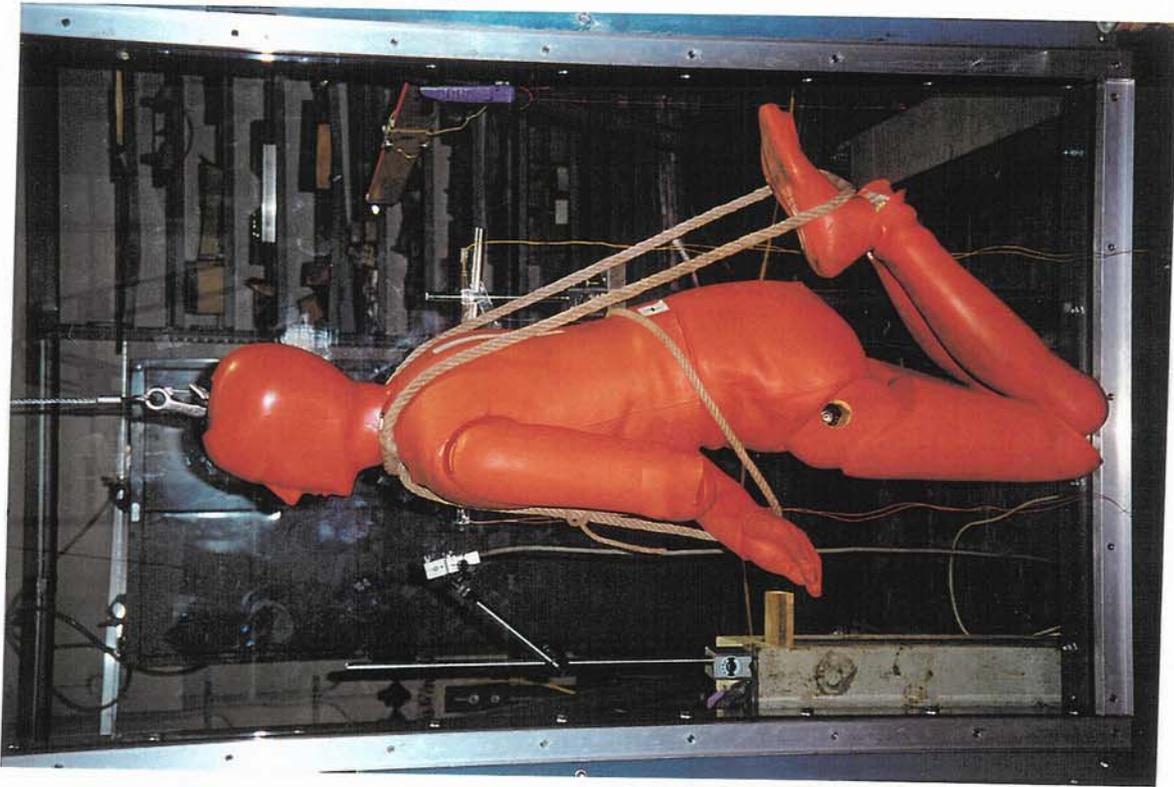
Bilder 5 und 6: Fotos des Prüfstands



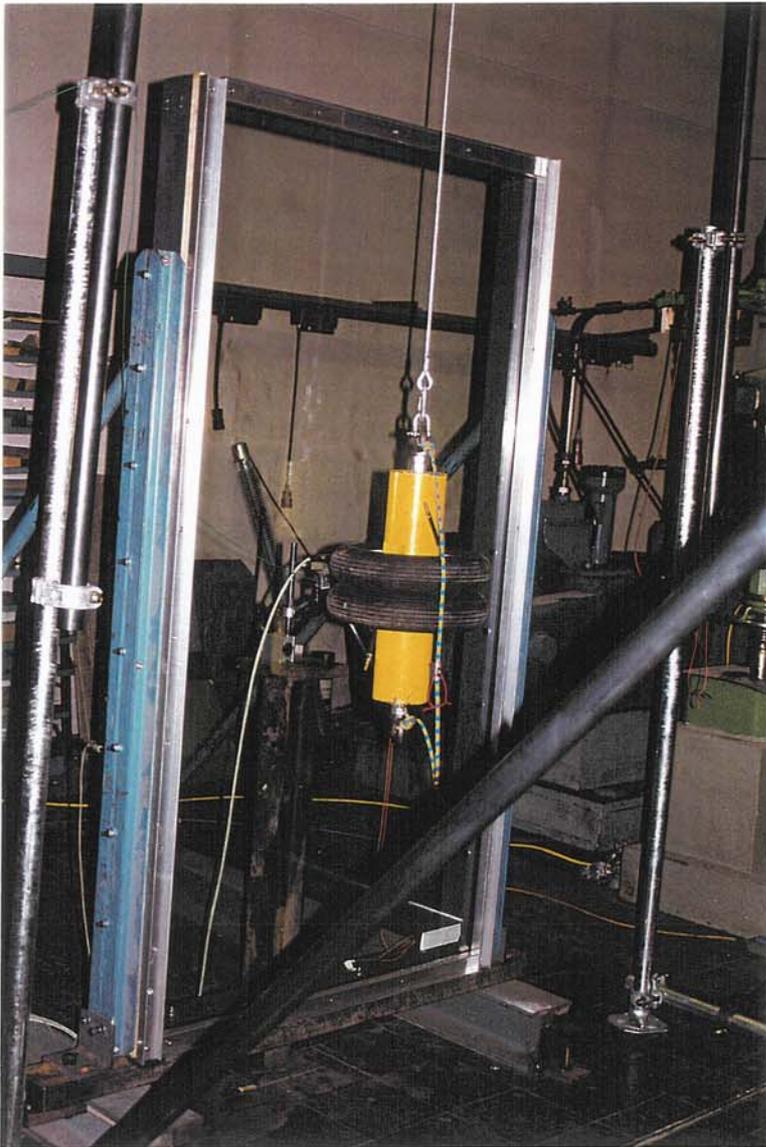
Bilder 7 und 8: Skizze (links) und Foto des Dummys (rechts)



Bilder 9 und 10: Skizze (links) und Foto des Zwillingsreifens (rechts)



Bilder 11 und 12: Versuchsaufbau mit Dummy



Bilder 13 und 14:
Versuchsaufbau mit
Zwillingsreifen

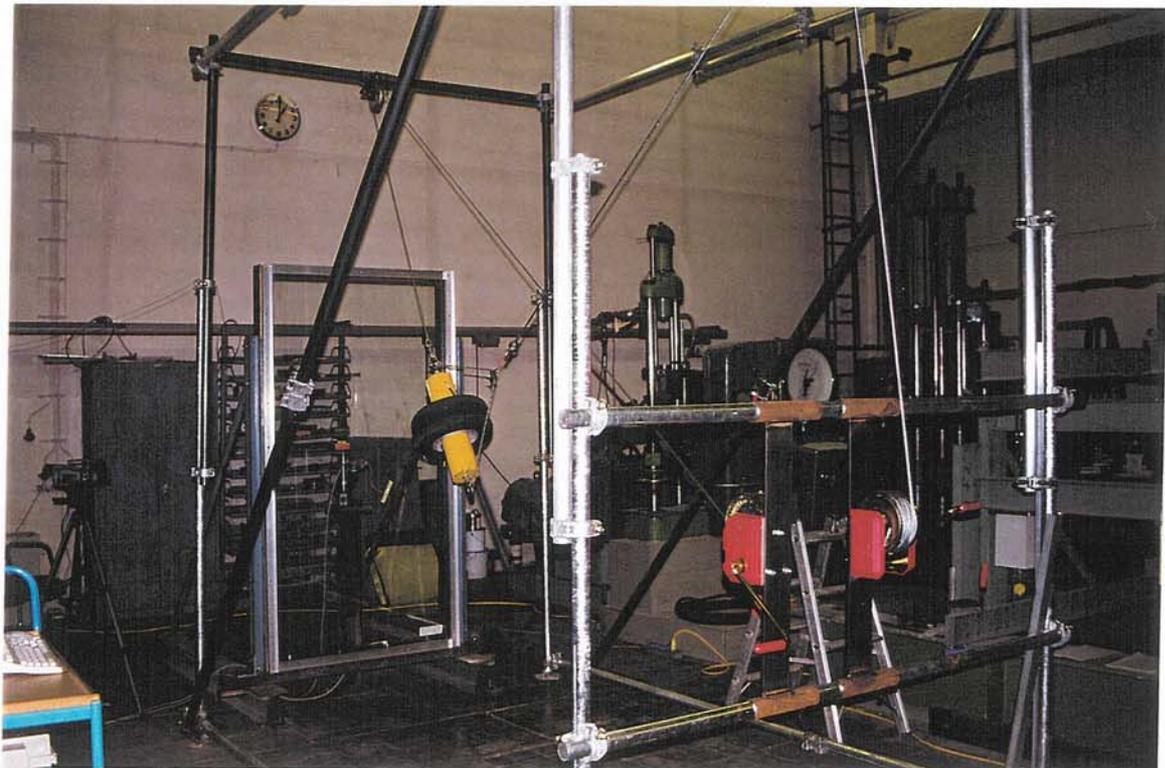
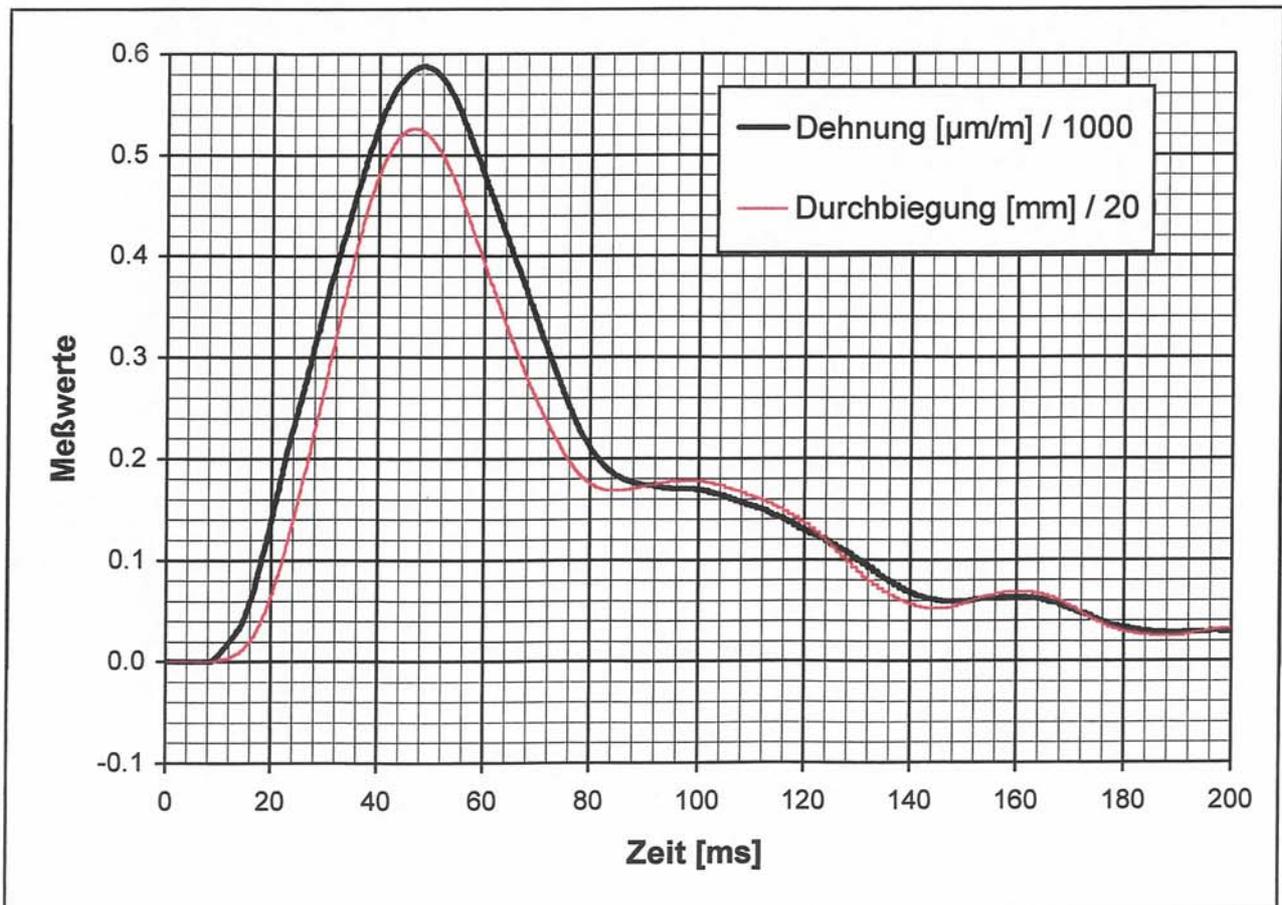
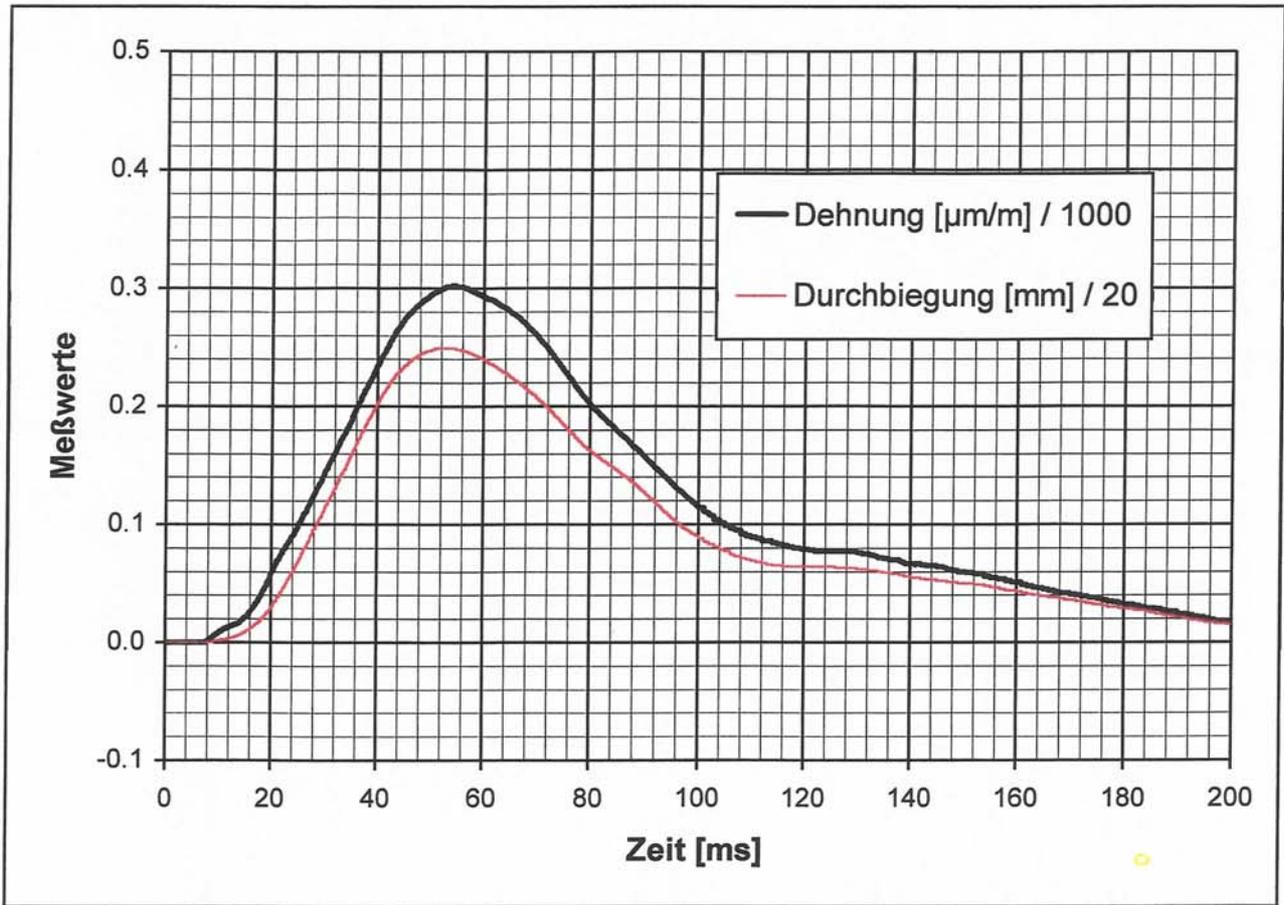


Tabelle 3: Ergebnisse der Versuchsreihe 1 mit Menschen

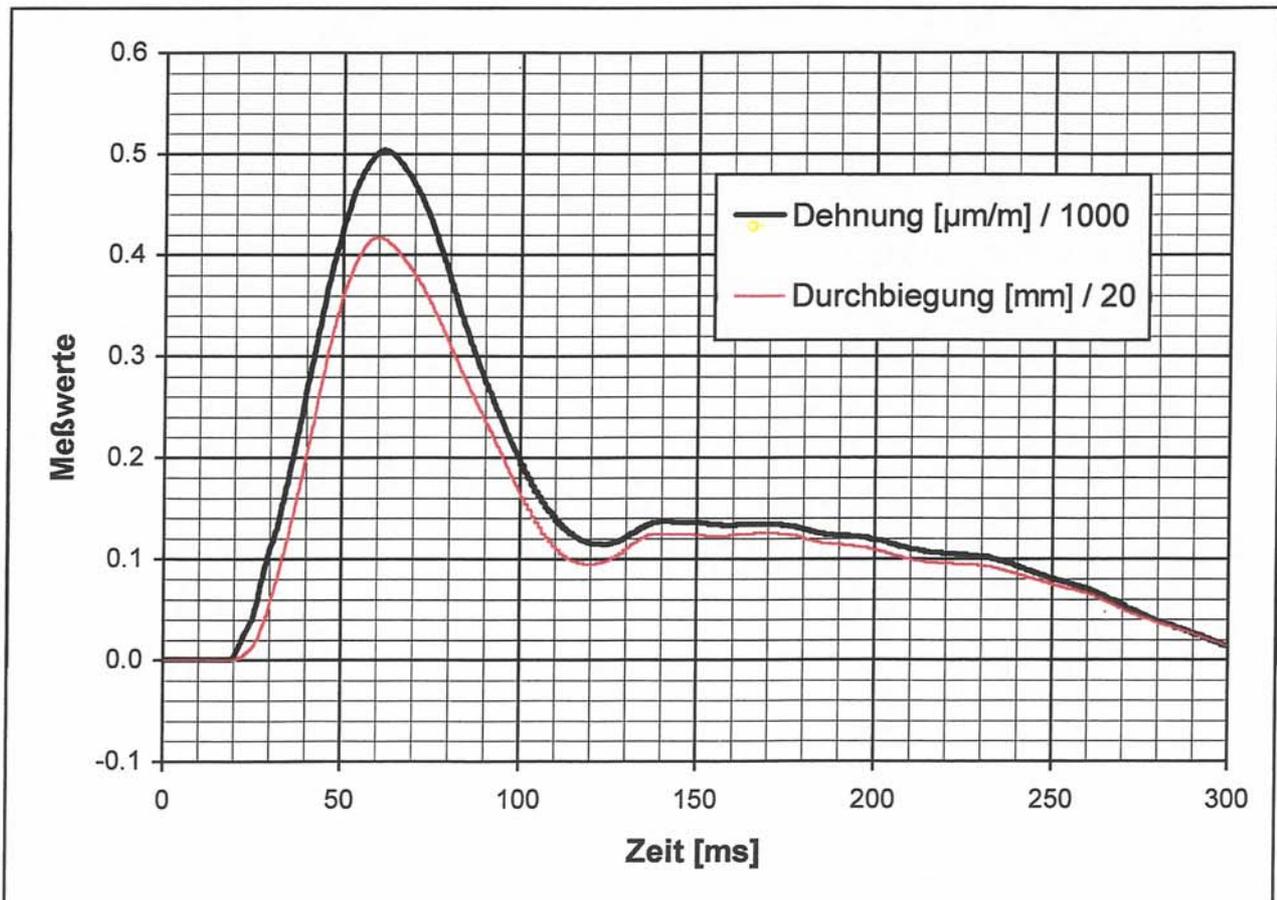
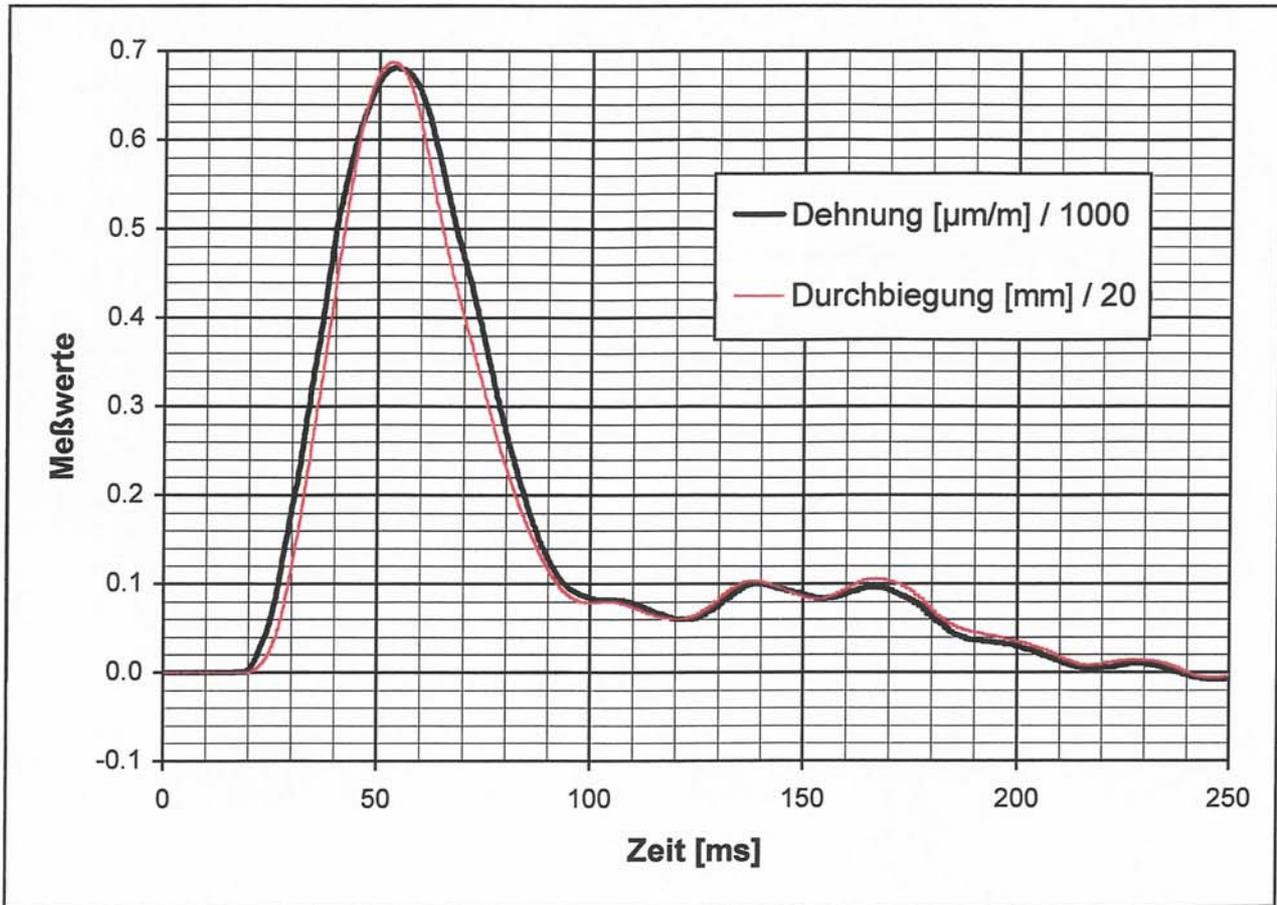
Ver- such Nr.	Mensch	Ge- wicht	Ge- schwin- digkeit 1)	Impuls 2)	Stoßzeit			Höchstwerte		
					T-max 3)	T-30% 4)	T-10% 5)	Deh- nung 6)	Beschleuni- gung der Scheibe ⁷⁾	Durch- bie- gung ⁷⁾
		kg	m/s	kgm/s	ms	ms	ms	µm/m	m/s ²	mm
1.1	A	75,7	1,4	109	46	101	175	318	15	5,0
1.2			1,9	145	39	79	157	588	35	10,5
1.3 ⁸⁾			2,9	218	42	-	-	770	49	14,1
1.4 ⁹⁾			3,1	236	37	67	98	742	57	13,7
1.5		76,5	2,2	165	42	88	253	504	24	8,3
1.6			2,9	220	38	66	137	747	51	13,9
1.7 ⁸⁾	B	89,0	1,3	119	67	-	-	327	15	5,4
1.8			1,7	150	71	124	188	481	22	8,0
1.9			1,9	166	42	93	201	465	15	8,0
1.10	C	81,5	1,5	121	53	120	169	335	9	5,5
1.11			2,4	196	45	88	132	523	25	9,1
1.12			2,2	176	43	89	131	438	20	8,1

Anmerkungen:

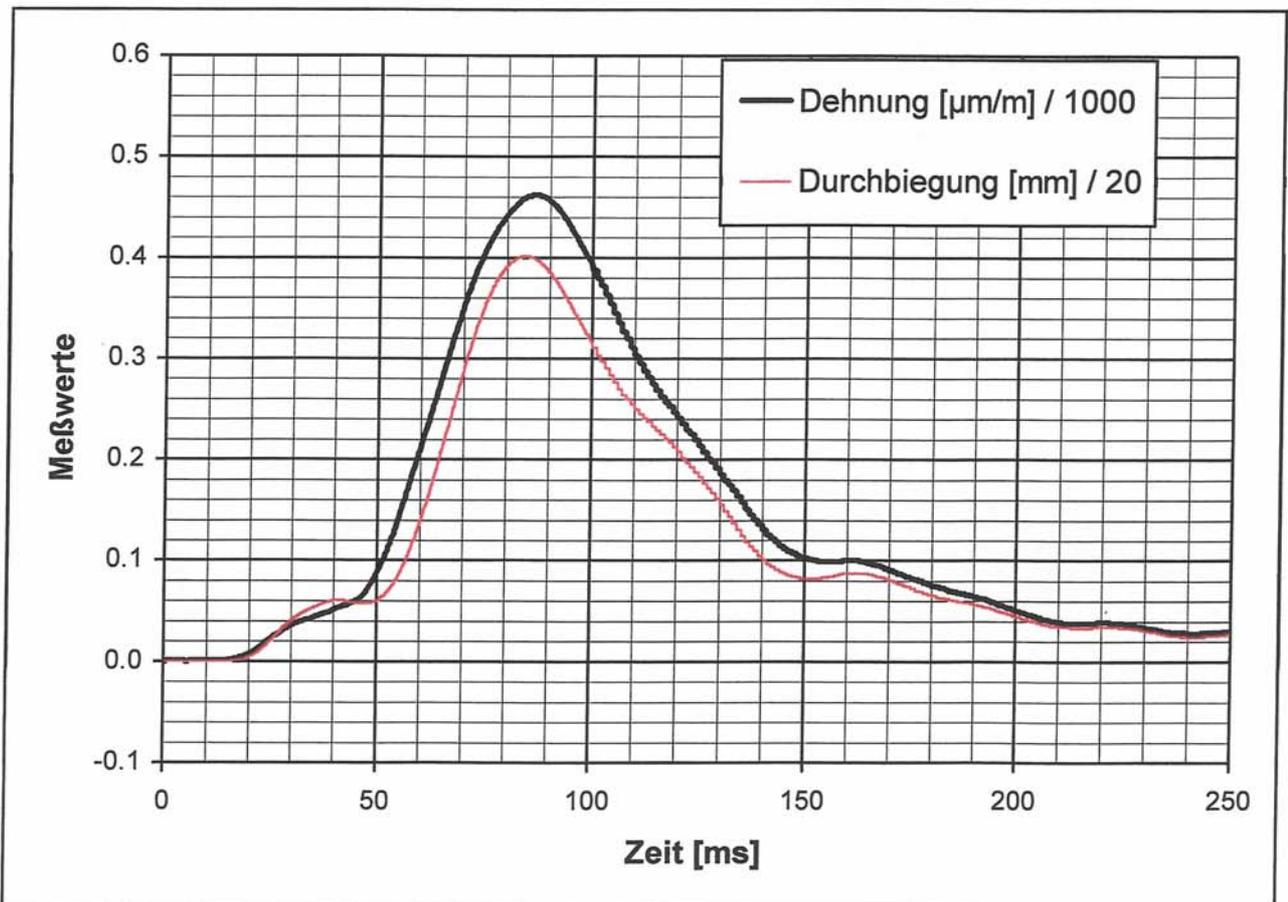
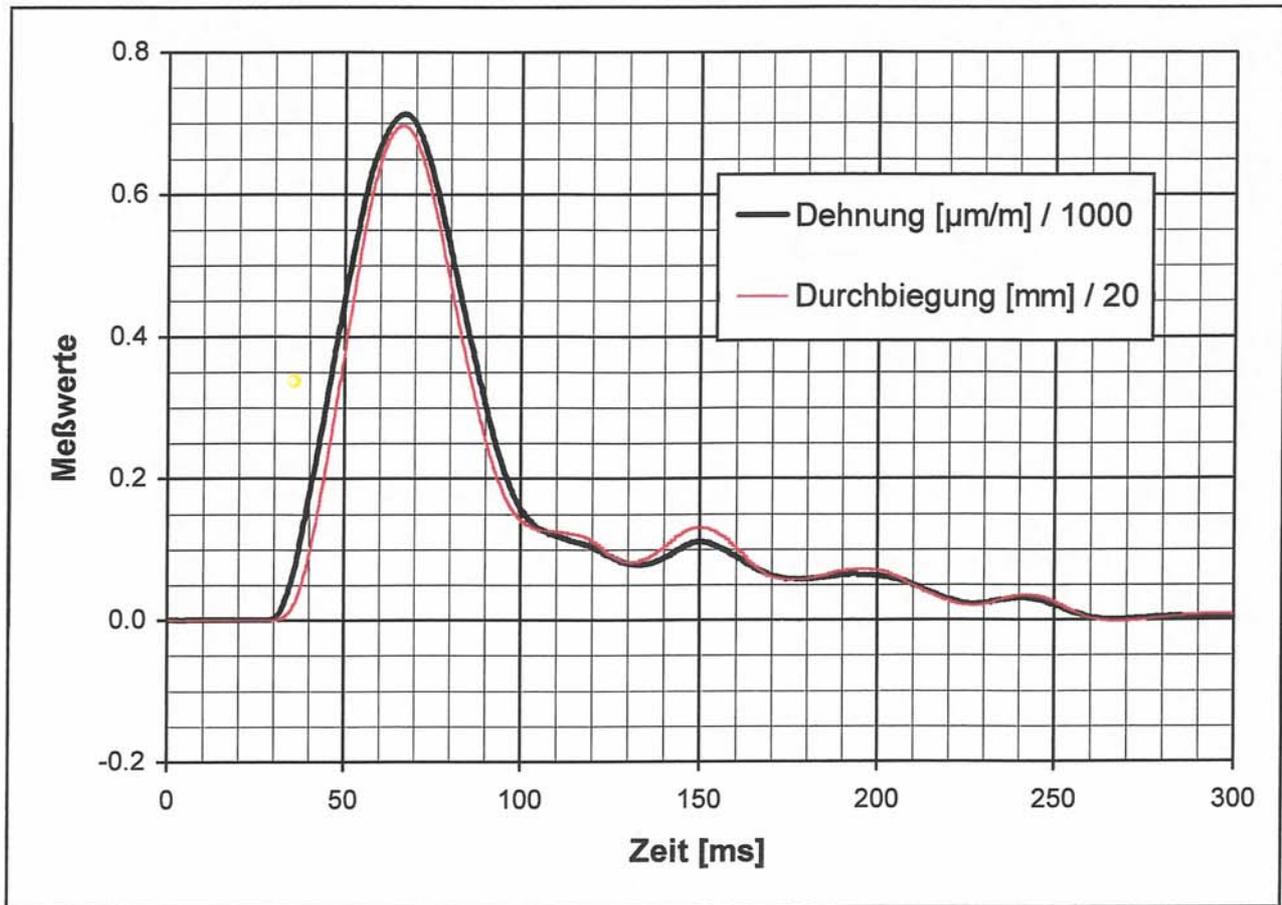
- 1) Geschwindigkeitsmessung mit einer Videoanlage
- 2) Impuls = Gewicht x Geschwindigkeit
- 3) T-max ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Erreichen der größten horizontalen Dehnung in der Scheibenmitte.
- 4) T-30% ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Erreichen von 30 % der größten horizontalen Dehnung der Scheibenmitte während der Entlastungsphase.
- 5) T-10% ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Erreichen von 10 % der größten horizontalen Dehnung der Scheibenmitte während der Entlastungsphase.
- 6) Größte in horizontaler Richtung gemessene Dehnung (Messstellen 1-H, 1-O oder 1-U).
- 7) Gemessen in der Scheibenmitte
- 8) Messwerte nicht vollständig gespeichert
- 9) Referenzversuch



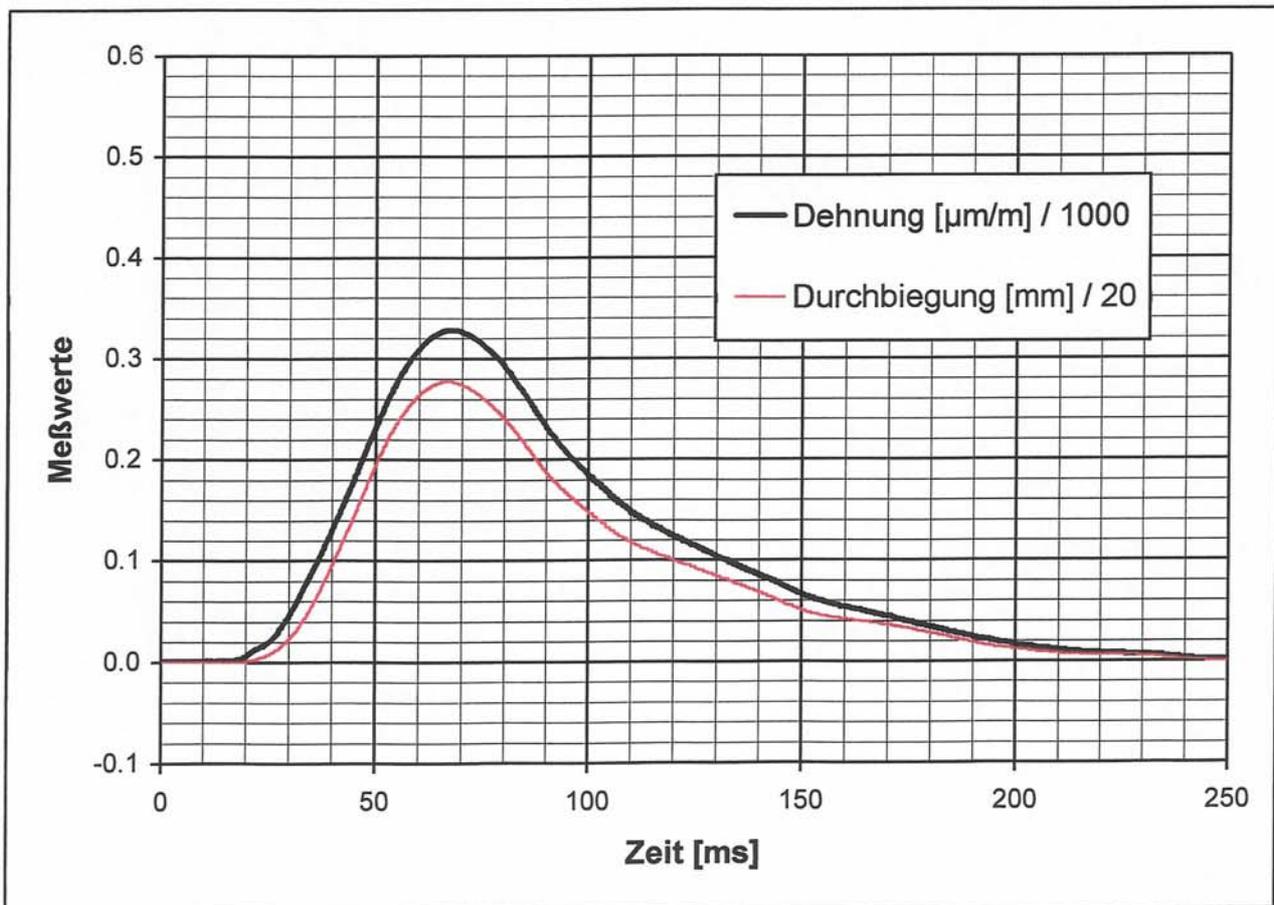
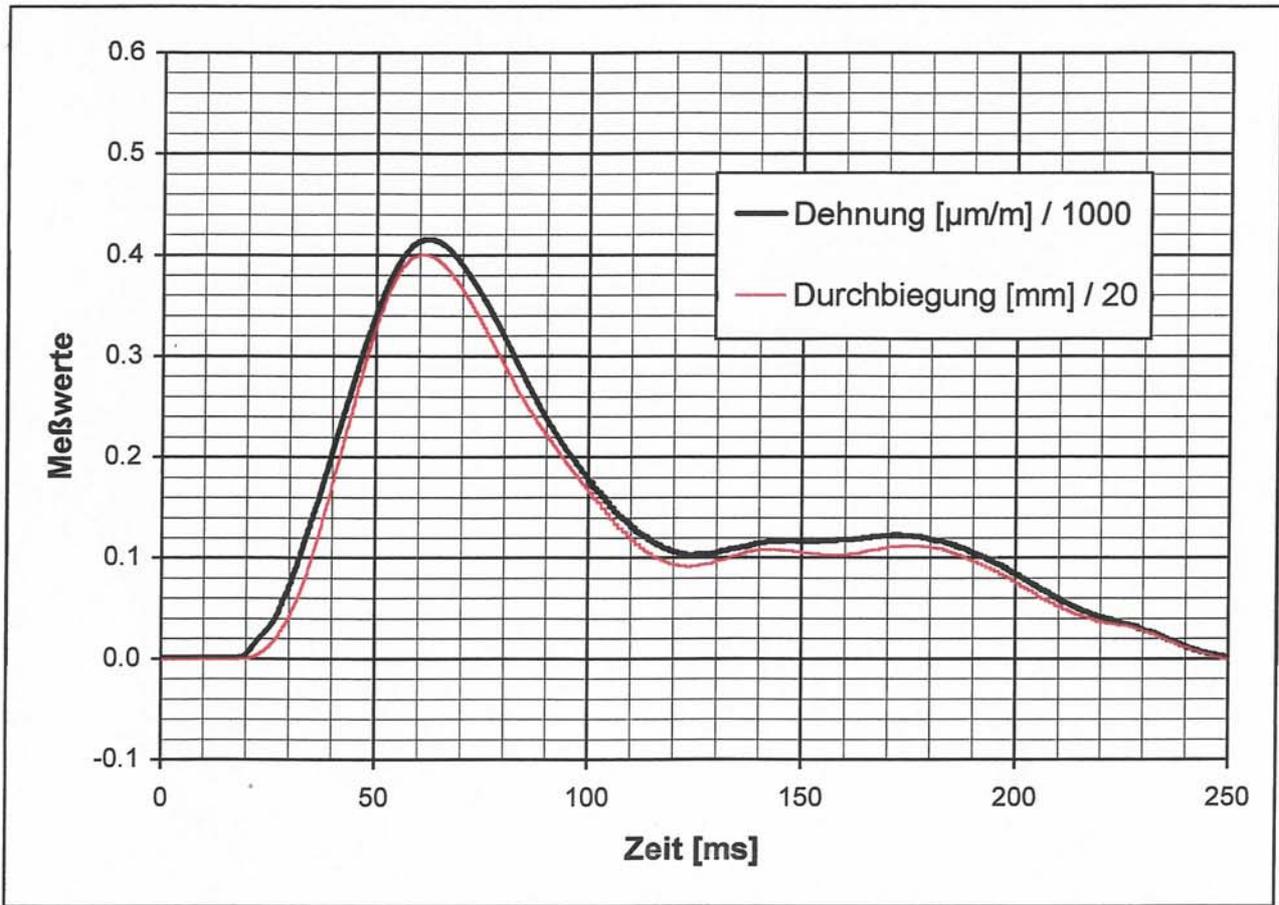
Bilder 15 und 16: Zeitliche Verläufe der Dehnung (Messstelle 1 - H) und der Durchbiegung in der Elementmitte bei den Versuchen 1.1 (oben) bzw. 1.2 (unten)



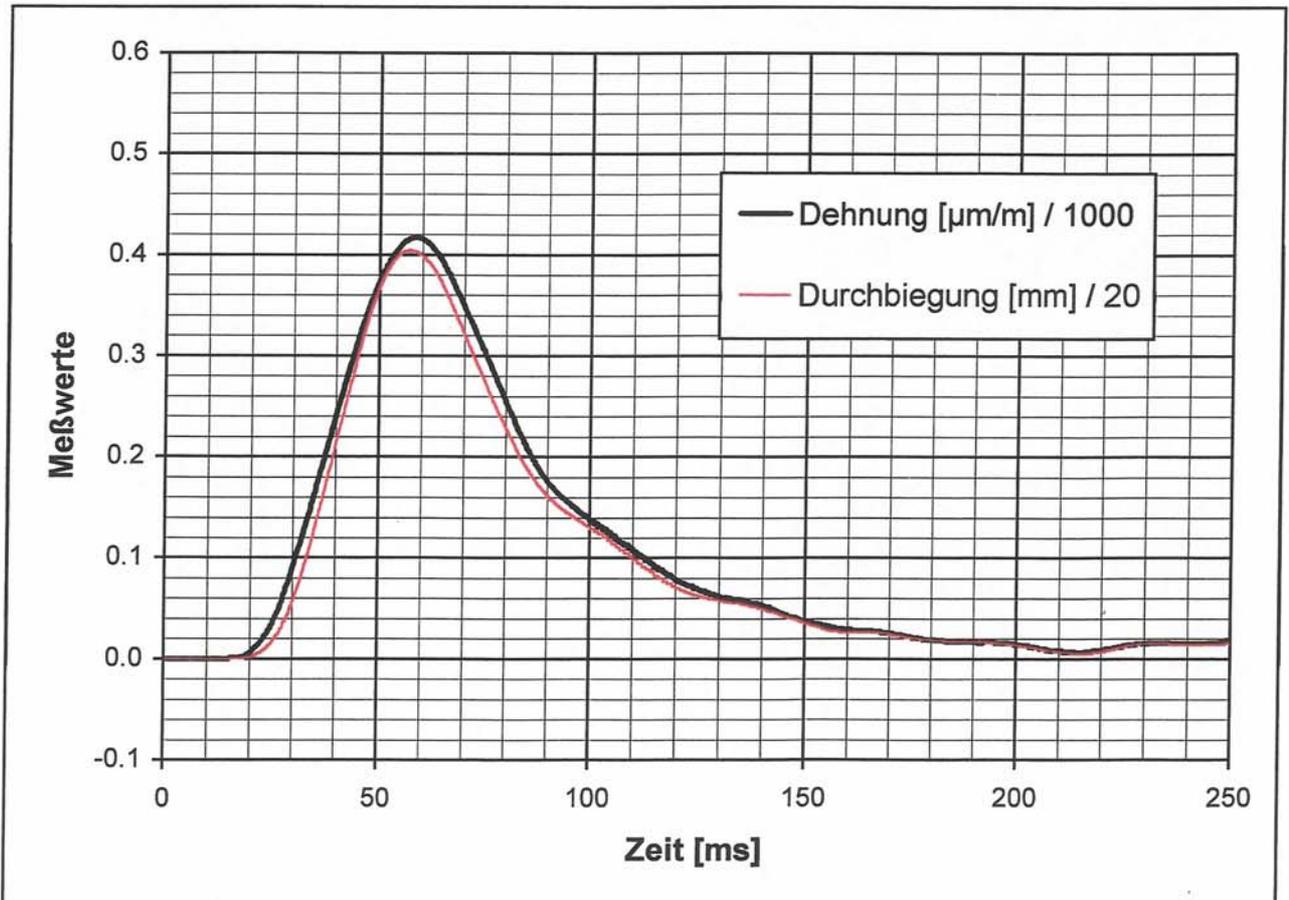
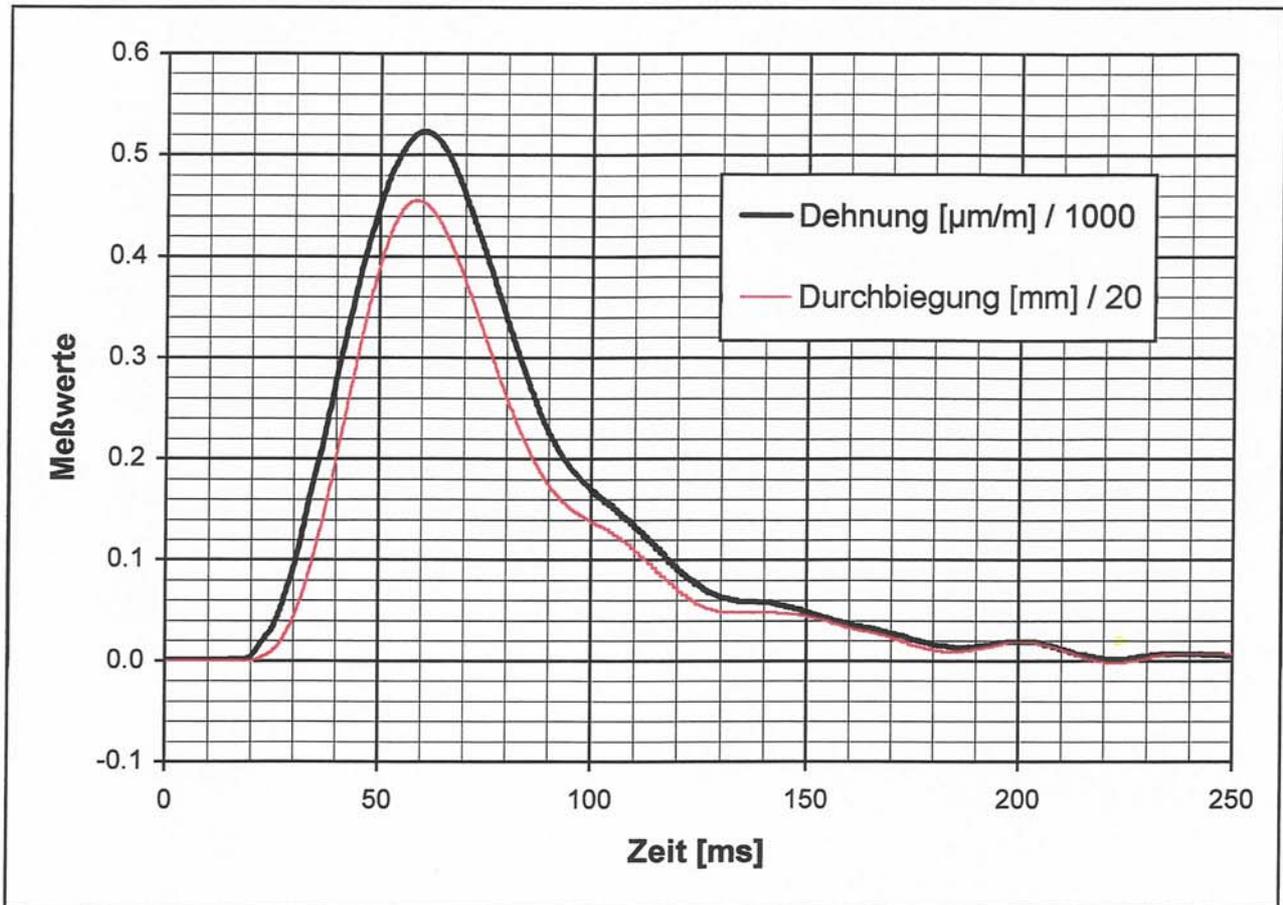
Bilder 17 und 18: Zeitliche Verläufe der Dehnung (Messstelle 1 - H) und der Durchbiegung in der Elementmitte bei den Versuchen 1.4 (oben) bzw. 1.5 (unten)



Bilder 19 und 20: Zeitliche Verläufe der Dehnung (Messstelle 1 - H) und der Durchbiegung in der Elementmitte bei den Versuchen 1.6 (oben) bzw. 1.8 (unten)



Bilder 21 und 22: Zeitliche Verläufe der Dehnung (Messstelle 1 - H) und der Durchbiegung in der Elementmitte bei den Versuchen 1.9 (oben) bzw. 1.10 (unten)



Bilder 23 und 24: Zeitliche Verläufe der Dehnung (Messstelle 1 - H) und der Durchbiegung in der Elementmitte bei den Versuchen 1.11 (oben) bzw. 1.12 (unten)

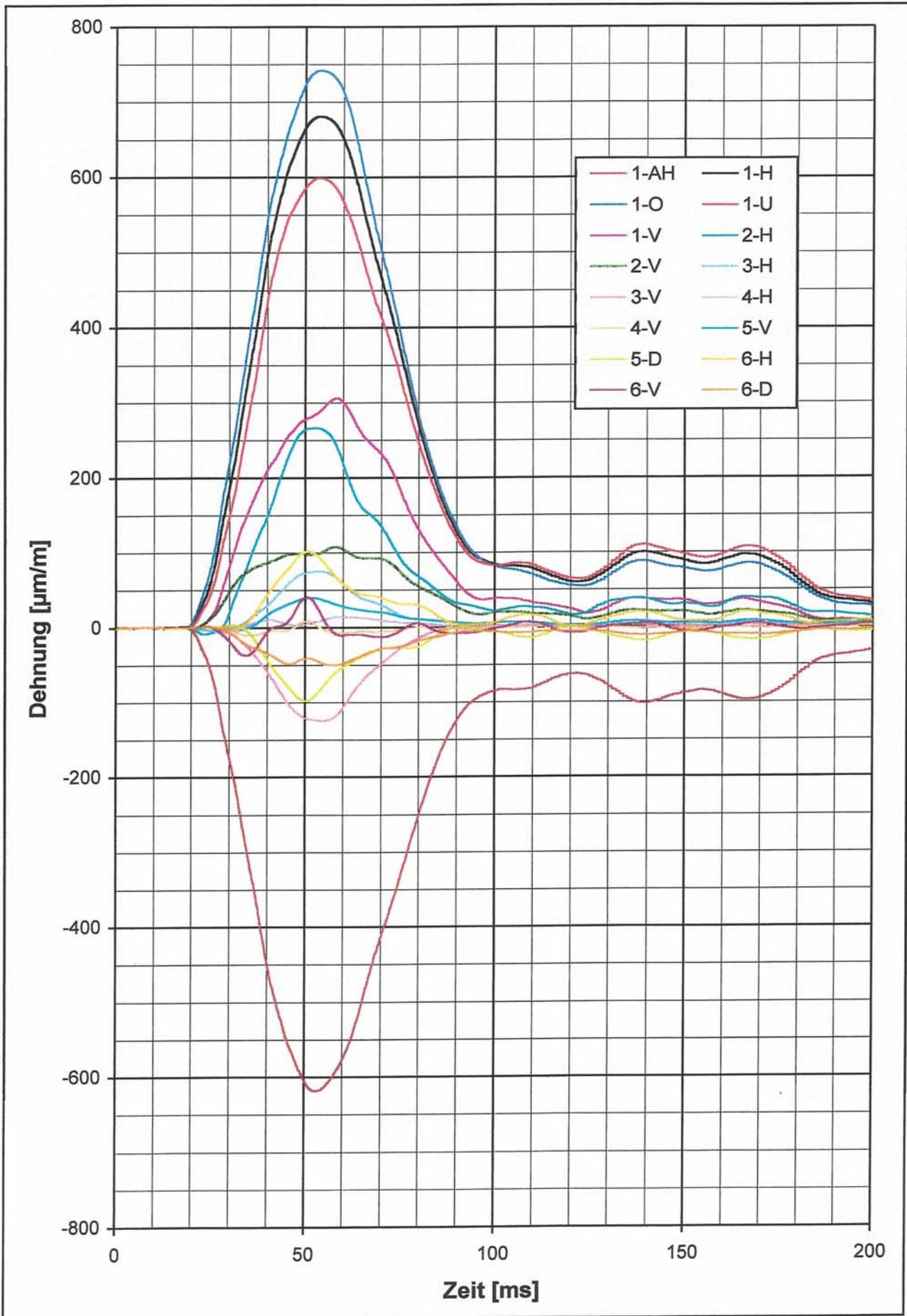
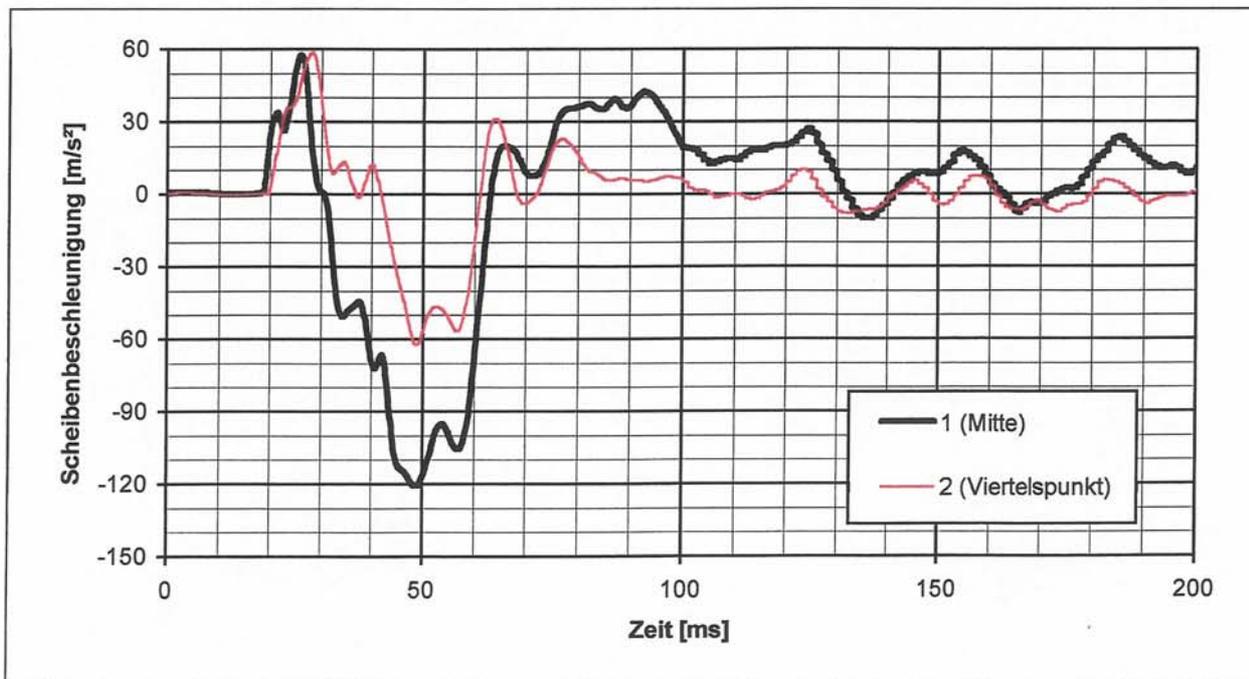
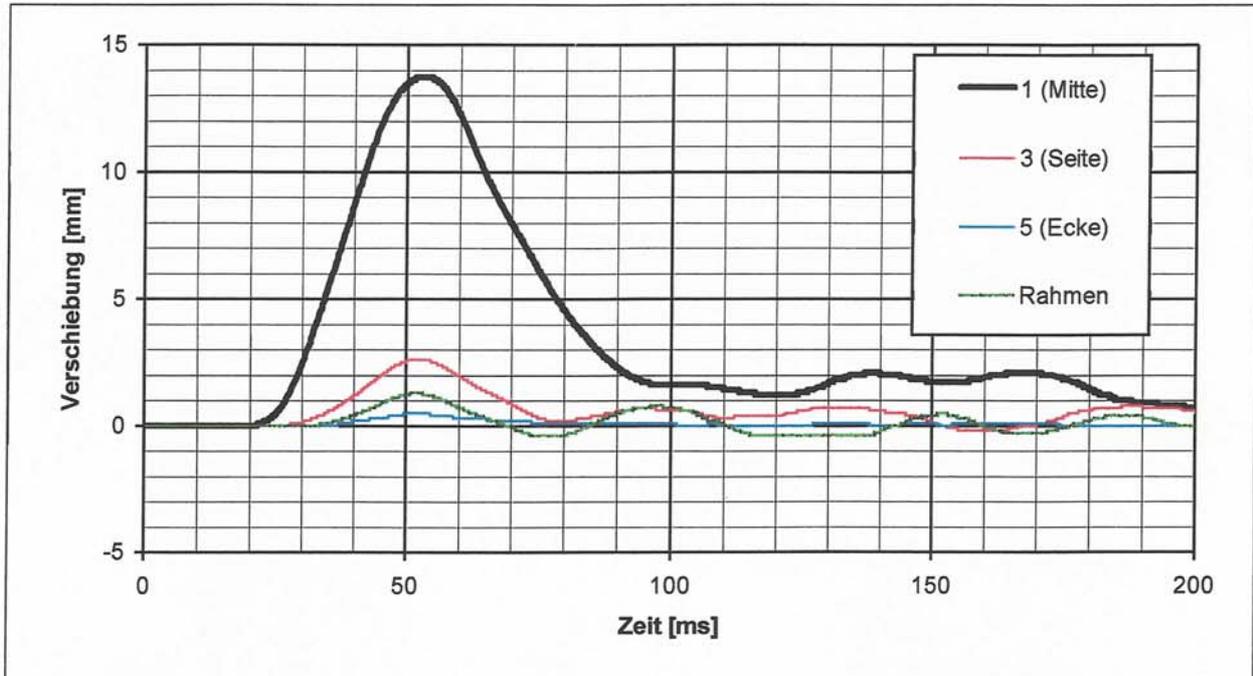
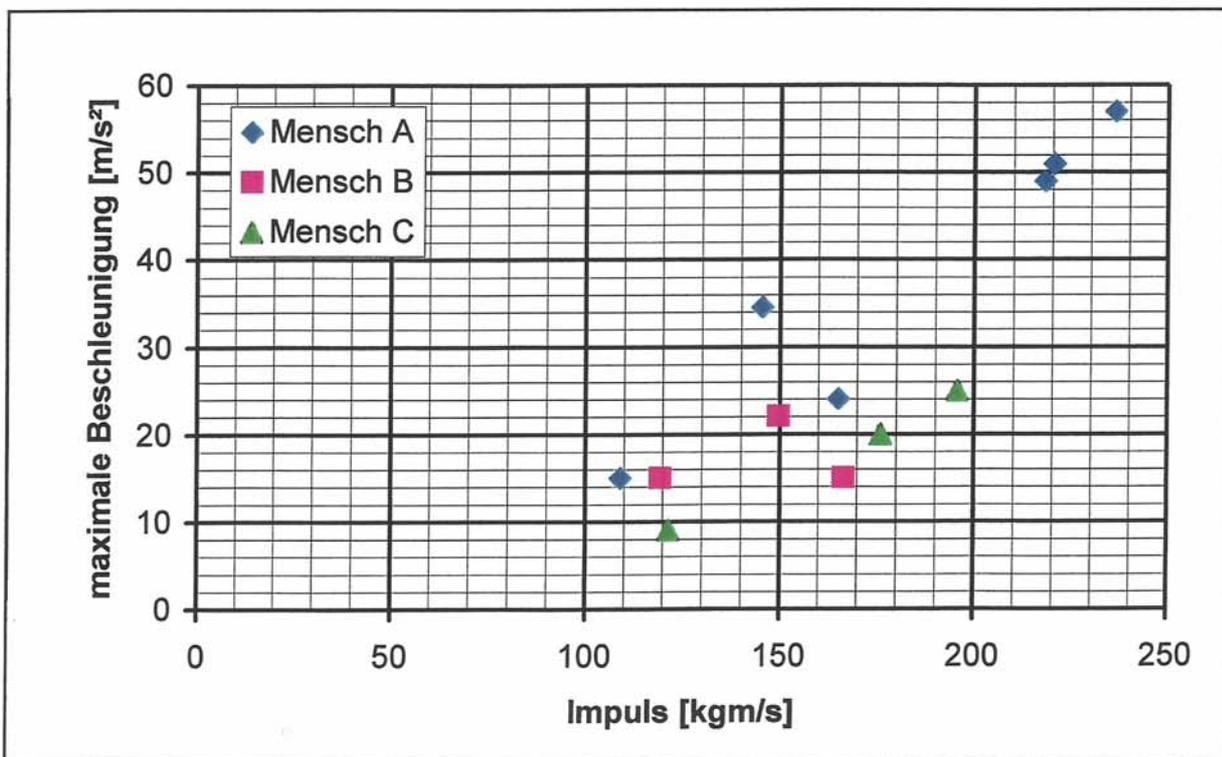
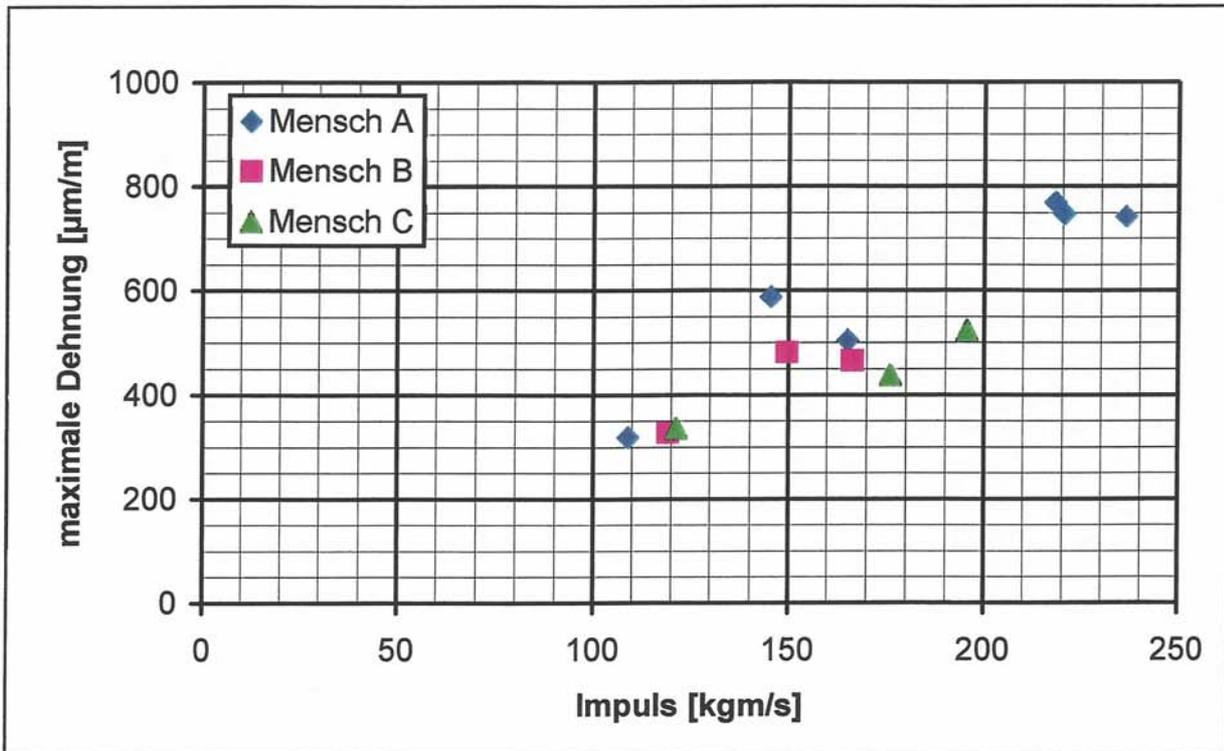


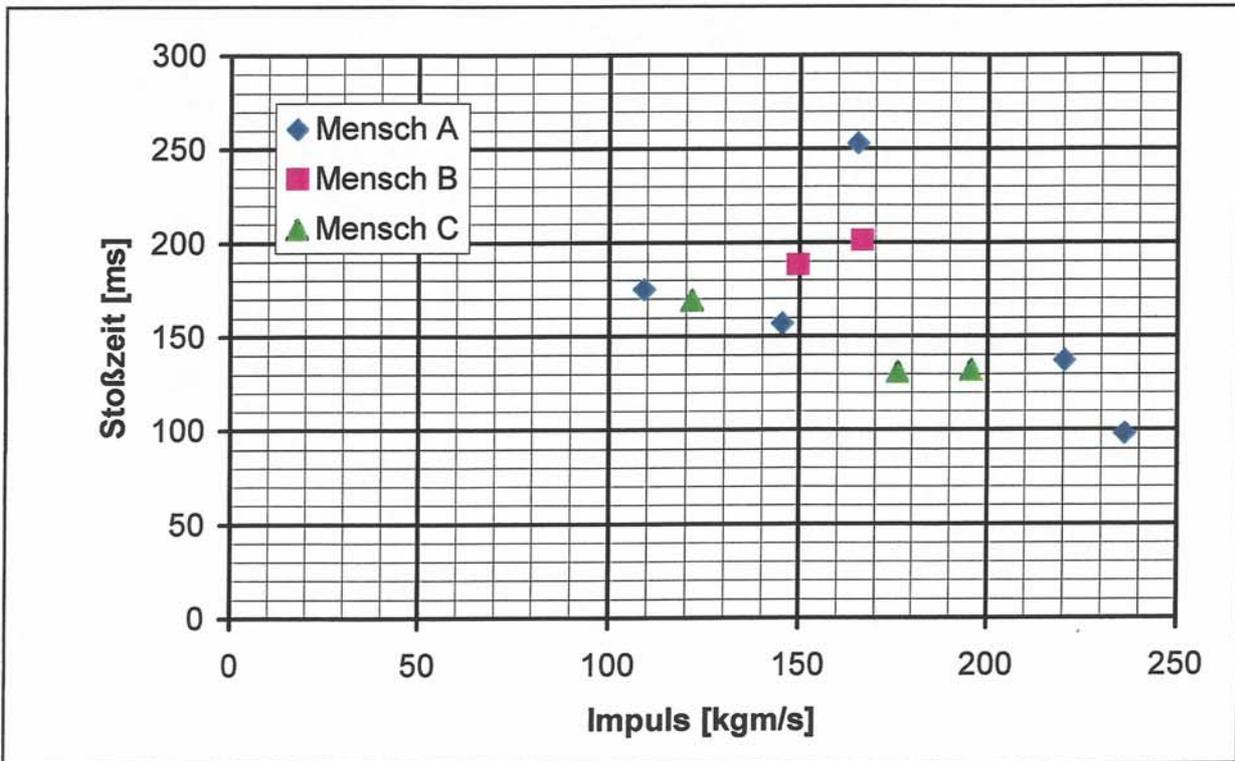
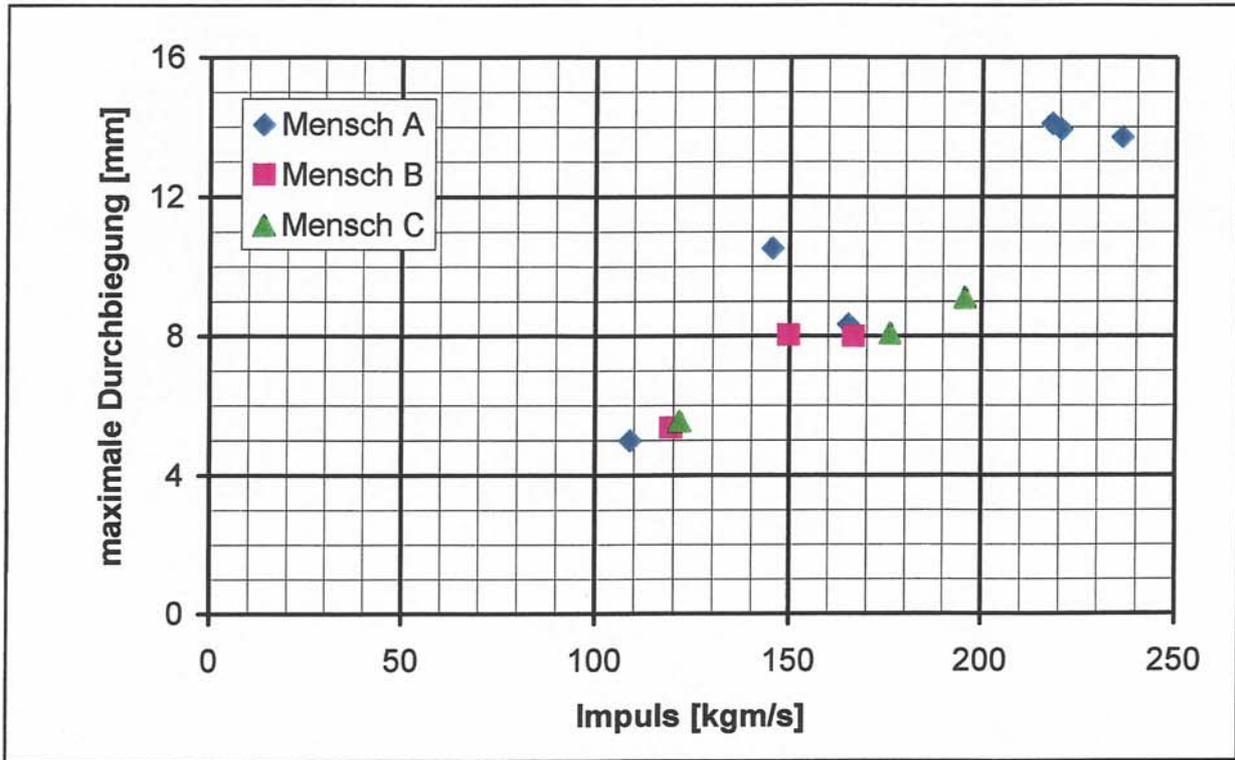
Bild 25: Zeitliche Verläufe der Dehnungen beim Referenzversuch 1.4



Bilder 26 und 27: Zeitliche Verläufe der Verschiebungen (oben) bzw. der Scheibenbeschleunigungen (unten) beim Referenzversuch 1.4



Bilder 28 und 29: Diagramm mit Angabe der maximalen Dehnung (oben) bzw. der maximalen Scheibenbeschleunigung (unten) in der Elementmitte in Abhängigkeit des Impulses bei der Versuchsreihe 1 mit Menschen



Bilder 30 und 31: Diagramm mit Angabe der maximalen Durchbiegung in der Elementmitte (oben) bzw. der Stoßzeit $T_{10\%}$ (unten) in Abhängigkeit des Impulses bei der Versuchsreihe 1 mit Menschen

Tabelle 4: Ergebnisse der Versuchsreihe 2.1 bis 2.3 (Schulterstöße) mit dem Dummy

Ver- such Nr.	Ver- suchs- reihe	Fall- höhe 1)	Ge- schwin- digkeit 2)	Impuls 3)	Stoßzeit			Höchstwerte			
					T-max 4)	T-30% 5)	T-10% 6)	Deh- nung 7)	Beschleunigung		Durch- bie- gung ⁹⁾
									Dum- my ⁸⁾	Schei- be ⁹⁾	
		cm	m/s	kgm/s	ms	ms	ms	µm/m	m/s ²		mm
2.1.1	ESG	10	1,4	147	48	88	127	796	-	129	17,1
2.1.2		10	1,4	147	48	88	116	829	-	120	17,2
2.1.3		20	2,0	208	48	78	96	1021	-	281	23,4
2.1.4		45	3,0	312	Bruch der ESG-Scheibe, letzte Messwerte:						
					-	-	-	1083	-	476	14,9
2.2.1	Alu Mai-99	2	0,4	45	-	-	-	226	-	-	-
2.2.2		2	0,4	45	-	-	-	244	-	-	-
2.2.3		2	0,4	45	-	-	-	253	-	-	-
2.2.4		2	0,4	45	-	-	-	208	-	-	-
2.2.5		2	0,4	45	-	-	-	292	-	18	5,1
2.2.6		5	0,7	77	-	-	-	508	-	56	9,2
2.2.7		10	1,2	126	-	-	-	721	-	-	-
2.2.8		10	1,2	126	-	-	-	731	-	-	-
2.2.9		10	1,1	118	-	-	-	791	-	79	13,5
2.2.10		20	1,5	159	-	-	-	1343	-	133	19,8
2.2.11		30	2,1	216	-	-	-	1979	-	186	37,4
2.2.12		30	1,9	204	-	-	-	1962	-	193	24,7
2.2.13		40	2,3	239	-	-	-	1299	-	-	-
2.2.14		40	2,2	230	-	-	-	2505	-	222	39,2
2.2.15		40	2,2	235	-	-	-	1668	-	190	32,1
2.2.16		40	2,2	226	-	-	-	1885	-	180	39,4

Fortsetzung auf Beilage 23

Fortsetzung Tabelle 4											
Ver- such Nr.	Ver- suchs- reihe	Fall- höhe 1)	Ge- schwin- digkeit 2)	Impuls 3)	Stoßzeit			Höchstwerte			
					T-max 4)	T-30% 5)	T 6)	Deh- nung 7)	Beschleunigung		Durch- bie- gung ⁹⁾
									Dum- my ⁸⁾	Schei- be ⁹⁾	
		cm	m/s	kgm/s	ms	ms	ms	µm/m	m/s ²		mm
2.3.1	Alu Juni-99	5	0,92	97	53	-	88	381	39	59	9,3
2.3.2		5	0,85	89	60	-	131	405	31	63	8,7
2.3.3		10	1,12	118	50	-	142	602	58	177	13,1
2.3.4 ¹⁰⁾		12	1,3	137	46	65	132	643	82	217	14,9
2.3.5		12	1,2	126	49	-	135	614	87	162	-
2.3.6		12	1,2	126	49	-	134	640	84	170	14,8
2.3.7		12	1,2	126	49	-	136	643	82	174	14,8
2.3.8		12	1,3	137	48	-	133	645	86	159	14,9
2.3.9		12	1,3	137	49	-	134	637	84	166	14,8
2.3.10		15	1,4	147	43	-	121	758	88	224	17,6
2.3.11		20	1,5	158	40	-	111	877	126	241	18,6
2.3.12		30	1,9	200	36	-	96	1116	191	398	23,8
2.3.13		45	2,2	231	36	-	-	1605	209	567	55
2.3.14		60	2,7	284	33	-	78	1418	290	755	-
2.3.15		60	2,6	273	33	-	81	1437	282	737	-

Anmerkungen:

- 1) Die Fallhöhe bezieht sich auf den Bezugspunkt (ca. Schwerpunkt) des Dummys.
- 2) Geschwindigkeitsmessung mit einer Videoanlage
- 3) Impuls = Masse x Geschwindigkeit
- 4) T-max ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Erreichen der größten horizontalen Dehnung in der Scheibenmitte.
- 5) T-30% ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Erreichen von 30 % der größten horizontalen Dehnung der Scheibenmitte während der Entlastungsphase.
- 6) T ist die Stoßzeit bis zum Nulldurchgang der Dehnung
- 7) Größte in horizontaler Richtung gemessene Dehnung (Messstellen 1-H, 1-O oder 1-U).
- 8) Gemessen an der gegenüberliegenden Schulter
- 9) Gemessen in der Scheibenmitte
- 10) Referenzversuch

Tabelle 5: Ergebnisse der Versuchsreihen 2.4 und 2.5 (Variation der Körperlage) mit dem Dummy

Versuch Nr.	Element	Aufprallstelle	Geschwindigkeit 1)	Impuls 2)	Höchstwerte				
					Dehnung		Beschleunigung		Durchbiegung ⁶⁾
					Mitte ³⁾	Seite ⁴⁾	Dummy ⁵⁾	Scheibe ⁶⁾	
			m/s	kgm/s	µm/m		m/s ²		mm
2.4.1	Alu	Kopf	0,23	24	127	27,1	2,4	4,3	1,9
2.4.2			0,51	54	397	96,9	6,3	18,4	6,1
2.4.3			0,66	69	593	131	-	21,6	7,5
2.4.4			1,20	126	1692	349	23,5	70,2	18,3
2.5.1	Alu	Kopf-/Schulter	0,47	49	99	242	25	20	3,5
2.5.2			0,98	103	252	557	75	57	8,9
2.5.3			1,64	172	440	1252	209	230	19,5

Anmerkungen:

- 1) Geschwindigkeitsmessung mit einer Videoanlage
- 2) Impuls = Masse x Geschwindigkeit
- 3) Größte in der Elementmitte in horizontaler Richtung gemessene Dehnung (Messstellen 1-H, 1-O oder 1-U)
- 4) Messstelle am Viertelpunkt (Messstelle 2-H)
- 5) Die Beschleunigungsaufnehmer wurden am Körper (Rumpf) ca. in Bewegungsrichtung appliziert.
- 6) Gemessen in der Scheibenmitte

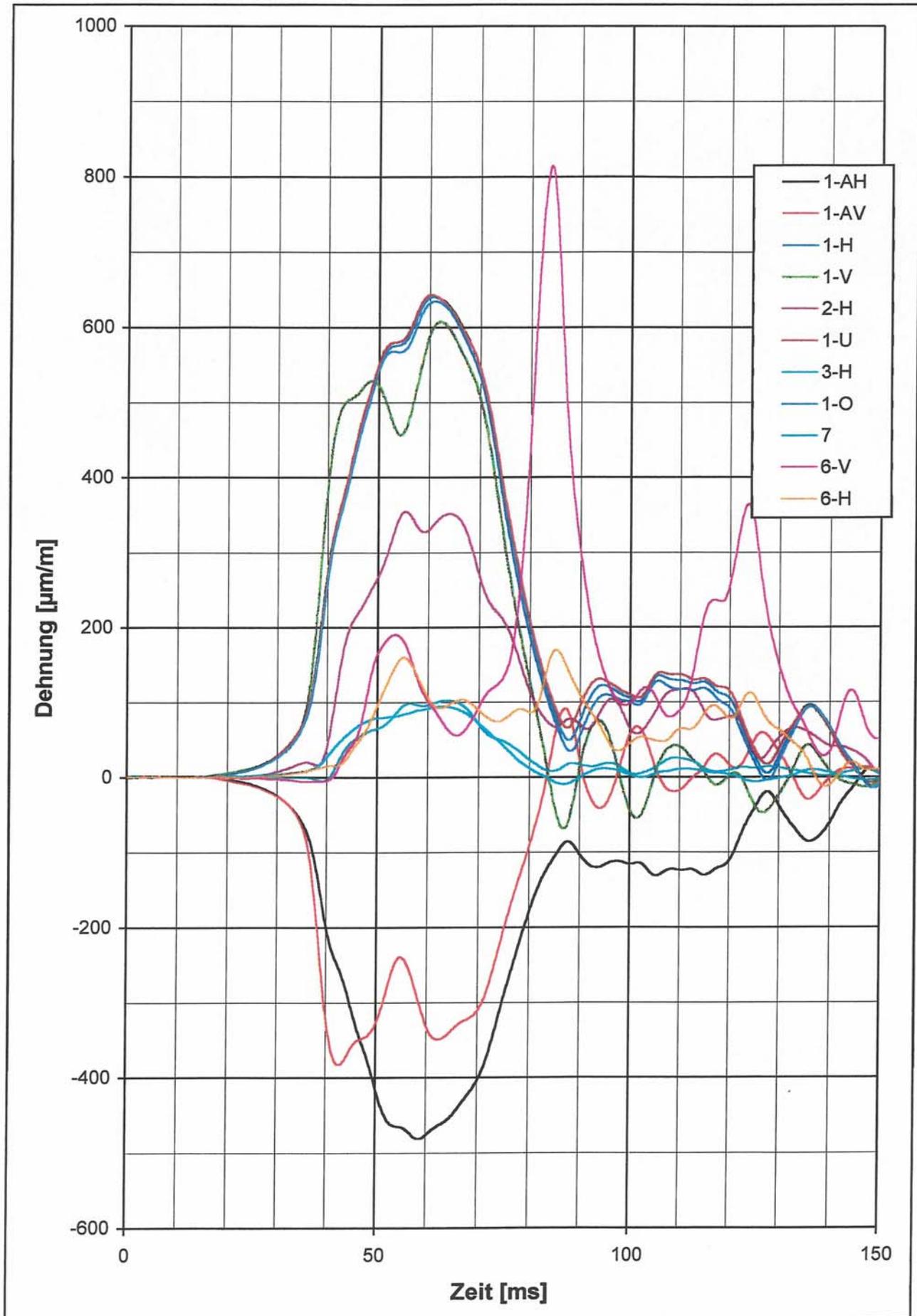
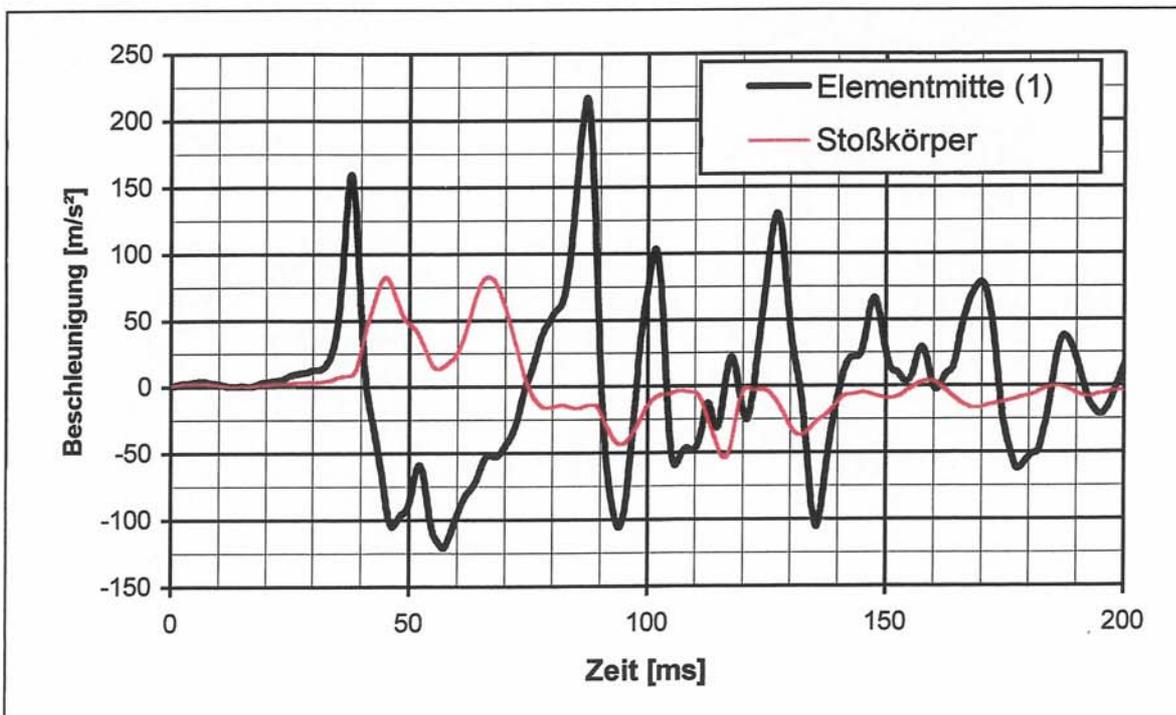
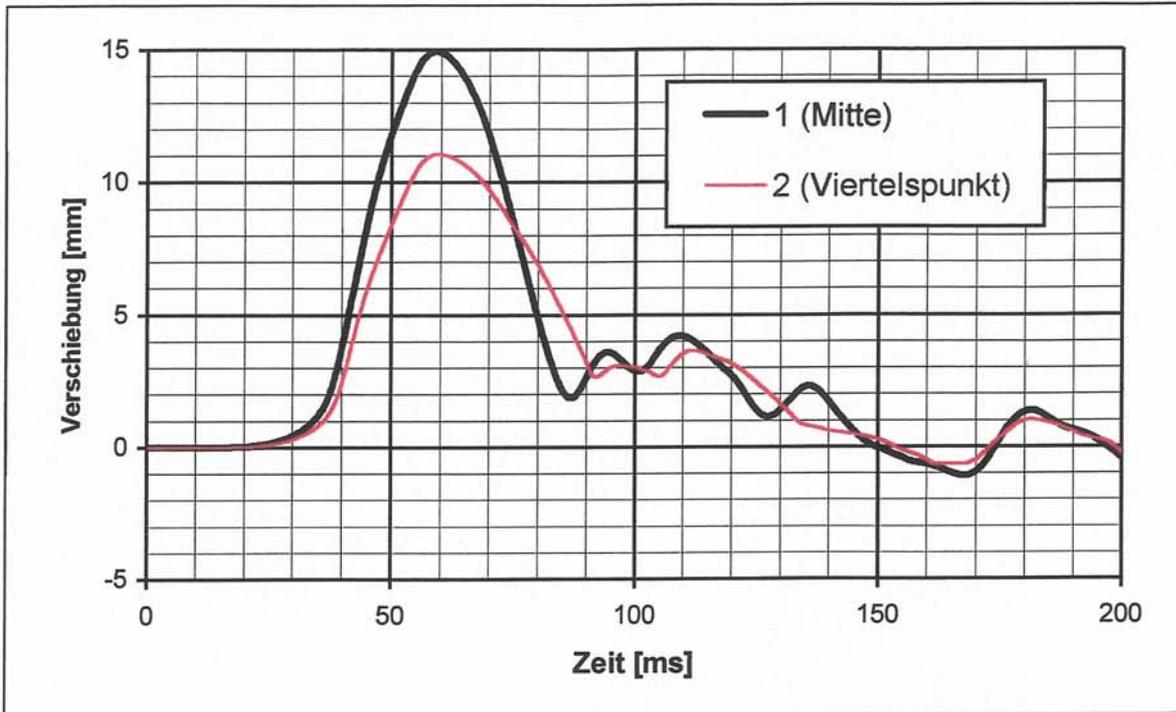
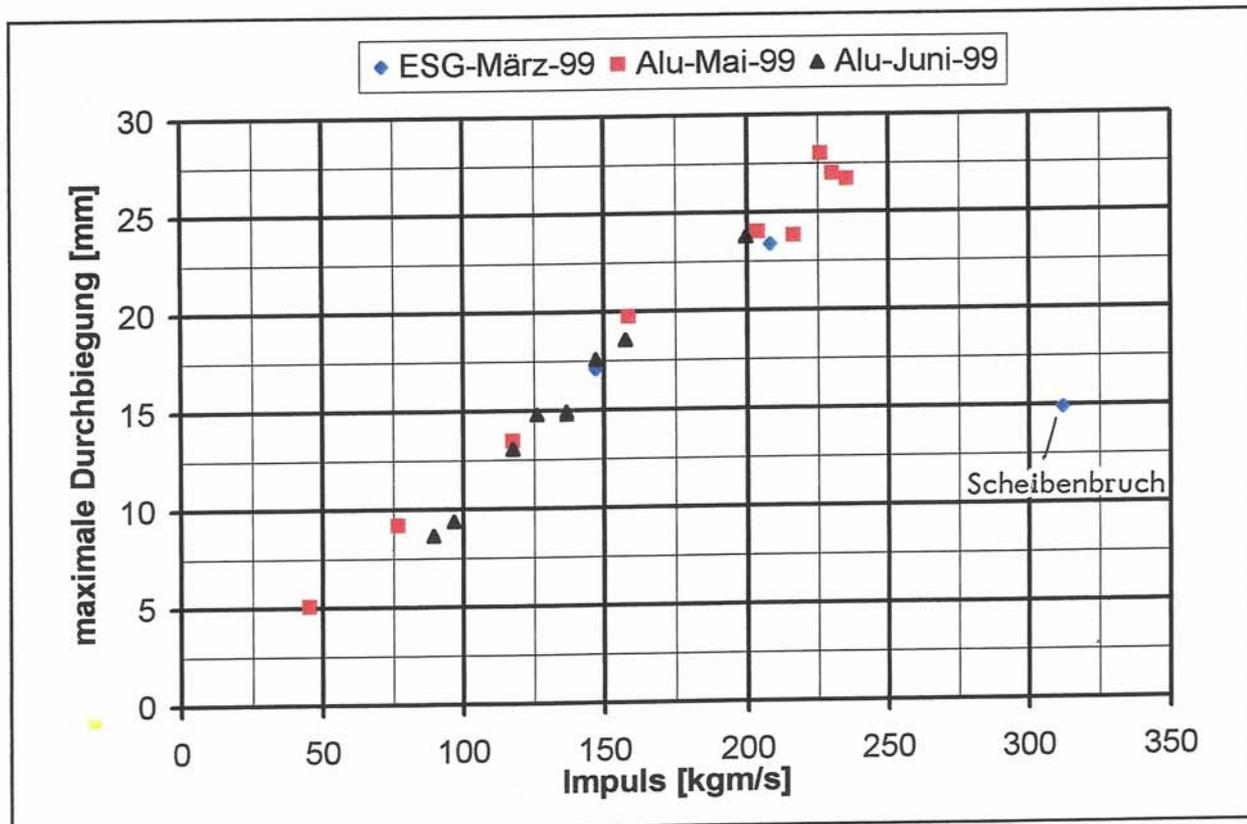
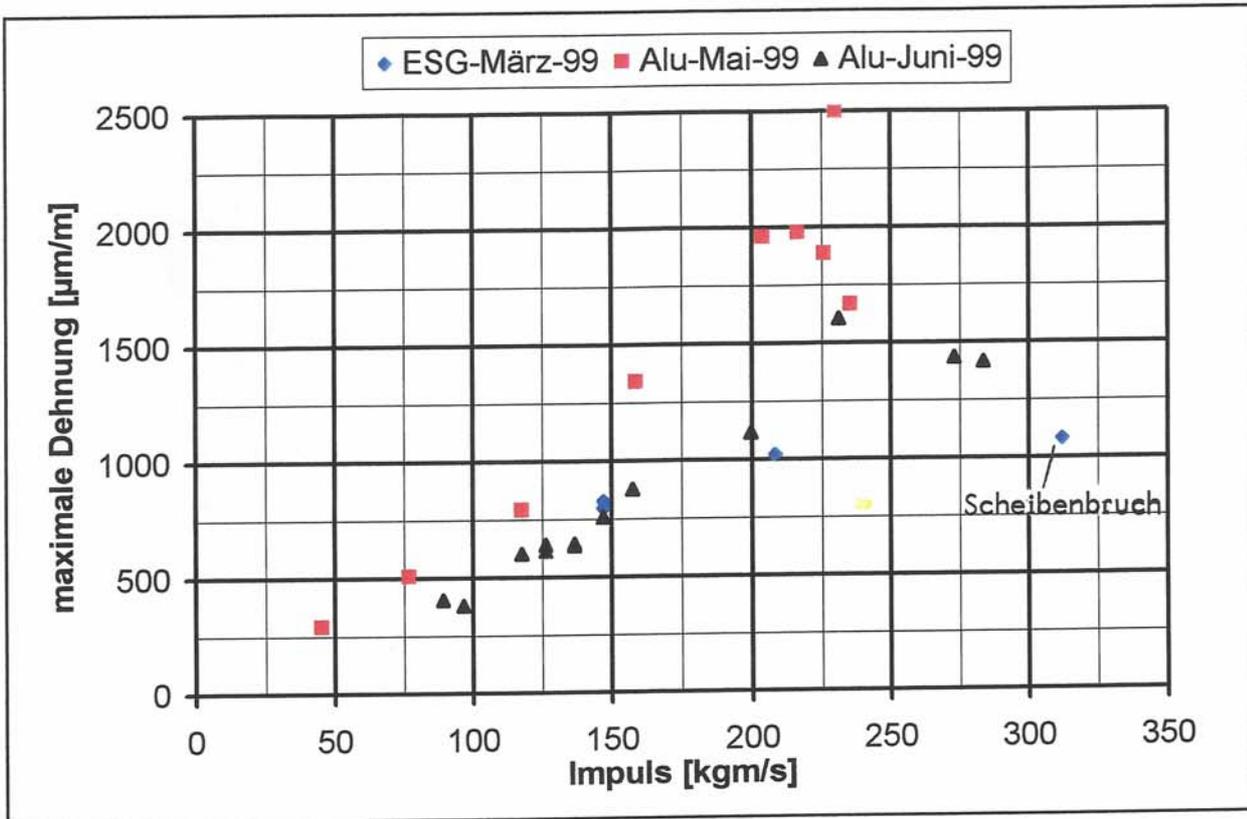


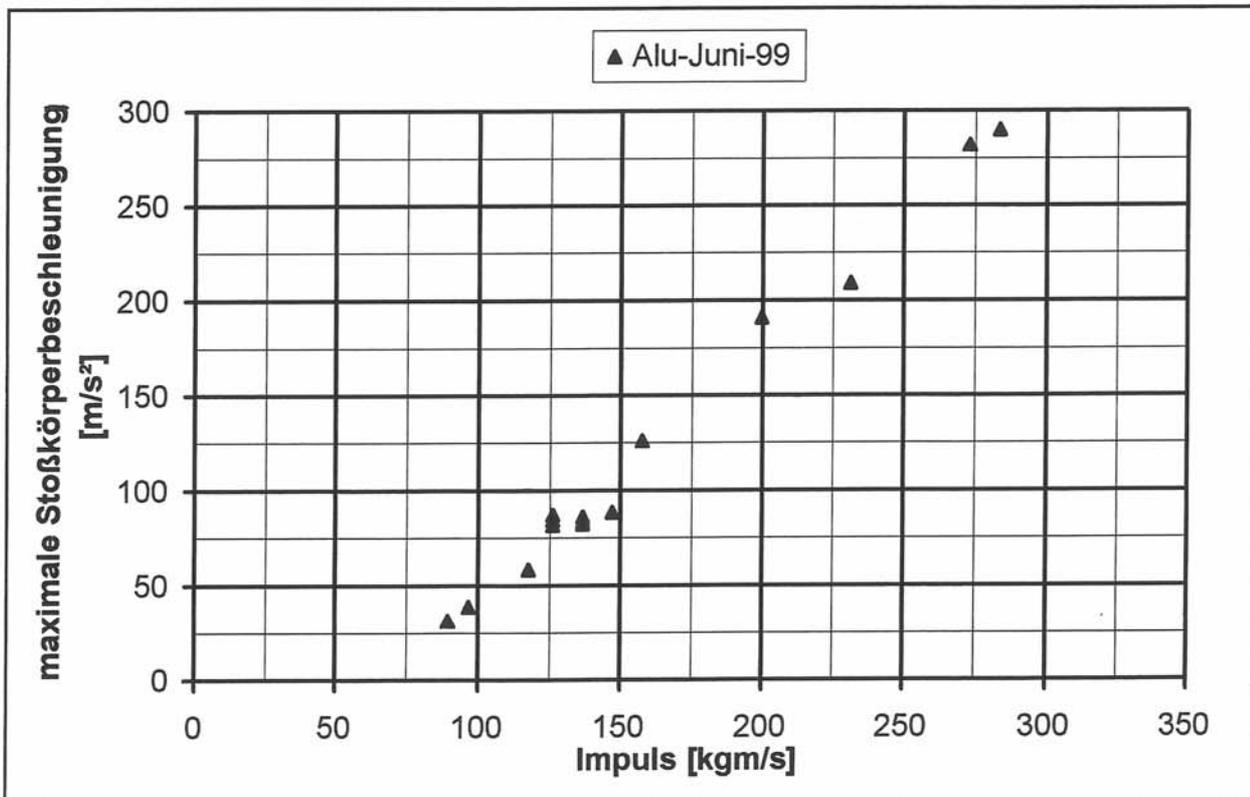
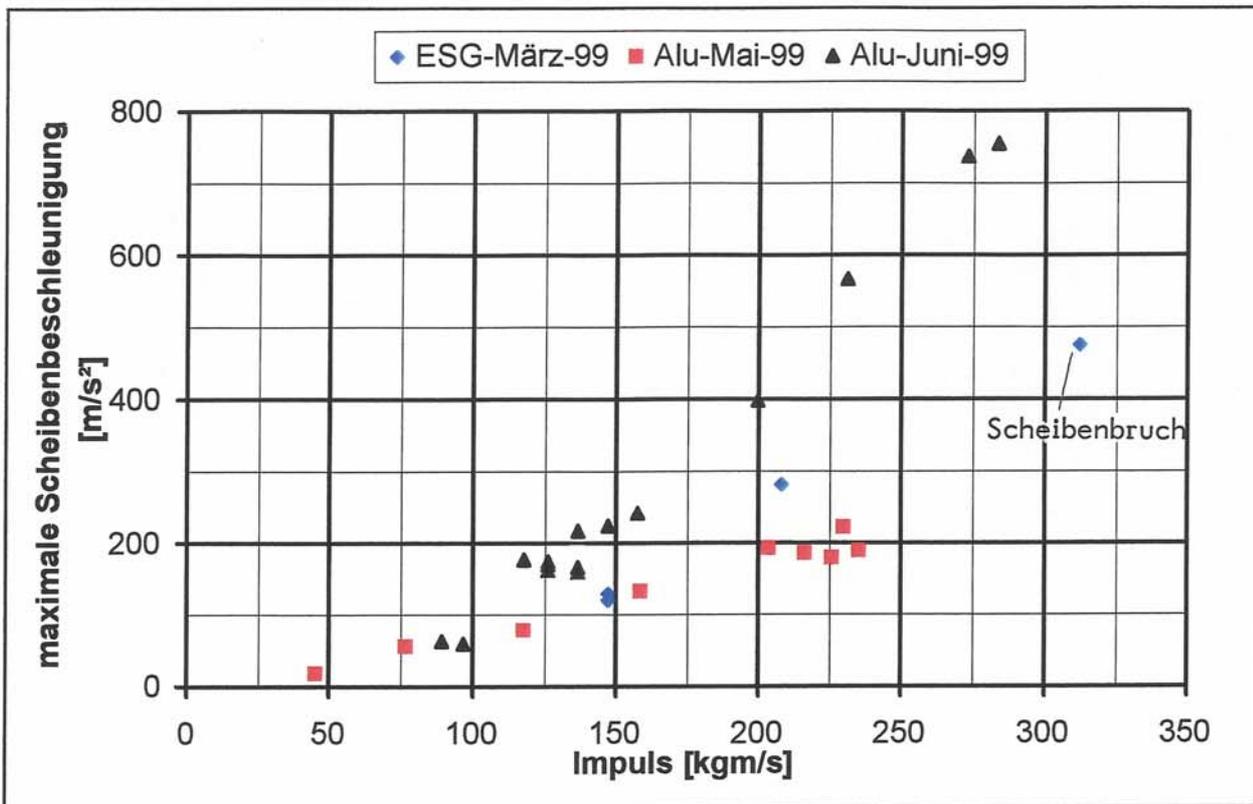
Bild 32: Zeitliche Verläufe der Dehnungen beim Referenzversuch 2.3.4



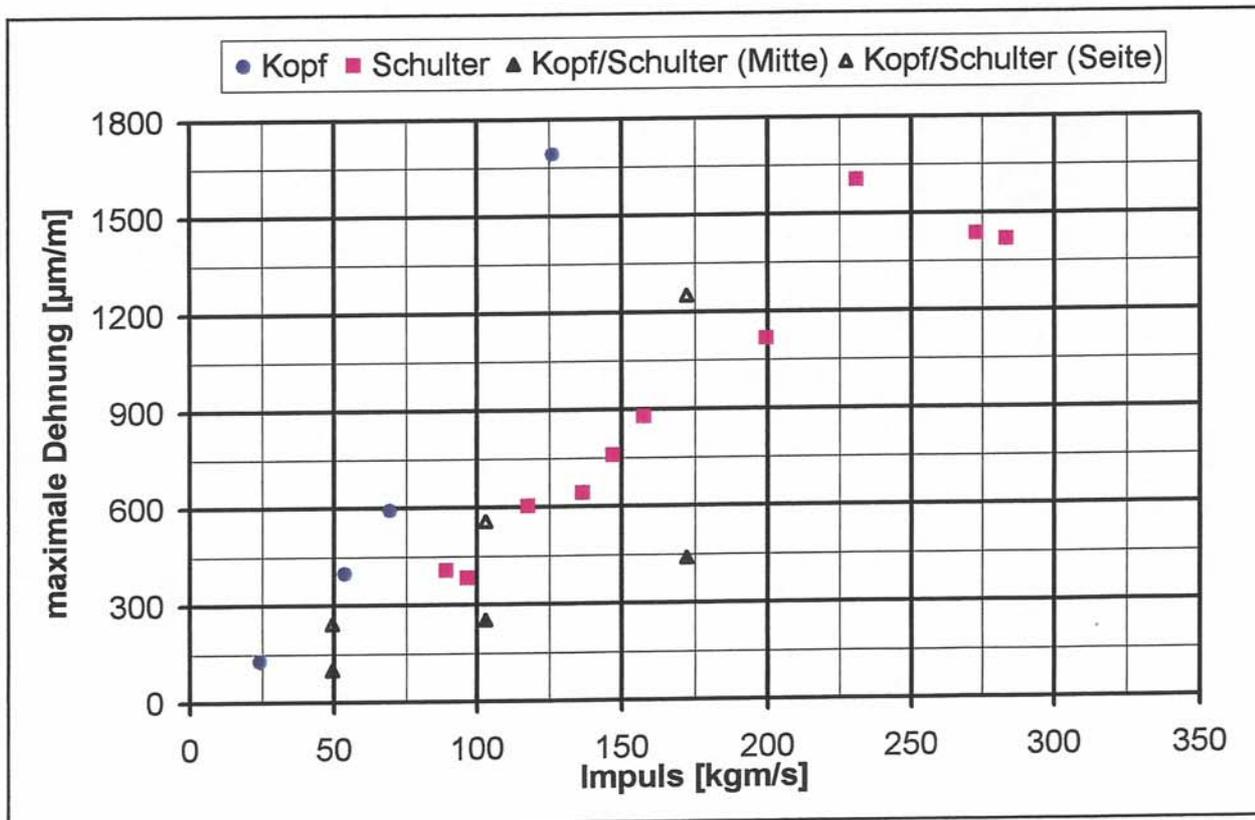
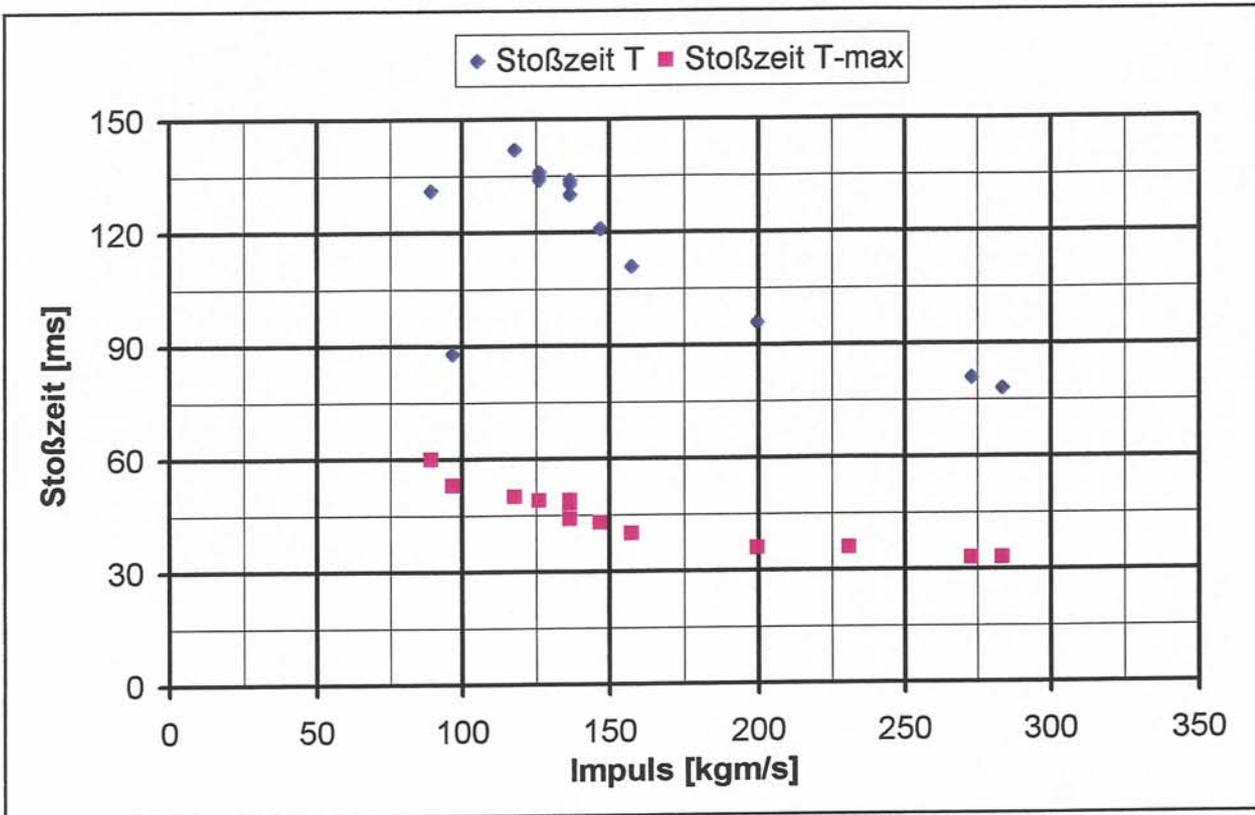
Bilder 33 und 34: Zeitliche Verläufe der Verschiebungen (oben) bzw. der Beschleunigungen (unten) beim Referenzversuch 2.3.4



Bilder 35 und 36: Diagramm mit Angabe der maximalen Dehnung (oben) bzw. der maximalen Durchbiegung (unten) in der Elementmitte in Abhängigkeit des Impulses bei den Versuchsreihen 2.1 bis 2.3 (Schulterstoß mit Dummy)



Bilder 37 und 38: Diagramm mit Angabe der maximalen Beschleunigung in der Elementmitte (oben) bzw. der Stoßkörperbeschleunigung (unten) in Abhängigkeit des Impulses bei den Versuchsreihen 2.1 bis 2.3 (Schulterstoß mit Dummy)



Bilder 39 und 40: Diagramm mit Angabe der Stoßzeit T_{max} und T (oben) bei der Versuchsreihe 2.3 (Schulterstoß mit Dummy) bzw. Angabe von maximalen Dehnungen bei den Versuchsreihen 2.3 bis 2.5 in Abhängigkeit des Impulses

Tabelle 6: Ergebnisse der Versuchsreihe 3 mit dem Glaskugelsack

Versuch Nr.	Fallhöhe 1)	Geschwindigkeit 2)	Impuls 3)	Stoßzeit		Höchstwerte			
				T-max 4)	T 5)	Dehnung 6)	Beschleunigung		Durchbiegung 8)
							Stoßkörper 7)	Scheibe 8)	
	cm	m/s	kgm/s	ms		µm/m	m/s ²		mm
3.1	10	1,4	70	38	117	225	28,3	26,3	4,7
3.2	20	2,0	100	38	97	370	75,3	36,5	8,2
3.3	40	2,8	140	33	81	563	143,6	62,8	13,2
3.4	60	3,4	170	32	76	636	182,9	74,2	15,7
3.5	60	3,4	170	30	74	671	160,9	85,5	16,6
3.6 ⁹⁾	60	2,9	145	31	73	702	203	118	16,6

Anmerkungen:

Stoßkörper: Glaskugelsack nach der ETB-Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“ mit einer Masse von 50 kg

- 1) Die Fallhöhe ist auf den geschätzten Schwerpunkt bezogen.
- 2) Geschwindigkeiten ist bei den Versuchen 3.1 bis 3.5 aus den Fallhöhen berechnet, beim Versuch 3.6 mit Hilfe einer Videoanlage gemessen.
- 3) Impuls = Masse x Geschwindigkeit
- 4) T-max ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Erreichen der größten horizontalen Dehnung in der Scheibenmitte.
- 5) T ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Nulldurchgang der größten horizontalen Dehnung in der Scheibenmitte.
- 6) Größte in horizontaler Richtung gemessene Dehnung (Meßstellen 1M, 1O oder 1U).
- 7) Der Beschleunigungsaufnehmer wurde an der Rückseite des Stoßkörpers ca. in Höhe des geschätzten Schwerpunkts appliziert.
- 8) Gemessen in der Scheibenmitte
- 9) Referenzversuch

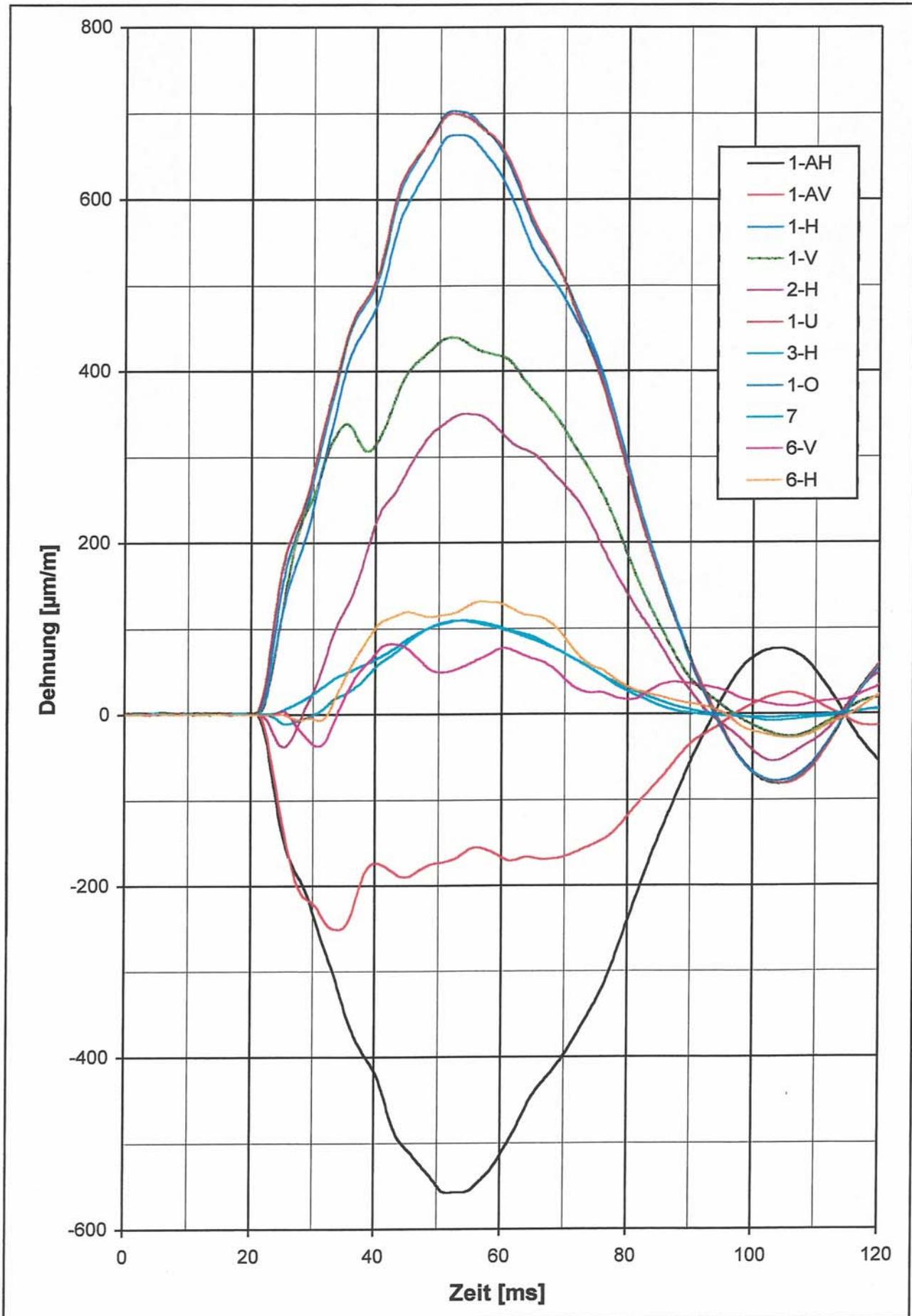
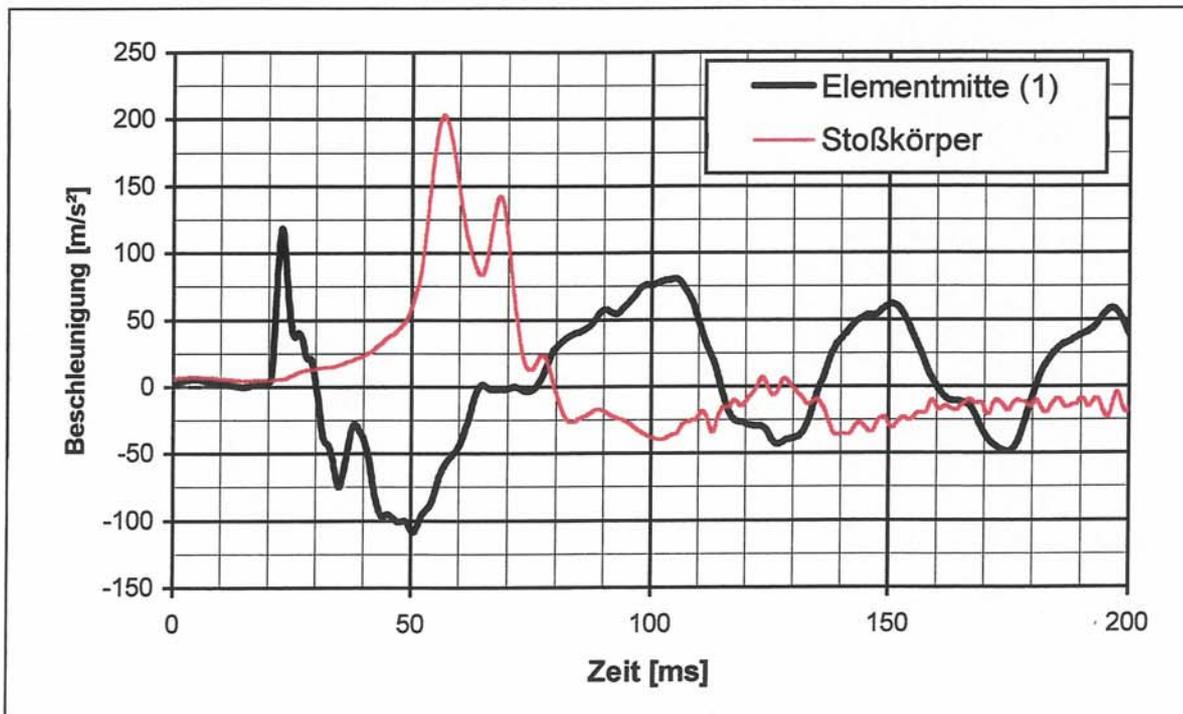
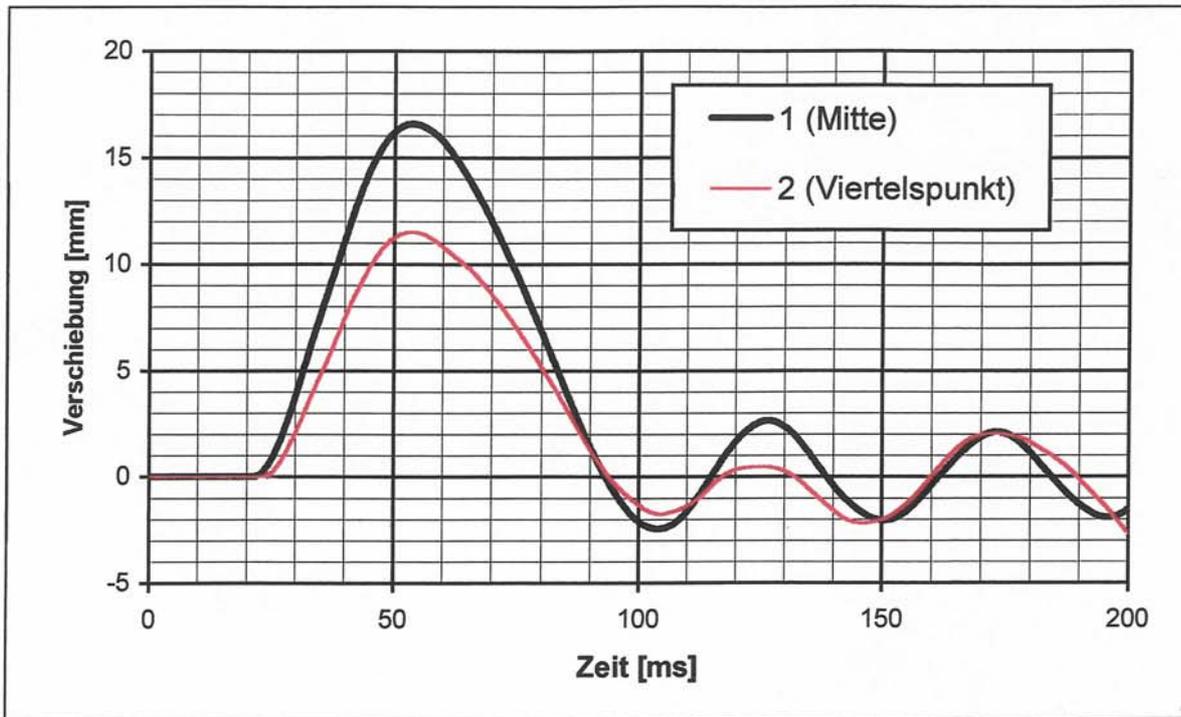
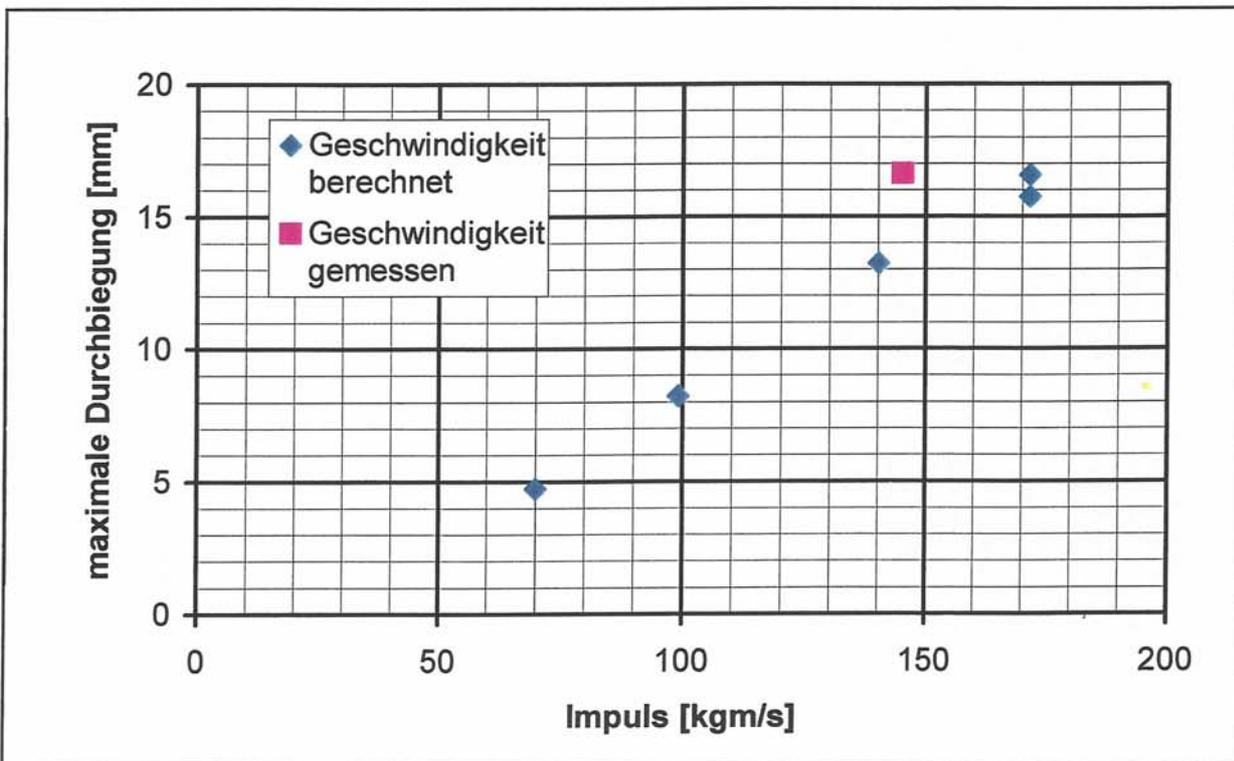
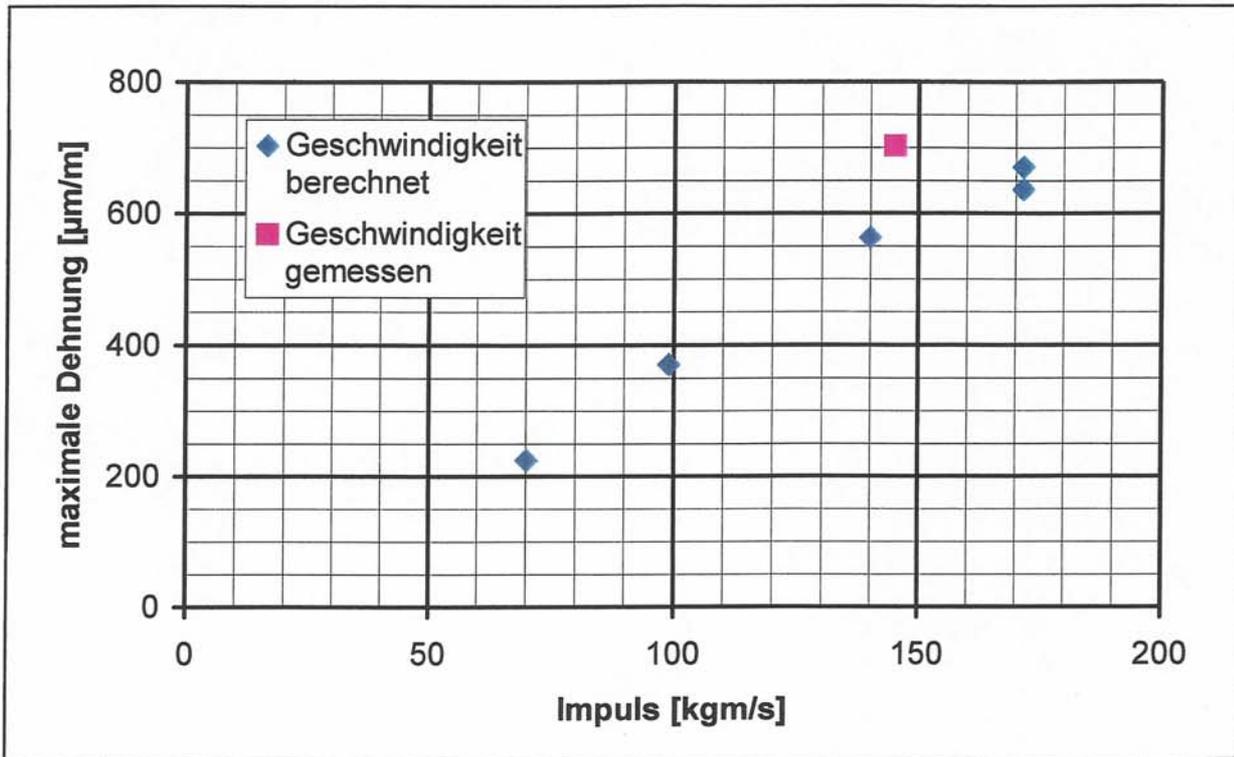


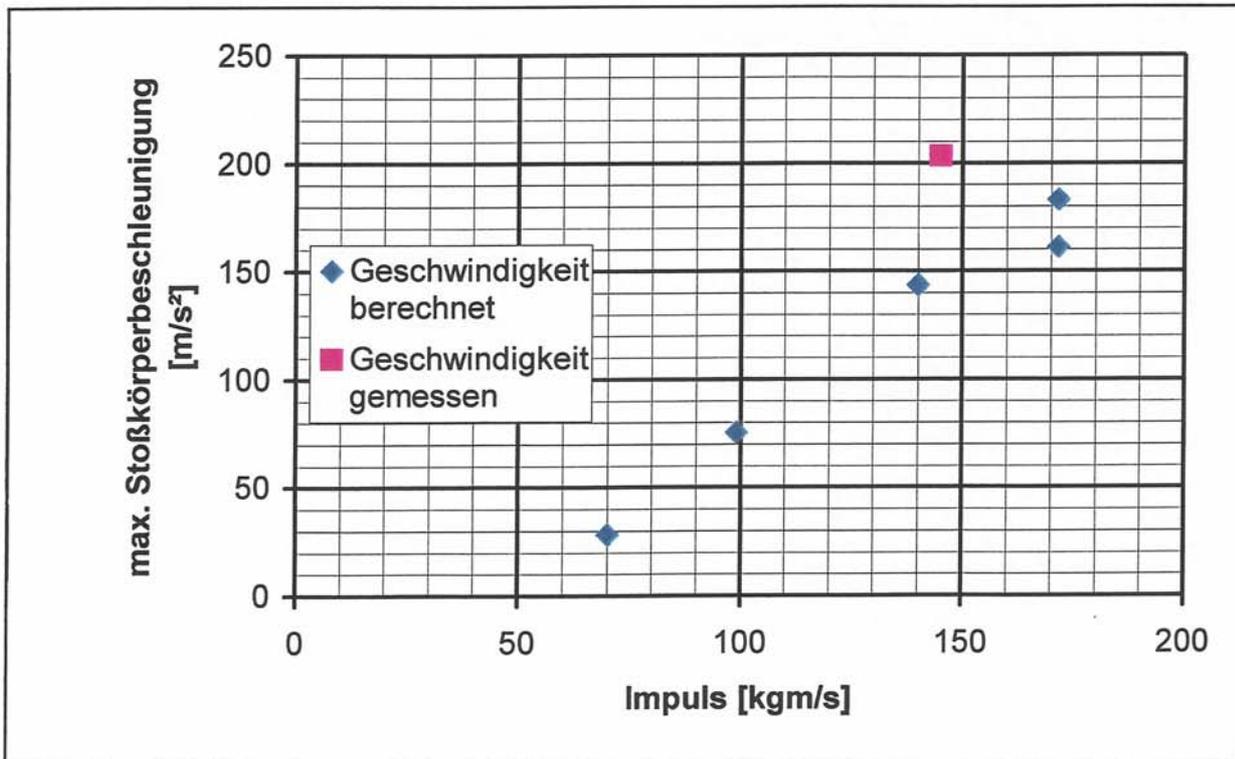
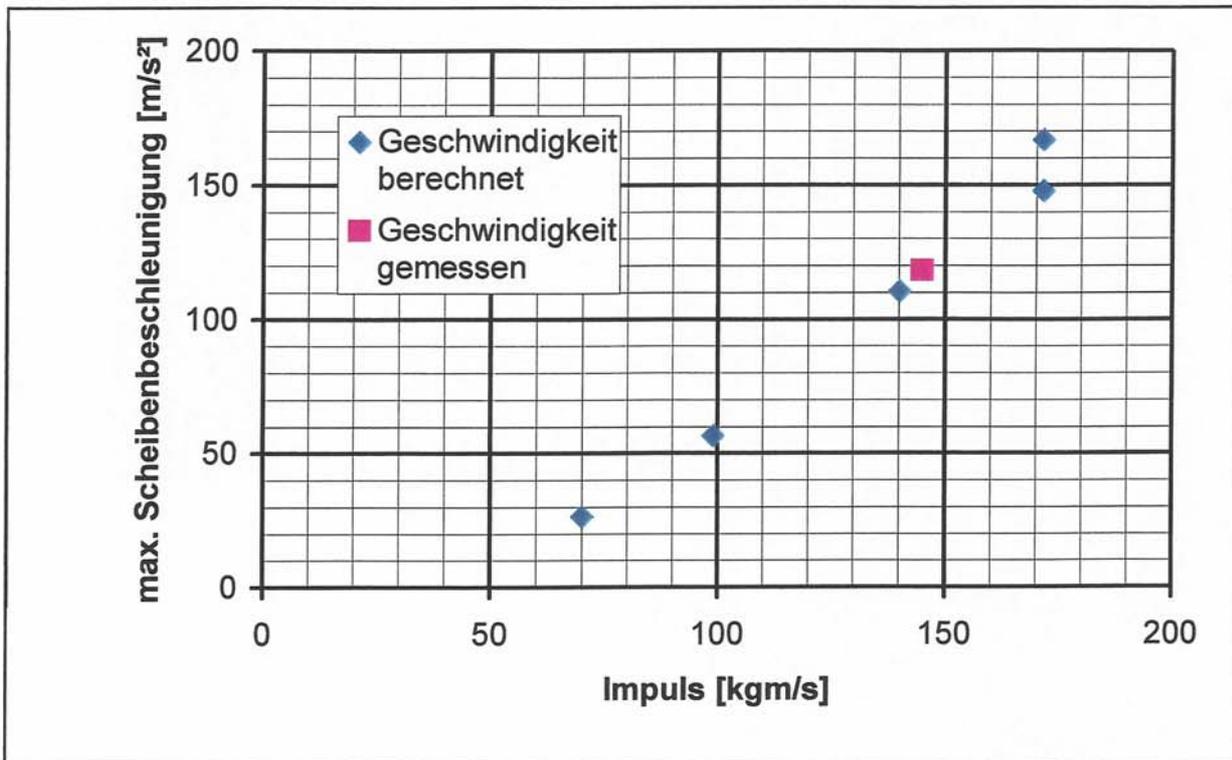
Bild 41: Zeitliche Verläufe der Dehnungen beim Referenzversuch 3.6 mit dem Glaskugelsack



Bilder 42 und 43: Zeitliche Verläufe der Verschiebungen (oben) bzw. der Beschleunigungen (unten) beim Referenzversuch 3.6 mit dem Glaskugelsack



Bilder 44 und 45: Diagramm mit Angabe der maximalen Dehnung (oben) bzw. der maximalen Durchbiegung (unten) in der Elementmitte in Abhängigkeit des Impulses bei der Versuchsreihe 3 mit dem Glaskugelsack



Bilder 46 und 47: Diagramm mit Angabe der maximalen Beschleunigung in der Elementmitte (oben) bzw. der Stoßkörperbeschleunigung (unten) in Abhängigkeit des Impulses bei der Versuchsreihe 3 mit dem Glaskugelsack

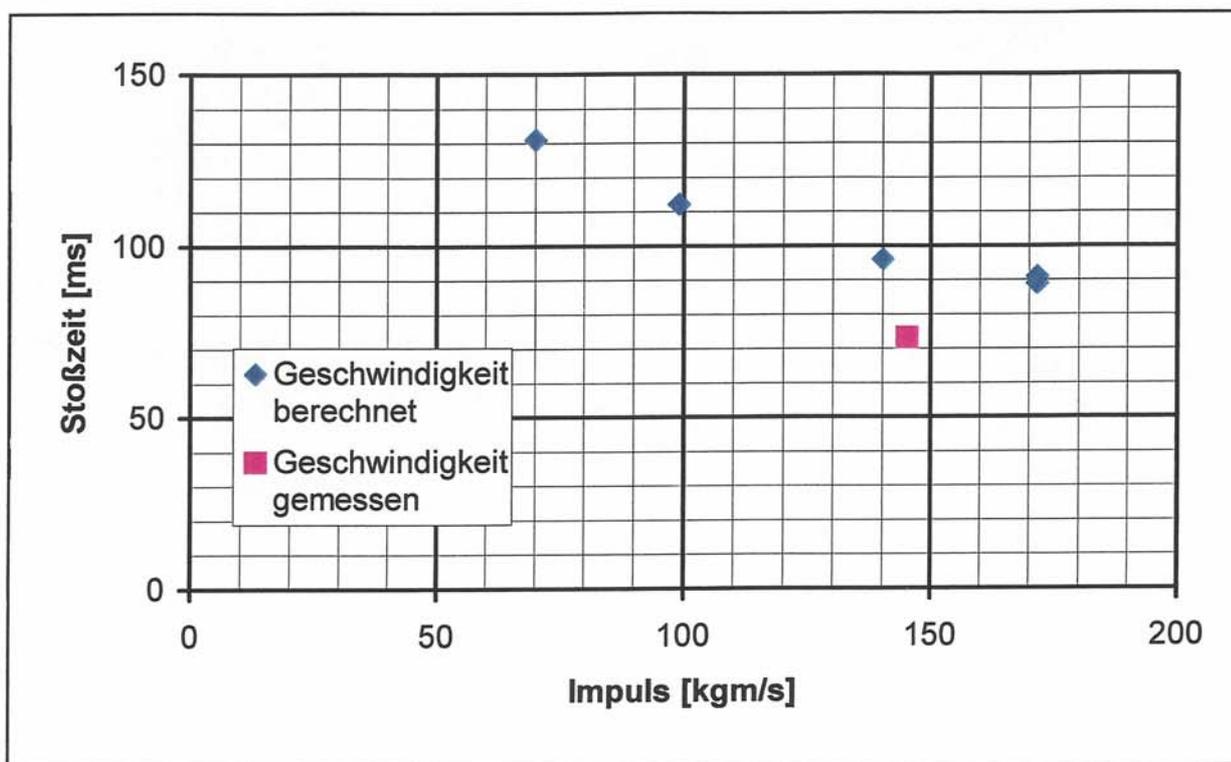


Bild 48: Diagramm mit Angabe der Stoßzeit T in Abhängigkeit des Impulses bei der Versuchsreihe 3 mit dem Glaskugelsack

Tabelle 7: Ergebnisse der Versuchsreihen 4.1 bis 4.5 mit dem Zwillingstreifen und einem Aufprallpunkt in der Mitte des Elements (Variation der Geschwindigkeit)

Versuch Nr.	Versuchsreihe 1)	Fallhöhe 2)	Geschwindigkeit 3)	Impuls 4)	Stoßzeit		Höchstwerte				
					T _{max} 5)	T 6)	Dehnung 7)	Beschleunigung		Durchbiegung ⁹⁾	
								Stoßkörper ⁸⁾	Scheibe ⁹⁾		
		cm	m/s	kgm/s	ms		µm/m	m/s ²		mm	
4.1.1	ESG Januar 99 45 kg 3,5 bar	10	1,4	63	-		75,2	920	-	80	17,2
4.1.2		10					80,0	880	-	68	16,4
4.1.3		10					80,7	880	-	70	16,2
4.1.4		10					80,0	890	53	69	16,4
4.1.5		10					-	965	63	84	17,9
4.1.6		10					-	983	64	88	18,3
4.1.7		10					-	1002	66	90	17,7
4.1.8		10					-	1004	66	-	18,1
4.1.9		20					2,0	90	-	-	1254
4.2.1	ESG Juni 99 50 kg 4,0 bar	10	1,4	70	-	-	975	-	-	-	
4.2.2		10	1,4	70	37	69	974	65	119	17,0	
4.2.3		45	3,0	149	31	62	1728	-	296	39,9	
4.3.1	Alu April 99 50 kg 3,5 bar	10	1,4	70	35	65	917	65	99	16,4	
4.3.2		20	2,0	100	32	62	1174	96	150	23,2	
4.3.3		30	2,4	120	31	61	1385	125	191	29,5	
4.3.4		30	2,4	120	30	60	1402	-	195	28,6	
4.3.5		45	3,0	150	29	59	1606	159	244	-	
4.3.6		70	3,7	185	28	58	1854	202	313	-	
4.4.1	Alu Mai 99 50 kg 4,0 bar	5	1,0	50	36	67,9	654	43	-	11,0	
4.4.2		10	1,4	70	35	65	880	66		15,1	
4.4.3		20	2,0	100	33	62,5	1181	96		20,5	
4.4.4		30	2,4	120	30	60,9	1365	121		27,9	
4.4.5		45	3,0	150	29	58,9	1594	152		33,1	
4.4.6		70	3,7	185	28	56,9	1831	191		47,2	
4.4.7		95	4,3	215	28	56,6	1981	239		-	
4.4.8		120	Abscheren zweier Schrauben des oberen Profils, letzte Messwerte:								
		4,9	245	28	50,5	2017	240	-	-		

Fortsetzung Beilage 37

Fortsetzung Tabelle 7										
Versuch Nr.	Versuchsreihe 1)	Fallhöhe 2)	Geschwindigkeit 3)	Impuls 4)	Stoßzeit		Höchstwerte			
					T _{max} 5)	T 6)	Dehnung 7)	Beschleunigung		Durchbiegung ⁹⁾
								Stoßkörper ⁸⁾	Scheibe ⁹⁾	
		cm	m/s	kgm/s	ms		µm/m	m/s ²		mm
4.5.1 ¹⁰⁾	Alu Juni 99 50 kg 4,0 bar	5	1,0	50	38	70	705	38	71	11,5
4.5.2		10	1,4	70	36	66	929	68	102	15,7
4.5.3		45	3,0	150	29	59	1571	142	225	42,6
4.5.4		120	4,9	245	28	56	2086	280	379	-
4.5.5		120	4,9	245	28	56	2080	286	378	-

Anmerkungen:

Stoßkörper: Zwillingreifen in Anlehnung an E DIN EN 12 600

Aufprallstelle: Elementmitte

- 1) Versuchsreihe mit Angabe des eingebauten Elements (Dicke: 8mm), des Zeitraums der Versuchsdurchführung, der Gesamtmasse des Stoßkörpers und des Reifenluftdrucks
- 2) Die Fallhöhe ist auf den Schwerpunkt bezogen
- 3) Die Geschwindigkeiten sind aus den Fallhöhen berechnet, sie wurden bei einigen Versuchen mit Hilfe einer Videoanlage überprüft.
- 4) Impuls = Masse x Geschwindigkeit
- 5) T-max ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Erreichen der größten horizontalen Dehnung in der Scheibenmitte.
- 6) T ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Nulldurchgang der größten horizontalen Dehnung in der Scheibenmitte.
- 7) Größte in horizontaler Richtung gemessene Dehnung (Messstellen 1M, 1O oder 1U).
- 8) Der Beschleunigungsaufnehmer wurde an der Rückseite des Stoßkörpers ca. 10 cm unterhalb des Schwerpunkt appliziert.
- 9) Gemessen in der Scheibenmitte
- 10) Referenzversuch

Tabelle 8: Ergebnisse der Versuchsreihe 4.6 mit dem Zwillingstreifen (Variation der Aufprallstelle)

Ver- such Nr.	Element	Auf- prall- stelle	Fall- höhe 1)	Ge- schwin- digkeit 2)	Impuls 3)	Stoßzeit		Höchstwerte					
						T _{max} 4)	T 5)	Dehnung			Beschleunig.		Durch- bie- gung 11)
								Mitte 6)	Stoß- stelle 7)	Rand 8)	Stoß- körper 9)	Schei- be 10)	
			cm	m/s	kgm/s	ms		µm/m			m/s ²	mm	
4.6.1	ESG	Seite (2)	10	1,4	70	34	62	379	1000	-	-	166	16,2
4.6.2			10	1,4	70	34	62	378	990	-	64	106	15,1
4.6.3			45	3,0	150	Bruch der ESG-Scheibe, letzte Messwerte:							
						-	-	448	1546	-	151	288	39,2
4.6.4	Alu Press- leisten schwach 12)	Seite (2)	10	1,4	70	32	60	314	848	91	57	99	12,6
4.6.5			10	1,4	70	32	60	327	888	98	63	108	13,2
4.6.6			45	3,0	150	24	57	518	1717	292	148	231	28,6
4.6.7	Alu Press- leisten normal	Seite (2)	10	1,4	70	31	58	321	875	98	67	111	16,1
4.6.8			45	3,0	150	23	55	530	1733	278	154	244	38,3
4.6.9			120	4,9	245	24	52	667	2534	527	303	394	66,3
4.6.10	Alu	Ecke (6)	10	1,4	70	26	54	190	836	9,7	82	85	6,1
4.6.11			45	3,0	150	25	56	388	1629	27,8	193	232	19,9
4.6.12			45	3,0	150	24	49	401	1584	27,1	214	256	53,7
4.6.13			120	4,9	245	20	47	616	3294	46,6	370	470	53,6

Anmerkungen:

Stoßkörper: Zwillingstreifen in Anlehnung an E DIN EN 12 600

1) Die Fallhöhe ist auf den Schwerpunkt bezogen.

2) Die Geschwindigkeiten sind aus den Fallhöhen berechnet.

3) Impuls = Masse x Geschwindigkeit

4) T-max ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Erreichen der größten horizontalen Dehnung an der Aufprallstelle.

5) T ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Nulldurchgang der Dehnung an der Aufprallstelle.

6) Größte in horizontaler Richtung gemessene Dehnung (Messstellen 1M, 1O oder 1U).

7) Dehnung im Bereich der Aufprallstelle in horizontaler Richtung (Messstellen 2-H oder 6-H)

8) Dehnung im Bereich der Pressleisten (Messstelle 7)

9) Der Beschleunigungsaufnehmer wurde an der Rückseite des Stoßkörpers ca. 10 cm unterhalb des Schwerpunkt appliziert.

10) Gemessen im Bereich der Aufprallstelle

11) Gemessen in der Scheibenmitte

12) Für diesen Versuch wurden die Schrauben in den Pressleisten nur schwach angezogen.

Tabelle 9: Ergebnisse der Versuchsreihe 4.7 mit dem Zwillingreifen (Variation des Reifenluftdrucks)

Versuch Nr.	Luftdruck	Fallhöhe 1)	Geschwindigkeit 2)	Impuls 3)	Höchstwerte			
					Dehnung 4)	Beschleunigung		Durchbiegung 7)
						35 Stoßkörper ⁵⁾	Scheibe ⁶⁾	
	bar	cm	m/s	kgm/s	µm/m	m/s ²		mm
4.7.1	2,0	5	1,0	50	616	41,6	-	10,6
4.7.2		20	2,0	99	1086	88,5	-	19,5
4.7.3		45	3,0	149	1455	125,8	-	27,2
4.7.4		120	4,9	243	1709	253	252	63,1
4.7.5	3,5	5	1,0	50	628	42,0	-	11,2
4.7.6		20	2,0	99	1161	92,8	-	20,8
4.7.7		45	3,0	149	1555	139,9	-	32,5
4.7.8		120	4,9	243	1971	279	373	-
4.7.9	5,0	5	1,0	50	666	46,2	-	11,5
4.7.10		20	2,0	99	1196	97,1	-	21,3
4.7.11		45	3,0	149	1636	146,2	-	33,8
4.7.12		120	4,9	243	2184	297	401	-

Anmerkungen:

Stoßkörper: Zwillingreifen in Anlehnung an E DIN EN 12 600

- 1) Die Fallhöhe ist auf den Schwerpunkt bezogen.
- 2) Die Geschwindigkeiten sind aus den Fallhöhen berechnet.
- 3) Impuls = Masse x Geschwindigkeit
- 4) Größte in horizontaler Richtung gemessene Dehnung (Messstelle 1-H)
- 5) Dehnung im Bereich der Aufprallstelle in horizontaler Richtung (Messstellen 2-H oder 6-H)
- 6) Der Beschleunigungsaufnehmer wurde an der Rückseite des Stoßkörpers ca. 10 cm unterhalb des Schwerpunkt appliziert.
- 7) Gemessen in der Scheibenmitte

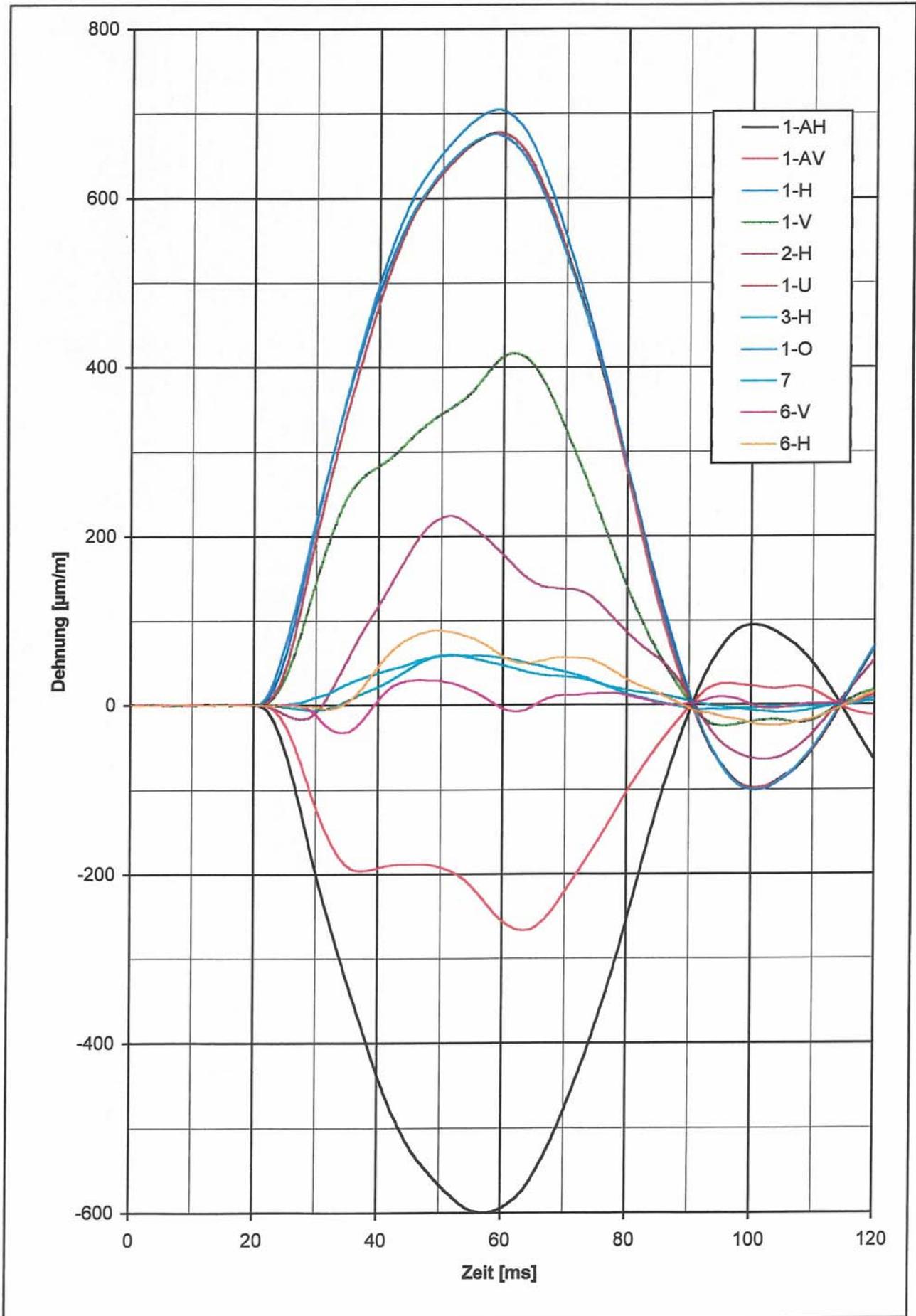
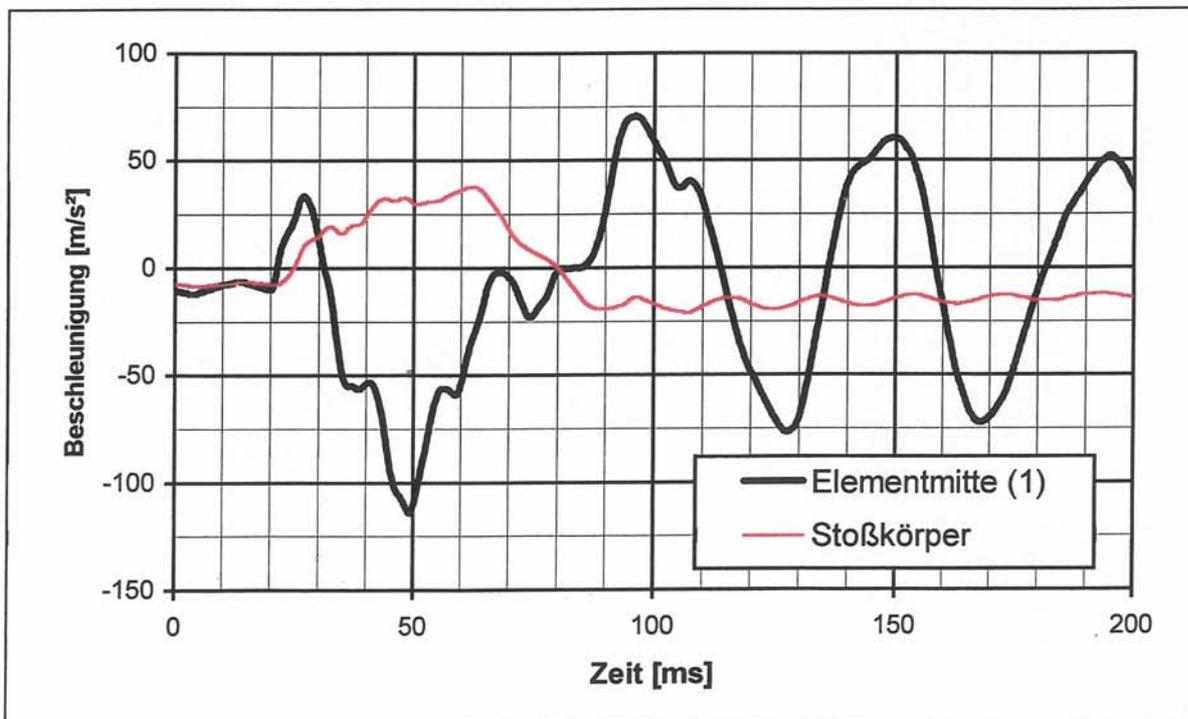
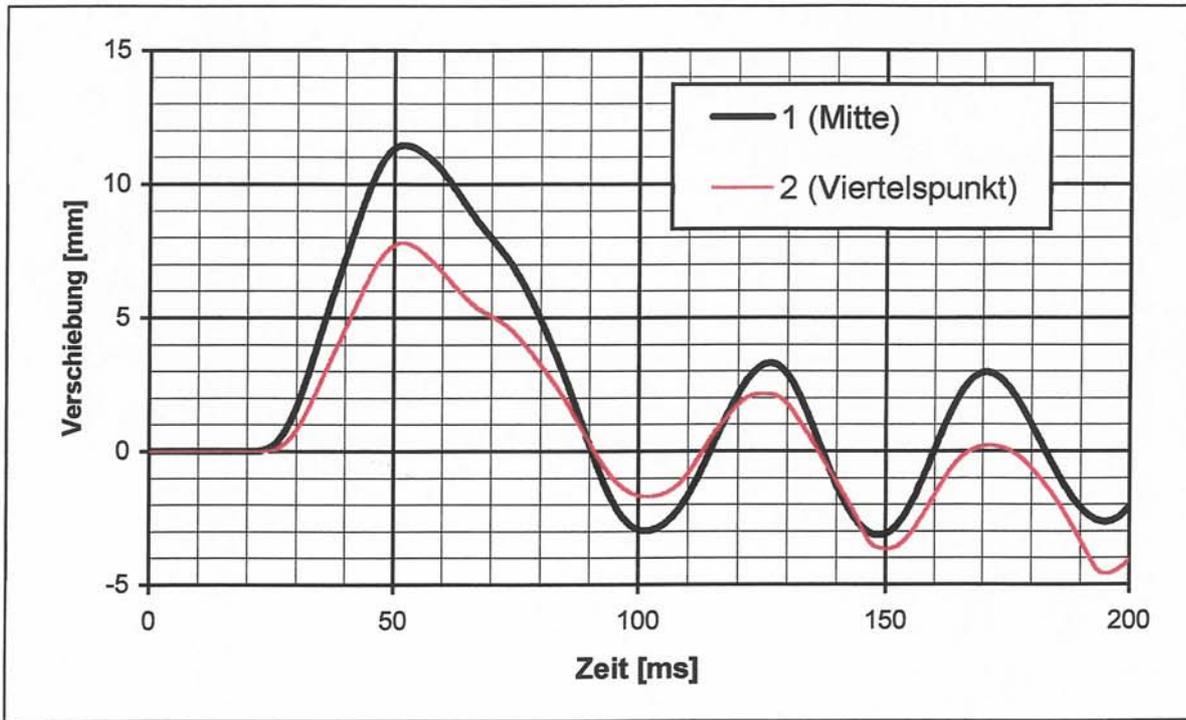
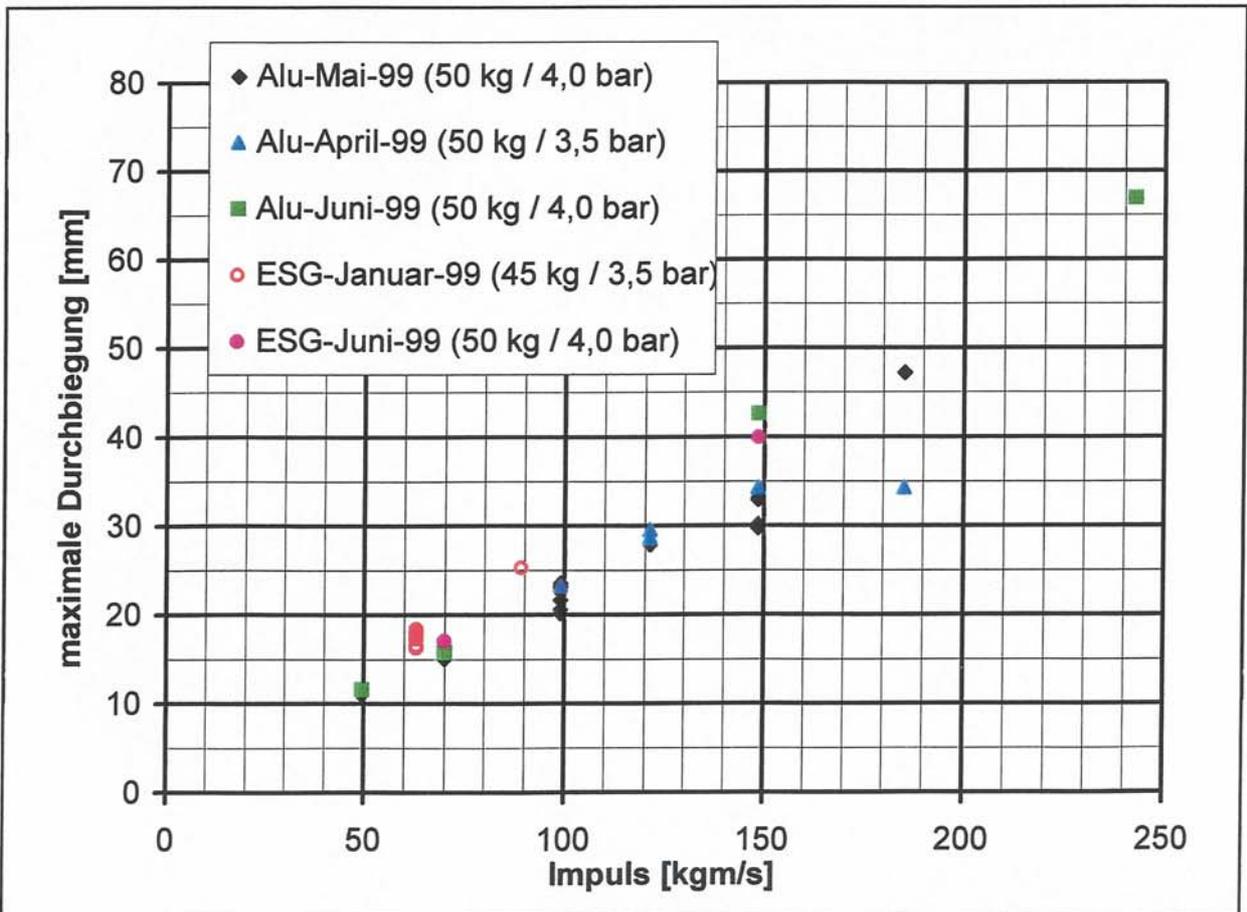
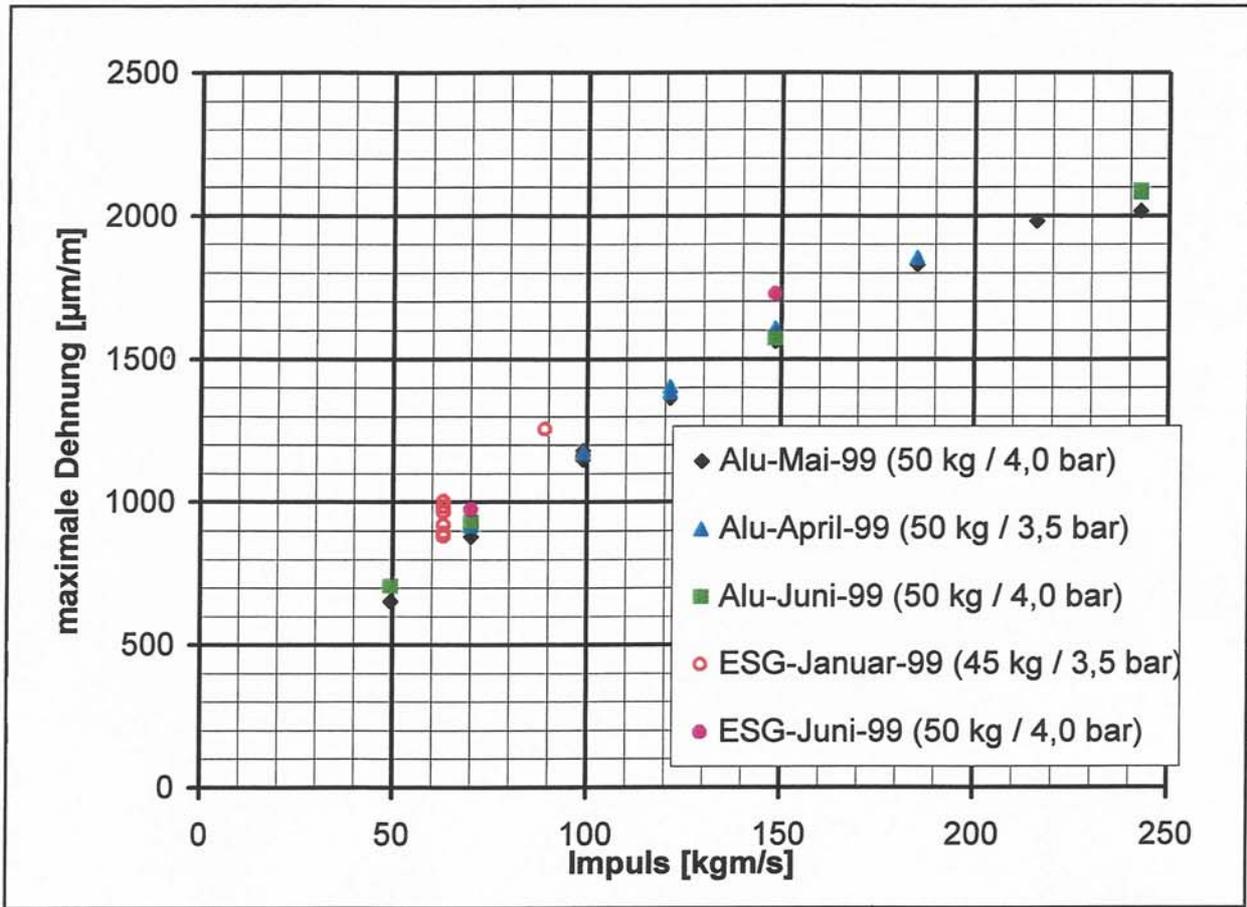


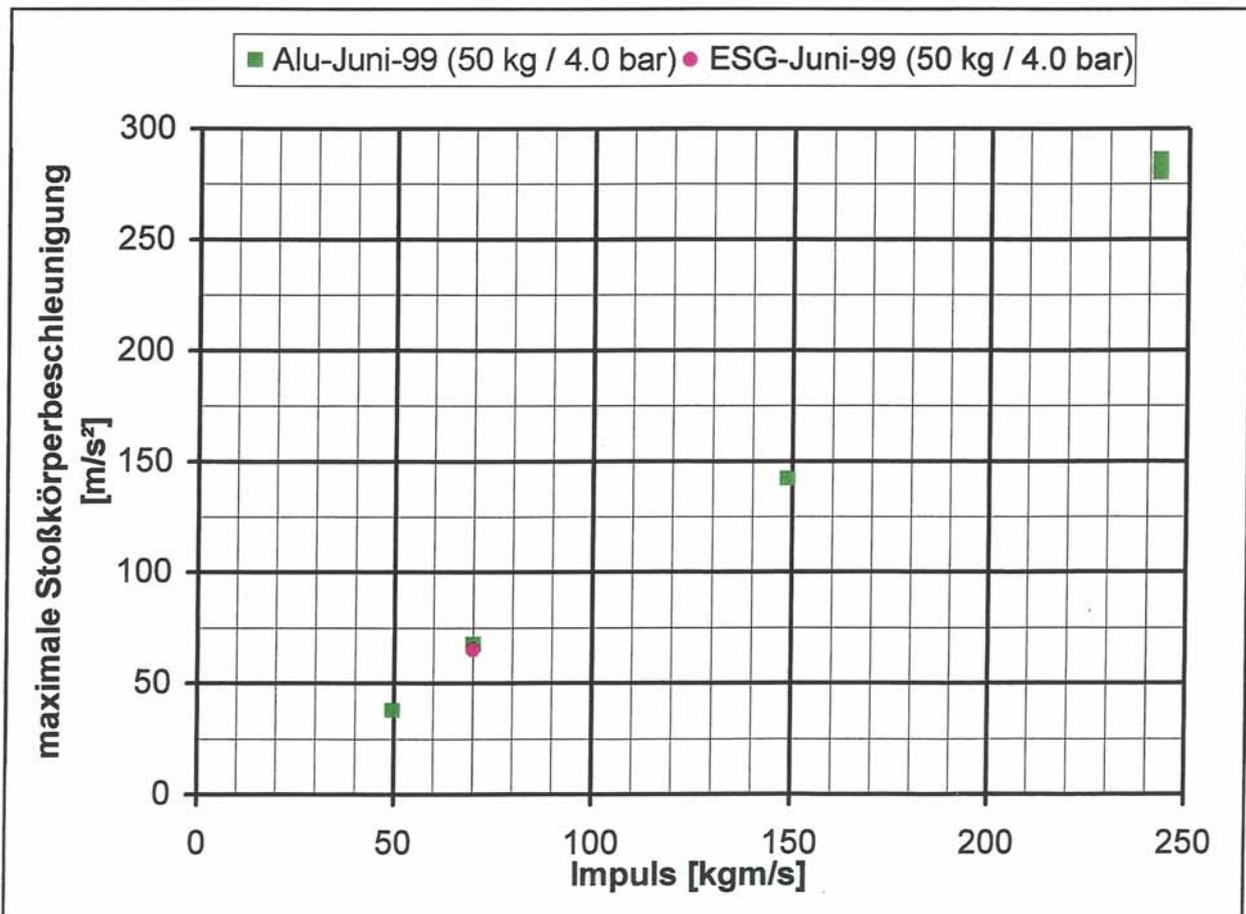
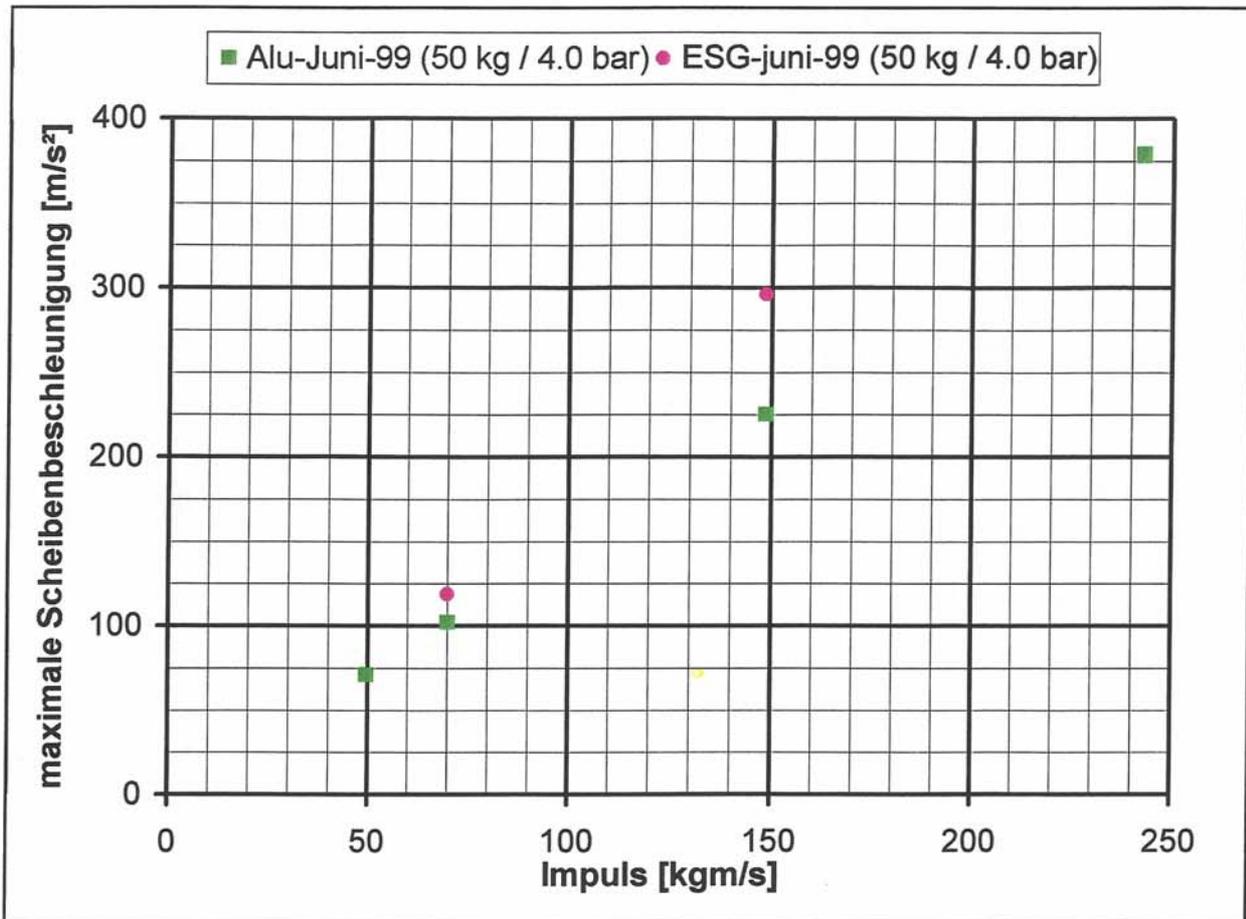
Bild 49: Zeitliche Verläufe der Dehnungen beim Referenzversuch 4.5.1 (Zwillingsreifen)



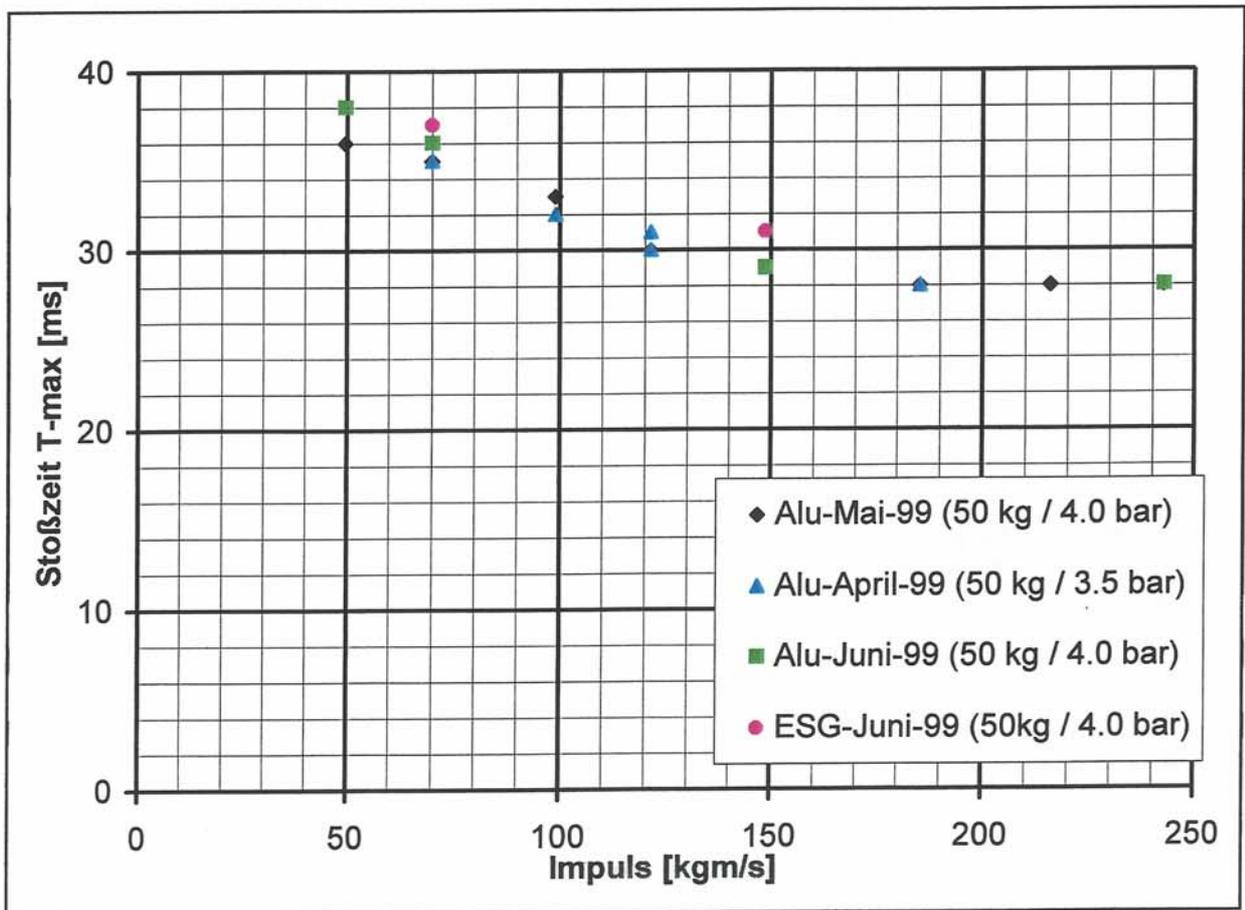
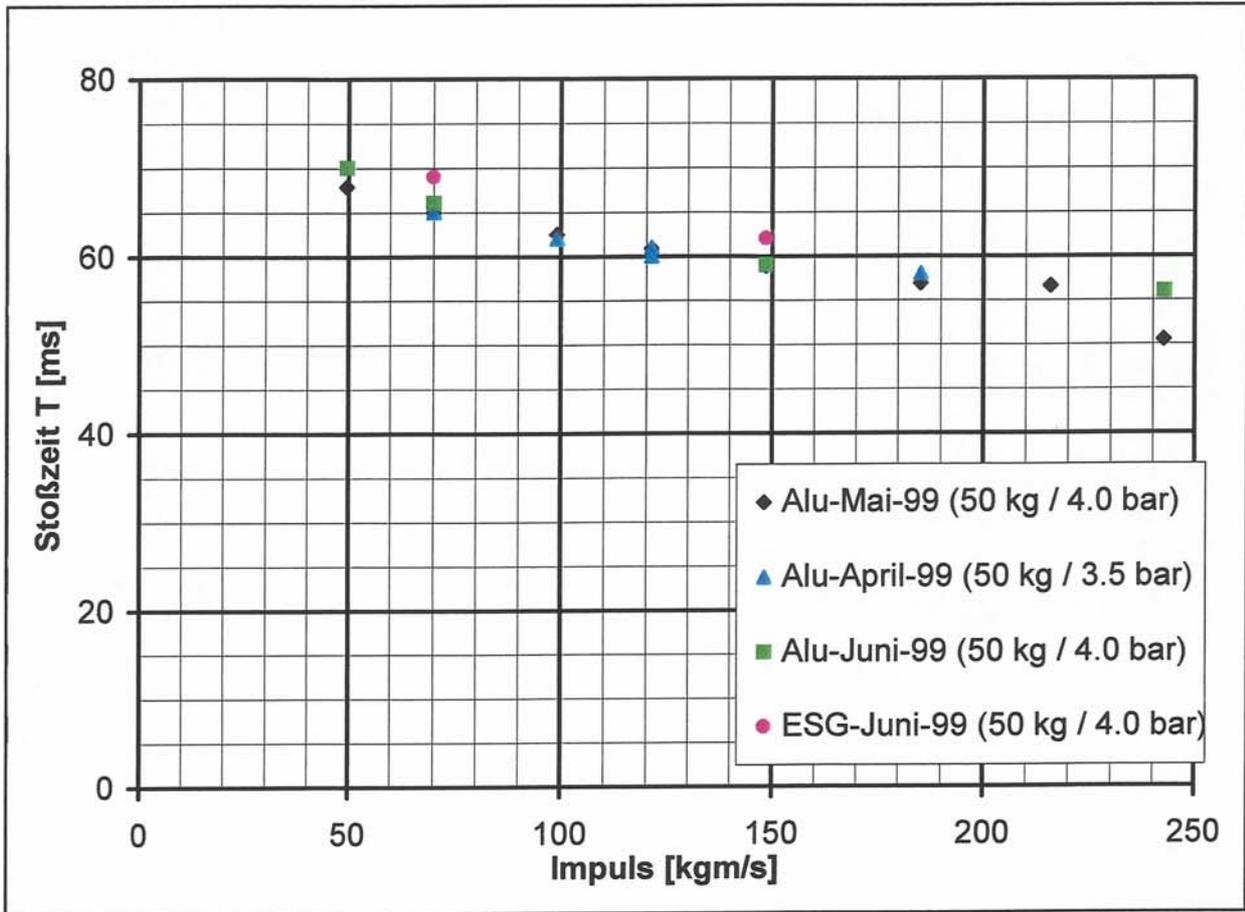
Bilder 50 und 51: Zeitliche Verläufe der Verschiebungen (oben) bzw. der Beschleunigungen (unten) beim Referenzversuch 4.5.1 (Zwillingsreifen)



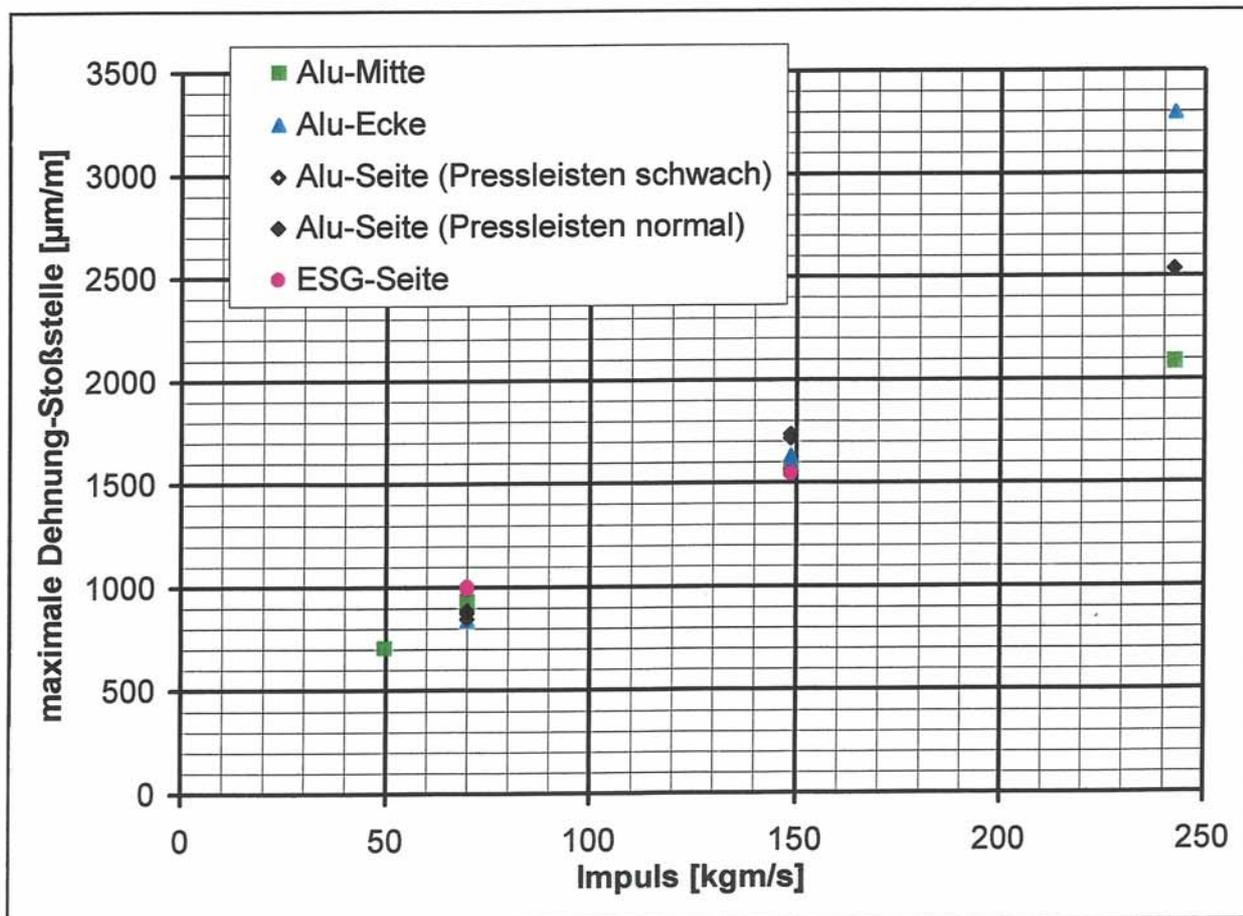
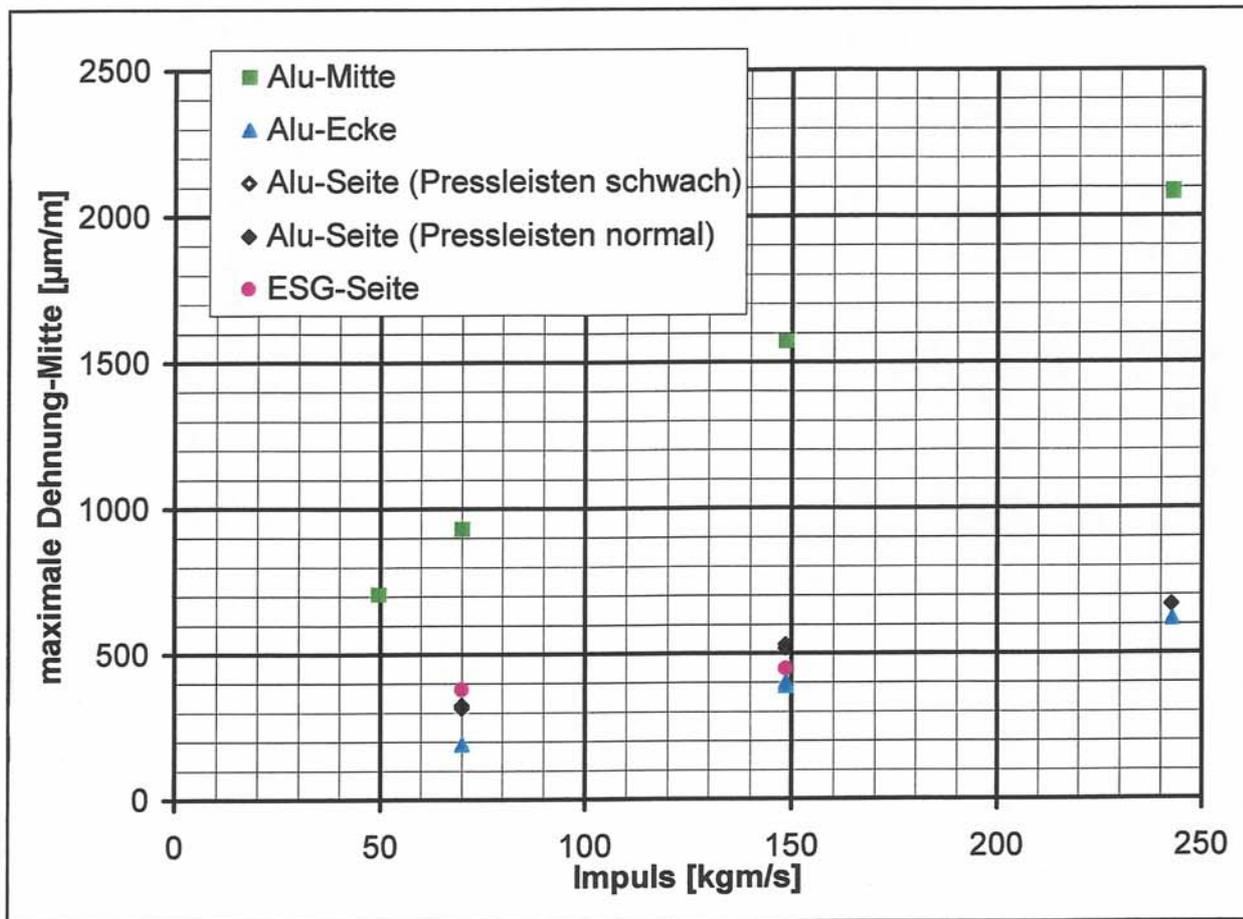
Bilder 52 und 53: Diagramm mit Angabe der maximalen Dehnung (oben) bzw. der maximalen Durchbiegung (unten) in der Elementmitte in Abhängigkeit des Impulses bei den Versuchsreihen 4.1 bis 4.5 (Zwillingreifen in Elementmitte)



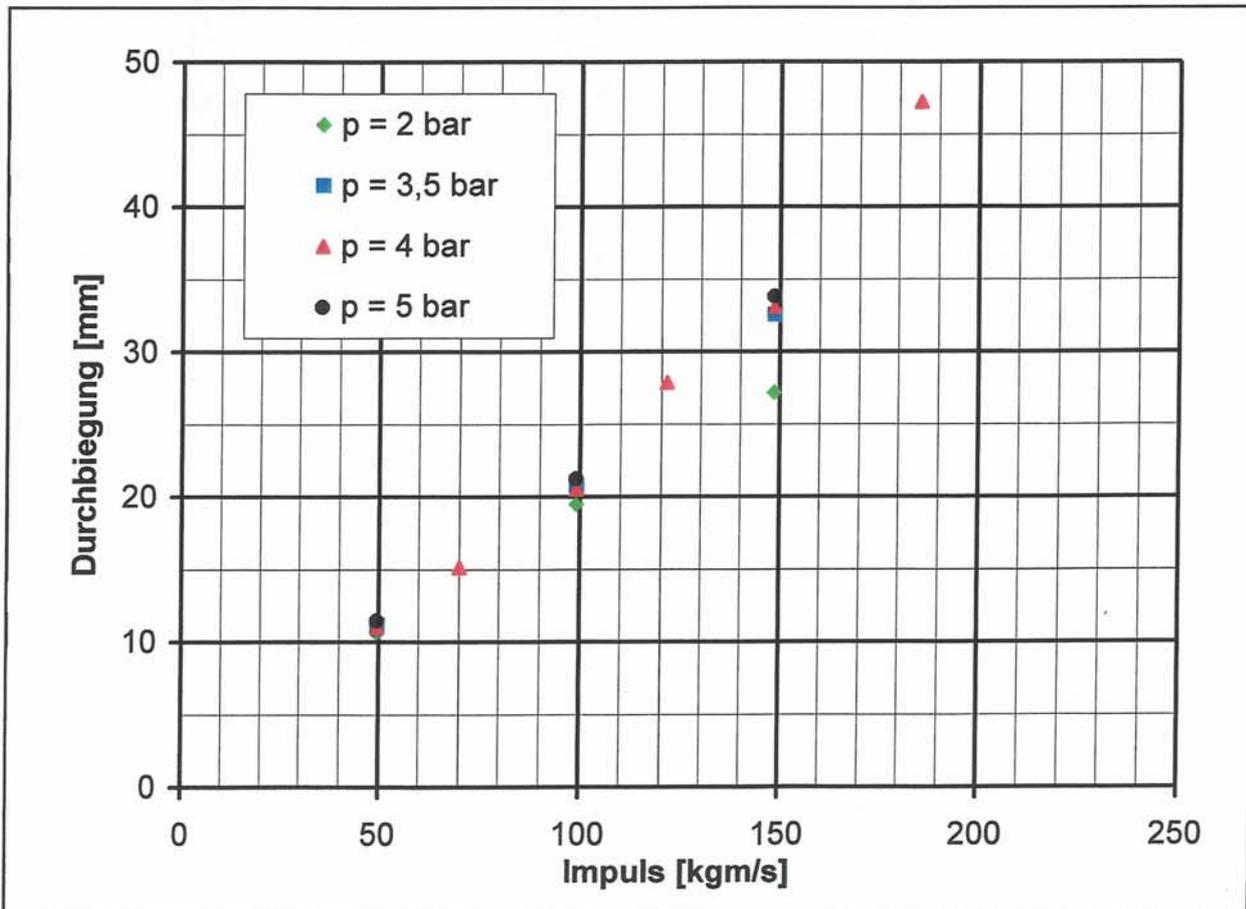
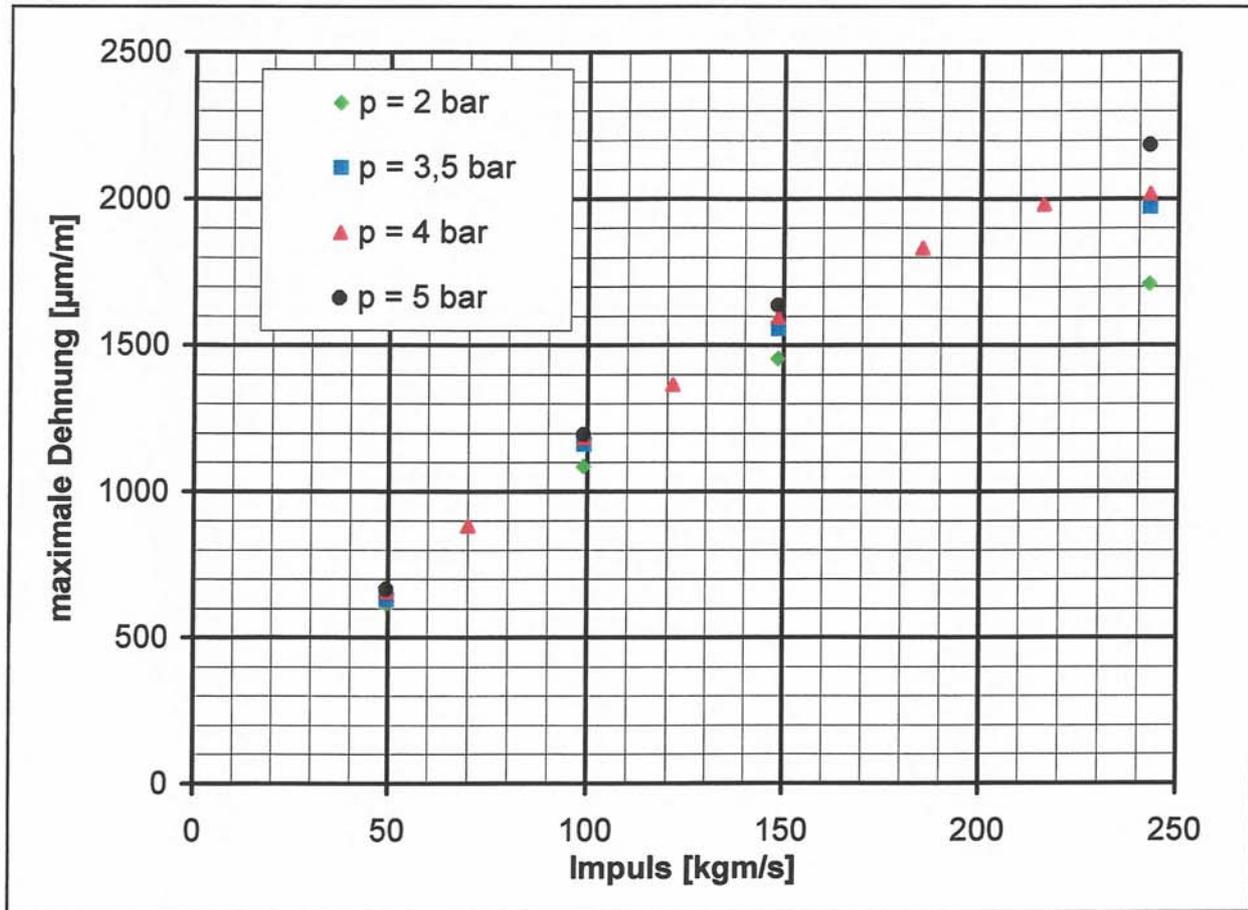
Bilder 54 und 55: Diagramm mit Angabe der maximalen Beschleunigung in der Elementmitte (oben) bzw. der Stoßkörperbeschleunigung (unten) in Abhängigkeit des Impulses bei den Versuchsreihen 4.1 bis 4.5 (Zwillingsreifen in Elementmitte)



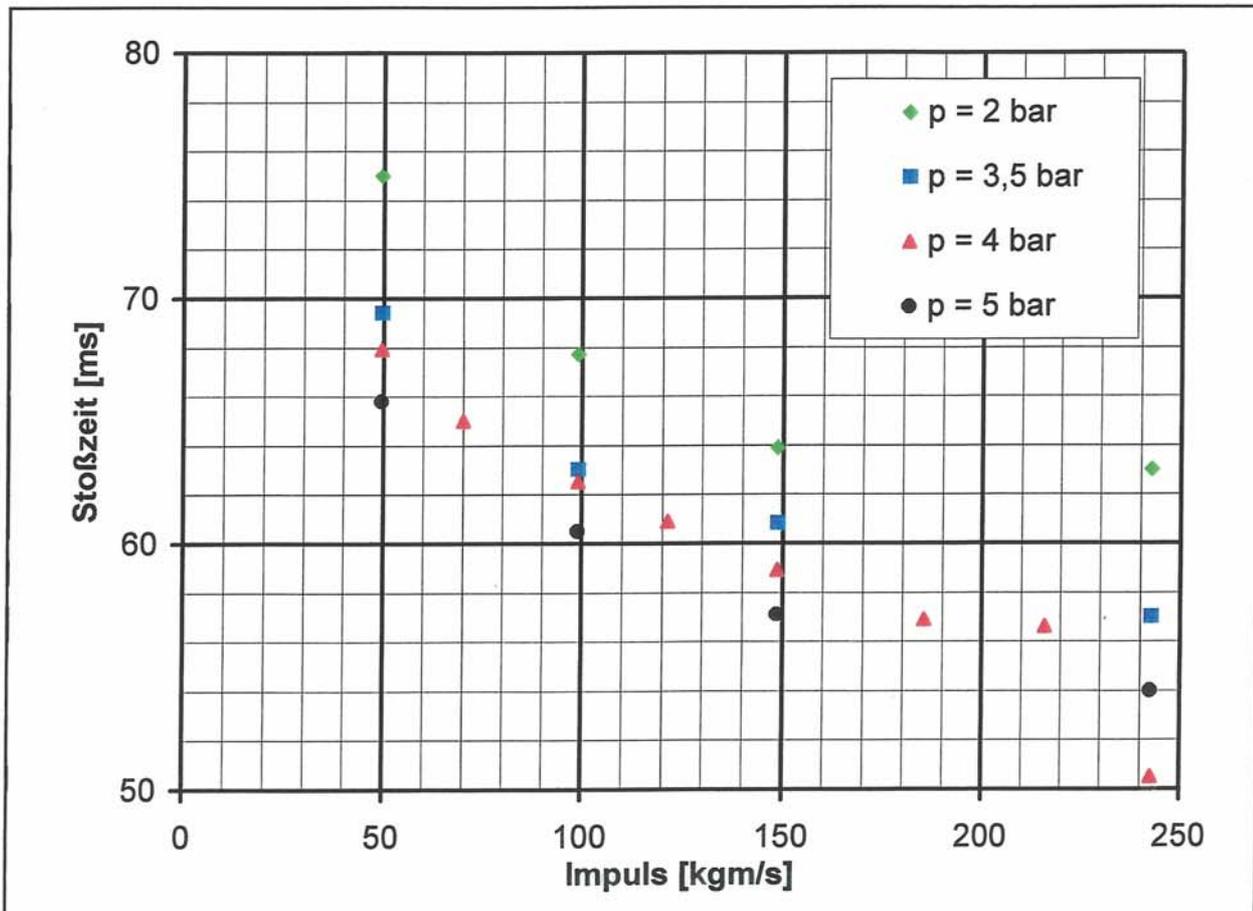
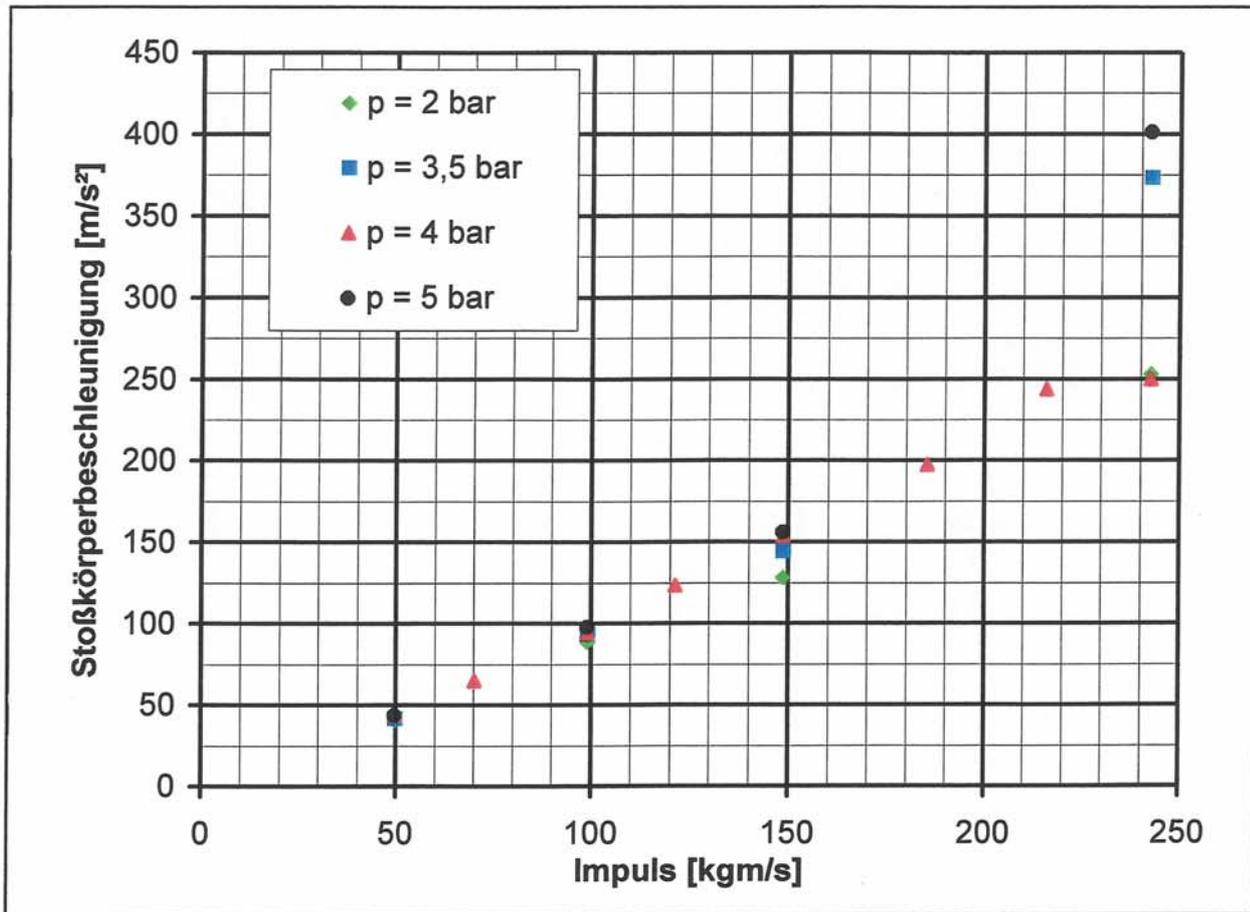
Bilder 56 und 57: Diagramm mit Angabe der Stoßzeit T (oben) und T_{max} (unten) bei den Versuchsreihen 4.1 bis 4.5 (Zwillingsreifen mit Aufprall in der Elementmitte)



Bilder 58 und 59: Diagramm mit Angabe der maximalen Dehnung in der Scheibenmitte (oben) und an der Aufprallstelle (unten) bei den Versuchsreihen 4.5 und 4.6 (Zwillingreifen)



Bilder 60 und 61: Diagramm mit Angabe der maximalen Dehnung (oben) bzw. der maximalen Durchbiegung (unten) in der Elementmitte in Abhängigkeit des Impulses bei der Versuchsreihe 4.7 (Zwillingreifen mit Variation des Luftdrucks)



Bilder 62 und 63: Diagramm mit Angabe der maximalen Stoßkörperbeschleunigung (oben) und der Stoßzeit (unten) in Abhängigkeit des Impulses bei der Versuchsreihe 4.7 (Zwillingreifen mit Variation des Luftdrucks)

Tabelle 10: Ergebnisse der Vergleichsversuche mit dem Zwillingstreifen und einem Aufprallpunkt in der Mitte des VSG-Elements (Variation der Geschwindigkeit)

Versuch Nr.	Element 1)	Fallhöhe 2)	Geschwindigkeit 3)	Impuls 4)	Stoßzeit		Höchstwerte			
					T _{max} 5)	T 6)	Dehnung 7)	Beschleunigung		Durchbiegung ⁹⁾
								Stoßkörper ⁸⁾	Scheibe ⁹⁾	
		cm	m/s	kgm/s	ms		µm/m	m/s ²		mm
5.1	VSG 6/0,76/6 Floatglas +PVB	2	0,6	30	27	62	356	42,0	33,7	4,52
5.2		2			30	69	325	32,2	28,6	4,29
5.3		2			29	69	304	32,6	21,2	3,97
5.4		2			30	69	312	30,6	22,8	4,08
5.5		3	0,8	40	30	69	370	41,2	32,2	4,94
5.6		3			30	69	376	41,2	27,9	5,02
5.7 ¹⁰⁾		5	1,0	50	28	65	490	56,1	41,2	6,70
5.8		5			29	66	496	54,2	48,7	6,71
5.9		7	1,2	60	29	62	570	70,2	54,5	7,86
5.10		8	1,3	65	28	61	605	71,4	58,5	8,30

Anmerkungen:

Stoßkörper: Zwillingstreifen in Anlehnung an E DIN EN 12 600 (50 kg, 4,0 bar)

Aufprallstelle: Elementmitte

- 1) Angabe des Glasaufbaus und der Zwischenschicht, Angabe in mm
- 2) Die Fallhöhe ist auf den Schwerpunkt bezogen
- 3) Die Geschwindigkeiten sind aus den Fallhöhen berechnet, sie wurden bei einigen Versuchen mit Hilfe einer Videoanlage überprüft.
- 4) Impuls = Masse x Geschwindigkeit
- 5) T-max ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Erreichen der größten horizontalen Dehnung in der Scheibenmitte.
- 6) T ist definiert als Zeit ab Stoßbeginn bis zum Nulldurchgang der größten horizontalen Dehnung in der Scheibenmitte.
- 7) Größte auf der Absturzseite in horizontaler Richtung gemessene Dehnung (Messstelle 1-H).
- 8) Der Beschleunigungsaufnehmer wurde an der Rückseite des Stoßkörpers ca. 10 cm unterhalb des Schwerpunkt appliziert.
- 9) Gemessen in der Scheibenmitte
- 10) Referenzversuch

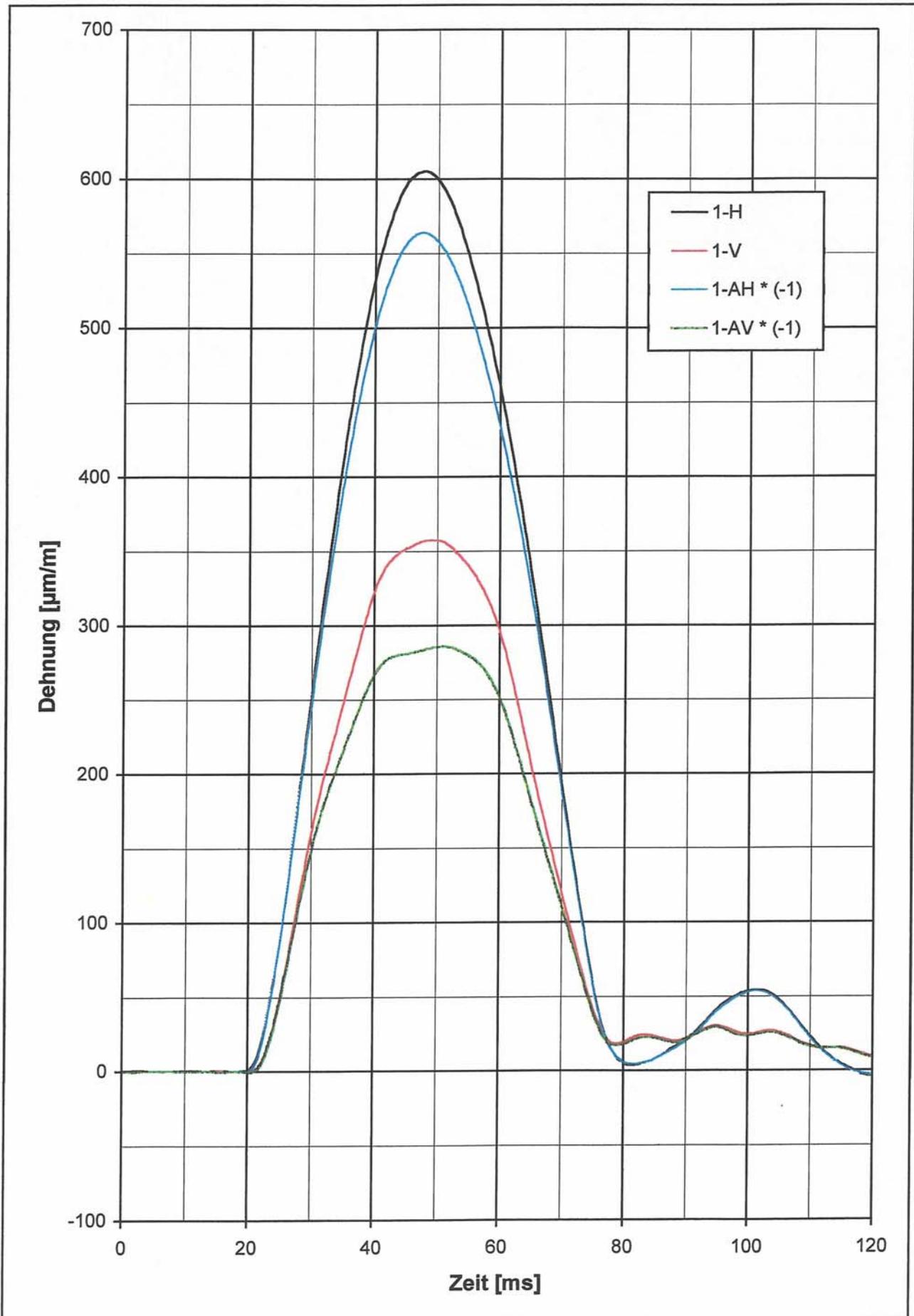
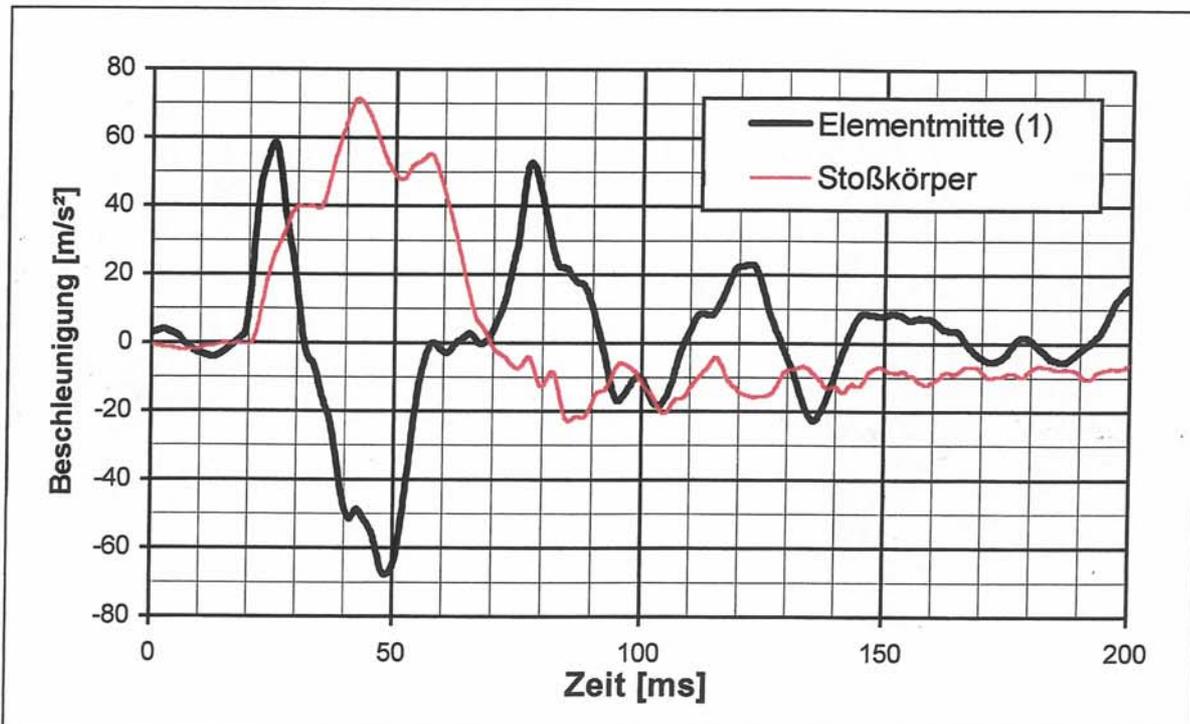
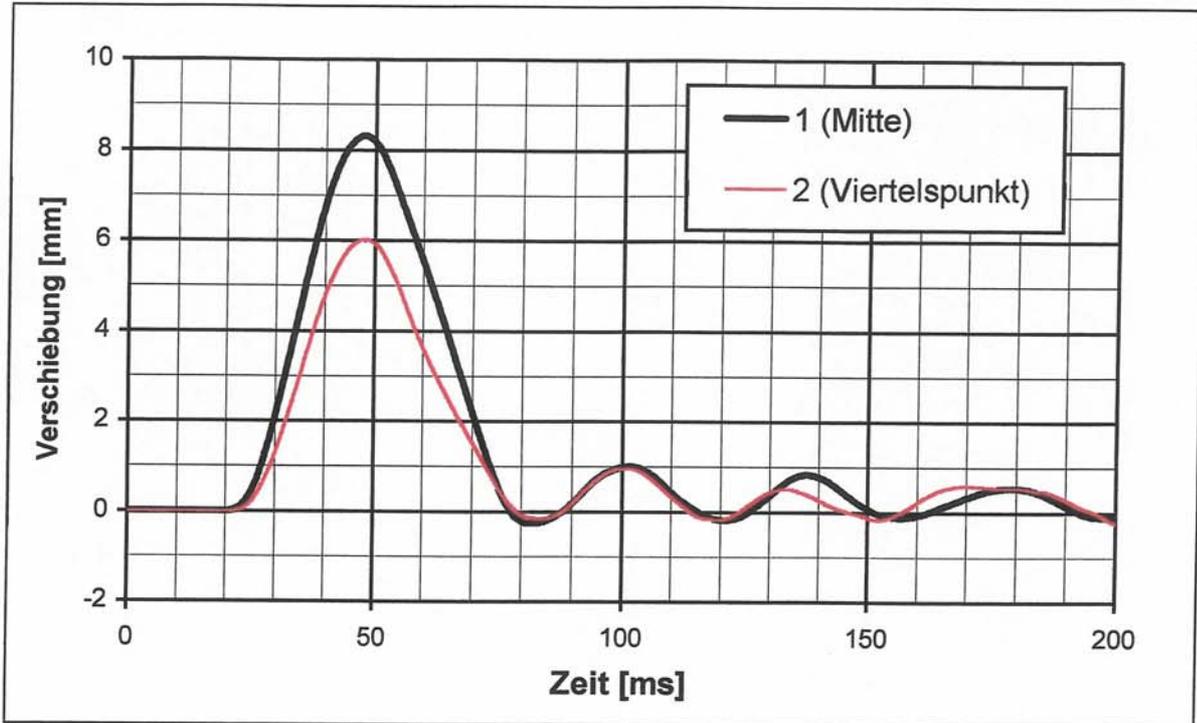


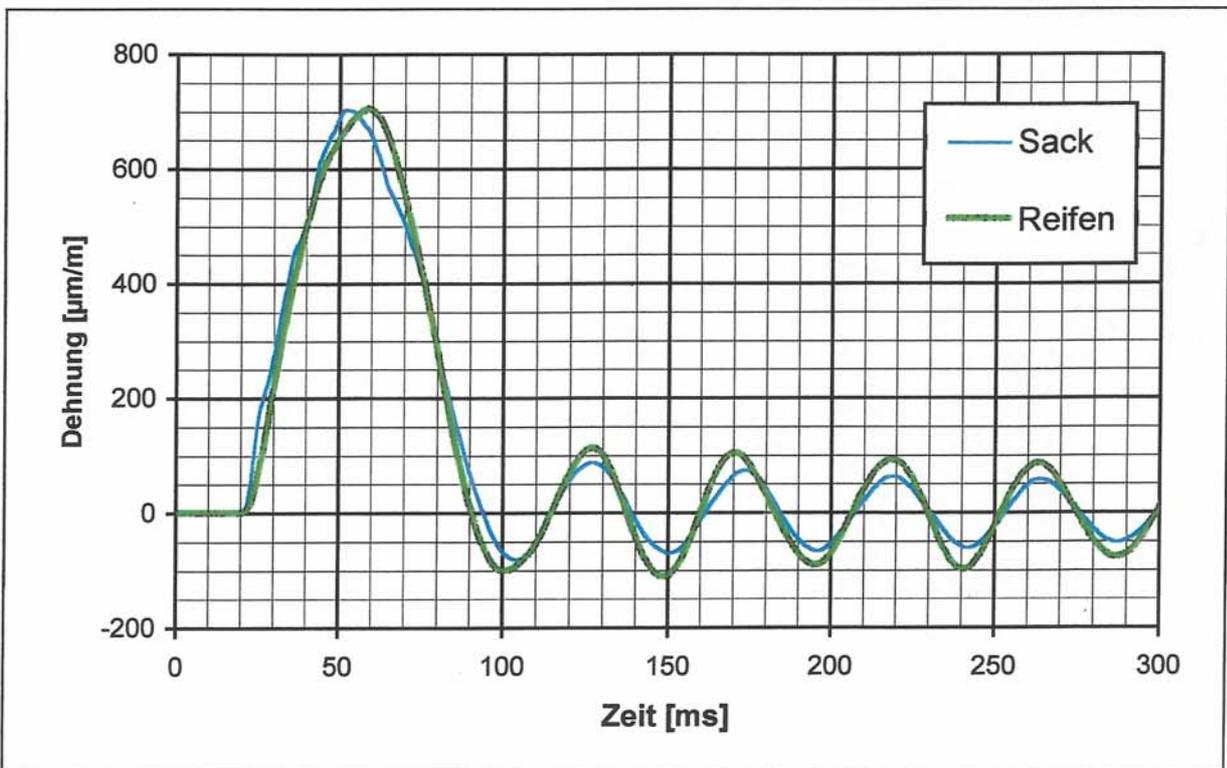
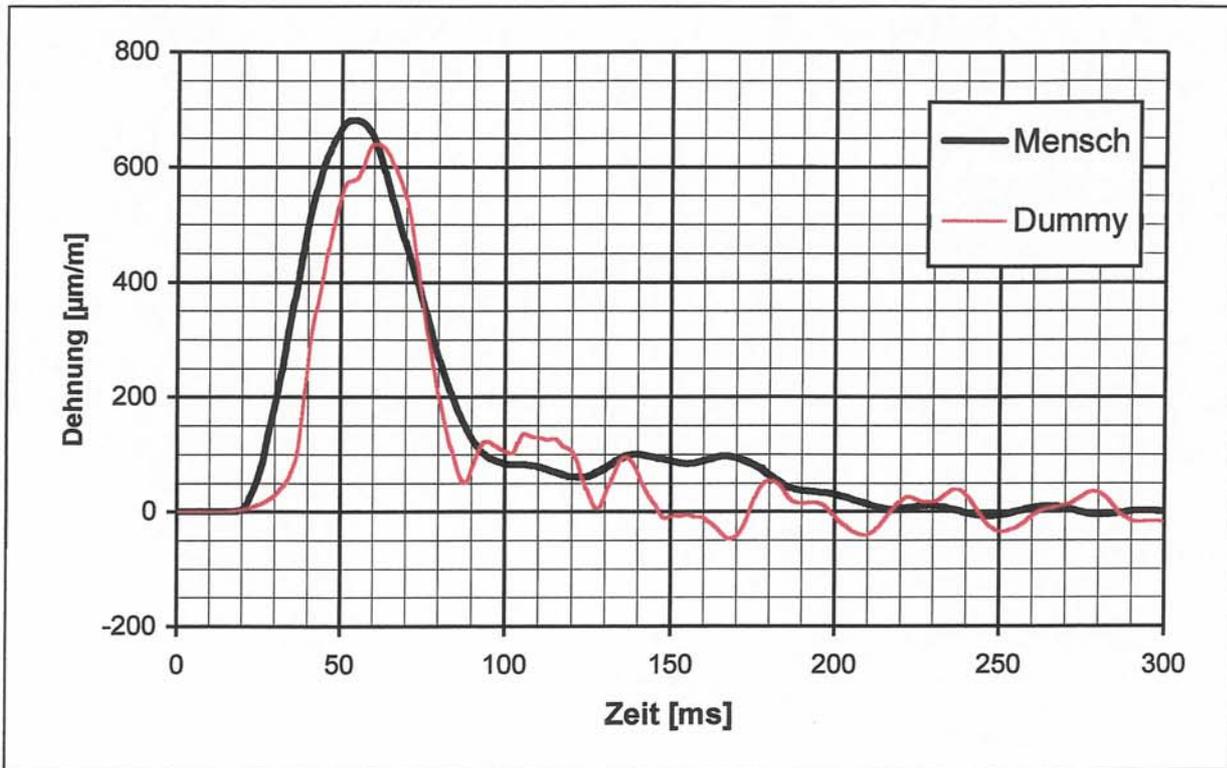
Bild 64: Zeitliche Verläufe der Dehnungen beim Pendelschlagversuch 5.1 mit dem Zwillingssreifen (Fallhöhe 8 cm) und der VSG-Scheibe, bestehend aus 2 x 6 mm Floatglas und einer 0,76 mm - PVB-Folie



Bilder 65 und 66: Zeitliche Verläufe der Verschiebungen (oben) bzw. der Beschleunigungen (unten) beim Referenzversuch 5.1 (Zwillingsreifen mit VSG-Scheibe)

Tabelle 11: Vergleich der Referenzversuche mit unterschiedlichen Stoßkörpern

Stoßkörper		Mensch	Dummy	Sack	Reifen	Reifen
Masse Stoßkörper [kg]		76	105	50	50	50
Element		Aluminiumplatte b x h = 1050 x 2056, Dicke 8 mm				dto. VSG 2 x 6 mm Folie 0,76 mm
Versuch Nr.		1.4	2.3.4	3.6	4.5.1	5.1
Anlauf / Fallhöhe		Anlauf 4 m	12 cm	60 cm	5 cm	8 cm
Aufprallgeschwindigkeit [m/s]		3,1	1,3	2,9	1,0	1,3
Impuls [kgm/s]		236	137	145	50	65
Stoßzeit [ms]	T_{max}	37	46	31	38	28
	$T_{30\%}$	67	65	62	62	50
	$T_{10\%}$	98	71	69	68	55
	T_0	221	132	73	70	97
Dehnung in Elementmitte (Messstelle 1) [$\mu\text{m}/\text{m}$]	1-H	681	643	702	705	605
	1-V	305	608	439	417	357
	1-AH	-619	-482	-558	-599	-564
	1-AV	-	-350	-190	-267	-286
Dehnung im Viertelspunkt (Messstelle 2) [$\mu\text{m}/\text{m}$]	2-H	266	351	350	224	-
	2-V	107	-	-	-	-
Dehnung am Rand (Messstelle 3) [$\mu\text{m}/\text{m}$]	3-H	75	102	109	59	-
	3-V	-125	-	-	-	-
Dehnung im Bereich der Einspannung [$\mu\text{m}/\text{m}$]	7	-	94	109	59	-
Dehnung in der Ecke (Messstelle 6) [$\mu\text{m}/\text{m}$]	6-H	102	160	131	89	-
	6-V	41	190	77	30	-
Spannung [N/mm^2]	1	62,1	67,3	67,4	67,0	57,5
	1-A	-	-47,6	-49,3	-54,6	-52,3
Durchbiegung in der Mitte [mm]		13,7	14,9	16,6	11,5	8,3
Beschleunigungen [m/s^2]	Elementmitte	57	217	118	71	59
	Stoßkörper	-	82	203	38	71



Bilder 67 und 68: Zeitliche Verläufe der Dehnungen bei den Referenzversuchen mit Mensch und Dummy (oben) bzw. mit Glaskugelsack und Zwillingssreifen (unten)

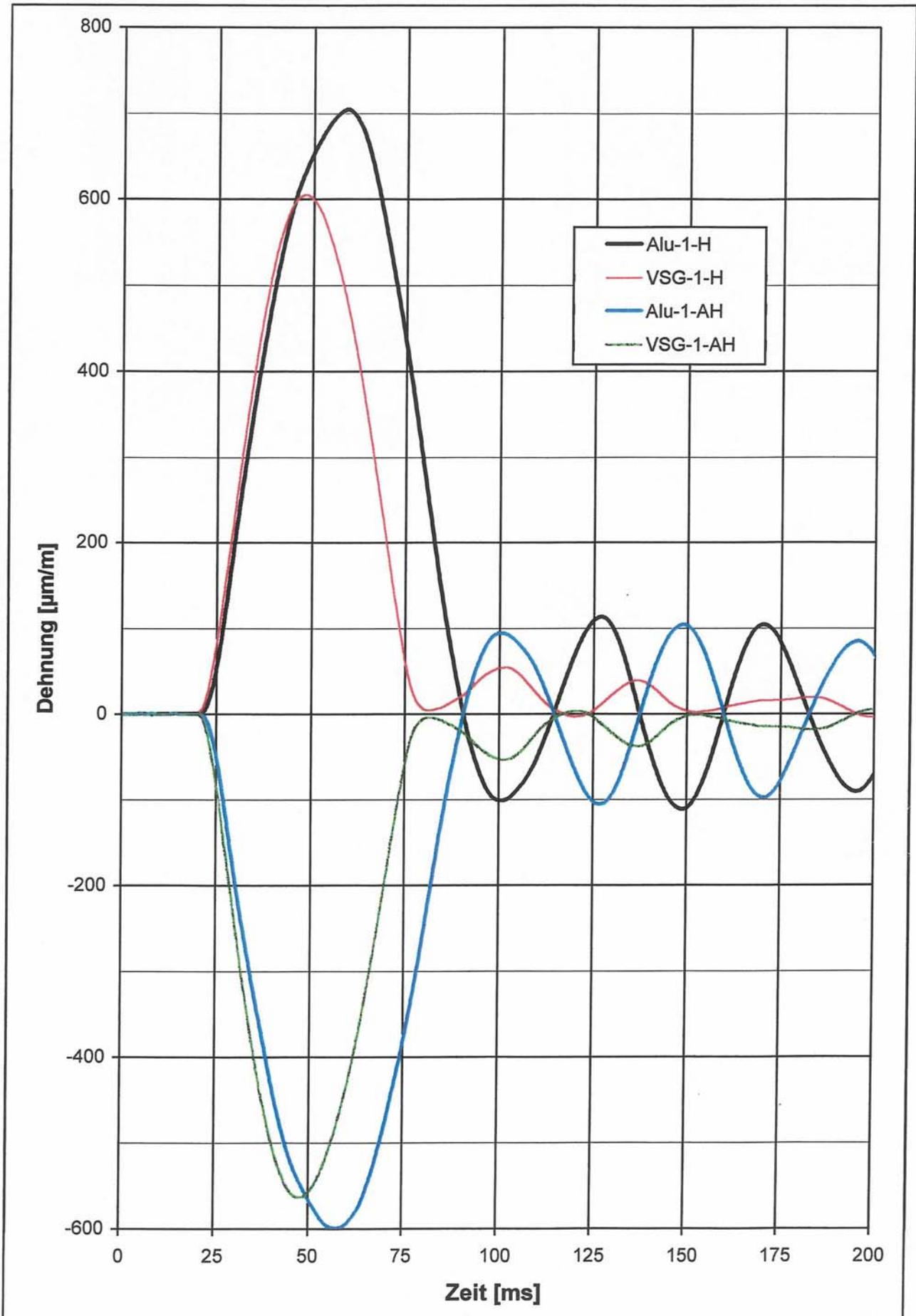


Bild 69: Zeitliche Verläufe der Dehnungen in Elementmitte bei den Referenzversuchen (Zwillingsreifen) mit der Aluminiumplatte (Fallhöhe 5 cm) und der VSG-Scheibe (Fallhöhe 8 cm)