

BAM Bundesanstalt für
Materialforschung und -prüfung

Forschungsbericht 204

**Der Glaskugelsack als Prüfkörper
für Beanspruchungen durch weichen Stoß
– eine erweiterte Modellvorstellung**

Dr.-Ing. Werner Struck
Dipl.-Ing. Ernst Limberger



Aufgaben der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung ist als Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministers für Wirtschaft das technisch-wissenschaftliche Staatsinstitut der Bundesrepublik Deutschland für Materialtechnologien, Chemische Analytik und Sicherheitstechnik. Dieser Komplex stellt in allen Industrieländern einen technologischen Schlüsselbereich dar, da Materialien als Konstruktions- und Funktionswerkstoffe die Grundlage der gesamten Technik bilden. Die Materialforschung, die zuverlässige, normengerechte Prüfung und chemische Analyse sowie die sicherheitstechnische Beurteilung von Werkstoffen, Bauteilen und Konstruktionen sind wesentliche Voraussetzungen für eine leistungs- und wettbewerbsfähige Wirtschaft im Hinblick auf die Anforderungen an Qualität und Zuverlässigkeit technischer Produkte, Umweltschutzerfordernisse und die Notwendigkeit der sparsamen Verwendung von Rohstoffen und Energie.

Die Bundesanstalt hat die Aufgabe, die Entwicklung der deutschen Wirtschaft zu fördern, indem sie Werkstoff- und Materialforschung betreibt, die Materialprüfung sowie die chemische Analytik und Sicherheitstechnik stetig weiterentwickelt.

In diesem Rahmen bestehen folgende Arbeitsschwerpunkte:

1. Technisch-wissenschaftliche Grundlagen des Materialwesens, der Sicherheitstechnik und der chemischen Analytik einschließlich zugehöriger Referenzmaterialien und -verfahren

2. Materialsicherung einschließlich Qualitätssicherung, Materialschutz, Recycling
3. Öffentliche technische Sicherheit
4. Technologien im Umwelt- und Gesundheitsschutz
5. Technologien in der Energiesicherung
6. Technologie- und Wissenstransfer

Ihre Arbeiten gliedern sich in:

- A Forschung und Entwicklung, besonders auf denjenigen Gebieten, die der Leistungssteigerung der Wirtschaft, der Sicherheitstechnik sowie der Schaffung und Erhaltung volkswirtschaftlicher Werte dienen,
- B Prüfung und Untersuchung von Stoffen und technischen Produkten auf der Basis von Gesetzen, Verordnungen oder technischen Regeln,
- C Beratung und Information von Bundesministerien sowie Durchführung von Aufgaben, die ihr von diesen im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft übertragen werden, Durchführung von Aufträgen aus der Wirtschaft, Beratung und Information von Wirtschafts- und Verbraucherorganisationen sowie Mitwirkung in nationalen und internationalen Gremien und Normenausschüssen und bei der Technischen Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern.

Die Ergebnisse ihrer und fremder wissenschaftlicher Arbeiten hat die Bundesanstalt zu sammeln, zu ordnen und der Allgemeinheit zugänglich und nutzbar zu machen.

Forschungsbericht 204

**Der Glaskugelsack als Prüfkörper
für Beanspruchungen durch weichen Stoß
– eine erweiterte Modellvorstellung**

Dr.-Ing. Werner Struck
Dipl.-Ing. Ernst Limberger

27 Seiten, 7 Abbildungen, 5 Tabellen

Herausgegeben von der

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin
☒ 12200 Berlin
Telefon (030) 81 04-0
Telefax (030) 8 11 20 29

Copyright © 1994 by Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Herstellung:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Am Alten Hafen 113-115 · 27568 Bremerhaven
☒ Postfach 10 11 10 · 27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 4 60 93-95
Telefax (04 71) 4 27 65

ISSN 0938-5533
ISBN 3-89429-484-1

Zusammenfassung

Das Glaskugel-Sackpendel ist ein versuchstechnisch vorteilhafter Prüfkörper für „weiche“ Stöße, der in mehreren technischen Regeln zur Anwendung zugelassen bzw. empfohlen wird. Beurteilungsmaßstab für die Wirkung eines „weichen“ Stoßes ist die Beanspruchung im Bauteil, gekennzeichnet durch seine Energieaufnahme E_A . Ihr Verhältnis zur Aufprallenergie E_a des Stoßkörpers wird als Energieübertragungsfaktor KA bezeichnet. Werden der Stoßkörper als Masse-Druckfeder-System und das Bauteil als Masse-Feder-System, beide mit linearer Federkennlinie, idealisiert, dann kann bei Kenntnis der Aufprallmasse m_1 und der Steifigkeit c_1 der Druckfeder des Stoßkörpers sowie der dynamisch wirksamen (mitschwingenden) Masse m_2 und der Federsteifigkeit c_2 des Bauteils die Beanspruchung im gestoßenen Bauteil mit Hilfe von KA aus einem Diagramm bzw. aus Tabellen ermittelt werden.

Im Rahmen dieses Beitrags wurden Versuche mit dem Glaskugelsack als Prüfkörper und verschiedenen Bauteilen ausgewertet und aus den gemessenen Energieübertragungsfaktoren eine Federsteifigkeit für den Glaskugelsack ermittelt. Eine Abhängigkeit von der Kreiseigenfrequenz des gestoßenen Bauteils ω_{e2} ergab hierbei die beste Anpassung an die Versuchsergebnisse. Unter Verwendung dieser Federsteifigkeit

$$\hat{c}_{1,\text{Sack}} \text{ (in N/mm)} = 0,17 \cdot \omega_{e2} \text{ (in s}^{-1}\text{)} + 10$$

und der Federsteifigkeit für den Schulterstoß bei einer Aufprallenergie von 100 Nm

$$c_{1,\text{Mensch}} = 107,4 \text{ N/mm}$$

wurde sodann ein Vergrößerungsfaktor bestimmt, der zur Anpassung des unterschiedlichen Verhaltens von „Stoßkörper Glaskugelsack“ und „Stoßkörper Mensch“ erforderlich ist:

Für den Glaskugelsack ist dann die Aufprallenergie

$$E_{a,\text{Sack}} = \alpha \cdot E_{a,\text{Mensch}} \text{ notwendig,}$$

um im gestoßenen Bauteil die gleiche Beanspruchung zu erzeugen.

Die erweiterte Modellvorstellung ergibt besonders für Bauteile im Parameterbereich „kleines m_2 und großes c_2 “ eine verbesserte Anpassung an Versuchsergebnisse im Vergleich zu bisher verwendeten Näherungen.

Summary

In national and international standards impact resistance tests of building components subjected to soft body impact are recommended. The impact is obtained by the pendular fall of a spheroconical bag. The effect of the impact on the target can be described by the energy absorption E_A . The relation energy absorption E_A to impact energy E_a is defined as energy transfer factor KA . Assuming simple linear mass-spring systems for both, the impactor and the target, the behaviour of the target can be simply calculated by using the given diagram (or table).

In this paper tests with the glassmarble bag as impactor and different wall types have been collected, and the measured energy transfer factors have been calculated afterwards. Using the double mass-spring model, the stiffness of the impactor spring has been evaluated. A linear relation to the natural frequency of the target gave the best fit to the test results. With this spring function for the impactor and the spring constant for the human shoulder impact of 100 Nm a factor α has been developed to fit the different behaviour of the „impactor glassmarble bag“ and „impactor human body“. The presented extended model especially for building components with the equivalent dynamic mass to be small and the stiffness to be high gives a better fit to test results in relation to earlier simplifications.

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung	7
2.	Formulierung des Problems	8
3.	Ausgewertete Versuche	10
3.1	Probekörper	10
3.2	Maximale Wege der Stoßstelle im Verhältnis zur Pendelfallhöhe	11
3.3	Ermittlung der Federsteifigkeit des das Sackpendel simulierenden Masse-Feder-Schwingers	13
3.4	Auswirkung der erweiterten Modellvorstellung auf das Verhältnis α der Aufprallenergien von Sackpendel-Stoß und Schulterstoß	15
3.5	Vergleich der erweiterten Modellvorstellung mit den „Nordtest-Versuchen“	16
4.	Folgerungen	17
5.	Zusammenfassung	21
	Literatur	21

1 Veranlassung

In Normen und Richtlinien wird für eine Reihe von Bauteilarten als eine Anforderung u. a. auch ausreichender Widerstand gegenüber „weichem“ Stoß verlangt. So müssen nichttragende Wände nach DIN 4103 [1], Bauteile, denen Sicherungsfunktion gegen Absturz zugewiesen wird, nach einer ETB-Richtlinie [2] sowie undurchsichtige senkrechte Bauteile und Füllelemente nach UEAtc-Richtlinien, [3] bzw. [4], einem Schulterstoß mit einer Aufprallenergie von 100 Nm widerstehen, siehe auch [5]. Unter bestimmten Voraussetzungen kann ausreichender Widerstand dazu durch einen Biegeversuch mit einer an der gedachten Stoßstelle zügig aufgebrachten Einzellast nachgewiesen werden. Dabei muß die Energieaufnahme des Bauteils bis zum vereinbarten Versagenszustand den durch die geforderte Stoßbeanspruchung in das Bauteil übertragenen Energieanteil mindestens erreichen. Sind die Voraussetzungen nicht erfüllt, muß das Verhalten des Bauteils unter einem realen „weichen“ Stoß geprüft werden. – Unter einem weichen Stoß wird hier eine stoßartige Beanspruchung verstanden, bei der größere Bereiche des Bauteils durch Verformungen zur Energieaufnahme beitragen und nicht nur örtliche Zerstörungen an der Stoßstelle, wie Eindringen, Absprengen oder Durchdringen, auftreten. – Hierfür wurde als Prüfkörper ein mit gehärteten Glaskugeln gefüllter Leinensack, Gesamtmasse 50 kg, vorgesehen, der als Pendel auf das Bauteil prallend den Schulterstoß simulieren soll, vgl. auch ISO 7892 [18]. Eine solche Simulation ist nur sinnvoll, wenn infolge Schulterstoß und infolge Glaskugel-Sackpendel-Stoß der gleiche Energiebetrag vom gestoßenen Bauteil aufgenommen wird. Der Anteil der Aufprallenergie, der in das Bauteil übertragen wird, ist aber grundsätzlich abhängig von den Eigenschaf-

ten des Stoßkörpers und von Eigenschaften des gestoßenen Körpers selbst. So ist also für jede Bauteilart das Verhältnis α von Aufprallenergie des Glaskugel-Sackpendels zur Aufprallenergie des Schulterstoßes zu bestimmen, wenn bei der Stoßprüfung mit dem Glaskugel-Sackpendel die Beanspruchung des gestoßenen Bauteils in einer noch vertretbaren Näherung mit derjenigen beim als Anforderung vereinbarten Schulterstoß übereinstimmen soll.

Soll dieses Verhältnis nicht von Fall zu Fall immer wieder durch versuchstechnisch komplizierte und kosten- aufwendige Vorversuche ermittelt werden, müssen eine geeignete Modellvorstellung der Mechanik für diese Art Stoßvorgang angepaßt und die Parameter für den Stoßkörper in Grundsatzuntersuchungen bestimmt werden. Dann sind vor jeder Stoßprüfung nur noch die im Rahmen der Modellvorstellung maßgebenden Eigenschaften des zu untersuchenden Bauteils zu ermitteln. Das gesuchte Verhältnis der Aufprallenergien ist damit „rechnerisch“ festzulegen.

Beim Schulterstoß wurden in der Modellvorstellung zur Ermittlung der Energieaufnahme im Bauteil beide am Stoß beteiligten Körper durch Masse-Feder-Schwinger ersetzt, Bild 1. Die vier Parameter dieses Masse-Feder-Masse-Feder-Systems, nämlich die wirkende Masse m_1 und die Federsteifigkeit c_1 des den Menschen beim Schulterstoß simulierenden stoßenden Masse-Feder-Schwingers sowie die mitschwingende Masse m_2 und die Federsteifigkeit c_2 des das gestoßene Bauteil simulierenden Masse-Feder-Schwingers, sind aus realen Schulterstößen gegen verschiedenartige Bauteile er-

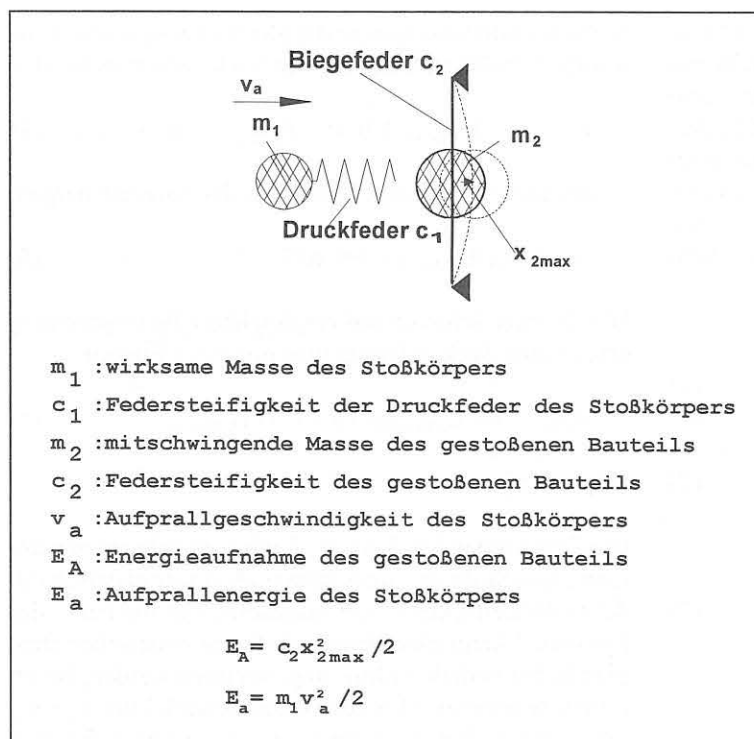


Bild 1:
 Modellvorstellung für den Schulterstoß, $c_1 = c_1(v_a)$,
 oder für den Glaskugel-Sackpendel-Stoß
 $c_1 = c_1(c_2; m_2)$

mittelt worden, [6]. Das Verhältnis c_1/m_1 , der Parameter des aufprallenden Schwingers ließ keine Abhängigkeit von den Parametern c_2 und m_2 des gestoßenen Schwingers erkennen, wohl aber von der Aufprallgeschwindigkeit.

Eine erste Auswertung von Versuchen mit dem Glaskugel-Sackpendel – bei allerdings nur geringer Variation der Parameter des gestoßenen Körpers – mit dem Ziel, für das Sackpendel in der Modellvorstellung ebenfalls einen Masse-Feder-Schwinger zu definieren, brachte seinerzeit keine vertretbaren Ergebnisse.

So konnte nur ein grob vereinfachendes Modell, auf der Vorstellung eines unelastischen Stoßes aufbauend, eingeführt werden, [7], [5], im folgenden als Näherung 1978 bezeichnet. Bei der Anwendung dieser Modellvorstellung über den untersuchten Parameterbereich hinaus ergeben sich Zahlenwerte für das Verhältnis α der Aufprallenergie des Glaskugel-Sackpendels zu der vergleichbaren Aufprallenergie des Schulterstoßes, die in der auf der Erfahrung basierenden Vorstellungswelt als zu groß erschienen. Die Vorlage der Ergebnisse von Versuchen zum Vergleich von Glaskugel-Sackpendel und Bleischrot-Sackpendel als Prüfkörper für weichen Stoß auf Glasscheiben [8] und der Versuch, auch die Ergebnisse von Vergleichsversuchen mit Glaskugelsack und Sandsack [9] in eine erneute Auswertung mit einzubeziehen, führten zu der Vorstellung, daß auch für das Glaskugel-Sackpendel die Modellvorstellung eines Masse-Feder-Schwingers als vertretbare Näherung zu rechtfertigen ist, [10].

2 Formulierung des Problems

Ein sich frei bewegendes Masse-Feder-System „1“ von der Masse m_1 und einer (masselosen) Feder prallt mit der Geschwindigkeit v_a gegen ein fest verankertes, zum Zeitpunkt des Aufpralls bewegungsloses Masse-Feder-System „2“. Die Feder des stoßenden Systems ist dabei nur als Druckfeder zu betrachten. Der maximale Betrag der vom gestoßenen System 2 aufgenommenen Energie wird hier mit „Energieaufnahme E_A “ bezeichnet. Sein Verhältnis zur Aufprallenergie E_a mit

$$E_a = m_1 \cdot v_a^2/2 \quad (1)$$

sei beim Schulterstoß

$$\alpha' = E_{A,Mensch}/E_{a,Mensch} \quad (2)$$

und beim Sackstoß

$$\alpha'' = E_{A,Sack}/E_{a,Sack} \quad (3)$$

mit

$$(\alpha' \text{ bzw. } \alpha'') \leq 1.$$

Im Gegensatz zu dem den Schulterstoß simulierenden Masse-Feder-Schwinger kann auf der Basis der hier ausgewerteten Versuche angenommen werden, daß die Federsteifigkeit c_1 des das Glaskugel-Sackpendel simulierenden Schwingers von der Aufprallgeschwindigkeit unabhängig ist. Allerdings scheiterte das Bemühen, eine für alle Fälle befriedigende Anpassung der Modellvorstellung an die Versuchsergebnisse durch eine von den gestoßenen Körpern unabhängige Zahl für c_1 zu erreichen. Trotzdem wurde Hinweisen zum Entwurf der UEAtc-Leitlinie „Geklebte Gläser“ Stand September 1989 [11] die Annahme von $c_1 = 50 \text{ N/mm}$ zugrunde gelegt, weil diese sich als bessere Näherung gegenüber der Modellvorstellung des unelastischen Stoßes darstellt, wenn über den Parameterbereich hinausgegangen wird, in dem die Vereinfachungen von [1] bis [3], [5] und [7] festgelegt sind.

Im folgenden wird nun eine den gesamten bisher untersuchten Parameterbereich erfassende Näherung entwickelt. Dabei wird das gestoßene Bauteil weiterhin als Masse-Feder-Schwinger mit den Parametern mitschwingende Masse m_2 und Federsteifigkeit c_2 simuliert. Für das Glaskugel-Sackpendel wird ebenfalls ein Masse-Feder-Schwinger zur Simulation angenommen. Als seine wirkende Masse m_1 wird die Gesamtmasse des Glaskugelsackes von 50 kg gesetzt und für seine Federsteifigkeit c_1 eine Abhängigkeit von dem Parameter des gestoßenen Masse-Feder-Schwingers postuliert, also $c_1 = c_1(c_2; m_2)$.

Soll das gestoßene System die gleiche Energieaufnahme infolge Schulterstoß und infolge Sackstoß erfahren, also

$$E_{A,Mensch} = E_{A,Sack}, \text{ d. h. } \alpha' \cdot E_{a,Mensch} = \alpha'' \cdot E_{a,Sack}, \quad (4)$$

ist das dazu notwendige Verhältnis der Aufprallenergien

$$\alpha = E_{a,Sack}/E_{a,Mensch} = (\alpha'/\alpha''). \quad (5)$$

Der die zum Schulterstoß vergleichbare Beanspruchung erzeugende Sackstoß muß also mit einer Energie

$$E_{a,Sack} = \alpha \cdot E_{a,Mensch} = (\alpha'/\alpha'') \cdot E_{a,Mensch} \quad (6)$$

aufprallen.

Die Druckfeder des Systems 1 wird im folgenden während eines Stoßvorganges immer als linear elastisch mit der Federsteifigkeit c_1 vorausgesetzt. Für die Feder des Systems 2 kann eine Feder mit linear elastischer/ideal plastischer Federkennlinie angenommen werden, die im elastischen Bereich bis zur Zusammendrückung $x_2 = x_{2,0}$ die Federsteifigkeit c_2 und im „plastischen“ Bereich

$x_2 > x_{2,0}$ bei weiterer Zusammendrückung immer nur den Widerstand $c_2 \cdot x_{2,0}$ aufweist.

Die Abhängigkeiten sind von Limberger in [12] für rein elastische Systeme und in [13] bzw. [14] für elastisch/plastisch reagierende Systeme dargestellt.

Bei den Versuchen zur Ermittlung der Federsteifigkeit c_1 des das Glaskugel-Sackpendel simulierenden Masse-Feder-Schwingers waren, bis auf zwei Versuchsreihen, die Stöße auf elastisch reagierende Körper ausgeführt worden. Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt somit unter Annahme einer linear elastisch reagierenden Feder 2. (Für die zwei erwähnten Ausnahmereihen werden Mittelwerte der Federsteifigkeiten eingeführt, die zur gleichen Energieaufnahme wie im Versuch gemessen führen.)

Mit der Masse des Glaskugelsacks m_1 und der Aufprallgeschwindigkeit v_a ergibt sich aus den im Versuch gemessenen maximalen Wegen $x_{2,max}$ an der Stoßstelle ein Energieübertragungsbeiwert

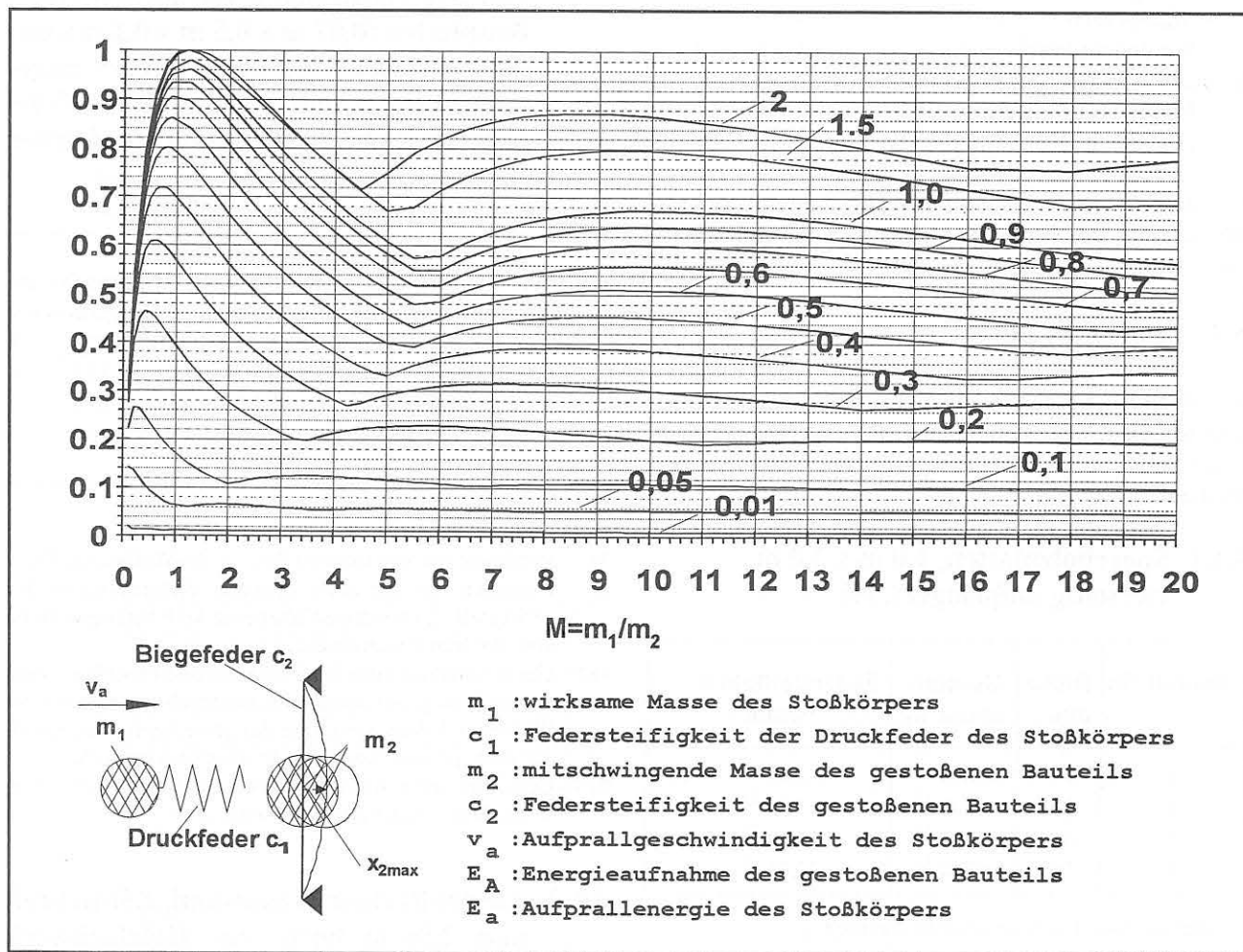
$$\alpha''_{\text{Versuch}} = \left(\frac{E_{A,\text{Sack}}}{E_{a,\text{Sack}}} \right)_{\text{Versuch}} = \frac{\frac{1}{2} c_2 x_{2,max}^2}{\frac{1}{2} m_1 \cdot v_a^2} \quad (7)$$

Mit Hilfe des in Bild 2 bzw. Tabelle 5 für ausgewählte Parameter von $M = m_1/m_2$ und $C = c_1/c_2$ dargestellten Energieübertragungsbeiwerts $KA = E_A/E_a$ läßt sich dann aus $\alpha''_{\text{Versuch}}$ eine linearisierte Federsteifigkeit des Glaskugelsacks $(c_1)_{\text{Versuch}}$ bestimmen.

Die Beiwerte sind auch für Parameterbereiche errechnet worden, bei denen es zu wiederholten Kontaktvorgängen zwischen stoßendem und gestoßenem System kommt, die Ursache für den z. T. nicht monotonen Verlauf der Abhängigkeiten sind.

Bei den Versuchsreihen zur Anpassung der Modellvorstellung an den Schulterstoß, [6], standen zur Bestimmung der vier Freiheitsgrade des Masse-Feder-Systems auch vier Meßwerte, nämlich maximaler Weg der Stoßstelle und maximale Stoßkraft sowie die beiden Zeitspannen von Stoßbeginn bis zum Erreichen dieser Maximalwerte, zur Verfügung. Hier ist dagegen nur der Wert $x_{2,max}$ direkt im Stoßversuch gemessen worden. Zur Festlegung der Werte für m_1 , m_2 und c_2 sind deshalb weitere Annahmen erforderlich.

al: Die Federkonstante c_2 kann aus den Ergebnissen von Versuchen mit einer zügigen Belastung durch eine Einzelkraft an der Stoßstelle bestimmt oder mit



Hilfe der Modellvorstellungen der Mechanik für eine solche Belastung rechnerisch ermittelt werden.

a2: Die mitschwingende Masse m_2 läßt sich aus der in einem Ausschwingversuch gemessenen Eigenschwingungsdauer T_{e2} und mit c_2 nach a 1 bestimm-

men zu

$$m_2 = c_2 \cdot T_{e2}^2 / (4\pi^2). \quad (8)$$

a3: Die wirkende Masse m_1 des Sackpendels sei die Gesamtmasse des Glaskugelsackes, also $m_1 = 50 \text{ kg}$.

3 Ausgewertete Versuche

Die Stöße wurden mit sphäro-konischen Säcken durchgeführt, die mit gehärteten Glaskugeln (Durchmesser 3 mm) so aufgefüllt waren, daß ihre jeweilige Gesamtmasse 50 kg betrug. Details zur Form und zur Ausführung des Sackpendels sind in [3, Abschnitt 3.12] und [7, Abschnitt 2.1] bzw. [18] beschrieben.

In die Auswertung wurden folgende Versuche einbezogen:

Versuche in der BAM [7]:

- Gipsbauplatten-Wand
- Holzfachwerk-Wand

französische Versuche am CSTB [9]:

- Sperrholzplatten

englische Versuche [16]:

- Holzgefach
- Stahlgefach
- Sandwichplatte

deutsche Versuche der Glasindustrie [8]

- Flachglasscheiben aus ESG (Einscheibensicherheitsglas).

Von den „Nordtest“-Versuchen [17] konnten nur die Versuche mit der Gipskarton-Elementwand zur Bestätigung herangezogen werden, siehe Abschnitt 3.5.

3.1 Probekörper

Im folgenden werden Art und hier maßgebende Eigenschaften der Körper zusammengestellt, auf die die Glaskugel-Sackpendel aus unterschiedlichen Fallhöhen aufprallten.

3.1.1 Sperrholzplatten, 1,0 m x 2,0 m, vierseitig aufgelagert, [9]

Bauteil Nr.	Dicke mm	Gesamtmasse kg	Federsteifigkeit N/mm
1	19	20,8 ¹⁾	245 ²⁾
2	29	41,0 ¹⁾	736 ²⁾
3	40	52,8 ¹⁾	1619 ²⁾
4	50	67,4 ¹⁾	3237 ²⁾

1) Über das Quadratmetergewicht ermittelt

2) Bestimmt aus der gemessenen Durchbiegung infolge einer „statischen“ Beanspruchung durch eine Einzellast, eingeleitet über eine kreisförmige Fläche von 160 mm Durchmesser.

Da keine Meßergebnisse zur Eigenschwingungsdauer vorliegen, kann die mitschwingende Masse m_2 nur geschätzt werden. Als Modellvorstellung dient dazu eine elastische, vierseitig frei drehbar aufgelagerte Platte, für die bei einem Seitenverhältnis von 2:1

$$m_2 = 0,163 \cdot m_{\text{total}}$$

angenommen werden kann [15, Bild 3].

In Wirklichkeit waren die Platten an den langen Seiten jeweils an vier, an den kurzen Seiten jeweils an 2 Stellen punktförmig elastisch geklemmt.

3.1.2 Abschnitt einer Trennwand, 2,67 m breit und 3 m hoch, aus 0,1 m dicken Gipsbauplatten (0,67 m x 0,5 m x 0,1 m), unten aufgesetzt und oben „starr“ angeschlossen (verkeilt und Fuge mit Mörtel ausgedrückt), [7, Tabelle 1, Probekörper Nr. 15]

Bauteil Nr.	Zustand der Wand*)	Federsteifigkeit N/mm	Eigenschwingungsdauer s
5	ungerissen	1059 ³⁾	0,122 ⁵⁾
6	ein Riß	314 ⁴⁾	0,230 ⁵⁾
7	mehrere Risse	157 ⁴⁾	0,266 ⁵⁾

*) siehe [7, Bild 2]

3) Bestimmt aus dem linearen Bereich der Widerstand-Weg-Kennlinie infolge einer zügigen Verformung an der „Stoßstelle“, erzwungen über eine kreisförmige Fläche von 200 mm Durchmesser.

4) Unter Annahme einer linear elastischen Feder berechnet aus der Energieaufnahme (planimetrisch ermittelt aus der Widerstand-Weg-Kennlinie des jeweiligen Zustandes), die dem größten Weg beim Stoßversuch entspricht.

5) Gemessen beim Ausschwingen nach Stößen mit unterschiedlicher Aufprallgeschwindigkeit.

3.1.3 Abschnitt einer Trennwand, 2,56 m breit und 2,56 m hoch, aus Holzfachwerk (5 Stiele 6/6 aus Fichte) mit beidseitig 12 mm dicker Profild Brett-Beplankung, [7, Tabelle 1, Probekörper Nr. 17]

Bauteil Nr.	Federsteifigkeit N/mm	Eigenschwingungsdauer s
8	79,0 ³⁾	0,111 ⁵⁾

- 3) Bestimmt aus dem linearen Bereich der Widerstand-Weg-Kennlinie infolge einer zügigen Verformung an der „Stoßstelle“, erzwungen über eine kreisförmige Fläche von 200 mm Durchmesser.
- 5) Gemessen beim Ausschwingen nach Stößen mit unterschiedlicher Aufprallgeschwindigkeit.

In der Pendelebene des Sackpendels lag der mittlere Stiel des Trennwandabschnittes.

3.1.4 Holzgefach, 2 m breit und 3 m hoch, einseitig beplankt mit 7 mm dickem Sperrholz [16]

(Bauteil Nr. 9)

3.1.5 Stahlgefach, 1,2 m breit und 2,4 m hoch und Gipsplatten-Trennwand [16]

(Bauteil Nr. 10)

3.1.6 Sandwichplatte, 0,6 m breit und 2,4 m hoch, aus Stahl-Deckschichten und Mineralwolle-Kernschicht [16]

(Bauteil Nr. 11)

Bauteil Nr.	Gesamtdicke mm	Gesamtmasse kg	Federsteifigkeit N/mm	Eigenfrequenz s
9	110	103,0	144	11,2
10	70	73,6	71	6,8
11	50	30,6	182	14,5

3.1.7 Flachglasscheibe, 0,87 m breit und 1,93 m hoch, aus 6 mm dickem Einscheibensicherheitsglas (ESG, thermisch vorgespanntes Floatglas), vierseitig aufgelagert in der Pendelschlagversuchseinrichtung nach DIN 52 237 [8] (Bauteil Nr. 12)

Da keine Meßergebnisse zur Federsteifigkeit und Eigenschwingungsdauer dokumentiert sind, können nur Grenzwerte geschätzt werden. Als Modellvorstellung dient auch hierzu eine elastische, vierseitig frei drehbar aufgelagerte Platte, für die bei einem Seitenverhältnis $a/b = 1,93/0,87 = 2,2$

$$c_2 = \frac{E \cdot d^3}{k \cdot b^2 \cdot 12 \cdot (1 - \nu^2)} \quad \text{mit } K = 0,0168$$

und

$$m_2 = \chi \cdot m_{\text{total}} \quad \text{mit } \chi = 0,153$$

angenommen werden kann, [15, Bild 3].

Dazu wird hier gesetzt für
den Elastizitätsmodul $E = 71000 \text{ N/mm}^2$
die Querdehnzahl $\nu = 0,25$
die Dichte $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$.

Die tatsächliche mitschwingende Masse ist vermutlich kleiner, und die tatsächliche Federsteifigkeit ist vermutlich größer als die so abgeschätzten Werte.

3.2 Maximale Wege der Stoßstelle im Verhältnis zur Pendelfallhöhe

Mit der in Abschnitt 2 formulierten Modellvorstellung – Glaskugelsack als Masse-Feder-Schwinger mit linear elastischer Feder – besteht unter Verwendung des Energieübertragungsbeiwerts KA als Funktion vom Massenverhältnis $M = m_1/m_2$ und vom Verhältnis der Steifigkeiten $C = c_1/c_2$ die Beziehung

$$\frac{c_2 x_{2\text{max}}^2}{2} = KA \cdot \frac{m_1 v_a^2}{2} \quad (9)$$

In diesem Falle entspricht KA gemäß den Definitionen im Abschnitt 2 dem Beiwert α .

Mit der Fallhöhe

$$h = v_a^2/2g \quad (10)$$

ergibt sich der maximale Weg des Bauteils an der Stoßstelle zu

$$x_{2\text{max}} = \sqrt{KA \cdot m_1 \cdot 2g \cdot h/c_2} \quad (11)$$

Bei gegebenen Parametern ist also

$$x_{2\text{max}} \sim \sqrt{h} \quad (12)$$

Zeigt sich bei Versuchen eine proportionale Abhängigkeit entsprechend (12), ist die Annahme gerechtfertigt, daß die Parameter c_1 und m_1 des den Stoßkörper simulierenden Schwingers von der Aufprallgeschwindigkeit unabhängig sind.

Mit den in den Versuchen gemessenen Werten für die Fallhöhen h und die maximalen Wege $x_{2\text{max}}$ an der Stoßstelle wird der Wert

$$\delta_{\text{Versuch}} = (x_{2\text{max}}/\sqrt{h})_{\text{Versuch}} \quad (13)$$

berechnet. Lineare Regression durch den Punkt ($\sqrt{h} = 0$; $x_{2max} = 0$) liefert

$$\delta = \frac{\sum_i (x_{2max,i} \cdot \sqrt{h_i})}{\sum_i h_i} \quad (14)$$

Alle Ergebnisse sind in Tabelle 1 bzw. Bild 3 dargestellt. Die entsprechenden Regressionsgeraden sind in Bild 3

eingetragen. Der Augenschein bestätigt die Vertretbarkeit der vorstehenden Annahme.

(Da von den Versuchen mit den Probekörpern 3.1.4 bis 3.1.6 keine Wege der Stoßstelle und zugehörige Fallhöhen in [16] dokumentiert sind, konnten diese Versuche in Tabelle 1 und Bild 3 nicht mit einbezogen werden.)

Tabelle 1:

Gemessene maximale Wege x_{2max} der Stoßstelle des gestoßenen Körpers infolge Aufprall eines 50 kg-Glaskugel-Sackpendels aus der Fallhöhe h . $\delta = x_{2max} / \sqrt{h}$ aus linearer Regression durch den Punkt ($\sqrt{h} = 0$; $x_{2max} = 0$).

gestoßenes Bauteil: (s. Abschn. 3.1)	3.1.1 Sperrholzplatten, Dicke:				3.1.2 Gipsbauplatten, Risse:			3.1.3 Holzfachwerk	3.1.7 ESG 6 mm
	19 mm	29 mm	40 mm	50 mm	0	1	>1		
Bauteil Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	12
h (mm)	x_{2max} (mm)								
50					1,5	3,0			
100					2,0	4,1	6,8		14,1
150					2,6	5,1			
200					3,0		9,5	28,3	20,3
250					3,3				
300							12,0		25,1
400							13,8	41,9	
500	19,7	6,9	3,5	1,9			15,6		
600								51,9	
800								62,2	
1000	29,0	10,6	6,4	3,1					
1500	35,0	13,8	8,1	3,8					
2000		15,9	10,2	4,7					
$\delta(\sqrt{mm})$:	0,9044	0,3470	0,2101	0,0996	0,2097	0,4156	0,6900	2,1344	1,4380

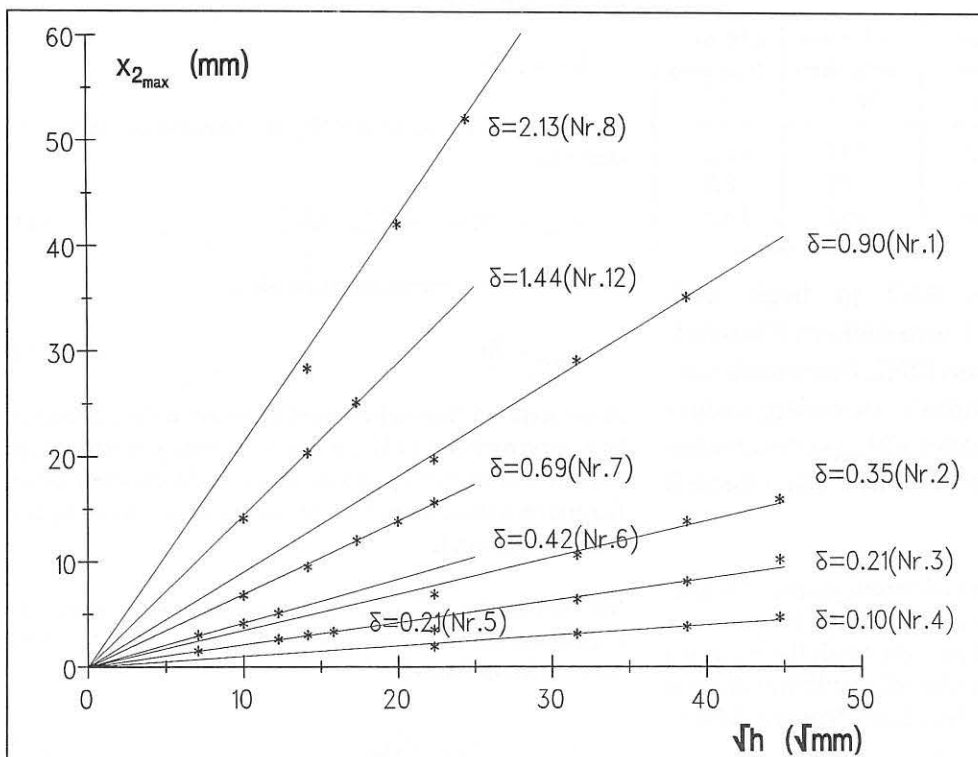


Bild 3: Maximale Wege, x_{2max} , der Stoßstelle infolge Aufprall eines 50 kg-Glaskugel-Sackpendels aus der Fallhöhe h auf die in Abschnitt 3.1 beschriebenen Bauteile. Regressionslinien $x_{2max} = \delta \cdot \sqrt{h}$ durch den Nullpunkt.

3.3 Ermittlung der Federsteifigkeit des das Sackpendel simulierenden Masse-Feder-Schwingers

Mit den Werten für δ in Tabelle 1 und den in Abschnitt 3.1 aufgeführten Parametern c_2 und m_2 kann nun die im Versuch ermittelte Energieübertragung unter Berücksichtigung von (10) sowie $m_1 = 50 \text{ kg}$ und $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ bestimmt werden zu

$$\alpha''_{\text{Versuch}} = \frac{E_{A,\text{Sack}}}{E_{a,\text{Sack}}} \quad \text{Versuch} = \frac{\frac{1}{2} c_2 x_{2\text{max}}^2}{\frac{1}{2} m_1 \cdot v_a^2} = \frac{c_2 \cdot \delta^2}{981} \quad (15)$$

Mit Hilfe der in Bild 2 bzw. Tabelle 5 als Beiwert KA bezeichneten Energieübertragung ergibt sich dann die zu jeder Versuchsreihe entsprechende Federsteifigkeit c_1 . Die Ausgangsdaten, Zwischenwerte und Ergebnisse sind in Tabelle 2, Zeilen 1 bis 7, zusammengefaßt.

Bei den Sperrholzplatten (3.1.1) und dem Einscheibensicherheitsglas (3.1.7) standen für m_2 bzw. für m_2 und c_2 nur rechnerische Schätzwerte zur Verfügung. Vorteilhafterweise sind bei diesen Versuchen die Massen m_2 klein gegenüber der Masse m_1 des Glaskugelsacks, d. h. der Parameter $M = m_1/m_2$ ist groß. In diesem Bereich tritt die Abhängigkeit von M jedoch in den Hintergrund (s. Diagramm Bild 2). Der jeweils errechnete Wert für c_1 kann also bei den Versuchsreihen 3.1.1 als vertretbarer Näherungswert akzeptiert und bei der Versuchsreihe 3.1.7 wenigstens als unterer Grenzwert postuliert werden.

Da sich für c_1 keine gleichen Werte für die verschiedenen Versuchsreihen ergeben, ist die Abhängigkeit von den Parametern c_2 oder m_2 der gestoßenen Körper untersucht worden. Eine sinnvolle Abhängigkeit von c_2 oder m_2 allein ist nicht zu erkennen, Bilder 4a und b. Dagegen existiert eine solche von $\omega_{e2} = \sqrt{c_2/m_2}$, Bild 4c, die näherungsweise als linear im untersuchten Bereich angenommen werden kann.

Regressionsrechnungen unter Einschluß aller Versuchsreihen oder unter Ausschluß der besonders unsicheren, Tabelle 3, zeigen nur geringe Unterschiede, so daß die Festlegung der Abhängigkeit in der Form

$$\hat{c}_{1,\text{Sack}}(\text{N/mm}) = 0,17 \cdot \omega_{e2}(\text{s}^{-1}) + 10 \quad (16)$$

vertretbar ist.

Für einen Masse-Feder-Schwinger, dessen Federsteifigkeit derart von der Kreiseigenfrequenz abhängt, sind nun diejenigen Verhältnisse α'' nach Bild 2 bzw. Tabelle 5 bestimmt worden, die sich bei Stößen auf die in Tabelle 2 aufgeführten Bauteile ergäben, Zeilen 8 (c_1) und 9 (α''_{Modell}). Verglichen mit den Werten, die aus den Ergebnissen der Versuche mit realen Sackpendel-Stößen ermittelt wurden, Tabelle 2, Zeile 6 ($\alpha''_{\text{Versuch}}$), ergeben sich Differenzen zwischen den Energieaufnahmen $E_{A,\text{Vers}}$ infolge realen Sackpendel-Stößen und $E_{A,\text{Modell}}$ infolge Stoß mit dem Masse-Feder-Schwinger, die - bis auf zwei Versuchsreihen (Bauteile Nr. 7 und 12) - zwischen ca. -8 % und +8 % der Aufprallenergie E_a (Tabelle 2, Zeile 10) liegen. In Anbetracht des verhältnismäßig geringen Informationsumfangs erscheinen den Autoren Bemühungen für eine bessere Anpassung der Modellvorstellung an die Realität nicht zweckmäßig.

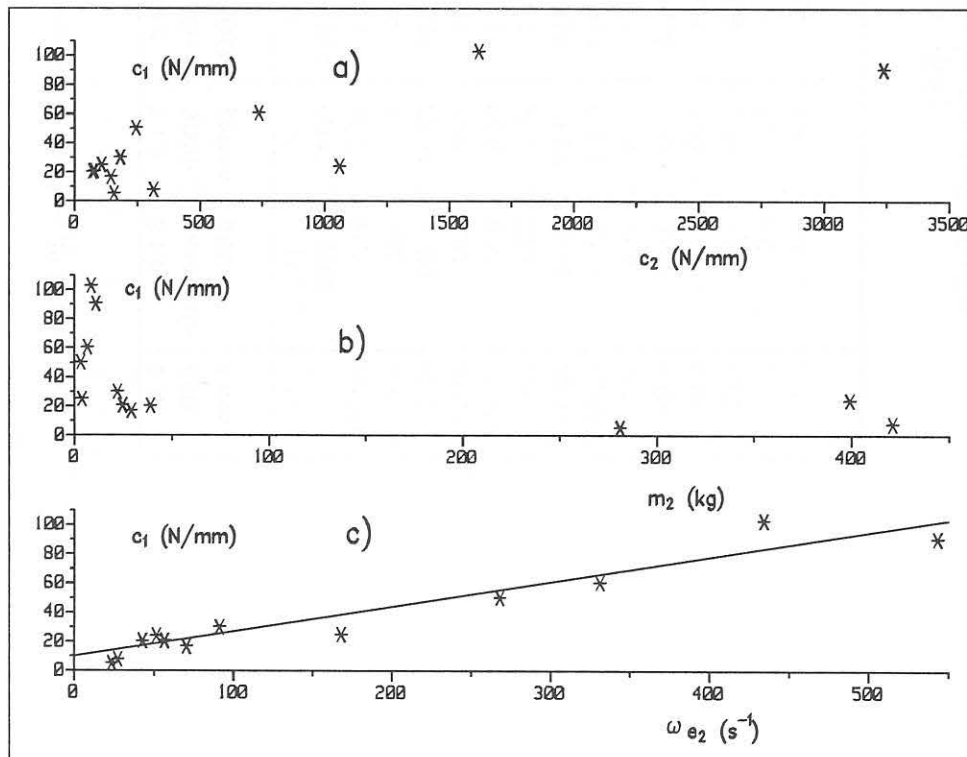


Bild 4:
Zuordnung der Federsteifigkeit c_1 des das 50 kg-Glaskugel-Sackpendel simulierenden Masse-Feder-Schwingers zu
a) Federsteifigkeit c_2 oder
b) mitschwingenden Masse m_2 oder
c) Kreiseigenfrequenz $\omega_{e2} = \sqrt{c_2/m_2}$ des gestoßenen Körpers. Darstellung der in Tabelle 2 zusammengestellten Versuchsauswertung.
(Zur Regressionsgeraden c_1 (N/mm) = 0,17 · ω_{e2} (s⁻¹) + 10 s. Tabelle 3.)

Tabelle 2:

Im Versuch ermitteltes Verhältnis a'' der Energieaufnahme E_A eines Bauteils zur Aufprallenergie E_a infolge eines realen Stoßes mit einem 50 kg-Glaskugel-Sackpendel sowie daraus errechnete Federsteifigkeit c_1 des das Sackpendel simulierenden Masse-Feder-Schwingers.

Zeilen Nr.	gestoßenes Bauteil	3.1.1 Sperrholzplatten, Dicke:				3.1.2 Gipsbauplatten, Risse:			3.1.3 Holzfachwerk	3.1.4 Holzgefach	3.1.5 Stahlgefach	3.1.6 Sandwichplatte	3.1.7 ESG 6 mm
		19 mm	29 mm	40 mm	50 mm	0	1	>1					
1	Bauteil Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	T_{ez} (s)	(268)	(331)	(434)	(543)	0,122	0,230	0,266	0,111	0,0893	0,147	0,0690	(>168)
3	ω_{ez} (s ⁻¹)	245	736	1619	3237	51,5	27,3	23,6	56,6	70,4	42,7	91,1	(>107)
4	c_2 (N/mm)	245	736	1619	3237	1059	314	157	79,0	144	71	182	<3,8
5	m_2 (kg)	$\approx 3,4$	$\approx 6,7$	$\approx 8,6$	$\approx 11,0$	399,3	420,7	281,4	24,66	29,09	38,87	21,95	>13,2
6	$M = 50/m_2$	$\approx 14,7$	$\approx 7,5$	$\approx 5,8$	$\approx 4,5$	0,13	0,12	0,18	2,03	1,72	1,29	2,28	>0,226
7	$\alpha''_{Versuch}$	0,204	0,090	0,073	0,033	0,047	0,055	0,076	0,337	0,15	0,50	0,20	>25,4
8	$c_{1,Vers}$ (N/mm)	$\approx 49,8$	$\approx 59,8$	$\approx 103,6$	$\approx 97,1$	20,0	6,5	4,3	18,7	16,7	20,2	30,0	38,53
9	$c_{1,Modell}$ (N/mm)	55,63	66,34	83,76	102,2	18,76	14,64	14,02	19,62	21,98	17,27	25,48	0,323
10	α''_{Modell}	0,221	0,100	0,059	0,035	0,043	0,133	0,236	0,352	0,217	0,431	0,164	0,652
11	$\Delta E_A/E_a$ (%)	-1,7	-1,0	+1,4	-0,2	+0,4	-7,8	-16,0	-1,6	-6,7	+6,9	+3,6	-9,7
12	α''_{Mensch}	0,368	0,158	0,075	0,037	0,237	0,330	0,472	0,954	0,863	1,00	0,699	2,88
13	$\alpha = \alpha''/\alpha''_{Vers.}$	1,80	1,76	1,03	1,12	5,04	6,00	6,21	2,83	5,75	2,00	3,49	2,02
14	$\alpha = \alpha''/\alpha''_{Mod.}$	1,67	1,58	1,26	1,06	5,46	2,49	2,00	2,70	3,97	2,32	4,25	2,0
15	$\alpha = \alpha''/\alpha''_{1978}$	1,9	2,1	2,1	2,2	6,5	6,5	6,2	2,7	2,9	3,2	2,6	2,0
	$\alpha''_{Bild 5}$	1,7	1,6	1,3	1,0	5,5	2,4	2,1	2,6	4,0	2,3	4,4	2,0

Bemerkungen zu den Zeilen Nr.

- gemessene Eigenschwingungsdauer des Systems
- Kreiselfrequenz ω_{ez} errechnet mit 1 über $\omega_{ez} = 2\pi/T_{ez}$ oder rechnerisch geschätzt mit 3 und 4 über $\omega_{ez} = \sqrt{c_2/m_2}$
- Federsteifigkeit c_2 des gestoßenen Bauteils, gemessen als Widerstand gegen Verschiebung der Stoßstelle oder rechnerisch geschätzt
- mitschwingende Masse des gestoßenen Bauteils, errechnet mit 2 und 3 oder rechnerisch geschätzt
- errechnet nach 4 und $m_1 = 50$ kg
- errechnet nach (15) mit 3 und mit 8 von Tabelle 1 oder direkt [16] entnommen
- $C_{1,Versuch}$ bestimmt aus Tabelle 5, Beiwert KA (C,M) mit 3,5 und 6
- Federsteifigkeit des Sackpendels $\hat{c}_{1,Mod}$ errechnet aus $c_1 = 0,17 \cdot \omega_{ez} + 10$ mit 2
- errechnet mit 5 und 8, aus Tabelle 5 Beiwert KA (C,M)
- errechnet nach $(\alpha''_{Versuch} - \alpha''_{Modell}) \cdot 100\% = (E_{A,Versuch} - E_{A,Modell})_{Sack} / E_{a,Sack} \cdot 100\%$ mit 6 und 9
- Energieübertragungsfaktor α''_{Mensch} mit $c_1 = 107,4$ N/mm (Schulterstoß mit 100 Nm) sowie 3 und 5, aus Tabelle 5, d. h. KA (C,M)
- errechnet nach (5) mit 11 und mit 6
- errechnet nach (5) mit 11 und mit 9
- errechnet nach (18) oder (19) mit m_2
- entnommen Bild 5 (M von Tabelle 2, Zwischenwerte linear interpoliert)

Tabelle 3:

Lineare Regression $\hat{c}_1 = A \cdot \omega_{e2} + B$ als Näherung für die Abhängigkeit der Federsteifigkeit c_1 des Glaskugel-Sackpendel-Simulators von der Kreiseigenfrequenz ω_{e2} des gestoßenen Körpers unter Einschluss aller bzw. unter Ausschluss bestimmter Versuchsreihen, siehe Tabelle 2, Zeilen 2 und 7.

Ausschluss der Versuchsreihen (s. Tabelle 2)	A N·s/mm	B N/mm	r ¹⁾ -	c _{1;20} ²⁾ N/mm	c _{1;500} ²⁾ N/mm
keine	0,182	5,7	0,97	9,3	96,6
ESG, 6 mm (Bauteil Nr. 12)	0,181	6,7	0,97	10,3	97,5
Gipsbauplatten mit Rissen (Bauteile Nr. 6 und 7)	0,176	7,9	0,96	11,4	95,7
ESG, 6 mm und Gipsbauplatten mit Rissen (Bauteile Nr. 12, 6 und 7)	0,174	9,6	0,97	13,1	96,6
verwendete Näherung:	0,17	10	-	13,4	95,0

1) Korrelationskoeffizient

2) c₁ für $\omega_{e2} = 20$ bzw. 500 s^{-1}

Erst wenn Ergebnisse weiterer Versuchsreihen zur Auswertung vorlägen, bei denen vor allem auch die Parameter c_2 und T_{e2} der gestoßenen Körper meßtechnisch erfaßt sind, ist eine Überprüfung und etwaige Verbesserung der Modellvorstellung sinnvoll.

3.4 Auswirkung der erweiterten Modellvorstellung auf das Verhältnis α der Aufprallenergien von Sackpendel-Stoß und Schulterstoß

Die Auswirkung der hier entwickelten Modellvorstellung auf den Vergrößerungsfaktor α nach (5), der die Berechnung der Aufprallenergie des Sackpendel-Stoßes ermöglicht (6), mit dem eine dem Schulterstoß vergleichbare Beanspruchung im gestoßenen Bauteil erzeugt wird, ist in Tabelle 2, Zeilen 11 bis 15, beispielhaft gezeigt.

Für die Bauteile mit den in Tabelle 2 aufgeführten Parametern ist das Verhältnis α' der Energieaufnahme zur Aufprallenergie beim Schulterstoß (2) berechnet worden, Tabelle 2, Zeile 11, und durch Kopplung mit den entsprechenden Zahlenwerten für α'' (3) sind die α -Werte, wie sie sich aus den Versuchsergebnissen mit der hier zugrunde gelegten Modellvorstellung oder mit der von 1978 ergeben, zum Vergleich in den Zeilen 12 bis 14 gegenübergestellt. Dazu wurde für den Schulterstoß die wirkende Masse $m_1 = 50 \text{ kg}$ und eine Aufprallgeschwindigkeit $v_a = 2 \text{ m/s}$ und damit die Aufprallenergie $E_{a,\text{Mensch}} = 100 \text{ Nm}$ vorgegeben, [1] bis [5]. Nach den Untersuchungen zur Ermittlung eines den Schulterstoß simulierenden Masse-Feder-Schwingers, [[6], Bild 2.5/1], ist damit die Federsteifigkeit c_1 dieses Simulators festgelegt zu

$$c_{1,\text{Mensch}} = 107,4 \text{ N/mm.} \quad (17)$$

Mit M und c_2 aus Tabelle 2, Zeile 5 bzw. 3, sowie $c_{1,\text{Mensch}}$ sind die Werte für α'_{Mensch} der Tabelle 5 entnommen worden.

Den in [1] bis [3] beschriebenen Regeln liegen mit $m_1 = 50 \text{ kg}$ folgende Näherungen zugrunde, [5], [7]:

$$\alpha' = 1 \quad \text{für } m_2 \leq 50 \text{ kg,}$$

$$\alpha' = 4 \cdot M/(M+1)^2 \quad \text{für } m_2 \geq 50 \text{ kg,} \quad (18)$$

$$\alpha'' = 0,55 \cdot M/(M+1) \quad \text{für } m_2 \geq 25 \text{ kg} \quad (19)$$

und so also eigentlich

$$\alpha = \frac{50 + m_2 \text{ (kg)}}{27,5} \quad \text{für } 25 \text{ kg} \leq m_2 \leq 50 \text{ kg,}$$

d.h. für $1 \leq M \leq 2$ (20)

$$\alpha = \frac{4/0,55}{1 + 50/m_2} \quad \text{für } m_2 \geq 50 \text{ kg,}$$

d.h. für $M \leq 1$ (21)

Der Bereich mit $m_2 < 25 \text{ kg}$ wurde seinerzeit als nicht praxiserforderlich angesehen und deshalb die Begrenzung von m_2 nach unten nicht weiter beachtet. Die nach (20) und (21) berechneten Werte stehen als „Näherung 1978“ in Tabelle 2, Zeile 14.

Der Vergleich der Verhältnisse Zeile 13 zu Zeile 12 mit Zeile 14 zu Zeile 12 zeigt, daß die Modellvorstellung eines Masse-Feder-Schwingers mit einer von der Kreiseigenfrequenz des gestoßenen Bauteils abhängigen Federsteifigkeit nach (16) bzw. Bild 4 besser an die Versuchsergebnisse angepaßt ist als die durch (20) und (21) gegebenen Näherung von 1978. Ausnahmen bilden nur die beiden Versuchsreihen, bei denen die gestoßenen Körper nicht elastisch, schon gar nicht linear elastisch reagierten, die Gipsplattenwand mit einem und mit mehreren Rissen. (Die Annahme eines linear elastischen Widerstand-Weg-Verhaltens ist hier offensichtlich nicht mehr gerechtfertigt.)

Der Faktor α zur Anpassung der erforderlichen Aufprallenergie des 50 kg Glaskugelsacks an den Schulterstoß von 100 Nm ist in Bild 5 für einen weiten Parameterbereich von $M = m_1/m_2$ und $\omega_{e2} = \sqrt{c_2/m_2}$ dargestellt. Die Kurven wurden ermittelt aus

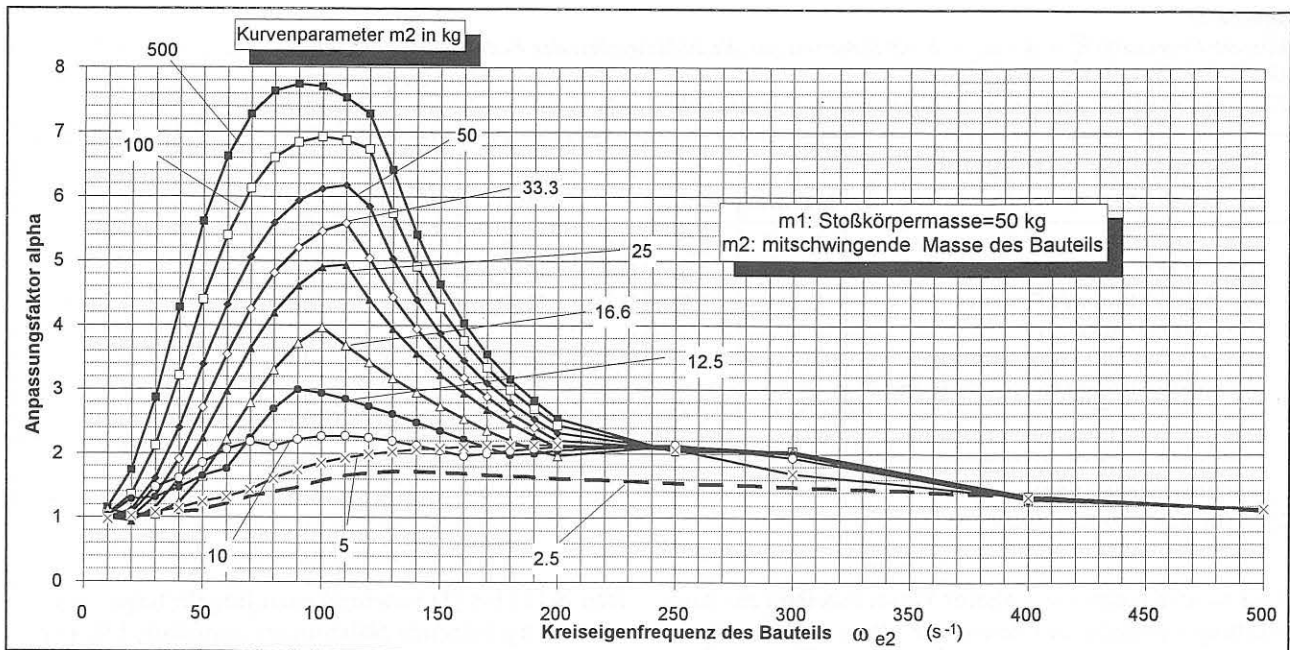


Bild 5:

Anpassungsfaktor Bild 5:

Anpassungsfaktor α für 50 kg-Glaskugel-Sackpendel an den Schulterstoß mit 50 kg wirksamer Masse und 2 m/s Aufprallgeschwindigkeit ($E_{a,Sack} = \alpha \cdot 100 \text{ Nm}$) als Funktion der Kreiseigenfrequenz des Bauteils $\omega_{e2} = \sqrt{c_2/m_2}$. Für die Steifigkeiten der Stoßkörper wurden eingesetzt:

$$c_{1,Mensch} = 107,4 \text{ N/mm und}$$

$$c_{1,Sack} = 0,17 \cdot \omega_{e2} + 10$$

$$\alpha = \alpha' / \alpha'' = KA_{Mensch} / KA_{Sack}$$

$$m_{1,Mensch} = m_{1,Sack} = 50 \text{ kg sowie}$$

$$c_{1,Mensch} = 107,4 \text{ N/mm für } \alpha' \text{ und}$$

$$c_{1,Sack} = 0,17 \cdot \omega_{e2} (\text{s}^{-1}) + 10 \text{ (in N/mm) für } \alpha''.$$

In Anbetracht der unvermeidbaren Unsicherheiten bei der Bestimmung der Schwingungseigenschaften des gestoßenen Bauteils und des Ermessensspielraums, der bei der Festlegung der Anforderung „Schulterstoß mit 100 Nm“ bestand, erscheint die Genauigkeit als ausreichend, den jeweiligen Anpassungsfaktor α aus dem Diagramm in Bild 5 zu entnehmen, Tabelle 2, Zeile 15. Eine lineare Interpolation zwischen den Werten ist vertretbar.

Ergeben sich aufgrund weiterer Versuchsergebnisse veränderte Näherungen für $c_{1,Sack}$, so kann mit Hilfe von Bild 2/Tabelle 5 das jeweilige α'_{Mensch} und α''_{Sack} ermittelt und somit ein α bestimmt werden.

3.5 Vergleich der erweiterten Modellvorstellung mit den „Nordtest-Versuchen“

Neben den unter 3.1 im Detail aufgelisteten Versuchen sind Versuchsergebnisse mit dem Glaskugel-Sackpendel als Prüfkörper bekannt, die am dänischen SBI im Rahmen der Entwicklung von NORDTEST-Prüfvorschriften

durchgeführt wurden [17]. Dort sind zum einen Ergebnisse von Aufprallversuchen gegen eine pendelnd aufgehängte schwere Masse von 1100 kg mit zwischengeschalteter Kraftmeßdose dargestellt, zum anderen Versuche mit leichten Trennwandbauteilen. Leider sind bei den Bauteilversuchen nicht alle für diese Art der Auswertung erforderlichen Messungen durchgeführt worden [19], so daß sie im Rahmen dieser Auswertungen nur z. T. berücksichtigt werden können.

Vor allem fehlen bei den Stößen auf die Holzgefachwände mit einseitiger Sperrholzbeplankung die sich aller Wahrscheinlichkeit nach jedem Stoß ändernden „Federkonstanten“ c_2 . Die Verringerung der Wandsteifigkeit infolge der vorausgegangenen Stöße ist nur bei der Gipskarton-Elementwand nachvollziehbar (2,4 m breit und 2,58 m hoch, insgesamt 4 Elemente nebeneinander, Deckschichten aus Gipskarton und Kern aus Pappwaben. Stoß auf eines der beiden mittleren Elemente). Deshalb werden hier die Werte $c_{1,Sack}$ - etwas anders als im Abschnitt 3.3 - bestimmt und mit $\hat{c}_{1,Sack}$ nach (16) verglichen:

Gemessen wurden

vor dem 1. Stoß $c_2 = 250 \text{ N/mm}$

nach dem 4. Stoß $c_2 = 154 \text{ N/mm}$

nach dem 8. Stoß $c_2 = 118 \text{ N/mm}$

und $T_{e2} = 86,7 \text{ ms}$

aus den Oszillogrammen in der Ausschwingphase des 1. oder 2. und des 3. oder 4. sowie des 5. oder 6. Stoßes, abgegriffen damit $\omega_{e2} = 72,5 \text{ s}^{-1}$ berechnet.

Tabelle 4:

Ermittlung der „Federkonstante“ c_{1Vers} des das 50 kg-Glaskugelsackpendel simulierenden Masse-Feder-Systems aus den Stoßversuchen auf die Gipskarton-Elementwand [19]

h	x_{2max}	c_2	$m_2 = c_2/\omega^2_{e2}$	$E_A = c_2 x_{2max}^2/2$	$E_a = 9,81 \cdot 50 \cdot h$	$\alpha''_{Vers} = E_A/E_a$	$M = 50/m_2$	C_{vers} aus Tab. 4	C_{1Vers}
mm	mm	N/mm	kg	Nm	Nm	-	-	-	N/mm
100	7,5	250	47,6	7,03	49,05	0,143	1,05	0,0898	22,4
100	7,5								
220	13,5	154	29,3	14,03	107,91	0,130	1,71	0,105	16,1
220	15,8			19,22		0,178		0,131	20,2
410	27,0	154	29,3	56,13	201,10	0,279	1,71	0,186	28,7
410	27,0								
190	16,5	118	22,4	16,06	93,19	0,172	2,23	0,146	17,2
190	17,0			17,05		0,183		0,152	17,9

mittl. $c_1 = 20,4$
 Variationskoeffizient = 0,23
 $\hat{c}_1 = 0,17 \cdot 72,5 + 10 = 22,3$

Die Auswertung ist mit denselben Bezeichnungen wie in den vorstehenden Abschnitten in Tabelle 4 zusammengestellt.

Dieser Vergleich liefert zwar nicht den Beweis, daß die Näherung \hat{c}_1 in jedem Einzelfall optimal zutrifft. So widerspricht er aber auch nicht der Aussage, daß \hat{c}_1 die Federkonstante des Glaskugel-Sackpendels im Mittel ausreichend erfaßt. Besonders bei den ersten beiden Stößen mit 100 mm Fallhöhe, bei denen das vor den Stößen gemessene c_2 den elastischen Widerstand der Wand sicher zutreffend beschreibt, stellt sich eine verblüffend (zufällig?) gute Übereinstimmung von \hat{c}_1 mit c_{1Vers} dar.

Die Auswertung der Versuche mit Stoß gegen die schwere Masse zeigt eine Abhängigkeit der Stoßkraft von der Aufprallenergie, d. h. anders als im Abschnitt 3.2 ausgeführt läßt sich hier die Annahme einer linearen Federkonstanten nicht aufrechterhalten. Ermittelt man aus diesen Ergebnissen eine Federsteifigkeit $c_{1,Sack}$, so erhält man

$$c_{1,Sack} \text{ (in N/mm)} = 12 + 0,047 \cdot E_{a,Sack} \text{ (in Nm)}.$$

Die Größenordnung für $c_{1,Sack}$ liegt bei beiden Modellen zwischen 10 und 100 N/mm im betrachteten Parameterbereich, jedoch zeigt die erweiterte Modellvorstellung im Gegensatz zum „Nordtest“-Modell eine bessere Anpassung an elastisch reagierende Bauteile.

4 Folgerungen

Werden die Ergebnisse der zur Auswertung herangezogenen Versuche und die Kurven, die sich mit der Näherung 1978 ergaben, in die Diagramme für KA ($=\alpha'$ oder α'') und $\alpha = \alpha'/\alpha''$ der erweiterten Modellvorstellung eingetragen, Bilder 6 und 7, so ist zu erkennen, daß vorwiegend im Parameterbereich „kleine mitschwingende Masse m_2 und großer Widerstand c_2 gegenüber Verformung des gestoßenen Bauteils“ die bisherige Modellvorstellung, d. h. die Näherung 1978, nicht ausreichend differenziert. Wie so häufig ist auch hier die Extrapolation über den durch Versuche abgedeckten Bereich hinaus fragwürdig. In dem vorstehend erwähnten Parameterbereich (m_2 : klein, c_2 : groß) ergeben sich mit der erweiterten Modellvorstellung um ca. (10 bis 50) % kleinere α -Werte gegenüber der in unzulässiger Weise in diesem Bereich extrapolierten Näherung 1978, Tabelle 2, Zeilen 15 und 14.

Dieser Parameterbereich interessiert auch erst dann, als das Glaskugel-Sackpendel als allgemeiner Prüfkörper für weiche Stöße benutzt werden und nicht nur zur Simulation des Schulterstoßes auf Trennwände dienen sollte.

Zur sinnvollen Anwendung ist es allerdings erforderlich, die Steifigkeit c_2 an der Stoßstelle, d. h. den Widerstand des Bauteils gegenüber einer Zwangsverschiebung ebendort und auch die Eigenschwingungsdauer T_{c2} beim Ausschlagen des Bauteils nach einer Schwingungsanregung an der Stoßstelle mit nicht zu kleinen, aber noch im elastischen Bereich liegenden Amplituden experimentell zu ermitteln. Nur so kann die Tendenz des Anpassungsfaktors α , mit steigendem ω_{c2} sich dem Wert Eins zu nähern, Bild 5, vertretbar genutzt werden.

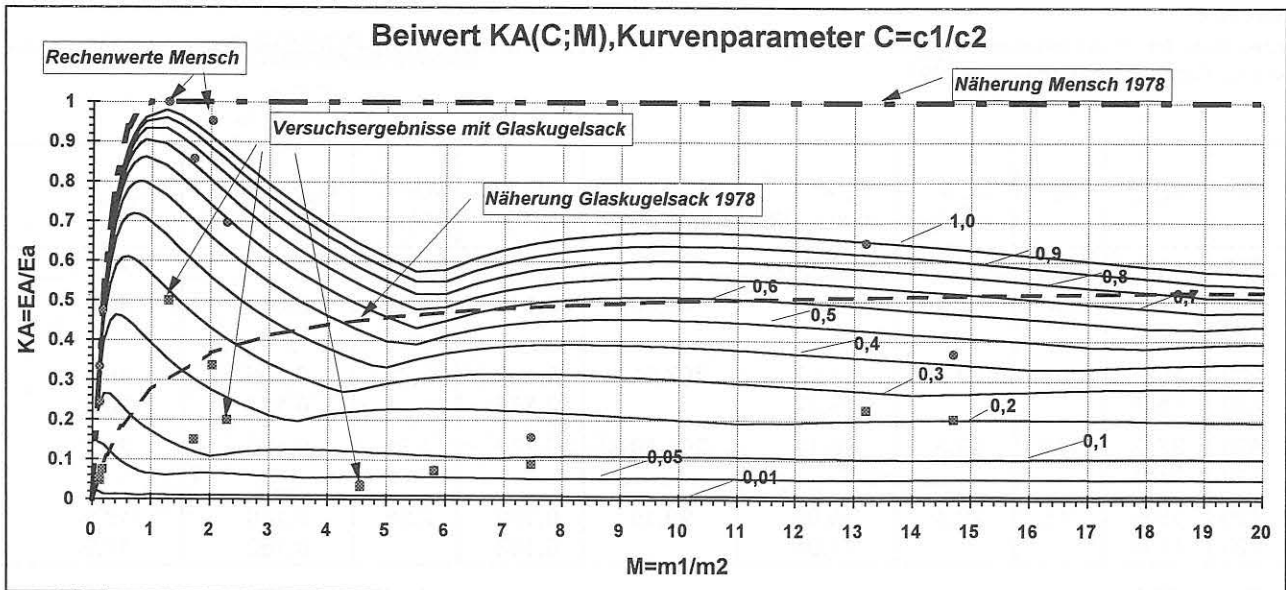


Bild 6: Energieübertragungsbeiwert $KA = E_A/E_{A'}$, Vergleich „Näherungen 1978“ für Glaskugelsack und Stoßkörper Mensch mit Versuchsergebnissen Glaskugelsack bzw. Rechenwerten Aufprall Mensch

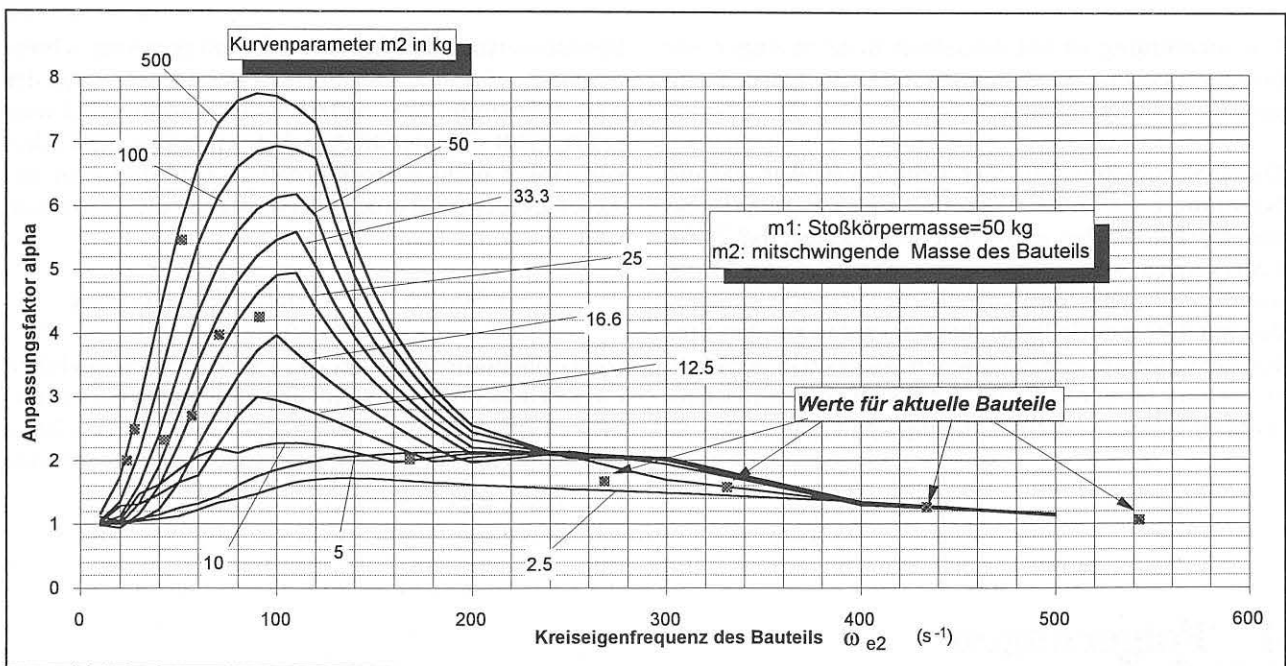


Bild 7: Anpassungsfaktor α für Glaskugelsack an den Schulterstoß, mit eingetragenen Werten für gemäß Tabelle 2 betrachtete Bauteile.

Es erübrigen sich dann Vorversuchsreihen an der zu begutachtenden Bauteilart mit unterschiedlichen Aufprallenergien des Sackpendels, bis die dabei aus Messungen zu bestimmende Energieaufnahme $E_{A,Sack}$ des Bauteils gleich der dem Schulterstoß entsprechenden $E_{A,Mensch}$ ist. Allgemein können Bild 2 oder Tabelle 5 auch in den Fällen genutzt werden, bei denen das Glaskugel-Sackpendel eingesetzt werden soll, zur vergleichenden Prüfung des Verhaltens von den Elementen I und II, die während ihrer Nutzung weichen Stößen von anderer Art als des Schulterstoßes ausgesetzt sein könnten. Geht es dabei um vergleichende Sicherheitsbetrachtungen, müssen die Aufprallenergien des Sackpendels sich dann so verhalten, daß

$$\begin{aligned} (E_{a,Sack})_{II} / (E_{a,Sack})_I &= \alpha^{**}_I / \alpha^{**}_{II} \\ &= (KA(C,M)_I / (KA(C,M))_{II} \end{aligned}$$

mit

$$C_I = \hat{c}_{1,I} / c_{2,I} \text{ und } M_I = 50 \text{ kg}/m_{2I}$$

bzw.

$$C_{II} = \hat{c}_{1,II} / c_{2,II} \text{ und } M_{II} = 50 \text{ kg}/m_{2II}$$

Die erweiterte Modellvorstellung, wie sie sich in den Bildern 2 und 5 darstellt, kann verhältnismäßig einfach in die Regeln [1] bis [3] eingesetzt werden. Es brau-

Tabella 5/1 (Fortsetzung siehe Tabella 5/2):

Energieübertragungsbeiwert $K_A = E_A/E_0$ als Maß für die Beanspruchung eines gestoßenen Bauteils auf der Basis eines linearen Massfeder-Massfeder-Ersatzsystems für Stoßkörper und Bauteil (s. Bild 1).

M=m1/m2	C=c1/c2															
	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
0.1	0.021	0.055	0.088	0.117	0.143	0.164	0.183	0.198	0.211	0.222	0.256	0.274	0.285	0.293	0.302	0.308
0.2	0.013	0.041	0.073	0.105	0.137	0.167	0.195	0.221	0.244	0.266	0.349	0.401	0.433	0.454	0.480	0.496
0.3	0.013	0.032	0.060	0.090	0.121	0.152	0.182	0.211	0.238	0.264	0.372	0.450	0.506	0.544	0.591	0.617
0.4	0.014	0.026	0.050	0.078	0.107	0.136	0.166	0.195	0.223	0.251	0.371	0.464	0.535	0.589	0.659	0.698
0.5	0.013	0.024	0.044	0.068	0.095	0.123	0.151	0.180	0.207	0.235	0.359	0.461	0.543	0.607	0.696	0.750
0.6	0.013	0.026	0.038	0.061	0.086	0.112	0.138	0.166	0.193	0.219	0.345	0.451	0.539	0.610	0.714	0.780
0.7	0.012	0.027	0.034	0.055	0.078	0.102	0.127	0.153	0.179	0.205	0.329	0.438	0.529	0.605	0.719	0.795
0.8	0.011	0.027	0.037	0.050	0.071	0.094	0.118	0.142	0.167	0.192	0.314	0.422	0.516	0.595	0.717	0.801
0.9	0.012	0.027	0.039	0.046	0.066	0.087	0.110	0.133	0.157	0.181	0.299	0.407	0.501	0.582	0.709	0.799
1.0	0.012	0.026	0.040	0.047	0.061	0.081	0.102	0.125	0.148	0.171	0.285	0.392	0.486	0.568	0.698	0.793
1.2	0.012	0.025	0.040	0.051	0.058	0.071	0.091	0.111	0.132	0.153	0.261	0.363	0.456	0.539	0.672	0.773
1.4	0.012	0.024	0.040	0.053	0.063	0.069	0.081	0.100	0.119	0.139	0.240	0.338	0.428	0.509	0.644	0.746
1.6	0.011	0.023	0.038	0.053	0.065	0.074	0.079	0.091	0.108	0.127	0.222	0.315	0.403	0.482	0.615	0.718
1.8	0.011	0.023	0.037	0.052	0.066	0.076	0.084	0.090	0.100	0.117	0.206	0.295	0.379	0.456	0.587	0.691
2.0	0.011	0.024	0.035	0.051	0.066	0.078	0.088	0.095	0.101	0.108	0.192	0.277	0.358	0.433	0.561	0.663
2.5	0.011	0.023	0.034	0.048	0.063	0.077	0.090	0.101	0.111	0.119	0.165	0.241	0.314	0.383	0.503	0.601
3.0	0.011	0.022	0.035	0.044	0.059	0.075	0.089	0.102	0.114	0.124	0.159	0.212	0.279	0.342	0.454	0.547
3.5	0.011	0.022	0.035	0.046	0.056	0.071	0.086	0.100	0.113	0.125	0.171	0.197	0.251	0.309	0.414	0.501
4.0	0.011	0.023	0.034	0.047	0.056	0.067	0.082	0.096	0.110	0.124	0.177	0.213	0.235	0.282	0.380	0.462
4.5	0.011	0.022	0.033	0.046	0.057	0.066	0.078	0.093	0.107	0.121	0.179	0.222	0.253	0.275	0.351	0.428
5.0	0.011	0.022	0.033	0.046	0.058	0.068	0.075	0.089	0.103	0.117	0.179	0.227	0.264	0.292	0.332	0.399
5.5	0.011	0.021	0.033	0.045	0.058	0.069	0.078	0.085	0.099	0.113	0.177	0.229	0.270	0.303	0.353	0.391
6.0	0.011	0.022	0.033	0.043	0.057	0.069	0.079	0.087	0.095	0.109	0.174	0.229	0.273	0.310	0.368	0.412
6.5	0.011	0.022	0.033	0.043	0.056	0.068	0.079	0.089	0.096	0.105	0.171	0.227	0.275	0.315	0.378	0.428
7.0	0.011	0.022	0.033	0.044	0.055	0.068	0.079	0.090	0.098	0.106	0.167	0.224	0.274	0.316	0.385	0.439
7.5	0.011	0.022	0.033	0.044	0.053	0.067	0.079	0.090	0.100	0.108	0.162	0.221	0.272	0.316	0.389	0.447
8.0	0.011	0.021	0.032	0.044	0.054	0.066	0.078	0.090	0.100	0.109	0.158	0.217	0.269	0.315	0.390	0.451
9.0	0.011	0.021	0.032	0.044	0.055	0.063	0.076	0.088	0.100	0.110	0.150	0.209	0.262	0.309	0.389	0.454
10.0	0.010	0.021	0.032	0.043	0.055	0.064	0.074	0.086	0.099	0.110	0.154	0.200	0.254	0.302	0.384	0.452
12.0	0.010	0.021	0.032	0.043	0.053	0.065	0.075	0.083	0.094	0.106	0.158	0.195	0.236	0.284	0.368	0.438
14.0	0.010	0.021	0.032	0.043	0.053	0.063	0.075	0.085	0.094	0.101	0.157	0.201	0.235	0.265	0.349	0.418
16.0	0.010	0.021	0.032	0.042	0.053	0.062	0.073	0.085	0.095	0.104	0.153	0.202	0.241	0.273	0.329	0.398

Tabelle 5/2 (Fortsetzung von Tabelle 5/1):
Energieübertragungswert $KA = E_A/E_u$ als Maß für die Beanspruchung eines gestoßenen Bauteils auf der Basis eines linearen Massfeder-Massfeder-Ersatzsystems für Stoßkörper und Bauteil (s. Bild 1).

$M=m_1/m_2$	$C=c_1/c_2$									
	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
0.1	0.312	0.314	0.316	0.318	0.319	0.321	0.322	0.323	0.324	0.325
0.2	0.506	0.513	0.519	0.523	0.526	0.531	0.535	0.537	0.539	0.541
0.3	0.634	0.646	0.655	0.661	0.666	0.674	0.679	0.683	0.686	0.689
0.4	0.721	0.737	0.749	0.757	0.764	0.773	0.780	0.785	0.789	0.792
0.5	0.781	0.801	0.815	0.825	0.833	0.844	0.851	0.856	0.860	0.863
0.6	0.822	0.846	0.862	0.874	0.882	0.894	0.901	0.907	0.911	0.914
0.7	0.845	0.877	0.896	0.909	0.918	0.929	0.937	0.942	0.946	0.949
0.8	0.857	0.895	0.919	0.934	0.943	0.955	0.962	0.966	0.969	0.972
0.9	0.862	0.905	0.933	0.950	0.961	0.972	0.979	0.982	0.985	0.987
1.0	0.860	0.907	0.939	0.960	0.973	0.984	0.989	0.992	0.994	0.995
1.2	0.845	0.899	0.937	0.963	0.980	0.996	0.999	1.000	1.000	1.000
1.4	0.824	0.881	0.922	0.952	0.973	0.995	0.999	0.997	0.995	0.993
1.6	0.797	0.857	0.902	0.935	0.958	0.984	0.992	0.988	0.983	0.980
1.8	0.771	0.832	0.878	0.912	0.937	0.967	0.978	0.977	0.969	0.963
2.0	0.743	0.805	0.852	0.887	0.914	0.946	0.960	0.961	0.954	0.944
2.5	0.678	0.740	0.788	0.825	0.853	0.890	0.907	0.912	0.909	0.899
3.0	0.622	0.681	0.728	0.766	0.794	0.832	0.852	0.859	0.858	0.851
3.5	0.572	0.630	0.675	0.711	0.740	0.778	0.799	0.807	0.808	0.803
4.0	0.530	0.584	0.628	0.663	0.691	0.729	0.750	0.760	0.761	0.757
4.5	0.492	0.545	0.587	0.620	0.647	0.685	0.706	0.715	0.718	0.715
5.0	0.460	0.510	0.550	0.583	0.609	0.645	0.665	0.676	0.707	0.750
5.5	0.431	0.479	0.517	0.549	0.574	0.609	0.653	0.704	0.749	0.790
6.0	0.450	0.485	0.518	0.549	0.579	0.637	0.690	0.738	0.781	0.818
6.5	0.470	0.508	0.543	0.576	0.607	0.665	0.717	0.764	0.805	0.840
7.0	0.485	0.525	0.562	0.596	0.628	0.686	0.738	0.783	0.821	0.855
7.5	0.495	0.538	0.577	0.611	0.644	0.703	0.753	0.797	0.834	0.865
8.0	0.502	0.547	0.586	0.623	0.656	0.714	0.764	0.806	0.842	0.871
9.0	0.510	0.557	0.598	0.636	0.669	0.728	0.775	0.815	0.847	0.873
10.0	0.509	0.558	0.601	0.639	0.673	0.731	0.777	0.813	0.844	0.867
12.0	0.498	0.548	0.592	0.630	0.664	0.719	0.761	0.794	0.820	0.840
14.0	0.477	0.528	0.572	0.610	0.642	0.695	0.735	0.765	0.787	0.803
16.0	0.456	0.506	0.548	0.584	0.616	0.665	0.704	0.731	0.749	0.764

chen im Prinzip nur die Bilder mit $\alpha'(m_2)$, $\alpha''(m_2)$ und $\alpha(m_2)$ durch die Bilder 2 und 5 ersetzt zu werden, so z. B. bei [3] in Anhang 1, Abschnitt 1.1: die Abb. 1 durch Bild 5 unter Beachtung, daß $m_2 \hat{=} m_a$, $E_o \hat{=} E_a$ und

$E_1 \hat{=} E_A$, und Abb. 2 durch Bild 2 unter Beachtung, daß $E_o \hat{=} E_a$, $E_1 \hat{=} E_A$ und $\alpha' \hat{=} KA(C,M)$ mit $C = 107 \text{ N/mm}^2/c_2$ und $M = 50 \text{ kg/m}_2$ sowie im Abschnitt 1.2: $K \hat{=} c_2$.

5 Zusammenfassung

Das Glaskugel-Sackpendel ist ein versuchstechnisch vorteilhafter Prüfkörper für „weiche“ Stöße, der in mehreren technischen Regeln zur Anwendung zugelassen bzw. empfohlen wird. Beurteilungsmaßstab für die Wirkung eines „weichen“ Stoßes ist die Beanspruchung im Bauteil, gekennzeichnet durch seine Energieaufnahme E_A . Ihr Verhältnis zur Aufprallenergie E_a des Stoßkörpers wird als Energieübertragungsfaktor KA bezeichnet. Werden der Stoßkörper als Masse-Druckfeder-System und das Bauteil als Masse-Feder-System, beide mit linearer Federkennlinie, idealisiert, dann kann bei Kenntnis der Aufprallmasse m_1 und der Steifigkeit c_1 der Druckfeder des Stoßkörpers „1“ sowie der dynamisch wirksamen (mitschwingenden) Masse m_2 und der Federsteifigkeit c_2 des Bauteils „2“ die Beanspruchung im letzteren über KA aus Diagramm oder Tabellen (Bild 2 bzw. Tabelle 5) in einfacher Weise ermittelt werden.

Die Auswertung von Stoßversuchen mit dem Glaskugel-Sackpendel auf verschiedenartige Bauteile lieferte über die gemessenen Energieübertragungsfaktoren KA eine Reihe von Werten für die Federsteifigkeit $c_{1,Sack}$ eines das Sackpendel simulierenden Systems. Die durch eine lineare Regression genäherte Abhängigkeit von der Kreisfrequenz ω_{c_2} des Bauteils ergab mit \hat{c}_1 (in N/mm) = $0,17 \cdot \omega_{c_2}$ (in s^{-1}) + 10 eine zufriedenstellende Annäherung an die Versuchsergebnisse.

Mit dieser Beziehung für die Federsteifigkeit $c_{1,Sack}$ ist für den als Anforderung in den Regeln festgelegten Schulterstoß mit 100 Nm Aufprallenergie (Sicherheitsstoß; $c_{1,Mensch} = 107$ N/mm) der Anpassungsfaktor α bestimmt worden, Bild 5, der dem unterschiedlichen Verhalten der beiden Körper bei Schulterstoß und Sackpendelstoß Rechnung trägt. Um auf das Bauteil die gleiche Energie zu übertragen, muß das Sackpendel mit der α -fachen Energie des Schulterstoßes aufprallen. Bei bekanntem Bauteil (Parameter c_1 und m_2 und hieraus $\omega_{c_2} = \sqrt{c_2/m_2}$) kann aus Bild 5 der Vergrößerungsfaktor α unmittelbar als Funktion von ω_{c_2} und Massenverhältnis $M = m_1/m_2$ entnommen werden.

Durch die erweiterte Modellvorstellung (Masse-Druckfedersystem auch für das Sackpendel) können nun auch Bauteile im Parameterbereich „kleines m_2 und großes c_2 “ sinnvoll mit dem Glaskugel-Sackpendel geprüft werden, für die eine solche Prüfung unter Verwendung der seinerzeit (1978 ff) den Regeln zugrunde gelegten Näherung ($m_2 \geq 25$ kg) mit ihrer Extrapolation zumindest fragwürdig war, und wobei um ca. (10 bis 110) % größere α -Werte erforderlich schienen.

Das Einfügen der erweiterten Modellvorstellung in die erwähnten Regeln ist ohne größeren fachlichen Aufwand möglich, da nur Bilder auszutauschen und Bezeichnungen erforderlichenfalls anzupassen sind.

Literatur

- [1] DIN 4103 – Nichttragende innere Trennwände – Teil 1, Anforderungen und Nachweise, Ausgabe Juli 1984
- [2] Ausschuß für einheitlich technische Baubestimmungen (ETB): ETB-Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“, Fassung Juni 1985. Verkauf durch Beuth Verlag GmbH, Vertriebsnummer 12 032
- [3] UEAtc-Richtlinie: Stöße auf undurchsichtige, senkrechte Bauteile, Fassung 1981. Deutsche Übersetzung. Herausgegeben vom Sekretariat für UEAtc-Fragen, Berlin, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), 1982
- [4] UEAtc-Richtlinie: Füllelemente, Fassung Oktober 1981. Deutsche Übersetzung. Herausgegeben vom Sekretariat für UEAtc-Fragen, Berlin, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), 1983
- [5] Struck, W. und Limberger, E.: DIN 4103 – Nichttragende Trennwände, Untersuchungen zur Festlegung des Anforderungsniveaus – statische und stoßartige Belastungen. Die Bautechnik 59 (1982), S. 367-376
- [6] Struck, W.: Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen. Vorschlag für ein Prüfverfahren. BAM-Forschungsbericht 37, Berlin, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Februar 1976
- [7] Struck, W. und Limberger E.: Die Energieübertragung auf leichte nichttragende Bauteile beim Stoß mit einem Glaskugelsack im Vergleich zum Schulterstoß. Mitteilungen Institut für Bautechnik 9 (1978), S. 129-136
- [8] Flachglas AG: Pendelschlagversuch, Vergleich Glasperlensack - Bleischrotsack, Versuchsergebnisse. Arbeitspapier für den Normenausschuß Materialprüfung NMP 363, Nr. 14-84, 1984
- [9] Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB): Justification pour une proposition de substitution de billes de verre au sable de

seine utilisé comme remplissage du sac sphero-conique de 50 kg. Recu avec lettre CSTB-3/1/1972

- [10] Struck, W.: Stoß mit Glaskugelsack, Informationen aus bisherigen Versuchsergebnissen. Unveröffentlicht, Okt. 1984
- [11] Struck, W.: Hinweise zum Entwurf der UEAtc-Leitlinie „Geklebte Gläser“ Stand Sept. 1989, Abschnitt 2.112 „Mechanische Festigkeit gegenüber Beanspruchungen durch die Aktivität von Menschen. a) Stoßfestigkeit“. Mitteilung an das Sekretariat für UEAtc-Fragen, Berlin, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Okt. 1989
- [12] Limberger, E.: Ein-Feder-Masse-Feder-Masse-Schwinger zur Lösung von Stoßproblemen. Materialprüfung 13 (1971), Nr. 10, S. 342-345
- [13] Limberger, E.: Vereinfachte Ermittlung der Beanspruchung von Bauteilen infolge Massestoß unter Berücksichtigung elastisch-plastischen Tragverhaltens. Die Bautechnik 52 (1975), Nr. 2, S. 42-48
- [14] Limberger, E.: Masse-Feder-Masse-Feder-Schwinger mit elastischer bzw. elasto-plastischer Federkennlinie. - Tabellen zur Ermittlung der maximalen Zusammendrückung der elasto-plastischen Feder in Abhängigkeit von dem Verhältnis der Massen und der Eigenfrequenzen sowie von der Aufprallgeschwindigkeit und von der Grenze des elastischen Bereichs der elasto-plastischen Feder. Anhang I zu [6]
- [15] Struck, W. und Limberger, E.: Die stoßartige Beanspruchung horizontaler Bauteile durch einen mit den Füßen aufprallenden Menschen. Die Bautechnik 58 (1981) Nr. 10, S. 347-351
- [16] Department of the Environment Building Research Establishment, Princes Risborough Laboratory: Comparison of Energy Transferred from Impactor as Determined by Calculation and Experiment. Ergebnistabelle, erhalten von Dr. Thoroughgood, März 1979
- [17] Feldberg, T., Lohse, U. and Nielsen, J.: Resistance of building components to soft body impact. Building research and practice No. 3, 1989
- [18] ISO 7892 /1988): Vertical building elements – impact resistance tests – impact bodies and general test procedure
- [19] SBI-Prüfbericht ID 860057/I.nr. F-539: Statens Bygge Forskningsinstitut Afdelingen for byggningsfysik, 10.7.1986, Bericht zum Nordtestprojekt 479-84 „Partitions: Resistance to impact loading (soft body impact)“

Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1/1968

Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2/1970 (vergriffen)

G. Andreas
Zum Problem des Feuchtigkeitsschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern

Nr. 3/1970

J. Ziebs
Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungseilen als Beispiel für Verbundbauteile

Nr. 4/1970 (vergriffen)

A. Burmester
Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit - Grundlagen und Vergütungsverfahren

Nr. 5/1971

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

Nr. 6/1971

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

Nr. 7/1971

H.-J. Petrowitz
Chromatographie und chemische Konstitution - Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie

Nr. 8/1971

H. Veith
Zum Spannungs-Drehungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung

Nr. 9/1971

K.-H. Möller
Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen

Nr. 10/1972

D. Aurich, E. Martin
Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode

Nr. 11/1972

H.-J. Krause
Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden

Nr. 12/1972

H. Feuerberg
Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren

Nr. 13/1972

K.-H. Habig, K. Kirschke, W.-W. Maennig, H. Tischer
Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^{-7}$ Torr

Nr. 14/1972

E. Fischer
Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz

Nr. 15/1972

H. Pohl
Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse

Nr. 16/1972

E. Knublauch
Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadenfeuer

Nr. 17/1972

P. Reimers
Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen

Nr. 18/1973

W. Struck
Das Spröbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches

Nr. 19/1973

K. Kaffanke, H. Czichos
Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen

Nr. 20/1973

R. Rudolphi
Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden

Nr. 21/1973

D. Klaffke, W. Maennig
Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrütung

Nr. 22/1973

R. Rudolphi, E. Knublauch
Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen

Nr. 23/1973

W. Ruske
Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin. Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen

Nr. 24/1973

J. Stanke, E. Klement, R. Rudolphi
Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung

Nr. 25/1973

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

Nr. 26/1974

P. Jost, P. Reimers, P. Weise
Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM - Eigenschaften und erste Anwendungen

Nr. 27/1974

H. Wüstenberg
Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall

Nr. 28/1974

H. Heinrich
Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern

Nr. 29/1974

P. Schneider
Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem Idealisotropen porösen Material mit starrem Skelet für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall

Nr. 30/1974 (vergriffen)

H. Czichos, G. Salomon
The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology

Nr. 31/1975

G. Fuhrmann
Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung

Nr. 32/1975

R. Rudolphi, B. Böttcher
Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen

Nr. 33/1975

A. Wagner, G. Kieper, R. Rudolphi
Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nicht-stationären Meßverfahrens

Nr. 34/1976 (vergriffen)

H.-J. Deppe
Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoff

Nr. 35/1976

E. Limberger
Der Widerstand von Platten, die als Bepflanzungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper - Vorschlag für ein Prüfverfahren -

Nr. 36/1976 (vergriffen)

J. Hundt
Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles

Nr. 37/1976

W. Struck
Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen - Vorschlag für ein Prüfverfahren -

Nr. 38/1976

K.-H. Habig
Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionitriertem Stahl 42 CrMo 4

Nr. 39/1976

K. Kirschke, G. Kempf
Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit Nicht-Newton'schem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Schwerbeanspruchung

Nr. 40/1976

H. Hantsche
Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren

Nr. 41/1976

B. Böttcher
Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten

Nr. 42/1976

S. Dietlen
Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft

Nr. 43/1976

W. Struck
Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches

Nr. 44/1976

W. Matthees
Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms "Stab-Werk"

- Nr. 45/1976
W. Paatsch
Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten
- Nr. 46/1977 (vergriffen)
G. Schickert, H. Winkler
Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung
Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses
- Nr. 47/1977
A. Plank
Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen
- Nr. 48/1977
U. Holzlöhner
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn
- Nr. 49/1977
G. Wittig
Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung
- Nr. 50/1978 (vergriffen)
N. Czaika, N. Mayer, C. Amberg, G. Magiers, G. Andreae, W. Markowski
Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und Überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
- Nr. 51/1978
J. Sickfeld
Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen
- Nr. 52/1978
A. Tomov
Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung
- Nr. 53/1978
R.-G. Rohrmann, R. Rudolphi
Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge
- Nr. 54/1978
H. Sander
Magnetisches Verhalten dünner Eisen-schichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung
- Nr. 55/1978
D. Klaffke
Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristalle polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung
- Nr. 56/1979
W. Brünner, C. Langlie
Stabilität von Sandwichbauteilen
- Nr. 57/1979
M. Stadthaus
Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung
Investigations on Inspection-Media for Magnetic Particle-Testing
- Nr. 58/1979
W. Struck
Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau
- Nr. 59/1979
G. Plauk
Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl
- Nr. 60/1979
H. Spreckelmeyer, R. Helms, J. Ziebs
Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken
- Nr. 61/1979
K. Richter
Beschreibung von Problemen der höheren Farbmetrik mit Hilfe des Gegenfarbensystems
- Nr. 62/1979
W. Gerisch, G. Becker
Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle
- Nr. 63/1979
E. Behrend, J. Ludwig
Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase
- Nr. 64/1980
W. Rücker
Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung
- Nr. 65/1980
P. Schmidt, D. Aurich, R. Helms, H. Veith, J. Ziebs
Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte
- Nr. 66/1980
M. Hattwig
Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung
- Nr. 67/1980
W. Matthees
Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung
- Nr. 68/1980
D. Petersohn
Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik. Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers
- Nr. 69/1980
F. Buchhardt, P. Brandl
Untersuchungen zur Integrität den Liners von Reaktorsicherheitschillen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise
- Nr. 70/1980 (vergriffen)
G. Schickert
Schwellenwerte beim Betondruckversuch
- Nr. 71/1980
W. Matthees, G. Magiera
Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen
- Nr. 72/1980
R. Rudolphi
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen
- Nr. 73/1980
P. Wegener
Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen
- Nr. 74/1980
R. Rudolphi, R. Müller
ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz
- Nr. 75/1980
H.-J. Heinrich
Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen
- Nr. 76/1980
D. Klaffke, W.-W. Maennig
Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop
- Nr. 77/1981
M. Gierloff, M. Mautzsch
Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen
- Nr. 78/1981
W. Rücker
Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund
- Nr. 79/1981
V. Neumann
Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflußten Kaltrißneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch
- Nr. 80/1981
A. Plank, W. Struck, M. Tzschätzsch
Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten
- Nr. 81/1981
J. Schmidt
Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik
- Nr. 82/1982
R. Helms, H.-J. Kühn, S. Ledworuski
Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches
Assement of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test
- Nr. 83/1982
H. Czichos, P. Feinle
Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen
- Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen -
- Nr. 84/1982
R. Müller, R. Rudolphi
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)
- Nr. 85/ISBN 3-88314-231 -X/1982
H. Czichos
Technische Materialforschung und -prüfung - Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm "Basic Technological Research" Materials Research and Testing - Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme "Basic Technological Research" -
- Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/1982
K. Niesel, P. Schimmelwitz
Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale
- Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/1982
B. Isecke, W. Stichel
Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren

- Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/1983
A. Erhard
Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall
- Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/1983
D. Conrad, S. Diellen
Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid
- Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/1983
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
- Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/1983
M. Weber
Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz
- Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/1983
L. Auersch
Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden
- Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/1983
P. Studt
Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen
- Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/1983
Xian-Quan Dong
Untersuchungen der Störschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen
- Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/1983
M. Römer
Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten
- Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/1983
H. Eifler
Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken
- Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/1983
G. Fuhrmann, W. Schwarz
Typische Bruchflächenbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung
- Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/1983
E. Schnabel
Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschenwaren
- Stretch- und Erholungsvermögen -
- Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/1983
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
- Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/1984
G. Klamrowski, P. Neustupny
Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand
- Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/1984
P. Reimers, J. Goebbels, H. Heidt, P. Weise, K. Wilding
Röntgen- und Gammastrahlen-Computer-Tomographie
- Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/1984
G. Magiers
Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens auf Druckspannungsmessung in Beton
- Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/1984
D. Schnitger
Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien
- Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/1984
M. Gierloff
Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen
- Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/1984
B. Schulz-Forberg
Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen
- Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/1984
J. Lehnert
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last
- Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/1984
W. Stichel, J. Ehreke
Korrosion von Stahlradiatoren
- Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/1984
L. Auersch
Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen - Ergebnisse von Modellrechnungen
- Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/1985
M. Omar
Zur Wirkung der Schrumpfbehinderung auf den Schweißspannungszustand und das Spröbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N
- Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/1985
H. Walde, B. Kropp
Wasserstoff als Energieträger
- Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/1985
K. Ziegler
Über den Einfluß der Initlierung auf die detonative Umsetzung von Analex-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte
- Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/1985
W. Lützwow
Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen
- Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/1985
R. Helms, H. Henke, G. Oelrich, T. Saito
Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungskorrosion von Offshore-Konstruktionen
- Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/1985
P. Rose, P. Raabe, W. Daum, A. Szameit
Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen
- Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/1985
K. Richter
Farbempfindungsmerkmal Elementaruntunten und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld
- Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/1985
F.-J. Kasper, R. Müller, R. Rudolphi, A. Wagner
Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik
- Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/1985
H. Czichos, G. Sievers
Materials Technologies and Techno-Economic Development
A Study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)
- Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/1985
H. Treumann, H. Andre, E. Blossfeld, N. Pfeil, M.-M. Zindler
Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung - Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen
- Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/1985
J. Herter, K. Brandes, E. Limberger
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil 1
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part 1
- Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/1986
A. Hecht
Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung
- Nr. 121/ISBN 3-88314-530-0/1986
P. Feinle, K.-H. Habig
Versagenskriterien von Stahlgleitpaarungen unter Mischreibungsbedingungen; Einflüsse von Stahlzusammensetzung und Wärmebehandlung
- Nr. 122/ISBN 3-88314-521-1/1986
J. Mischke
Entsorgung kerntechnischer Anlagen
Sonderkolloquium der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) am 10. 12. 1985 mit Beiträgen von B. Schulz-Forberg, K. E. Wieser und B. Droste
- Nr. 123/ISBN 3-88314-531-9/1986
D. Rennoch
Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase
- Nr. 124/ISBN 3-88314-538-6/1986
H.-M. Thomas
Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung
- Nr. 125/ISBN 3-88314-540-8/1986 (vergriffen)
B. Droste, U. Probst
Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas-Lagertanks
- Nr. 126/ISBN 3-88314-547-5/1986
W. Stichel
Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen
- Nr. 127/ISBN 3-88314-564-5/1986 (vergriffen)
E. Limberger, K. Brandes, J. Herter, K. Berner
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil 1
Tests on Reinforced Concrete Beams, Part 1
- Nr. 128/ISBN 3-88314-568-8/1986 (vergriffen)
E. Limberger, K. Brandes, J. Herter, K. Berner
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil 11
Tests on Reinforced Concrete Beams, Part 11
- Nr. 129/ISBN 3-88314-569-6/1986 (vergriffen)
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter, K. Berner
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load
Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit
Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates

- Nr. 130/ISBN 3-88314-570-X/1986
W. Struck
Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material
- Nr. 131/ISBN 3-88314-585-8/1986
E. Limberger, K. Brandes, J. Herter
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil 11
Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part 11
- Nr. 132/ISBN 3-88314-595-5/1987
Chr. Herold, F.-U. Vogdt
Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen
- Nr. 133/ISBN 3-88314-609-9/1987 (vergriffen)
M. Woydt, K.-H. Habig
Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe
- Nr. 134/ISBN 3-88314-615-3/1987
G. Andreas, G. Niessen
Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen
- Nr. 135/ISBN 3-88314-618-8/1987
J. Ludwig, W.-D. Mischke, A. Ulrich
Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen
- Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/1987
H.-J. Deppe, K. Schmidt
Untersuchung zur Beurteilung von Brett-schichtverleimungen für den Holzbau
- Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/1987
D. Aurich
Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiete der Komponentensicherheit
- Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/1987
M. Dogurike, F. Buchhardt
Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben
- Nr. 139/ISBN 3-88314-658-7/1987
J. Olschewski, S.-P. Scholz
Numerische Untersuchung zum Verhalten des Hochtemperaturwerkstoffes Nimonic PE 16 unter monotoner und zyklischer Belastung bei Verwendung verschiedener plastischer und viskoplastischer Materialmodelle
- Nr. 140/ISBN 3-88314-643-9/1987
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
- Nr. 141/ISBN 3-88314-694-3/1987
F. Buchhardt, W. Matthees, G. Magiera, F. Mathiak
Zum Einfluß des Sicherheits- und Auslegungserdbebens auf die Bemessung von Kernkraftwerken
- Nr. 142/ISBN 3-88314-695-1/1987
H. Treumann, G. Krüger, N. Pfeil, S. von Zahn-Ullmann
Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrezahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen
- Nr. 143/ISBN 3-88314-701-X/1987
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively
- Loaded Reinforced Concrete Members**
Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen bei Stoßbelastung
Experimental and numerical Investigations concerning Load Bearing Behaviour of Reinforced Concrete Members under Impact Load
- Nr. 144/ISBN 3-88314-702-8/1987
F. Buchhardt, G. Magiera, W. Matthees, M. Weber, J. Altes
Nichtlineare dynamische Berechnungen zum Penetrationsverhalten des AVR- Reaktor-gebäudes
- Nr. 145/ISBN 3-88314-711-7/1987
U. Holzlöhner
Untersuchung selbstähnlicher Systeme zur Bestimmung von Materialeigenschaften von Reibungsböden
- Nr. 146/ISBN 3-88314 714-1/1987
W. Schon, M. Mallon
Untersuchungen zur Wirksamkeit von Wasserberieselungseinrichtungen als Brandschutzmaßnahme für Flüssiggas-Lagertanks
- Nr. 147/ISBN 3-88314-720-6/1987
H.-D. Kleinschrodt
Lösung dynamischer Biege- und Torsionsprobleme von Stabsystemen aus dünnwandigen elastischen Stäben mit offenem Querschnitt mittels frequenzabhängiger Ansatzfunktionen
- Nr. 148/ISBN 3-88314-774-5/1988
W. Müller
Theoretische Untersuchung von Variationsprinzipien für elastoplastisches Materialverhalten sowie Entwicklung und numerische Erprobung von Finite-Element-Verfahren für den ebenen Spannungszustand
- Nr. 149/ISBN 3-88314-775-3/1988
U. Holzlöhner
Bestimmung baugrunderdynamischer Kenngrößen aus der Untersuchung von Bodenproben
- Nr. 150/ISBN 3-88314-776-1/1988
M. Weber
VG3D Zeichenprogramm für vektorgraphische Darstellung dreidimensionaler Strukturen
- Nr. 151/ISBN 3-88314-785-0/1988
L. Auersch-Saworski
Wechselwirkung starrer und flexibler Strukturen mit dem Baugrund insbesondere bei Anregung durch Bodenerschütterungen
- Nr. 152/ISBN 3-88314-796-6/1988
G. Plauk, G. Kretschmarin, R.-G. Rohrmann
Untersuchung des baulichen Zustandes und der Tragfähigkeit vorgespannter Riegel von Verkehrszeichenbrücken der Berliner Stadtautobahn
- Nr. 153/ISBN 3-88314-797-4/1988
H. Sander, W.-W. Maennig
Magnetisches Verhalten von Eisenproben bei mechanischer Wechselbeanspruchung
- Nr. 154/ISBN 3-88314-822-9/1988
K. Breikreutz, P.-J. Uttech, K. Haedecke
Druckgesinterte Stähle als zertifiziertes Referenzmaterial für die Spektrometrie
- Nr. 155/ISBN 3-88314-825-3/1988
L. Auersch
Zur Entstehung und Ausbreitung von Schienenverkehrserschütterungen: Theoretische Untersuchungen und Messungen am Hochgeschwindigkeitszug Intercity Experimental
- Nr. 156/ISBN 3-88314-887-3/1989
G. Klamrowski, P. Neustupny, H.-J. Deppe, K. Schmidt, J. Hundt
Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von Faserzementen
- Nr. 157/ISBN 3-88314-888-1/1989
E. Limberger, K. Brandes
Versuche zum Verhalten von Stahlbetonbalken mit Übergreifungsstößen der Zugbewehrung unter stoßartiger Belastung
- Nr. 158/ISBN 3-88314-889-X/1989
R. Wäsche, K.-H. Habig
Physikalisch-chemische Grundlagen der Feststoffschmierung - Literaturübersicht
- Nr. 159/ISBN 3-88314-890-3/1989
R. Müller, R. Rudolphi
Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Temperaturverteilung im Querschnitt von Hausschornsteinen nach DIN 18160, Teil 6
- Nr. 160/ISBN 3-88314-917-9/1989
W. Matthees
Entwicklung eines Makroelementes durch Kondensation am Beispiel der Lastfälle Flugzeugabsturz und Erdbeben bei Boden-Bauwerk-Wechselwirkung mit biegeweichen Fundamenten
- Nr. 161/ISBN 3-88314-920-9/1989
G. Mellmann, M. Maultzsch
Untersuchung zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Flachglas für bauliche Anlagen
- Nr. 162/ISBN 3-88314-921-7/1989
W. Brünner
Untersuchungen zur Tragfähigkeit großer Glasscheiben
- Nr. 163/ISBN 3-88314-922-5/1989
W. Brünner, G. Mellmann, W. Struck
Biegefestigkeit und Tragfähigkeit von Scheiben aus Flachglas für bauliche Anlagen
- Nr. 164/ISBN 3-88314-934-9/1989
R. Helms, B. Jaenicke, H. Wolter, C.-P. Bork
Zur Schwingfestigkeit großer geschweißter Stahlträger
- Nr. 165/ISBN 3-88314-935-7/1989
P. Gobel, L. Meckel, W. Schiller
Untersuchung zur Erarbeitung von Kennwerten bei Einrichtungsmaterialien (Holzwerkstoffen, Möbeln und Textilien) hinsichtlich der Formaldehyd-Emission - Teil B: Textilien
- Nr. 166/ISBN 3-88314-936-5/1989
K. Breikreutz
Modelle für Stereologische Analysen
- Nr. 167/ISBN 3-88314-937-3/1989
A. Mitakidis, W. Rücker
Erschütterungsausbreitung im elastischen Halbraum bei transienten Belastungsvorgängen
- Nr. 168/ISBN 3-88314-958-6/1990
F.-J. Kasper, R. Müller, R. Rudolphi
Numerische Untersuchung geometriebedingter Wärmebrücken (Winkel und Ecken) unter Einsatz hochauflösender Farbgraphik bei Berücksichtigung der Tauwasserproblematik und des Mindestluftwechsels
- Nr. 169/ISBN 3-88314-959-4/1990
Chr. Kohl, W. Rucker
Integration der Untergrunddynamik in das Programmsystem MEDYNA, dargestellt am Beispiel des Intercity Experimental (ICE)
- Nr. 170/ISBN 3-88314-960-8/1990
P. Studt, W. Kerner, Tin Win
Untersuchung der mikrobiologischen Schädigung wassergemischter Kühlschmierstoffe mit dem Ziel der Verbesserung der Arbeitshygiene, der Minderung der Geruchsbelastung und der Menge zu entsorgender Emulsionen
- Nr. 171/ISBN 3-88314-997-7/1990
F. Buchhardt
Ein Operator zur Koppelung beliebig benachbarter dynamischer Systeme am Beispiel der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung

Nr. 172/ISBN 3-88314-998-5/1990

J. Vielhaber, G. Plauk

Grenztragfähigkeit großer Verbundprofilstützen

Nr. 173/ISBN 3-88314-999-3/1990

B. Droste, J. Ludwig, B. Schulz-Forberg

Höherwertige Transporttechnik und ihre Konsequenzen für die Beförderung gefährlicher Güter

Nr. 174/ISBN 3-88429-021-8/1990

D. Aurich

Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte

Nr. 175/ISBN 3-88429-022-6/1990

W. Brocks, D. Klingbeil, J. Olschewski

Lösung der HRR-Feld-Gleichungen der elastisch-plastischen Bruchmechanik

Nr. 176/ISBN 3-88429-035-6/1990

W. Matthees, G. Magiera

Iterative Dekonvolution der seismischen Basiserregung für den Zeitraum

Nr. 177/ISBN 3-89429-090-0/1991

G. Schickert, M. Krause, H. Wiggenhauser

Studie zur Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren bei Ingenieurbauwerken

Nr. 178/ISBN 3-89429-429-9/1991

G. Andreae, J. Knapp, G. Niessen

Entwicklung und Untersuchung eines kapazitiven Hochtemperatur-Dehnungsaufnehmers für Einsatztemperaturen bis ca. 1000 °C

Nr. 179 / ISBN 3-89429-100-1/1991

H. Eifler

Die Drehfähigkeit plastischer Gelenke in Stahlbeton-Plattenbalken, bewehrt mit naturhartem Betonstahl BSt 500 S im Bereich negativer Biegemomente

Nr. 180/ISBN 3-89429-101-X/1991

E. Klement, G. Wieser

Zur numerischen Übertragbarkeit von Prüfungsergebnissen an Hausschornsteinen auf Schornsteine mit anderen lichten Querschnitten

Nr. 181/ISBN 3-89429-105-2/1991

H. Czichos, R. Helms, J. Lexow

Industrial and Materials Technologies Research and Development Trends and Needs

Nr. 182/ISBN 3-89429-145-1/1992

M. Weber

Bestimmung von Wärmeübergangskoeffizienten im Bereich geometriebedingter Wärmebrücken

Nr. 183/ISBN 3-89429-163-X/1992

F. Buchhardt

Zur Dekonvolution im Zeitbereich

Nr. 184/ISBN 3-89429-164-8/1992

M. Maultzsch, W. Stichel, E.- M. Vater

Feldversuche zur Einwirkung von Auftaumitteln auf Verkehrsbauwerke (im Rahmen des Großversuchs "Umweltfreundlicheres Streusalz")

Nr. 185/ISBN 3-89429-165-6/1992

Renate Müller

Ein numerisches Verfahren zur simultanen Bestimmung thermischer Stoffeigenschaften oder Größen aus Versuchen Anwendung auf das Heißdraht-Parallelverfahren und auf Versuche an Hausschornsteinen

Nr. 186/ISBN 3-89429-211-3/1992

B. Löffelbein, M. Woydt, K.-H. Habig

Reibungs- und Verschleißuntersuchungen an Gleitpaarungen aus Ingenieurkeramischen Werkstoffen in wässrigen Lösungen

Nr. 187/ISBN 3-89429-216-4/1992

Th. Schneider, E. Santner

Mikrotribologie: Stand der Forschung und Anwendungsmöglichkeiten. Literaturübersicht

Nr. 188/ISBN 3-89429-243-1/1992

K. Mallwitz

Verfahren zur Vorausermittlung der Setzung von Fundamenten auf geständerten Strecken infolge zyklischer Beanspruchung

Nr. 189/ISBN 3-89429-244-X/1992

W. Matthees, G. Magiera

Impedanzeigenschaften von Finiten Elemente Modellen bei Integration im Zeitraum

Nr. 190/ISBN 3-89429-245-8/1992

G. Zachariev

Untersuchung des Versagens thermoplastischer Kunststoffe im Kurzzeit-Zugversuch und Retardations-Zugversuch

Nr. 191/ISBN 3-89429-246-6/1992

H.- M. Bock, S. Erbay, J. With

Kritische Stahltemperatur als charakteristischer Kennwert für die Feuerwiderstandsdauer von Bauwerkssystemen aus Stahl

Nr. 192/ISBN 3-89429-329-2/1993

D. Aurich

Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte; Lokales Ribwachstum, Ermittlung des Ribwiderstandsverhaltens aus der Kerbschlagarbeit

Nr. 193/3-89429-291-1/1993

W. Gerisch, Th. Fritz, S. Steinborn

Statistical Consulting in the Frame of VAMAS. The Role of the Technical Working Arfae/Advisory Group. Statistical Techniques for Interlaboratory Studies and Related Projects (VAMAS Report No. 13)

Nr. 194/ISBN 3-89429-330-6/1993

U. Krause

Ein Beitrag zur mathematischen Modellierung des Ablaufs von Explosionen

Nr. 195/ISBN 3-89429-331-4/1993

U. Schmidtchen, G. Würsig

Lagerung und Seetransport großer Mengen flüssigen Wasserstoffs am Beispiel des "Euro-Québec Hydro-Hydrogen Pilot Projekts. Überblick über die in Deutschland anzuwendenden Gesetze, Verordnungen und technischen Regeln

Nr. 196/ISBN 3-89429-362-4/1993

D. Lietze

Untersuchungen über das Anlaufen von Detonationen im Innern geschlossener Systeme

Nr. 197/ISBN 3-89429-400-0/1993

A. Skopp

Tribologisches Verhalten von Siliziumnitridwerkstoffen bei Festkörpergleitreibung zwischen 22 °C und 1000 °C

Nr. 198/ISBN 3-89429-421-3/1994

St. Meretz

Ein Beitrag zur Mikromechanik der Interphase in polymeren Faserverbundwerkstoffen

Nr. 199/ISBN 3-89429-422-1/1994

W. F. Rucker, S. Said

Erschütterungsübertragung zwischen U-Bahntunneln und dicht benachbarten Gebäuden

Nr. 200/ISBN 3-89429-423-X/1994

D. Arndt, K. Borchardt, P. Croy, E. Geyer,

J. Henschen, C. Maierhofer, M. Niedack-Nad,

M. Rudolph, D. Schaurich, F. Weise,

H. Wiggenhauser

Anwendung und Kombination zerstörungsfreier Prüfverfahren zur Bestimmung der Mauerwerksfeuchte im Deutschen Dom

Nr. 201/ISBN 3-89429-475-2/1994

U. Holzlöhner, H. August, T. Meggyes, M. Brune

Deponieabdichtungssysteme; Statusbericht

Nr. 202/ISBN 3-89429-481-7/1994

J. Schmidt

Über eine Verteilungsfunktion mit Parametern für Median, Spannweite, Schiefe und Wölbung; Konzept und Anwendung

Nr. 203/ISBN 3-89429-483-3/1994

B. Schulz-Forberg, J. Ludwig

Sicherheitsniveau von Transporttanks für Gefahrgut

Nr. 204/ISBN 3-89429-484-1/1994

W. Struck, E. Limberger

Der Glaskugelsack als Prüfkörper für Beanspruchungen durch weichen Stoß - eine erweiterte Modellvorstellung

**Bundesanstalt für
Materialforschung und -prüfung (BAM)**

**Federal Institute for
Materials Research and Testing**

**Institut Fédéral pour la
Recherche et l'Essai des Matériaux**

Unter den Eichen 87
D-12205 Berlin
☒ D-12200 Berlin

Telefon (0 30) 81 04-0
Telefax (0 30) 8 11 20 29
Telex 1 83 261 bamb d

- **Berichte**
- **Gutachten**
- **Zulassungen**
- **Zertifikate**
- **Tagungspapiere**
- **Prüfungszeugnisse**
- **Prüfstellenanerkennungen**

