
Quetschstellen – Arbeits- grundlagen für die Normung



Das Projekt „Kommission Arbeitsschutz und Normung“ wird finanziell durch das Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung gefördert.

- Autor: Dipl.-Ing. Frank Sasse
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung
Postfach 41 20, D-39016 Magdeburg
- Redaktion: Kommission Arbeitsschutz und Normung — KAN
Geschäftsstelle
- Herausgeber: Verein zur Förderung der
Arbeitssicherheit in Europa e.V.
Alte Heerstraße 111, 53754 Sankt Augustin
Telefon: 0 22 41 / 2 31 - 03
Telefax: 0 22 41 / 2 31 - 4 64
— Juni 1996 —
- Satz und Layout: Hauptverband der gewerblichen
Berufsgenossenschaften (HVBG)
Abteilung Öffentlichkeitsarbeit
Alte Heerstraße 111, 53754 Sankt Augustin
- Druck: Druckerei Plump OHG, Rheinbreitbach
- ISBN 3-88383-415-7

	Seite
Zu diesem Bericht:	7
Zusammenfassung der Studie	8
Empfehlungen der KAN	10
This report:	13
Summary	14
KAN's recommendations	16
A ce propos:	19
Résumé	20
Recommandations de la KAN	23
1 Einleitung	25
2 Gegenstand und Merkmale von Quetschstellen	29
2.1 Begriffsbestimmung und Abgrenzung	29
2.2 Arten von Quetschstellen	34
3 Maßnahmen zur Sicherung von Quetschstellen	35
3.1 Arten möglicher Schutzeinrichtungen an Quetschstellen	35
3.2 Grenzen des Einsatzes von Schutzeinrichtungen an Quetschstellen	36
3.3 Anwendung und Bedeutung von Maßnahmen der Kraftbegrenzung an Gefahrstellen	37
4 Überblick über bestehende Normen und Regelwerke	39
4.1 Regelwerke, nationale und internationale Normen	40
4.2 Bewertung der Vertretbarkeit und Übertragbarkeit von Grenzwerten	46

	Seite
5	Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften 49
5.1	Untersuchungen zur Ermittlung von Schließkräften an kraftbetätigten Türen und Toren 49
5.1.1	Meßgerät Klasse I (nach StVZO) 49
5.1.2	Meßgerät Klasse II (nach StVZO) 51
5.1.3	Andere Bauformen 51
5.1.4	Vor- und Nachteile unterschiedlicher Meßgeräte 52
5.1.4.1	Meßgeräte niedriger Federraten (C_M klein) 52
5.1.4.2	Meßgeräte hoher Federraten (C_M groß) 55
5.1.5	Anforderungen an ein universelles Meßgerät und Meßverfahren zur Ermittlung vergleichbarer und verallgemeinerungsfähiger Grenzwerte 56
5.2	Biomechanische Aspekte der Ermittlung und Anwendbarkeit von Grenzwerten an Quetschstellen 58
5.2.1	Begriffsbestimmung 58
5.2.2	Zusammenstellung von Belastungsgrenzwerten 61
5.2.2.1	Gesamtorganismus 61
5.2.2.2	Kopf 63
5.2.2.3	Hals 66
5.2.2.4	Obere Gliedmaßen 66
5.2.2.5	Rumpf 68
5.2.2.6	Untere Gliedmaßen 69
5.2.2.7	Gewebeteile 71
5.2.3	Weitere Untersuchungen zur Kraftermittlung an Quetschstellen bzw. biomechanischen Belastungsgrenzwerten 72
5.2.4	Schlußfolgerungen und Zusammenfassung zu den Versuchen zur Ermittlung von Grenzwertbelastungen am menschlichen Körper 85
5.3	Nutzungsbedingungen von Meßgeräten und Anwendbarkeit von Belastungsgrenzwerten in Abhängigkeit vom zu betrachtenden Einsatzfall 86

	Seite
6 Bestandsaufnahme	89
6.1 Aktueller Wissensstand aus der Sicht der Verfügbarkeit gesicherter Erkenntnisse über die Wirkung von Quetschkräften auf den menschlichen Körper	89
6.2 Ansätze zur Verallgemeinerung und Harmonisierung von Normen, Richtlinien und Untersuchungsergebnissen zum Problem der Ermittlung und Begrenzung der an Quetschstellen wirkenden Kräfte	89
6.3 Möglichkeiten und Grenzen der Vereinheitlichung von Meßgeräten zur Ermittlung von Quetschkräften	90
6.4 Aspekte der Vereinheitlichung bzw. Spezifikation von Belastungsgrenzwerten aus biomechanischer Sicht	91
7 Zusammenfassung	93
Quellennachweis	95

Zu diesem Bericht:

Die Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) wurde 1994 eingerichtet, um die Belange des deutschen Arbeitsschutzes vor allem in der Europäischen Normung geltend zu machen. Sie setzt sich zusammen aus Vertretern der Sozialpartner (Arbeitgeber, Arbeitnehmer), des Staates (Bund, Länder), des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) und des DIN Deutsches Institut für Normung. Die KAN hat u.a. die Aufgabe, die öffentlichen Interessen im Arbeitsschutz zu bündeln und mit Stellungnahmen auf laufende oder geplante Normungsvorhaben Einfluß zu nehmen.

Zur Analyse von arbeitsschutzrelevanten Sachverhalten in der Normung und zur Ermittlung von Defiziten oder Fehlentwicklungen in der Normungsarbeit vergibt die KAN u.a. Studien und Gutachten.

Der vorliegenden Studie lag folgender Auftrag zugrunde:

Quetschstellen an kraftbetätigten Einrichtungen bergen mitunter ein besonders schwerwiegendes Verletzungsrisiko. Mechanisch wirkende Schutzeinrichtungen sind häufig konstruktiv schwer realisierbar und in ihrer Wirksamkeit nicht optimal oder stellen selbst eine Quetschstelle dar (z.B. kraftbetätigte Türen). Als vielversprechende Maßnahme zur Sicherung

von Quetschstellen kommt die Begrenzung der wirksamen Kräfte in Betracht. Ziel der Studie ist es, die über diesen Ansatz zur Risikominderung verfügbaren Kenntnisse und Erfahrungen zusammenzutragen und für die Normung nutzbar zu machen.

- 1. Bestandsaufnahme über die auf dem Gebiet der Kraftbegrenzung an Quetschstellen in Deutschland und im europäischen Ausland durchgeführten Untersuchungen.*
- 2. Bewertung der nach Nr. 1 ermittelten Ergebnisse im Hinblick auf ihre Aussagekraft und ihre Vergleichbarkeit.*
- 3. Analyse noch nicht oder unzureichend bearbeiteter Problemfelder und Feststellung eines eventuell vorhandenen weiteren Forschungsbedarfs. Bestimmung von Quetschstellenarten, für die eine Festlegung von Grenzwerten zweckmäßig wäre.*
- 4. Bewertung der Maßnahme „Begrenzung der wirksamen Kräfte“ durch Vergleich mit anderen (mechanisch wirkenden) Maßnahmen der Sicherung von Quetschstellen.*
- 5. Ermittlung von Grenzwerten für die Sicherung von Quetschstellen durch die Begrenzung der wirksamen Kräfte in Abhängigkeit von gefährdeten Körperteilen.*

Die KAN dankt dem Verfasser für die Durchführung des Projekts und die Vor-

Zu diesem Bericht:

lage des Berichts sowie den folgenden Experten für die kritische Begleitung und die Unterstützung bei der Auswertung der Arbeit:

Herrn Fähnrich
Deutscher Aufzugausschuß

Herrn Prof. Dr. Dr. Jürgens
Neue Universität Kiel

Herrn Dr. Kirchberg
Bundesanstalt für Arbeitsschutz

Herrn Dr. Kloß
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit

Herrn Mauser
Berufsgenossenschaftlicher Fachausschuß
„Bauliche Einrichtungen“

Herrn Puttich
Berufsgenossenschaft für den
Einzelhandel

Herrn Dr. Scheuermann
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel
und Gaststätten

Frau Schliefer
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit

Herrn Walter
Berufsgenossenschaft Druck
und Papierverarbeitung

Herrn Warlich
Berufsgenossenschaftlicher Fachausschuß
„Eisen und Metall II“

Herrn Sterk
KAN-Geschäftsstelle

Die folgende Zusammenfassung der Studie und die Empfehlungen wurden von der KAN am 16. Januar 1996 verabschiedet.

Zusammenfassung der Studie

Bestandsaufnahme und Bewertung

1. Quetschstellen stellen ein hohes Sicherheitsrisiko dar. Anhand der Auswertung von Statistiken wird festgestellt, daß Quetschunfälle häufig auftreten, wobei die mit Abstand am meisten betroffenen Körperteile Hände und Arme sind.

2. Der Bericht gibt einen Überblick über nationale Regelungen sowie über nationale, europäische und internationale Normen bzw. Normentwürfe, in denen Aussagen zur Kraftbegrenzung an Quetschstellen gemacht werden. Verdeutlicht wird, daß die verschiedenen Regelwerke von unterschiedlichen Meß- und Auswerteverfahren ausgehen. Durch nicht harmonisierte Begriffe und Definitionen wird die Übertragbarkeit von

Grenzwerten erheblich erschwert. Die Analyse der Normungsvorhaben hat ergeben, daß in der C-Normung bereits Festlegungen zur Kraftbegrenzung getroffen werden. Jedoch wird keiner einheitlichen Methodik nachgegangen, wie Belastungswerte zu ermitteln sind. Beispielsweise werden zur Beschreibung der Belastung Kraft-, Druck- oder Energieeinheiten angegeben. Teilweise fehlen Angaben zum Meßgerät und zu den Meßbedingungen.

3. Eine Vielzahl an durchgeführten Untersuchungen und die daraus abgeleiteten Grenzwerte für die biomechanische Belastbarkeit des Körpers bzw. einzelner Körperteile werden beschrieben. Da die meisten Versuchsreihen aus anderen eigenständigen Bereichen, z.B. aus der Automobilindustrie stammen, können die Ergebnisse aufgrund der unterschiedlichen Fragestellungen und der nicht vergleichbaren Randbedingungen (z.B. Versuche an Leichen oder Dummies) zur Festlegung von allgemein anwendbaren Grenzwerten zur Sicherung von Quetschstellen nicht herangezogen werden.

4. Für einige Anwendungsfälle (Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen, Omnibustüren, kraftbetätigte Türen und Tore) sind bereits Untersuchungen zur Quetschkraftbegrenzung durchgeführt worden. Als Methodik wurde die Er-

mittlung von sogenannten Komfortwerten (Unbehaglichkeitsschwellen bestimmt mit Gruppen von Versuchspersonen) gewählt. Die Studie beschreibt die ermittelten zulässigen Kräfte und die hierzu verwendeten Meßgeräte und -verfahren.

Feststellung des Forschungsbedarfs

5. Die Recherche hat ergeben, daß ein erhebliches Defizit hinsichtlich der Übertragbarkeit von biomechanischen Belastungswerten aus vorhandenen Untersuchungen allgemein auf die Anwendung an Quetschstellen besteht. Daher besteht der Bedarf, eigene Untersuchungen zur Ermittlung von Belastungswerten für die jeweils gefährdeten Körperteile zu erstellen. Als pragmatische Methode empfiehlt die Studie die Ermittlung von Komfortwerten, die sich im Rahmen der Festlegung von Grenzwerten zur Sicherung von Quetschstellen in mehreren Anwendungsfällen bereits bewährt hat. Als Priorität wird die Ermittlung von Grenzwerten für den Hand-Arm-Bereich angegeben.

6. Der Autor empfiehlt, Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses der konstruktiven Gestaltung von Schließkanten an Maschinen durchzuführen. Hieraus sollen Vorschläge für die Minimierung des Verletzungsrisikos erarbeitet werden.

Zu diesem Bericht:

Bewertung der Maßnahme „Begrenzung der wirksamen Kräfte“

7. Mögliche Maßnahmen zur Sicherung von Quetschstellen werden genannt. Für die Kraftbegrenzung sprechen zwei Argumente: Bei einigen Bearbeitungsverfahren ist ein Sichern der Gefahrstelle durch eine räumliche Abtrennung schwierig bzw. nicht möglich. Die Begrenzung der wirksamen Kräfte kann hier eine kostengünstige und bedienerfreundliche Maßnahme darstellen. Weiterhin ist herauszustellen, daß das in der Grundnorm DIN EN 292 „Sicherheit von Maschinen, Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsgrundsätze“ geforderte Prinzip Anwendung findet, daß die Gefährdung zunächst durch konstruktive Maßnahmen gemindert werden soll, bevor andere Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden.

8. Es ist zu beachten, daß in einigen Fällen (z.B. bei Papierschneidemaschinen) die Reduzierung der zulässigen Kräfte nur bis zu einem bestimmten Wert möglich ist, damit die Funktion der Maschine gewährleistet bleibt.

Ermittlung von Grenzwerten

9. Als gemeinsamer Wert wird in den meisten Regelwerken ein (statischer) Kraftgrenzwert von 150 N angegeben.

Die Studie erläutert, daß für sich allein genommen die Angabe eines statischen Wertes nicht ausreicht, um die Gefährdungssituation ausreichend zu beschreiben.

10. Es gibt eine Vielfalt an Parametern, die für die Ermittlung von aussagefähigen Werten betrachtet werden müssen. Hieraus ergibt sich der Bedarf, einheitliche Meßgeräte einzusetzen und die Meßbedingungen zu definieren. Insbesondere müssen Festlegungen zur Federsteifigkeit in Abhängigkeit vom zu betrachtenden Körperteil getroffen werden, um vergleichbare Werte zu erhalten und bewerten zu können. Bei der Ermittlung von zulässigen Grenzwerten müssen neben statischen Kräften auch dynamische Kräfte und die Einwirkdauer der Belastung erfaßt werden.

Empfehlungen der KAN

Die Kommission Arbeitsschutz und Normung schließt sich den Ergebnissen der Studie an und beschließt, sie als KAN-Bericht zu veröffentlichen.

Gesamteinschätzung

Der Bericht gibt einen umfassenden Überblick über die auf dem Gebiet der Kraftbegrenzung an Quetschstellen

durchgeführten Untersuchungen. Der Stand der technischen Regelungen in diesem Bereich wird dargestellt. Der erforderliche Forschungsbedarf zur Festlegung von Belastungswerten wird beschrieben.

Das Projekt stellt damit eine gute Arbeitsgrundlage für die Normungsarbeit dar.

Allgemeiner Handlungsbedarf

1. Die KAN empfiehlt die Erarbeitung einer B-Norm gemäß Maschinenrichtlinie, die dem Konstrukteur Hinweise geben soll, wie Quetschstellen durch Begrenzung der wirksamen Kräfte gesichert werden können. Dazu sollten neben der Angabe von Richtwerten für einzelne Körperteile die Meßverfahren unter Berücksichtigung praxisnaher Randbedingungen genormt werden.

2. Die KAN stellt über das DIN die Ergebnisse der Studie dem CEN/TC 122 zur Verfügung, um die Arbeiten der WG 1, an die ein entsprechender Normungsauftrag vergeben wurde, zu unterstützen. Die KAN unterstreicht die Notwendigkeit, physiologische und technische Aspekte bei der Erarbeitung der Norm zusammenzuführen, und bittet die projektbegleitende Arbeitsgruppe, für die Zusammenarbeit mit der WG 1 zur Verfügung zu stehen.

3. Die KAN macht den AA 1 (Terminologie) des Normenausschusses Ergonomie als zuständiges nationales Spiegelgremium darauf aufmerksam, daß bei fortschreitender C-Normung mit Vorgabe von Quetschkraftgrenzwerten die Durchsetzung einer B-Norm um so schwerer wird, je später die Normungsarbeit aufgenommen wird.

Forschungsbedarf

4. Die KAN appelliert an die zuständigen Stellen (z.B. Forschungsförderer), die Forschung auf den nachfolgend genannten Gebieten zu unterstützen. Wenn möglich sollte auf die Durchführung eines bereits innerhalb des 4. Rahmenprogrammes „Standards, measurements and testing“ der EU beantragten Forschungsprojektes (CEN N 1022 — Safeguarding crushing points on machines by means of a limitation of the active forces, pre-standardization research) hingewirkt werden.

5. Ermittlung von Belastungswerten für einzelne Körperteile auf der Basis von Unbehaglichkeitsschwellen. Priorität haben dabei Untersuchungen des Hand/Arm-Bereichs. Dabei soll auf den bereits vorliegenden Arbeiten des BIA aufgebaut werden.

Zu diesem Bericht:

6. Ermittlung der Nachgiebigkeit von Körperteilen mit dem Ziel, daraus normierte Festlegungen für den Einsatz von Meßgeräten mit definierter Federsteifigkeit abzuleiten.

7. Erarbeitung von Vorschlägen für die konstruktive Ausführung von

Schließkanten an Maschinen zwecks Minderung des Verletzungsrisikos.

8. Festlegung von praxisnahen Rahmenbedingungen anhand der Auswertung von Unfallgeschehen an Maschinen. Dabei sind statische und dynamische Kräfte sowie die Einwirkdauer der Belastung zu berücksichtigen.

This report:

The Commission for Occupational Health, Safety and Standardization (KAN) was founded in 1994 to assert German interests in OH & S matters, especially with regard to European standardization. KAN is composed of representatives of the social partners, the federal state and the Laender, the Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften — HVBG (Federation of the Statutory Accident Insurance Institutions of the Industrial Sector) and the German Standards Institute (DIN). One of KAN's tasks is to focus the public interests in the field of occupational health and safety and to exert influence on current and future standardization projects by delivering opinions on specific subjects.

KAN procures studies and expert opinions in order to analyse occupational health and safety aspects in standardization and to reveal deficiencies or erroneous developments in standardization work.

This study was based on the following task in hand:

Crushing points on power-driven installations may result in particularly bad injuries. Mechanically operating safety devices are often difficult to construct and do not exhibit maximum efficiency or are crushing points themselves (e.g. power-driven doors). The limitation of acting

forces seems to be a promising means of protection against crushing points. This study is to collect the knowledge and experience available on this approach to risk reduction and to make them accessible for standardization.

(1) The surveys that have been conducted in Germany and in Europe on the limitation of the forces acting at crushing points are to be identified.

(2) The results obtained under (1) are to be examined with regard to their strength and comparability.

(3) Problematic fields, that have only been dealt with insufficiently or not at all, are to be analysed and a further possible need for investigation is to be specified. Moreover, different types of crushing points, for which limits would be advisable, are to be defined.

(4) The "limiting of the acting forces" approach is to be compared with other (mechanically operating) protection measures against crushing points and to be evaluated accordingly.

(5) Limits for protection against crushing points by means of limiting acting forces are to be established according to the parts of the body at risk.

KAN thanks both the author for carrying out the study and presenting the report and the following experts for

This report:

their critical assistance and support throughout the evaluation of the study:

Herr Fähnrich
Deutscher Aufzugausschuß

Herr Prof. Dr. Dr. Jürgens
Neue Universität Kiel

Herr Dr. Kirchberg
Bundesanstalt für Arbeitsschutz

Herr Dr. Kloß
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit

Herr Mauser
Berufsgenossenschaftlicher Fachausschuß
„Bauliche Einrichtungen“

Herr Puttich
Berufsgenossenschaft für den
Einzelhandel

Herr Dr. Scheuermann
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel
und Gaststätten

Frau Schliefer
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit

Herr Walter
Berufsgenossenschaft Druck
und Papierverarbeitung

Herr Warlich
Berufsgenossenschaftlicher Fachausschuß
„Eisen und Metall II“

Herr Sterk
KAN-Geschäftsstelle

On January 16, 1996 KAN adopted the following summary of the study and recommendations.

Summary

of KAN Study “Crushing points — working principles for standardization”

Review and assessment of the situation

1. Crushing points represent a high safety risk. Following an analysis of statistics it has been established that accidents in which parts of the body are crushed occur frequently. Hands and arms are exposed to by far the highest risk.

2. The report provides an overview of national regulations and national, European and international standards or draft standards in which statements are made on force restriction at crushing points. It becomes clear that the various sets of rules are based on different measuring and analysis methods. The fact that terms and definitions are not standardized makes it considerably more difficult to transfer limit values. An analysis of standardization projects has

shown that as far as C standardization is concerned, measures for force limitation have already been established. However, a standardized method for determining load values has not been adopted. Force, pressure or energy units, for example, may be used to describe load. In some cases, details of measuring equipment and measuring conditions are not provided.

3. A variety of experiments carried out and the resulting limit values for the biomechanical load resistance of the body and individual parts of the body are described. Since most test series originate from other independent areas, such as the automobile industry, results cannot be referred to when establishing generally applicable limit values for making crushing points safe. This is also due to that fact that questions are formulated in different ways and peripheral conditions cannot be compared (e.g. tests on corpses or dummies).

4. In some application areas (printing and paper processing machines, bus doors, power-operated doors and gates), experiments have already been carried out to limit crushing power. The method selected involves the determination of what are known as comfort values (discomfort thresholds determined with the help of groups of test people). The study describes the permissible for-

ces established and the measuring equipment and processes used.

Determining the need for research

5. Research has revealed a substantial deficit with regard to the transferability of biomechanical load values from existing experiments in general to application at crushing points. It is therefore necessary to make separate experiments available for establishing load values for the relevant parts of the body at risk. The study recommends the pragmatic method of ascertaining comfort values, which have already proven successful in several cases, as a means of fixing limits for safeguarding against crushing points. Ascertaining limits for the hand/arm region is stated as a priority.

6. The author recommends examining the influence of the design of closing edges on machines. Results should provide the basis for drawing up proposals for minimising the risk of injury.

Assessing the measure to "limit active forces"

7. Possible measures aimed at making crushing points safe are given. Two arguments speak in favour of limiting force: in the case of certain machining

This report:

processes, it is difficult or impossible to make the danger zone safe by keeping it separate. Limiting active forces can prove to be an economical and operator-friendly measure in such cases. In addition, it should be emphasised that this method complies with the "Safety of machinery; basic concepts, general principles for design" philosophy laid down in basic standard DIN EN 292, which stipulates that the risk should first be minimised with the help of constructive measures before other safety measures are taken.

8. It is important to note that in certain cases (e.g. paper-cutting machines), permissible forces can only be reduced to a certain extent if the machine's function is to be guaranteed.

Determining limits

9. Most sets of rules specify a (static) force limit of 150 N as a common value. The study explains that, taken on its own, a static value is unsuitable for describing the danger adequately.

10. There is a variety of parameters which has to be taken into account when determining key values. It is therefore necessary to use standardized

measuring equipment and to define measuring conditions. In particular, spring rigidity depending on the part of the body in question must be determined in order to be able to obtain and assess comparable values. As far as ascertaining permissible limits is concerned, dynamic forces and the duration of load must be recorded in addition to static forces.

KAN's recommendations

The Commission for Occupational Health, Safety and Standardization (KAN) endorses the results of the study and has decided to publish it as a KAN Report.

Overall evaluation

The report provides a comprehensive overview of studies carried out in the field of force limitation at crushing points. The current status of technical regulations in this field is presented. The need for research to establish load values is described.

This project therefore represents a good working basis for standardization work.

General need for action

1. KAN recommends that a B standard be drawn up in accordance with the Machinery Directive in order to inform the manufacturer of how crushing points can be made safe by restricting active forces. As well as specifying recommended values for individual parts of the body, measuring procedures should be standardized taking account of peripheral conditions similar to those experienced in practice.

2. KAN is to make the results of the study available to CEN/TC 122 via DIN in order to assist the work of WG 1, which has been awarded a corresponding standardization mandate. KAN underlines the need to combine physiological and technical aspects when drafting the standard and has asked the working group accompanying the project to make itself available for cooperation with WG 1.

3. KAN has drawn the attention of the AA 1 (terminology) of the Standards Committee on Ergonomics, the national reflecting committee responsible, to the fact that, with the continuation of C standardization and specification of crushing force limits, the later standardization work is commenced, the harder it will be to implement a B standard.

Need for research

4. KAN has appealed to those responsible (e.g. research sponsors) to support research in the areas specified below. If possible, they should work towards implementing a research project (CEN N 1022 — Safeguarding crushing points on machines by means of a limitation of the active forces, pre-standardization research) already commissioned by the EU as part of the 4th framework programme.

5. Determining load values for individual parts of the body based on discomfort thresholds. Examinations of the hand/arm area take priority. These should be based on studies already conducted by the Institute for occupational safety of the Berufsgenossenschaften.

6. Determining the resilience of parts of the body with the aim of using results to derive standardized specifications for the use of measuring equipment with defined spring rigidity.

7. Drawing up proposals for the design of closing edges on machinery with the aim of reducing the risk of injury.

8. Establishing realistic peripheral conditions based on the analysis of accidents involving machinery. Static and dynamic forces as well as the duration of load should be taken into account.

A ce propos:

La Commission pour la sécurité et la santé au travail et la normalisation (KAN) a été fondée en 1994 pour représenter les intérêts allemands en matière de sécurité et de santé au travail surtout dans la normalisation européenne. Elle est composée des représentants des partenaires sociaux, de l'état fédéral et des Laender, de la Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften — HVBG (Fédération des organismes d'assurance accidents de l'industrie) et de l'Institut allemand de normalisation (DIN). La KAN a pour mission de réunir les intérêts publics quant à la sécurité et la santé au travail et d'influer sur les projets de normalisation en cours d'élaboration et de planification en soumettant des avis.

La KAN commissionne des études et expertises pour l'analyse des questions qui touchent à la sécurité et la santé au travail dans la normalisation et pour révéler des déficits ou développements erronés dans le travail de normalisation.

La présente étude a été fondée sur la mission suivante:

Les points d'écrasement sur les installations mécaniquement exploitées renferment parfois des risques d'accidents particulièrement importants. Il est souvent difficile de réaliser des dispositifs de sécurité au fonctionnement mécanique et l'efficacité de ces installations est réduite ou bien

elles représentent des points-d'écrasement elles-mêmes (des portes à actionnement par source d'énergie extérieure par exemple). La limitation des forces agissantes représente une mesure prometteuse contre les points d'écrasement. L'étude doit rassembler les connaissances et expériences qui existent dans ce domaine et les mettre ensuite à la disposition de la normalisation.

(1) inventaire des études réalisées en Allemagne et en Europe au sujet de la limitation des forces aux points d'écrasement

(2) évaluation des résultats obtenus au point 1 tenant compte du poids de ces résultats et des comparaisons possibles à établir

(3) analyse des domaines problématiques qui ne sont pas encore ou insuffisamment exploités jusqu'à présent et établissement d'un éventuel besoin de recherche supplémentaire; définition de différentes classes de points d'écrasement, pour lesquels il serait utile d'établir des valeurs limites

(4) évaluation de la mesure «limitation des forces agissantes» par une comparaison avec d'autres mesures (de fonctionnement mécanique) contre les points d'écrasement

(5) définition des valeurs limites pour la protection contre les points d'écrasement

A ce propos:

par la limitation des forces agissantes en fonction des parties menacées du corps.

Les remerciements de la KAN vont à l'auteur de l'étude pour son travail et la présentation du rapport ainsi qu'aux experts suivants pour leurs appréciations critiques et leur apport aux conclusions de l'étude:

Herr Fähnrich
Deutscher Aufzugausschuß

Herr Prof. Dr. Dr. Jürgens
Neue Universität Kiel

Herr Dr. Kirchberg
Bundesanstalt für Arbeitsschutz

Herr Dr. Kloß
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit

Herr Mauser
Berufsgenossenschaftlicher Fachausschuß
„Bauliche Einrichtungen“

Herr Puttich
Berufsgenossenschaft für den
Einzelhandel

Herr Dr. Scheuermann
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel
und Gaststätten

Frau Schliefer
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit

Herr Walter
Berufsgenossenschaft Druck
und Papierverarbeitung

Herr Warlich
Berufsgenossenschaftlicher Fachausschuß
„Eisen und Metall II“

Herr Sterk
KAN-Geschäftsstelle

Le 16 janvier 1996, la KAN a adopté le résumé et les recommandations suivants.

Résumé

de l'étude de la KAN «Points d'écrasement — Bases pour la normalisation»

Etat des lieux et évaluation

1. Les points d'écrasement représentent un risque énorme sur le plan de la sécurité. Si l'on analyse les statistiques, on constate que des accidents par écrasement se produisent fréquemment, à l'occasion de quoi les parties du corps le plus souvent concernées, et de loin, sont les mains et les bras.

2. Le rapport donne un aperçu des règlements nationaux ainsi que des normes et projets de normes nationaux, européens et internationaux où l'on

trouve des constats sur la limitation des forces agissantes aux points d'écrasement. Il apparaît alors clairement que les différents règlements partent du principe de procédures de mesure et d'analyse différentes. L'absence d'harmonisation pour les notions et les définitions compliquent considérablement les possibilités de transpositions des valeurs limite. L'analyse des projets de normalisation a révélé que des principes ont déjà été adoptés pour la limitation des forces agissantes dans la normalisation C. Personne n'applique cependant une méthode uniforme pour la façon d'établir les taux de sollicitation. Pour décrire la sollicitation, on recourt par exemple à des unités de force, de pression ou d'énergie. On note parfois l'absence d'indications relatives à l'appareil de mesure et aux conditions de mesure.

3. Une multitude d'analyses réalisées avec les valeurs limite qui en sont extrapolées pour la sollicitation bio-mécanique du corps et/ou de parties du corps y sont décrites. Comme la majorité des séries d'expériences proviennent d'autres secteurs autonomes, ainsi, par exemple, de l'industrie automobile, il n'est pas possible de mettre à contribution les résultats obtenus à partir des questions différentes et des conditions cadre non comparables (par exemple essais sur cadavres ou mannequins) pour l'adoption de valeurs limite à validité

générale pour la sécurité des points d'écrasement.

4. Des analyses ont déjà été réalisées sur la limitation des forces agissantes aux points d'écrasement pour certains cas d'application (machines à imprimer et de traitement du papier, portes de bus, portes et portails exploités mécaniquement). La méthode choisie est celle du calcul de ce que l'on appelle les taux de confort (seuils d'inconfort calculés avec des groupes de cobayes). L'étude décrit les forces agissantes autorisées et calculées ainsi que les appareils et procédures de mesure utilisés à cette fin.

Détermination des besoins de recherches

5. Les recherches ont révélé qu'il existe un déficit considérable en ce qui concerne la possibilité de transfert général des taux de sollicitation bio-mécaniques en provenance des analyses faites au cours du passé en vue d'une application aux points d'écrasement. C'est pourquoi il est nécessaire de faire nos propres analyses pour déterminer les taux de sollicitation pour les parties du corps respectivement en danger. En tant que méthode pragmatique, l'étude recommande de calculer les taux de confort qui ont déjà fait leurs preuves dans plu-

A ce propos:

siens cas d'application dans le cadre de la détermination de valeurs limite pour la sécurité des points d'écrasement. En tant que priorité, elle indique le calcul de valeurs limite pour le système main-bras.

6. L'auteur recommande de procéder à des analyses en ce qui concerne l'influence qu'a la conception technique des arêtes de fermeture de machines. A partir de là, il faudrait élaborer des propositions pour minimiser le risque de blessures.

Evaluation de la mesure

«Limitation des forces agissantes»

7. L'étude nomme des mesures possibles pour la sécurité des points d'écrasement. Deux arguments parlent en faveur de la limitation des forces : selon certains procédés de traitement, il est difficile, voire impossible, d'assurer une protection du lieu dangereux par une séparation dans l'espace. Ici, la limitation des forces agissantes peut constituer une mesure avantageuse sur le plan des coûts et pratique pour l'opérateur. En outre, il convient de rappeler que la norme fondamentale DIN EN 292 «Sécurité de machines, notions fondamentales, principes généraux de conception» implique l'application du principe selon lequel le danger doit tout

d'abord être atténué par des mesures de construction avant que l'on prenne d'autres mesures de sécurité.

8. Il ne faut pas oublier que, dans certains cas (par ex. pour les machines à couper le papier), la réduction des forces autorisées n'est possible que jusqu'à un certain degré si l'on veut que le bon fonctionnement de la machine reste garanti.

Calcul des valeurs limite

9. La majorité des règlements mentionnent une valeur limite de forces (statique) de 150 N comme valeur commune. L'étude explique que l'indication d'une valeur statique prise en tant que telle ne suffit pas pour décrire suffisamment la situation de danger.

10. Il y a une multitude de paramètres que l'on doit prendre en considération pour le calcul de valeurs évocatrices. Cela implique que l'on utilise des appareils de mesure uniformes et que l'on définisse les conditions de mesure. En particulier, il faut prendre des décisions en ce qui concerne la rigidité des ressorts en fonction des parties du corps à prendre en considération afin d'obtenir des valeurs comparables et de pouvoir les évaluer. Lors du calcul des valeurs limite autorisées, outre les forces stati-

ques, il faut aussi recenser les forces dynamiques et la durée d'action de la sollicitation.

Recommandations de la KAN

La «Commission pour la sécurité et la santé au travail et la normalisation» fait siens les résultats de l'étude et décide de les publier en tant que rapport de la KAN.

Evaluation globale

Le rapport donne une vue d'ensemble sur les analyses menées dans le domaine de la limitation des forces aux points d'écrasement. Il présente un bilan des règlements techniques dans ce domaine. Il décrit les besoins de recherche nécessaires pour déterminer les valeurs limite de sollicitations.

Le projet constitue donc une bonne base de travail pour la normalisation.

Besoin général d'action

1. La KAN recommande d'élaborer, conformément à la directive Machines, une norme B qui permettrait de donner aux constructeurs des indications quant au moyen d'assurer les points d'écrasement par limitation des forces agissan-

tes. De plus, outre l'indication de valeurs de référence pour les différentes parties du corps, les procédés de mesure devraient être normalisés en prenant en considération les conditions-cadre proches de la pratique.

2. Par le biais du DIN, la KAN met les résultats de l'étude à la disposition du CEN/TC 122 afin d'encourager les travaux de la WG à laquelle a été confiée une mission de normalisation correspondante. La KAN souligne la nécessité de prendre conjointement en considération les aspects physiologiques et techniques lors de l'élaboration de la norme et elle prie le groupe de travail chargé de suivre le projet de se mettre à disposition pour la collaboration avec la WG 1.

3. La KAN attire l'attention de l'AA 1 (Terminologie) du comité de normes Ergonomie, en tant que groupe-miroir national compétent, sur le fait que, au fur et à mesure que progressera la normalisation C avec indication de valeurs limite pour les forces d'écrasement, l'obtention d'une norme B sera d'autant plus difficile que l'on entamera plus tard les travaux de normalisation.

Besoins de recherches

La KAN exhorte les services compétents (par exemple les organismes de promo-

A ce propos:

tion de la recherche) à encourager la recherche dans les domaines mentionnés ci-après. Si possible, ils devraient intervenir en faveur de la mise sur pied d'un projet de recherche déjà demandé dans le cadre du 4ème programme-cadre «Standards, measurements and testing» de l'UE (CEN N 1922 . Safeguarding crushing points on machines by means of a limitation of the active forces, pre-standardization research).

5. Calcul de valeurs de sollicitation pour différentes parties du corps sur la base de seuils d'inconfort. A ce propos, les analyses du système main/bras ont la priorité. Ce faisant, il faudrait s'appuyer sur les travaux déjà réalisés au cours du passé par l'Institut pour la sécurité du travail des Berufsgenossenschaften.

6. Calcul de l'élasticité de parties du corps avec pour objectif d'en extrapoler des valeurs normalisées pour l'utilisation d'appareils de mesure avec une rigidité de ressort définie.

7. Elaboration de propositions pour l'exécution constructive d'arêtes de fermeture des machines afin de minimiser le risque de blessures.

8. Adoption de conditions-cadre proches de la pratique à la lumière de l'analyse des accidents se produisant avec des machines. A ce propos, on doit prendre en considération les forces statiques et dynamiques ainsi que la durée d'action de la sollicitation.

1 Einleitung

Die Beurteilung der Gefährdungssituation von Personen und Gegenständen an Quetsch- und Scherstellen von sich relativ aufeinander zu bewegenden Teilen einer Einrichtung erfordert Kenntnisse über die Höhe der an der potentiellen Gefahrstelle auftretenden Kräfte. Analysen von Unfallzahlen zeigten, daß ca. 50 % aller Arbeitsunfälle auf Quetschen und Scheren zurückzuführen sind. Typische Verletzungsarten sind dabei Quetschungen, Stauchungen und Prellungen sowie im Extremfall Brüche oder gar Abrisse von Körperteilen. In 70 % der Unfälle an Türen und Toren sind die Finger, der Arm bzw. die Hand betroffen, wobei die Finger die mit Abstand gefährdetsten Körperteile sind.

Verallgemeinernd handelt es sich bei Quetschstellen um Gefahrstellen, bei denen sich Teile so gegeneinander oder gegen feste Teile bewegen, daß Personen oder deren Körperteile gequetscht werden können. Die Gefährdung an einer Quetschstelle resultiert dementsprechend prinzipiell aus dem Schließen einer Öffnung an Maschinen, baulichen Einrichtungen, Fahrzeugen u.a. Einrichtungen. Die Möglichkeiten der Sicherung potentieller Gefahrstellen sind vielfältig. Üblicherweise finden trennende Schutzeinrichtungen (wie Verkleidungen, Verdeckungen u.ä.), ortsbindende Schutzeinrichtungen (wie Zweihandschaltungen) oder Schutzeinrichtungen mit An-

näherungsreaktion (wie Lichtschranken und Schallleisten) Verwendung.

Eine andere Sicherungsmaßnahme besteht darin, der allgemein gültigen, in DIN EN 292 „Sicherheit von Maschinen, Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsgrundsätze“ formulierten Sicherheitsphilosophie Rechnung zu tragen und die Gefährdung an einer potentiellen Quetschstelle durch Reduzierung der im Falle einer Quetschung wirksamen Schließkräfte zu vermeiden und erst, wenn dies nicht in ausreichendem Maß möglich ist, andere Maßnahmen zu treffen.

Bereits in der Vergangenheit wurden durch Unfallverhütungsvorschriften¹⁾, Arbeitsstättenverordnung, Arbeitsstättenrichtlinien²⁾ und Richtlinien der gewerblichen Berufsgenossenschaften³⁾ im Bereich der Gefährdung durch Quetschstellen konkrete Anhaltspunkte für die Gestaltung von Gefahrstellen vorgegeben.

¹⁾ Unfallverhütungsvorschrift „Allgemeine Vorschriften“ (VBG 1, § 29), Carl Heymanns Verlag, Köln

²⁾ Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung — ArbStättV) mit Arbeitsstättenrichtlinie für kraftbetätigte Türen und Tore, ASR 11/1-5, Carl Heymanns Verlag, Köln

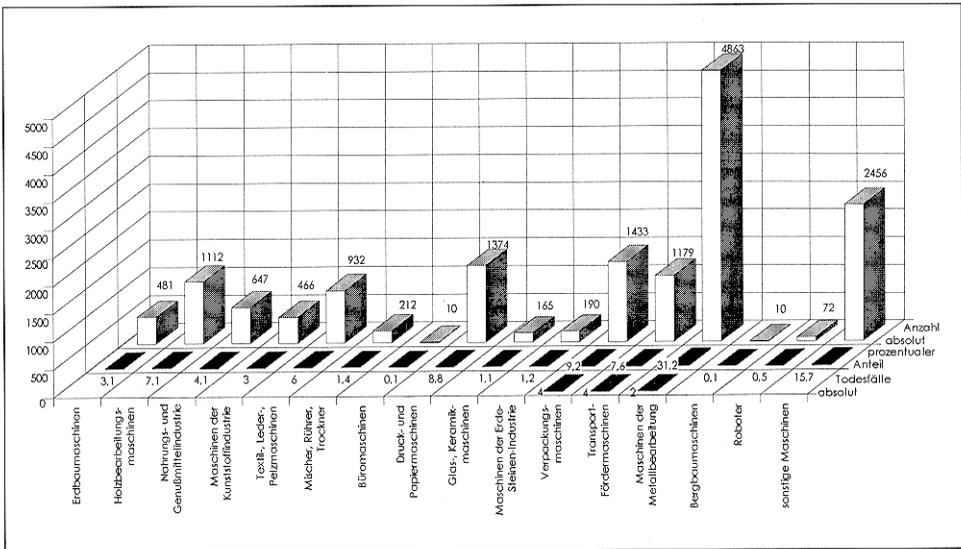
³⁾ Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit, Fachausschuß „Bauliche Einrichtungen“, Richtlinien für kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore (ZH 1/494), Carl Heymanns Verlag, Köln

1 Einleitung

Die sicherheitstechnische Bedeutung des Problems „Quetschstellen“ im gewerblichen Bereich und die potentiellen Gefahren, die von entsprechenden Gefahrstellen ausgehen, sind anhand folgender Abbildung 1 verdeutlicht. Darin sind repräsentativ die für das Jahr 1993 durch den Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften ausgewerteten Statistiken über das Unfallgeschehen im Bereich der Verletzungen durch Quetschen aufgeführt.

Aus dem Unfallverhütungsbericht der Bundesregierung von 1985 lassen sich für die einzelnen Körperteile die Anteile an der Gesamtzahl der Verletzungen bei den insgesamt 1 536 090 Arbeitsunfällen im Jahre 1985 errechnen. Das Ergebnis der Auswertung hinsichtlich der betroffenen verletzten Körperteile ist in Abbildung 2 dargestellt. Verletzungen der Hände stehen mit 41,3 % hier an der Spitze, gefolgt von Verletzungen an den Füßen mit 16,8 % und Kopfverletzungen

Abbildung 1:
Unfallstatistik des Jahres 1993 bezogen auf Quetschunfälle (Auswertung von Unfallstatistiken des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften — hochgerechnet auf 10 %)



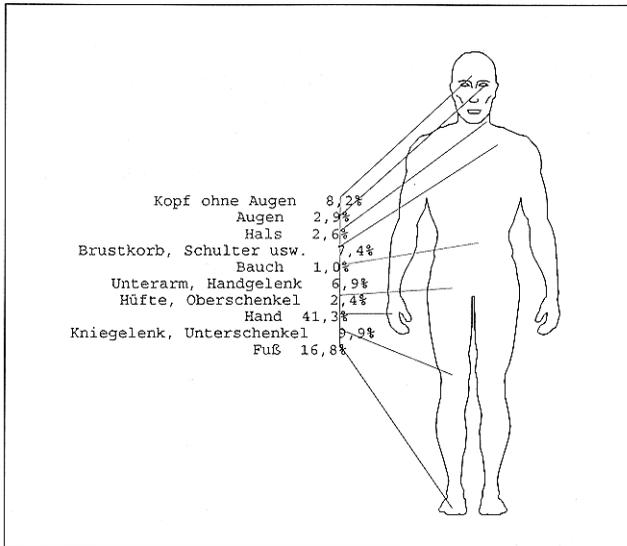


Abbildung 2:
Häufigkeit des Auftretens
von Arbeitsunfällen
bezogen auf betroffene
Körperteile

ohne Augenbeteiligung mit 8,2 %. Eine weitere Aufgliederung der Handverletzungen nach der Verletzungsart ergibt, daß Riß-, Quetsch- und Platzwunden mit 27,2 % nach den Schnittwunden mit 32,9 % an zweiter Stelle rangieren [1].

Quetschungen, Prellungen und Stauchungen, im Extremfall auch Brüche oder gar Abrisse von Körpergliedern sind typische Folgen von Arbeitsunfällen. Doch nicht nur im Arbeitsleben, sondern auch im privaten Bereich kommt es immer wieder zu Quetschunfällen. So sind z.B. Verletzungen an kraftbetätigten Türen und Toren bei ca. 50 % aller Arbeitsunfälle

auf Quetschen und Scheren zurückzuführen. In 70 % der Tür- und Torunfälle sind Finger, Hand und Arm betroffen, wobei Finger die mit Abstand gefährdetsten Körperteile sind [2].

Für die Analyse und Bewertung der Sicherheit sowie als Vorgabe zur Erreichung eines hinreichend hohen Sicherheitsniveaus existieren auf Gebieten wie Lärm- und Schadstoffschutz Sicherheitsparameter und zugehörige Grenzwerte. Auf dem Gebiet des Schutzes gegen mechanische Gefahren (dazu zählen Quetschstellen) sind einerseits solche Parameter meist nicht bekannt, anderer-

1 Einleitung

seits weichen die Parameter- und Grenzwertangaben für bestimmte Maschinen und Anlagen von Angaben anderer vergleichbarer Maschinen und Anlagen ab.

Allgemeine Aussagen zu Gefahrstellen bzw. zu Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren an Bedienstellen werden in der DIN EN 292 mit Bezug auf Anhang I der Maschinenrichtlinie bereits formuliert, allerdings nur unter Festlegung grundlegender Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen. Die erforderliche Konkretisierung sollte im Zusammenhang mit der detaillierten Beschreibung poten-

tieller Quetschstellen und Gefahrenmomente an gefährdungsrelevanten Maschinen und Einrichtungen im Vorfeld der Normenerarbeitung erfolgen, so daß eine entsprechende B-Norm im Ergebnis der Untersuchungen erarbeitet werden kann.

Ziel dieser Studie ist es, bestehende Grenzwerte für *Quetschkräfte* aus verschiedenen Branchen zusammenzutragen, miteinander zu vergleichen und gesicherte Daten in möglichst verallgemeinernder Form darzustellen.

2 Gegenstand und Merkmale von Quetschstellen

2.1 Begriffsbestimmung und Abgrenzung

Für das Verständnis der Zusammenhänge bei der Ermittlung und Beurteilung

von Quetschkräften und -stellen ist es erforderlich, die charakteristischen Kenngrößen zu definieren. Eine schematische Übersicht gibt folgende Darstellung (nach [3]).

Gefahrstellen durch geführt bewegte Gegenstände	
geführt bewegter Gegenstand ohne feststehendes Hindernis	geführt bewegter Gegenstand gegen feststehendes Hindernis
Stoß- und Schlagstellen (flächige, stumpfe Oberfläche) Stich- und Schneidstellen (spitze, eckige, kantige Oberfläche)	Quetschstellen (flächige, stumpfe Oberfläche) Stich- und Schneidstellen (spitze, eckige, kantige Oberfläche) Scher- und Schneidstellen (kantige Oberfläche, Scher- oder Schneidwinkel)

Eine **Quetschstelle** ist eine Gefahrstelle, bei der sich Teile so gegeneinander oder gegen feste Teile bewegen, daß Personen oder Körperteile gequetscht werden können [4, 5].

Kraftbetätigt sind Fenster, Türen und Tore, wenn die für die Bewegung der Flügel erforderliche Energie teilweise oder vollständig von Kraftmaschinen zugeführt wird [6].

Flügel sind diejenigen beweglichen Anlagenteile, die Fenster-, Tür- und Toröffnungen verschließen oder freigeben, z.B. Fensterflügel, Türflügel, Torflügel usw. [6].

Hauptschließkante ist jede Schließkante, die betriebsmäßig parallel zu ihrer Gegenschließkante verläuft und deren Abstand von der Gegenschließkante unmittelbar den Öffnungsgrad der Fenster-, Tür- oder Toröffnung bestimmt.

Nebenschließkante ist jede Schließkante, die nicht Hauptschließkante ist.

Gegenschließkante ist jede Schließkante, die einer Haupt- oder Nebenschließkante gegenüberliegt, wenn beispielsweise der Flügel die Fenster-, Tür- oder Toröffnung verschließt.

2 Gegenstand und Merkmale von Quetschstellen

Anhand des in Abbildung 3 abgebildeten Schließkraft-Zeit-Diagramms lassen sich entsprechend den Definitionen folgende Größen für die Beschreibung der Quetschkraft definieren [7]:

Als **Quetschkraft** wird diejenige Kraft bezeichnet, die auf einen sich zwischen den Schließkanten befindlichen Körper einwirkt, wobei sich diese aus den Komponenten *Klemmkraft* und *Spitzenkraft*, d.h. einem statischen und einem dynamischen Anteil zusammensetzt. Die Höhe der auf einen Gegenstand einwirkenden Quetschkraft ist dabei von einer Reihe von Randbedingungen wie z.B. der Federsteifigkeit des gequetschten Objektes abhängig.

Die **Klemmkraft** ist die Schließkraft, die erforderlich ist, um den sich bewegen-

den Teil der Schließeinrichtung entgegen seiner Bewegungsrichtung zum Stillstand zu bringen. Sie beschreibt die statische (zeitunabhängige) Komponente der Schließkraft.

Die **Spitzenkraft** F_s ist die größte Schließkraft, die beim Auftreffen eines bewegten Teiles, z.B. einer Tür bzw. eines Tores, auf das Schließkraft-Meßgerät wirkt und angezeigt wird.

Als **biomechanischer Belastungsgrenzwert** wird derjenige Wert für die Größe einer einwirkenden Kraft bezeichnet, der als Belastungsgrenzwert bei angenommener Schädigungslosigkeit des Organismus meßtechnisch erfaßt wird. Da bei der Ermittlung von Quetschkraften immer von Komfortwerten auszugehen ist, stellt der biomechanische Belastungsgrenzwert

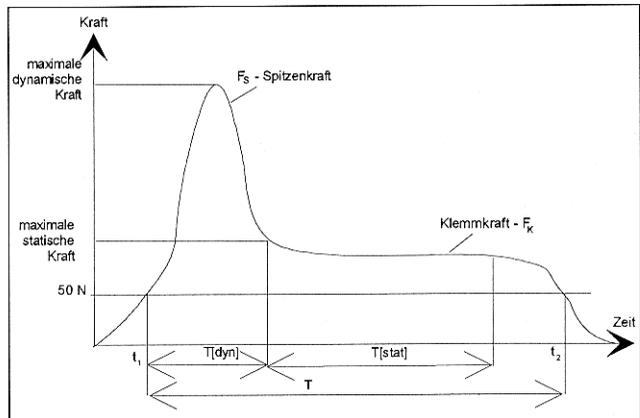


Abbildung 3:
Quetschkraft-Zeit-Verlauf
eines nicht unmittelbar
reversierenden Antriebes

wert die als gerade noch erträglich — im Sinne der subjektiven Beurteilung der einwirkenden Kraft — eingeschätzte Kraft dar.

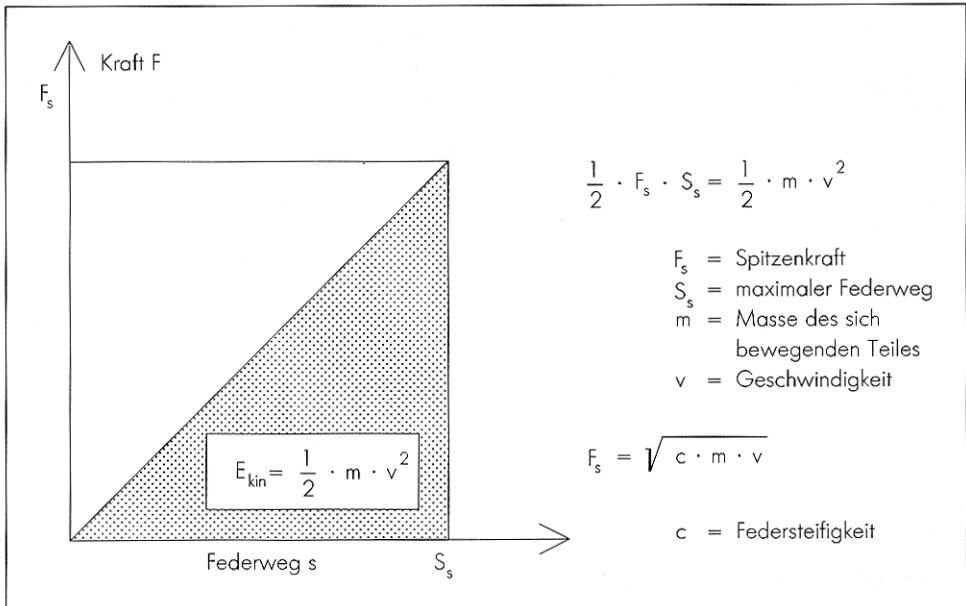
Die **Schließkraft** ist die zwischen den Schließkanten an der Quetschstelle wirkende Kraft, die durch das Meßgerät aufgenommen und angezeigt wird.

Da die in Federkraftmeßgeräten integrierten Federn über eine lineare Feder-

kennlinie verfügen, d.h., der Federweg sich direkt proportional zur einwirkenden Kraft verhält, ist der Tangens des Steigungswinkels dieser Kennlinie gleich der Federsteifigkeit. Die in Abbildung 4 dargestellte Herleitung der rechnerischen Ermittlung der Spitzenkraft verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Aus Abbildung 3 ist zu ersehen, daß durch die Spitzenkraft der dynamische, d.h. zeitabhängige Teil des Kraftverlau-

Abbildung 4:
Zusammenhang zwischen Federkennlinie und resultierender Spitzenkraft



2 Gegenstand und Merkmale von Quetschstellen

fes beschrieben wird. Da jedoch die Größe der meßtechnisch erfaßten Spitzenkraft in erster Linie von der Federsteifigkeit des verwendeten Meßgerätes abhängt, ist die Angabe der Federsteifigkeit des verwendeten Meßgerätes zwingend notwendig. Aus den dargestellten Formeln ist ersichtlich, daß die Verdoppelung der Federsteifigkeit eine Erhöhung der Kraft F_s um den Faktor $\sqrt{2}$ zur Folge hat. Das heißt, die Messungen an ein und derselben Einrichtung mit unterschiedlichen Schließkraft-Meßgeräten können vollkommen unterschiedliche Spitzenkräfte ergeben.

Aus der Energiebilanz des Stoßvorganges ergibt sich in Abhängigkeit der wirkenden Spitzenkraft von der Steifigkeit des Hindernisses:

$$(1) \quad F_{\max} = \sqrt{2 \cdot E \cdot C_{\text{sys}}}$$

E = übertragene Energie

C_{sys} = resultierende Systemfederrate

Die Systemfederrate als Gesamtsumme der sich praktisch in Reihenschaltung addierenden Einzelfederraten ergibt sich nach:

$$(2) \quad \frac{1}{C_{\text{sys}}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

C_i = Einzelfederraten der am Quetschvorgang beteiligten Komponenten der Anlage

Für den Fall der Messung bzw. Quetschung eines Körperteils ergibt sich dementsprechend:

$$(3) \quad \frac{1}{C_{\text{sys}}} = \frac{1}{C_{M(K)}} + \sum_i \frac{1}{C_{B_i}}$$

$C_{M,K}$ = Federrate des Meßgerätes bzw. gequetschten Körperteils

C_{B_i} = Federrate der bauseitig beteiligten Federelemente

Die Spitzenkraft wird in einer Reihenschaltung von federnden Elementen nie größer werden, als sie am weichsten Element allein auftreten würde. Die gemessene Quetschkraft wird nur dann der auf ein Körperteil tatsächlich einwirkenden Kraft entsprechen, wenn sowohl die Federrate des beanspruchten Körperteiles als auch die des Meßgerätes gleich groß sind.

Die **Impulsdauer** T wird in der StVZO als der Zeitraum zwischen dem Zeitpunkt t_1 und dem Zeitpunkt t_2 definiert, bei dem der Wert von 50 N in der Ansprechphase überschritten bzw. im Zuge des Abklingens der Kraft wieder erreicht wird (siehe Abbildung 3).

Die **Effektivkraft** F_E ist der zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 des Schließkraftverlaufes gemittelte Kraftwert. Entsprechend Abbildung 3 läßt sich die Effektivkraft mathematisch wie folgt beschreiben:

$$(4) \quad F_E = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt$$

F_E = Einklemmkraft (Effektivkraft)

t_1 = Ansprechschwelle (50 N)

t_2 = Abschaltchwelle (50 N)

Hinsichtlich der Einwirkdauer wurde in [8] festgelegt, daß die Spitzenkraft nach längstens $t_s = 0,5$ Sekunden bis auf den Wert der Klemmkraft abgebaut sein muß. Die Einwirkdauer der Klemmkraft darf dabei 5 Sekunden nicht überschreiten.

Es bleibt jedoch die Frage offen, ob die Schließkraft die alleinige Größe zur Beschreibung von Quetschstellen ist, da in

der Literatur zu den zulässigen Werten für Schließkräfte auch noch Mindestbreiten der Schließkanten, Flügelmassen, Federkonstanten des Meßgerätes u.a. angegeben werden, was auf einen Gesamtzusammenhang zwischen einer durch eine Schließkante hervorgerufenen Wirkung und einer möglichen Verletzung schließen läßt.

Abbildung 5 nennt weitere Einflußgrößen, denen bei Schließkraftmessungen eine besondere Bedeutung zukommt. Man unterscheidet dabei zwischen den Abhängigkeiten von Meßverfahren bzw. -geräten, den Probanden und dem Meßobjekt, auf die im folgenden noch näher eingegangen werden soll.

Abbildung 5:
Einflußgrößen und Merkmale von Schließkraftmessungen

Einflußgrößen auf die Messungen, Ergebnisse und die Bewertungsmöglichkeit von Schließkraftmessungen		
Meßverfahren/-geräte	Probanden	Meßobjekt
Meßverfahren	Alter	Schließkraft
Meßgerät	Geschlecht	Federkonstante der Schließkante c_s
Meßbedingungen	Somatotyp	Schließgeschwindigkeit
Anzahl der Messungen	körperlicher Zustand	konstruktive Gestaltung der Schließkante
Federkonstante des Meßgerätes C_M	Trainiertheit	
	Schmerzempfindlichkeit	

2 Gegenstand und Merkmale von Quetschstellen

2.2 Arten von Quetschstellen

Die Gefährdung an einer Quetschstelle resultiert aus dem Aufeinanderzubewegen von Teilen an Maschinen, baulichen Einrichtungen und Fahrzeugen. Quetschstellen können demnach entsprechend der Vielfalt möglicher Anwendungsfälle nach verschiedenen Aspekten unterschieden werden. Unterscheidungsmerkmale sind beispielsweise:

- Richtung der wirkenden Kräfte
 - horizontal wirkende Kräfte bzw. Betrag der wirksamen Kraft (z.B. Aufzugtüren, Fahrgasttüren an Kraftomnibussen)
 - vertikal wirkende Kräfte (z.B. Hubtore, Planschneidemaschinen)
- Bewegungsform
 - geradlinig bewegt (gleichförmig, beschleunigt)
 - rotierend
 - schwingend, pendelnd
 - kombiniert bewegt

- vorrangig betroffene Körperteile
 - Arme, Hände, Hüfte, Schulter, Füße, Rumpf, Kopf

Diese Einteilung läßt erkennen, daß sich aus dem Zusammenspiel der konstruktiven Gestaltung der Quetschstelle, der Krafrichtung und der Funktion der betrachteten Anlage, Tür etc. ergibt, welches Körperteil einer möglichen Quetschgefahr ausgesetzt ist. Dieser Ansatz ist für die unterschiedlichen Branchen von größter Wichtigkeit, da die Messung und Beurteilung von Quetschkräften dementsprechend vorzunehmen ist, wobei insbesondere diejenigen Randbedingungen zu berücksichtigen sind, die sich aus der Funktion der Gesamtanlage und der sich bewegenden Teile ergeben¹⁾.

¹⁾ Erinnert sei beispielsweise an die unterschiedlichen Aspekte, die von Herstellern von Türen und Toren, von Schließeinrichtungen an Fahrzeugen und Aufzügen usw. zu berücksichtigen sind.

3 Maßnahmen zur Sicherung von Quetschstellen

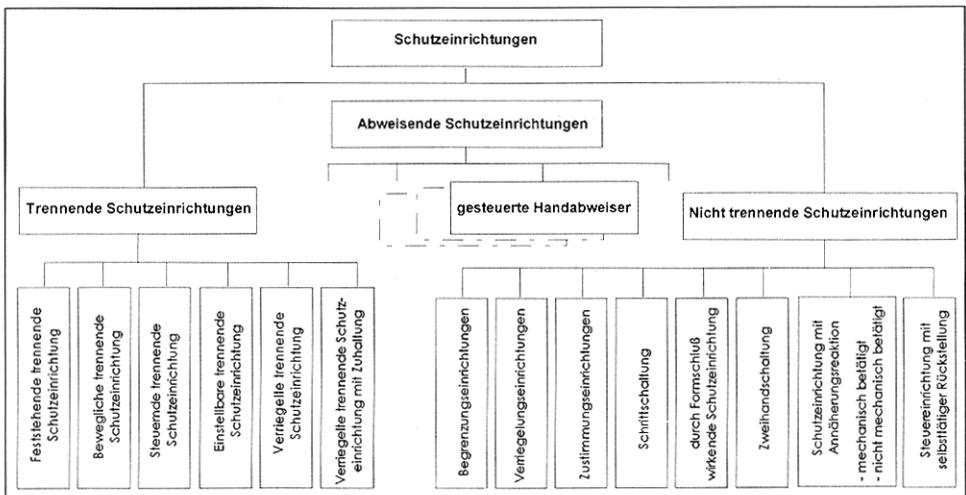
Quetschstellen an kraftbetätigten Einrichtungen bergen mitunter ein besonders schwerwiegendes Verletzungsrisiko. Die Sicherungsmöglichkeiten von Quetschstellen sind vielfältig. Üblicherweise finden trennende Schutzeinrichtungen (Verkleidungen, Verdeckungen etc.) Verwendung. Mechanisch wirkende Schutzeinrichtungen sind jedoch häufig konstruktiv schwer realisierbar (z.B. an kraftbetätigten Türen)

oder in ihrer Wirksamkeit nicht optimal.

3.1 Arten möglicher Schutzeinrichtungen an Quetschstellen

Schutzeinrichtungen an kraftbetätigten Einrichtungen werden je nach Funktionsweise in Klassen eingeteilt (nach EN 292-1, 1991).

Abbildung 6:
Einordnung der Schutzeinrichtung



3 Maßnahmen zur Sicherung von Quetschstellen

In der VBG 5 „Kraftbetriebene Arbeitsmittel“ erfolgt eine konkretere Beschreibung der genannten

Schutzeinrichtungen und beispielhaft eine Nennung von Anwendungsmöglichkeiten.

1. Trennende Schutzeinrichtungen	Abtrennung der Gefahrstelle gegenüber dem übrigen Arbeits- und Verkehrsbereich so, daß Personen den Gefahrenbereich nicht erreichen
2. Ortsbindende Schutzeinrichtungen	Bindung von Personen bzw. Körperteilen an einen Ort, so daß bei gefahrbringender Bewegung von Anlagenteilen eine Gefährdung verhindert wird
3. Abweisende Schutzeinrichtungen	Entfernung bzw. Fernhalten von Personen bzw. deren Körperteilen vor Eintritt einer Gefährdungssituation
4. Schutzeinrichtungen mit Annäherungsreaktion	Verhinderung der Annäherung von Personen bzw. deren Körperteilen an die Gefahrstelle

Bei der beabsichtigten Nutzung einer bestimmten Art von Schutzeinrichtungen an potentiellen Quetschstellen sind eine Reihe von Randbedingungen zu berücksichtigen, die es in vielen Fällen nicht erlauben, die Gefahrstelle vor dem Zugriff von Personen zu schützen. Aus diesem Grunde ist die Begrenzung der an der Quetschstelle wirkenden Kräfte eine weiter zu untersuchende Möglichkeit, das aus der Bewegung von Anlagenteilen, Türen, Toren u.a. abzuleitende Gefahrenpotential zu reduzieren.

3.2 Grenzen des Einsatzes von Schutzeinrichtungen an Quetschstellen

Bei einigen Bearbeitungsverfahren, insbesondere solchen, bei denen zyklisch in den Ablauf eingegriffen wird, ist eine Sicherung durch räumliche Abtrennung der Gefahrstelle schwierig bzw. nicht möglich. In vielen Fällen gestaltet sich der technische und finanzielle Aufwand für die Sicherung sehr groß. Gleichzeitig wird dadurch oft-

mals die Bedienbarkeit der Maschine eingeschränkt, so daß die Akzeptanz der Schutzeinrichtung bei dem Betriebspersonal abnimmt [9].

Eine konstruktive Möglichkeit ist in solchen Fällen die Begrenzung der wirkenden Kräfte auf ein ungefährliches Maß. Diese Möglichkeit der Sicherung von Quetschstellen durch Kraftbegrenzung kann eine kostengünstige und bedienerfreundliche Alternative sein und sollte deshalb näher recherchiert werden.

3.3 Anwendung und Bedeutung von Maßnahmen der Kraftbegrenzung an Gefahrstellen

Durch diese Sicherungsmaßnahme wird der allgemein gültigen, in DIN EN 292 formulierten Sicherheitsphilosophie Rechnung getragen, die Gefährdung an einer potentiellen Quetschstelle durch Reduzierung der wirksamen Quetschkräfte zu vermeiden und erst, wenn dies nicht in ausreichendem Maß möglich ist, andere Maßnahmen anzuwenden.

4 Überblick über bestehende Normen und Regelwerke

Der meßtechnischen Beschreibung des Gefahrenpotentials von Quetschstellen wurde in der Vergangenheit wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Da ferner keine allgemein gültigen Begriffsbestimmungen existierten, hat sich ein vielfältiger, meist am speziellen Fall orientierter Sprachgebrauch entwickelt. Zwar sind in einigen Regelwerken Angaben über Belastungsgrenzen an Quetschstellen zu finden, allerdings stehen diese in der Regel oberflächlichen Festlegungen in krassem Widerspruch zu den komplexen Zusammenhängen, die der Thematik zugrunde liegen.

So wird z.B. meist außer acht gelassen, daß durch Quetschungen häufig auch dynamische Stoßbelastungen auf die eingequetschte Person einwirken. Dies bedeutet, daß nicht nur die resultierende Kraft, die auf den gequetschten Gegenstand wirkt, in die Betrachtungen einbezogen werden muß, sondern auch der *Verlauf* der Krafteinwirkung. Die resultierende Kraft und deren Wirkung auf das Hindernis ist insbesondere im Hinblick auf den Anteil der dynamischen und statischen Komponenten sowie deren spezifische Wirkung zu beurteilen, da sich gezeigt hat, daß kurzzeitig auftretende (dynamische) Kraftspitzen als *Stoß* wirken können und somit ein anderes Schädigungsbild hervorrufen können als die Wirkung einer Kraft, deren Verlauf

charakteristisch in Abbildung 3 dargestellt ist.

Bei den in Abschnitt 4.1 aufgeführten Normen und Richtlinien wurde vielfach auf den Kraft-Zeit-Verlauf Rücksicht genommen, da sich in umfangreichen, branchenspezifisch angelegten Untersuchungen letztendlich die Bedeutung der Unterscheidung in die genannten Komponenten gezeigt hat.

Demgegenüber werden in einer Reihe von Regelwerken sowohl verschiedene Begriffe als auch unterschiedliche Meß- und Auswerteverfahren genutzt. Dieser Umstand macht einen direkten Vergleich von in unterschiedlichen Regelwerken aufgeführten Angaben praktisch unmöglich (siehe dazu Kapitel 5).

Alle Regelwerke nennen Quetschkraftgrenzwerte, vereinzelt wird auch auf Energien und Flächenpressungen Bezug genommen. Häufig fehlen jedoch Angaben zur Meß- und Auswertetechnik, wodurch eine zuverlässige Wertung und Einordnung der angegebenen Grenzwerte nicht möglich ist.

Im CEN/TC 122/WG 1 finden derzeit Überlegungen statt, eine Norm zu erstellen, die anthropometrische Daten zur Festlegung von Kräften zur Sicherung von Quetschstellen bereitstellen soll (Dokument CEN/TC 122 N 199). Da

4 Überblick über bestehende Normen und Regelwerke

aber vor der Erarbeitung der Norm offene Fragen bezüglich der wissenschaftlichen Absicherung von möglichen Belastungswerten bestehen, wurde vom CEN/TC 122 beim CEN-Zentralsekretariat in Brüssel ein Antrag gestellt, eine

Studie im Vorfeld der Normung erstellen zu lassen. Herr Prof. Jürgens, Forschungsgruppe Industrieanthropologie der Neuen Universität Kiel, bemüht sich um die Durchführung dieser Studie.

4.1 Regelwerke, nationale und internationale Normen

Regelwerk	Grenzwerte	Formulierung im Regelwerk	Angaben zum Meßgerät
CEN /TC33/WG5: N102 und N103, Entwurf 12/93 Nutzungssicherheit kraftbetätigter Fenster, Türen und Tore, Anforderungen und Klassifizierung und Prüfmethode	400 N dyn. Spitzenkraft 1400 N dyn. Spitzenkraft 150 N statische Kraft 25 N verbleibende Kraft	(in Tabellenform): ¹⁾ Anhang B: Die zulässige Spitzenkraft oder dynamische Kraft zwischen Schließkanten und Gegenschließkanten für ein horizontal bewegtes Tor beträgt 400 N in Öffnungen von 50 mm bis 500 mm und 1400 N in Öffnungen > 500 mm. Die Werte sind Maximalwerte, erlaubt in einer Zeit von maximal 0,5 s. Nach dieser Zeit ist eine statische Kraft von nicht mehr als 150 N erlaubt, und diese statische Kraft muß nach 4,5 s auf 0 N absinken. Eine verbleibende Kraft von nicht mehr als 25 N kann außer Betracht gelassen werden.	Federrate: {500 ± 50} N/mm Meßbereich: 25 N - 2000 N Meßunsicherheit: 5 % (kalibriert) Kontaktfläche: Stahl, Dicke min. 5 mm, Ø 80 mm
DIN EN 81, Entwurf 6/94 Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Personen- und Lastenaufzügen sowie Kleingüteraufzügen, Teil 1: Elektrisch betriebene Personen- und Lastenaufzüge, Teil 2: Hydraulisch betriebene Personen- und Lastenaufzüge	150 N 10 J kinetische Energie 4 J kinetische Energie	7.5.2.1.1.1: Die Kraft, die notwendig ist, um das Schließen der Türen zu verhindern, darf 150 N nicht überschreiten... 7.5.2.1.1.2: Die kinetische Energie der Schachttür und der mechanischen Teile, die fest mit ihr verbunden sind, darf — berechnet oder gemessen bei der mittleren Schließgeschwindigkeit — 10 J nicht überschreiten. 7.5.2.1.1.3: Wenn die Schutzeinrichtung nach Ablauf einer eingestellten Zeit unwirksam gemacht wird, um ein zu langes Blockieren des Schließvorganges zu verhindern, darf die oben definierte kinetische Energie bei Betätigung der Tür 4 J nicht überschreiten, nachdem die Schutzeinrichtung unwirksam geworden ist.	als Beispiel deklariert: Schleppzeiger- instrument Federrate: 25 N/mm geforderte Genauigkeit der Kraftmessung für Baumusterprüfungen 1 % ²⁾ (vgl. Anhang F, F.0.1.7)

¹⁾ Die Norm enthält eine beschriebene Skizze eines Schließkraft-Zeit-Diagramms; ²⁾ unrealistisch hohe Anforderung

Regelwerk	Grenzwerte	Formulierung im Regelwerk	Angaben zum Meßgerät
DIN EN 693, Entwurf 6/92 Hydraulische Pressen Sicherheit	50 N/cm ² max. Druck 150 N verbleibende Kraft	5.7: ...Kraftbetätigte trennende Schutzeinrichtungen dürfen keine Verletzungen durch übermäßige Flächenpressung, Kraft, Geschwindigkeit oder scharfe Kanten usw. hervorrufen, z.B. gilt ein maximaler Druck von 50 N/cm ² und eine verbleibende Kraft von 150 N.	keine
DIN EN 953, Entwurf 3/93 Sicherheit von Maschinen Schutzeinrichtungen	50 N/cm ² Höchstdruck 150 N Höchstrestkraft	6.2.5 ...Bei kraftbetriebenen trennenden Schutzeinrichtungen muß verhindert werden, daß diese Unfälle aufgrund zu großen Schließdrucks, zu hoher Kraft, Geschwindigkeit oder scharfer Kanten usw. verursacht werden, z.B. ein Höchstdruck von 50 N/cm ² und eine Höchstrestkraft von 150 N	keine
DIN EN 1010, Entwurf 4/94 Sicherheitstechnische Anforderungen an Konstruktion und Bau von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen	300 N dyn. Preßkraft 500 N dyn. Preßkraft 150 N dyn. Absenkkraft 150 N dyn. Kraft 500 N dyn. Preßkraft 500 N dyn. Preßkraft	5.4.1.13: Die dynamische Preßkraft des Preßbalkens darf beim Rüsten und Schnitt-andeuten bei Schneidemaschinen mit Arbeitsbreiten bis einschließlich 1,6 m 300 N nicht überschreiten und mit Arbeitsbreiten über 1,6 m 500 N nicht überschreiten. 5.4.3.2: ...Die dynamische Absenkkraft der Schutzeinrichtung darf höchstens 150 N betragen... Die Anforderung ist am Abschlagler dadurch erfüllt, daß die dynamische Kraft des Abschlagers höchstens 150 N beträgt. 5.5.1.1: Bei Handzuführung der Packstücke darf die dynamische Preßkraft der Preßeinrichtung höchstens 500 N betragen. An der Preßbalkenunterseite muß ein Belag aus elastischem Material von mindestens 20 mm Dicke vorhanden sein. 5.5.1.2: ...Seitliche Schutzeinrichtungen können entfallen, wenn die dynamische Preßkraft der Preßeinrichtung höchstens 500 N beträgt und die Absenkbewegung so begrenzt ist, daß in der untersten Stellung zwischen Unterkante Preßeinrichtung und Tisch ein lichter Abstand von mindestens 100 mm verbleibt...	Federrate: 25 N/mm

4 Überblick über bestehende Normen und Regelwerke

Regelwerk	Grenzwerte	Formulierung im Regelwerk	Angaben zum Meßgerät
DIN EN 1010 (Fortsetzung)	50 N	5.5.3: ...Die Anforderung ist dadurch erfüllt, daß z.B. ... sich das bewegliche Werkzeug nur mit einer Kraft von weniger als 50 N senken und die Arbeitsenergie erst dann wirksam werden kann, nachdem z.B. eine Überwachungseinrichtung festgestellt hat, daß sich zwischen beweglichem Werkzeug und Werkstück kein Körperteil befindet.	
ZH 1/494, Ausgabe 4/1989 Richtlinie für kraft- betätigte Fenster, Türen und Tore [6]	150 N einwirkende Kraft	4.5.1: ... Quetschstellen an Schließkanten entstehen im allgemeinen erst beim Einwirken einer Kraft von mehr als 150 N.	keine
ASR 11/1-5 4251 zu § 11 Abs. 1 bis 5 der ArbStättV Kraftbetätigte Türen und Tore (BArbBl. Nr. 9/1985)	150 N einwirkende Kraft 4 Nm Wucht des Flügels	3.1: Vorsorge gegen Quetsch- und Scherstellen muß im allgemeinen erst beim Einwirken einer Kraft von mehr als 150 N getroffen werden, wobei von einer Wucht (kinetische Energie) des Flügels von 4 Nm ausgegangen wird.	keine
Technische Regeln Aufzüge TRA 200 Personenaufzüge, Lastenaufzüge, Güteraufzüge 5836 (BArbBl. Nr. 5/94)	150 N statische Kraft 300 N Kraft 150 N statische Klemmkraft 150 N maximale Klemmkraft	212.8: (1) Einrichtungen zum maschinellen Schließen von Schachtschiebe- und Schacht-Falлтüren müssen so beschaffen sein, daß eine Person von den Schließkanten höchstens mit einer statischen Kraft von 150 N geklemmt werden kann. Die Schließkanten dürfen keine Schnitt- oder Scherwirkungen ausüben. (2) Die Kraft zum Öffnen der unverriegelten Schachttüren darf bei Personenaufzügen 300 N und bei Lastenaufzügen 500 N nicht überschreiten. (3) Wird wegen der Größe der Tür und des dafür erforderlichen Türantriebs die statische Klemmkraft an der Schließkante von 150 N überschritten, muß eine Schließkantensicherung wirksam werden, die die Schachttür so rechtzeitig umsteuert, daß die maximale Klemmkraft von 150 N nicht überschritten wird. Unabhängig davon muß der Türantrieb so ausgebildet sein, daß bei Versagen ...	keine

Regelwerk	Grenzwerte	Formulierung im Regelwerk	Angaben zum Meßgerät
Technische Regeln Aufzüge TRA 200 (Fortsetzung)	300 N statische Klemmkraft	... der Schließkantensicherung die statische Klemmkraft auf maximal 300 N bei Personenaufzügen bzw. maximal 500 N bei Lastenaufzügen begrenzt ist.	
StVZO, § 35e, Abs. 5 Richtlinien für fremdkraftbetätigte Fahrgasttüren in Kraftomnibussen Neufassung des Anhangs zu Nr. 5.1.3 vom 27.5.1991	150 N Effektivkraft 200 N Spitzenkraft in Schließrichtung 250 N Spitzenkraft in Öffnungsrichtung	5.2: Bei Messungen nach Abschnitt 4.1.1 dürfen für beide Meßpunkte die gemessenen Werte der Effektivkräfte F_e 150 N und der Spitzenkräfte F_s 200 N in Schließ- sowie 250 N in Öffnungsrichtung nicht überschreiten. 5.3: Bei Messungen nach Abschnitt 4.1.2 darf für beide Meßpunkte die gemessene Spitzenkraft F_s den Wert von 200 N in Schließ- sowie 250 N in Öffnungsrichtung nicht überschreiten. ¹⁾	vermaßte Skizze des Meßgerätes Steifigkeit des Gebers: (10 ± 0,2) N/mm Meßunsicherheit: 3 % Kontaktfläche-Ø: 100 mm Tiefpaßfilter: $f_g = 100$ Hz
ZH 1/282.2 Oktober 1984	150 N	„... die Krafteinwirkung an Quetsch- und Scherstellen beträgt höchstens 150 N.“	
Mercedes-Benz AG Abl EN 220	pinch force 100 N	– bei Öffnungsweite = 200 mm und 4 mm Schließkantenbreite und einer Federkonstante von 10 N/mm	
Statens Planverks författnings-samling PFS 1979:8, SBN godkännanderegler: Maskindrivna portartillverkning och kontroll (Schweden)	150 N Schließkraft 450 N Schließkraft	sinngemäß: Die Schließkraft darf höchstens 150 N betragen, wenn eine Entlastung nach 5 s eintritt. Sie kann auf 450 N ansteigen, falls bereits nach 0,5 s entlastet wird. Für Öffnungsweiten > 500 mm werden höhere Werte zugelassen.	Skizze des Meßgerätes starrer Geber aus Stahl Angaben zur Elektronik vorhanden.

¹⁾ Die Begriffe Effektiv- und Spitzenkraft sind anhand eines Schließkraft-Zeit-Diagramms genau definiert.

4 Überblick über bestehende Normen und Regelwerke

Regelwerk	Grenzwerte	Formulierung im Regelwerk	Angaben zum Meßgerät
EKAS — Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit Richtlinie Nr. 1511, Ausgabe 1.92 Türen, Tore und Fenster (Schweiz)	150 N - 750 N	5.5: ... Die Kraft, mit der das Bewegen der Flügel verhindert werden kann, muß kleiner als 150 N sein. Die Bewegungsenergie E_{kin} der bewegten Flügel, einschließlich der mechanisch mit ihnen verbundenen Teile, darf (auch unter Wirkung der Antriebskraft) beim Aufprall auf eine Meßfeder mit einer Federkonstanten von 25 000 N/m höchstens folgende Kräfte erzeugen: — bei einem Abstand zwischen festen und bewegten Teilen von mehr als 0,25 m: 750 N, — bei einem Abstand zwischen festen und bewegten Teile von weniger als 0,25 m: 150 N oder 500 N, wenn die Wahrscheinlichkeit, daß Körperteile eingeklemmt werden, als gering betrachtet werden kann.	Skizze des Meßgerätes Federrate: 25 N/mm
NF P 25-362 Abschlüsse für freie Öffnungen und Tore — Technische Anforderungen (Frankreich)	150 N - 500 N (im Endbereich der Flügelbewegung, d.h. 60 cm von Endstellung entfernt)	Sehr detaillierte Regelungen mit Angaben über Torart, Aufstellungsort (Privat oder Gewerbe) und Personengruppe (eingewiesen oder fremd); erhöhte Anforderungen bei Kräften > 150 N; Höchstanforderungen bei Kräften > 500 N.	
BSI Garagentore für Privathäuser (Großbritannien)	150 N max. Kraft	„Unabhängig von der Größe, dem Gewicht und der Antriebsart muß es möglich sein, die Tür vom vollständig geschlossenen (geöffneten) Zustand in den vollständig geöffneten (geschlossenen) Zustand in nicht mehr als 15 Sekunden ohne Windlast mit einer maximalen Kraft von 15 kg (ca. 150 N) zu bringen.“	
UNI 8612 Motorbetriebene Türen und Tore, Baurichtlinien und Unfallverhütungseinrichtungen (Italien)	150 N (bei max. kin Energie von 10 J)	„Die Drehmomentenbegrenzer in der Antriebsgruppe müssen ... so geregelt werden können, daß sie die Unterbrechung der Bewegung des Flügels gestatten ..., wenn ein mechanischer Widerstand vorhanden ist, der 150 N beträgt ..., wenn die kinetische Energie des bewegten Flügels nicht größer als 10 J ist.“ (Aus $c = 1/2 \cdot F^2 \cdot E$ folgt eine Federkonstante von ca. 1 N/mm.)	

Regelwerk	Grenzwerte	Formulierung im Regelwerk	Angaben zum Meßgerät
NNI Entwurf-Veröffentlichung als Entwurf – Türen und bewegliche Gitter (Niederlande)	300 N max. Klemmkraft 150 N - 750 N (in Abhängigkeit von Öffnungsweite und Aufstellungsort des Tores)	„In keinem Fall darf eine Klemmkraft größer 300 N entstehen.“ (Bei Türen mit Publikumsverkehr max. Klemmkraft: 150 N) „Die Kraft, mit der das Schließen der Tür verhindert werden kann, muß kleiner als 150 N sein ...“ – Öffnungsweite > 0,25 m: 750 N – Öffnungsweite < 0,25 m: 500 N für Druckkraft	
ÖNORM B 1205 Antriebe, Steuerungen und Sicherheitseinrichtungen (Österreich)	50 bis 200 N (max. Geschwindigkeit des Flügels: 0,5 m/s)	„... bei Toren für den Personenverkehr darf die Anbringung dieser Sicherheitseinrichtungen jedoch unterbleiben, wenn ... eine Geschwindigkeit von 0,5 m/s und eine Kraft von 50 N ... nicht überschritten werden.“ In Abhängigkeit von der Torart braucht nur eine der o.g. Bedingungen erfüllt zu werden oder ist eine zulässige Kraft bis 200 N möglich.	
SIS PFS 1979:8 Maschinenangetriebene Türenherstellung und Überprüfung (Schweden)	150 N Schließkraft (stat. für 5 s) 450 N Schließkraft (dyn. für 0,5 s)	Die Schließkraft darf höchstens 150 N betragen, wenn eine Entlastung nach 5 s eintritt. Sie kann auf 450 N ansteigen, falls bereits nach 0,5 s entlastet wird. Für Öffnungsweiten > 500 mm werden höhere Werte zugelassen. Breite der Schließkante mind. 40 mm. In Abhängigkeit von der Torart sind Kräfte von 600 N (statisch) und 900 N (dynamisch) bei Öffnungsweiten von 500 mm zulässig.	Skizze des Meßgerätes starrer Geber aus Stahl Angaben zur Elektronik vorhanden
CSA Standard B44 1975 Canada	136 N (30 lbs)	„... die Kraft, die erforderlich ist, um aus dem Stillstand das Schließen der Schachttür (...) zu verhindern, darf nicht mehr als 30 lbs betragen.“	
US ANSI A 156.10-1985 ... für kraftbetriebene Türen für Personenverkehr (USA)	133 – 180 N	in Abhängigkeit von Torart, -masse, -öffnungsweite und -schließzeit; Pendeltür: $F_{\max} = 180 \text{ N}$, $E_{\text{kin}} = 5,4 \text{ Nm}$, aber Fingerschutz zusätzlich nötig, Schließzeit während der letzten 10 Grad nicht unter 1,5 s Schiebetür: max. Kraft = 133 N, max. kin. Energie = 3,2 Nm; (Aus $c = 1/2 \cdot F^2 \cdot E$ folgt: $c \approx \text{ca. } 3 \text{ N/mm.}$)	

4 Überblick über bestehende Normen und Regelwerke

Regelwerk	Grenzwerte	Formulierung im Regelwerk	Angaben zum Meßgerät
US UL 325 Tür, Falttür, Tor, Fenster und Fenster- steuerungen (USA)	133 N - 178 N	Schiebetür: max. Kraft = 133 N, max. kin. Energie = 9,5 J, jedoch ab 3,4 J bereits Reversierung der Tür gefordert. Pendeltür: max. Kraft = 178 N, Schließzeit während der letzten 10 Grad nicht unter 1,5 s. (Aus $c = 1/2 \cdot F^2 \cdot E$ folgt: $c \approx \text{ca. } 3 \text{ N/mm.}$)	

4.2 Bewertung der Vertretbarkeit und Übertragbarkeit von Grenzwerten

Allen aufgeführten Regelwerken gemein ist die Nennung eines Kraftgrenzwertes von 150 N. Aus den textlichen Zusammenhängen kann dies als statischer Schließkraftgrenzwert interpretiert werden. Die gewählten Formulierungen reichen in diesem Zusammenhang von „Klemmkraft“, „einwirkende Kraft“, „Restkraft“ etc. bis hin zu Umschreibungen wie „die Kraft, die notwendig ist, um das Schließen zu verhindern“. Dynamische Kraftspitzen werden, wenn überhaupt, durch den Zusatz „dynamisch“ charakterisiert, oder es werden Begriffe wie Spitzenkraft oder Maximalkraft verwendet [14].

Die in den Regelwerken angegebenen Grenzwerte von 50 N bis 1400 N können nicht als allgemein verbindlich angesehen werden, da größtenteils das Meß-

verfahren nicht präzisiert und z.T. auch offen gelassen wird, ob sich die genannten Grenzwerte auf statische oder dynamische Kräfte beziehen. Bei der Beurteilung des Verletzungsrisikos an potentiellen Quetschstellen müssen in jedem Fall die dynamischen Kräfte, die erheblich über den statischen liegen können, berücksichtigt werden, um Fehlbeurteilungen auszuschließen.

Lediglich der Entwurf des CEN/TC33/WG5, die StVZO und die schwedische Norm PFS 1979:8 berücksichtigen bei der Begrenzung von Schließkräften auch deren Einwirkdauer und beschreiben in detaillierter Form die anzuwendenden Meß- und Auswerteverfahren. Die unterschiedlichen Meßgerätedifferenzen von 10 N/mm in der StVZO, von 500 N/mm in CEN/TC33/WG5, von 25 N/mm in der DIN EN 1010, der DIN EN 81 und der Richtlinie Nr. 1511, von 3 N/mm in der US ANSI und der US UL sowie in der ASR 11/1-5 und der starre Geber

der schwedischen Norm PFS 1979:8 führen jedoch zwangsweise zu unterschiedlichen Meßergebnissen. Die StVZO bezieht die Effektivkraft, die sich aus einem dem realen Schließkraft-Zeit-Verlauf entsprechenden Rechteckimpuls errechnet, mit ein, CEN/TC33/WG5 und PFS 1979:8 jeweils die Schließkraftbeträge und die Einwirkdauer.

Auch die Bewertung der Quetschgefahr erfolgt anhand unterschiedlicher physikalischer Größen. Bei den Omnibustüren sind dies die Spitzenkraft F_S sowie ein zeitlich gemittelter Kraftwert, die Effektivkraft F_E ; bei den Aufzugtüren dagegen die kinetische Energie E_{kin} des bewegten Türflügels und die Klemmkraft F_K . Die schwedische Richtlinie formuliert Anforderungen an die Spitzenkraft F_S und die Klemmkraft F_K wie auch an die Einwirkdauer dieser Kräfte.

Der Vorteil der Verfahren nach StVZO und DIN EN 81 liegt darin, daß verhältnismäßig niedrige Kräfte bereits hohe Federwege ergeben. Dem schwedischen Meßverfahren nach PFS 1979:8 liegt die Überlegung zugrunde, daß auch unnachgiebige Körperteile wie Finger oder der Kopf geschützt werden müssen, deren Steifigkeit aber nicht mit einer Federrate von 10 N/mm oder 25 N/mm angenähert werden kann. Für den Kopf wird beispielsweise in der Literatur eine Steifigkeit von bis zu

3000 N/mm genannt. Solche Körperteile erfahren beim Aufprall eines Konstruktionselementes wesentlich höhere Kräfte, als sie von einem Meßgerät geringerer Steifigkeit angezeigt werden. Das schwedische Meßverfahren eignet sich vorzugsweise für Messungen an Türen, die mit nachgiebigen Schließkanten versehen sind. In Verbindung mit harten, unnachgiebigen Schließkanten können jedoch unkontrollierbar hohe Kraftstöße auftreten, die die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse stark einschränken. Bei Ganzglastüren besteht zudem die Möglichkeit, daß diese durch den Kraftstoß beim Aufprall auf das Meßgerät zerstört werden.

Die Steifigkeit der Feder des Meßgerätes, die in den wenigsten Regelwerken angegeben wurde, spielt bei der Messung dynamischer Kraftanteile eine besondere Rolle, da die Höhe der gemessenen Spitzenkraft dadurch unmittelbar beeinflusst wird. Eine steifere Meßanordnung hat höhere Spitzenkräfte als eine nachgiebigere Meßanordnung zur Folge. Die Abhängigkeit der wirksamen Spitzenkräfte F_{max} von der Steifigkeit des Hindernisses (Mensch oder Meßgerät) ergibt sich aus der Energiebilanz des Stoßvorganges zwischen Bauteil und Hindernis, unter Vernachlässigung von Reibungseffekten etc. (siehe Abschnitt 2.1).

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

5.1 Untersuchungen zur Ermittlung von Schließkräften an kraftbetätigten Türen und Toren

Um Unfall- und Verletzungsrisiken zu mindern, sind durch den Gesetzgeber und die Berufsgenossenschaften zahlreiche Vorschriften und Richtlinien erlassen worden, die besonderen Bezug auf bestimmte Gefahrensituationen nehmen, z.B. § 35e StVZO, Unfallverhütungsvorschriften, ZH's. In ihnen wird die Größe der Einklemmkräfte und die Überprüfung von relevanten Anlagen (z.B. selbsttätig schließende Türen von Omnibussen) konkret geregelt. Die Richtlinie zu § 35e StVZO schreibt die maximal zulässige Einklemmkraft „für kraftbetätigte Fahrgasttüren in Kraftomnibussen“ mit 150 N vor und regelt darüber hinaus die Methoden der Prüfung und die Beschaffenheit des Meßgerätes.

Im Rahmen eines vom Berufsgenossenschaftlichen Fachausschuß „Verkehr“ in Auftrag gegebenen Forschungsprojektes wurden in diesem Rahmen Untersuchungen durch das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitssicherheit (BIA) durchgeführt.

Bei diesen Untersuchungen wurde das in [10] dargestellte Schließkraftmeßgerät eingesetzt.

Der Haupteinfluß auf die Ergebnisse bei der Untersuchung von Schließkräften er-

gibt sich durch die Charakteristik des Kraftaufnehmers, der über die Federsteifigkeit der Feder in seinen wesentlichen Eigenschaften bestimmt wird.

5.1.1 Meßgerät Klasse I (nach StVZO)

Dieses Meßgerät ist vom BIA entwickelt worden und dient zusammen mit einem Drucker der Ermittlung und Dokumentation von:

1. Effektivkraft F_E (während der Pulsdauer im Schließkraftverlauf ermittelter Durchschnittswert)
2. Spitzenkraft F_S im Schließkraft-Zeit-Verlauf
3. Pulsdauer t (Zeitspanne zwischen der Über- und Unterschreitung der Ansprechschwelle 50 N)
4. Schließkraft-Zeit-Diagramm
5. Mittelwerten aus drei Messungen
6. Klemmkraft als derjenigen Kraft, die 5 sec nach Überschreiten der Ansprechschwelle von 50 N noch ansteht [11, 12]

Das Schließkraftspiel wird über einen Tiefpaßfilter mit einer Grenzfrequenz von 100 Hz aufgenommen. Sowohl die Ansprech- als auch die Abschaltschwelle

5.1.2 Meßgerät Klasse II (nach StVZO)

Mit diesem Meßgerät wird nur die Spitzenkraft F_S gemessen und durch einen Schleppzeiger angezeigt. Der Aufbau des Meßgebers ist prinzipiell der gleiche wie beim vorgeschriebenen Meßgerät der Klasse I und verfügt über eine Genauigkeit von 10 N [12]. Im Rahmen der Regelungen nach StVZO sind Grenzwerte für die Spitzenkraft F_S festgelegt worden (siehe Abschnitt 5.2.3). Darüber hinaus läßt sich die Effektivkraft nach

$$(5) \quad F_E = k \cdot F_S$$

F_E = Einklemmkraft (Effektivkraft)
 F_S = Spitzenkraft

bestimmen, wobei die Abweichung vom Sollwert nicht mehr als 10 N betragen soll [15].

Tabelle 2:
Technische Daten des Meßgerätes
der Klasse II (baugleich Meßgerät I) [7, 12, 11]

Höhe des Meßgebers	115 mm
Durchmesser der Kraftaufnahmeflächen	100 mm
Meßbereich	50 - 300 N
Meßgenauigkeit	10 N
Steifigkeit des Meßgebers	10 N \pm 0,2 N/mm

5.1.3 Andere Bauformen

Neben den bereits beschriebenen Bauformen mechanisch bzw. elektronisch wirkender Meßgeräte zur Bestimmung von Quetschkräften wird in den schwedischen Normen ein Meßgerät angeführt, das über einen starren Geber verfügt. Detaillierte Angaben zu technischen Daten waren z.Z. nicht verfügbar.

Mit Blick auf die in CEN/TC 33/WG 5/TG 4 für kraftbetätigte Türen und Tore getroffenen Festlegungen wurde zwischenzeitlich vom BIA ein weiteres Meßgerät entwickelt, das mit einer Federrate von 500 N/mm arbeitet (im Bereich 25 ... 500 N/mm). Damit werden die am häufigsten von Quetschverletzungen betroffenen Körperteile berücksichtigt. Wegen der geringen Bauhöhe von 50 mm erlaubt dieses Meßgerät auch Messungen bei geringen Öffnungsweiten. Die technischen Daten des Meßgerätes sind der Tabelle 3 (siehe Seite 52) zu entnehmen.

Für Kraftmessungen an Aufzugtüren wie auch an Maschinen der Druckindustrie und der Papierverarbeitung werden Meßgeräte mit einer Federrate von 25 N/mm verwendet.

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Tabelle 3:
Technische Daten des Meßgerätes nach
CEN/TC 33/WG 5/TG 4

Federrate	500 N/mm
Höhe des Meßgebers	50 mm
Durchmesser der Kraftaufnahmefläche	80 mm
Meßbereich	25 - 2000 N
Meßgenauigkeit	$\pm 5 \%$

5.1.4 Vor- und Nachteile unterschiedlicher Meßgeräte

Die unterschiedlichen Steifigkeiten des menschlichen Körpers erlauben es in der Praxis im allgemeinen nicht, die beim Quetschen wirklich wirksamen Spitzenkräfte für jedes einzelne Körperteil zu messen. Deshalb besteht die einzig praktikable Möglichkeit nach Auswahl einer geeigneten Meßmethode bzw. Meßgerätes darin, von den gemessenen Kraftwerten auf die reale Belastung des Menschen zu schließen.

Bei der Auswahl eines Meßgerätes sind immer deren Vor- und Nachteile abzuwägen [14]. In jedem Fall ist eine Abschätzung der Randbedingungen vorzunehmen.

Tabelle 4 stellt die Eigenschaften der verschiedenen Meßgeräte und ihre Grenzwerte gegenüber.

5.1.4.1 Meßgeräte niedriger Federraten (C_M klein)

Nachteilig bei Meßgeräten mit niedrigen Federraten sind die großen Gehäusabmessungen, die durch die entsprechend langen Federwege bedingt sind. Messungen an engen Spalten sind aus diesem Grunde mit diesen Geräten oft nicht möglich. Durch die langen Federwege besteht ferner die Gefahr, daß Spitzenkräfte, die auf Körperteile mit einer höheren Federrate C_K (als das Meßgerät) wirken, unterschätzt werden, wenn während des Stoßvorganges starke Reibungsverluste auftreten. Die gleiche Gefahr besteht, wenn hohe Bauteilsteifigkeiten C_B vorliegen, und zwar um so mehr, je kleiner die Federrate des Meßgerätes C_M im Verhältnis zu den Bauteil- und Körperteilfederraten C_B und C_K ist. Im Extremfall starrer Bauteile $C_B \gg C_M$ wird die Systemfederrate in etwa der des Meßgerätes entsprechen ($C_{sys} \approx C_M$), wodurch immer annähernd die gleichen Spitzenkräfte gemessen werden. Die real wirksamen Spitzenkräfte auf Körperteile, deren Federraten größer sind als die des Meßgerätes ($C_K > C_M$), werden unter solchen Umständen aber höher sein. Das heißt, die

Tabelle 4:
Charakteristika verschiedener Meßgerätetypen

StVZO	DIN EN 81	CEN/TC 33/WG 5 N 131 Entwurf Nr. 6, Ausgabe 10.94	PFS 1979:8 (Schweden)
$F_S \leq 200 \text{ N}$ (Öffnen) $F_S \leq 250 \text{ N}$ (Schließen) $F_E \leq 150 \text{ N}$	$E_{kin} \leq 10 \text{ J}$ (4 J) $F_K \leq 150 \text{ N}$	$\varnothing_{\text{Kontaktfläche}} = 80 \text{ mm}$ $C_{\text{Meßgerät}} = 500 \text{ N/mm}$ $(\pm 50 \text{ N/mm})$ Meßbereich 25...2000 N Genauigkeit: 5 %	$F_S \leq 450 \text{ N}$, $t_s \leq 0,5 \text{ s}$ $F_S \leq 200 \text{ N}$, $T \leq 5 \text{ s}$

Tabelle 5:
Meßverfahren und Parameter verschiedener Meßgeräte zur Schließkraftmessung [13]

Festlegungen über	Deutschland StVZO § 35e	Niederlande	Österreich B1205	Schweden	Schweiz
Meßgerät	x	x		x	x
Federkonstante [N/mm]	10	25		1)	25
Größe der Kraftaufnahme- fläche [in mm ²]	7853,98			60	?
weitere Beschaffenheitsmerkmale der Kraftaufnahme- fläche	x			x	?
Meßgenauigkeit	3 %			x	?
Kalibrierfähigkeit				?	

1) Die Federkonstante des schwedischen Meßgerätes wird als starr bezeichnet
 x = Festlegungen enthalten
 ? = Angaben waren nicht zu ermitteln

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Tabelle 5:
(Fortsetzung)

Festlegungen über	Deutschland StVZO § 35e	Niederlande	Österreich B1 205	Schweden	Schweiz
Verfahren					
Art und Größe der Kraft	x	x	x	x	x
zusätzl. max. zulässige Energie					x
Beschaffenheit d. Aufprallfläche				x	
äußere Meßbedingungen	x				
Anordnung der Meßpunkte	x		x		
Aufarbeitung der Meßwerte	x			?	
Anzahl der Messungen	x				
Aussagen über Meßfehler	x			x	
Fehlerbetrachtung insgesamt				x	
Eichvorschrift zum Meßgerät					
Qualifizierung für Meßpersonal				?	

Festlegung in Normen

	EN 81 Europa	TÜV-Meter	prEN ... (CEN/TC 33) Europa	prEN 1010 Europa	WG 4/TG 12
Verfahren					
Art und Größe der Kraft	x		x	x	
zusätzl. max. zulässige Energie	x				
Beschaffenheit Aufprallfläche Körper	z.T.			z.T.	
äußere Meßbedingungen					
Anordnung der Meßpunkte			x	x	
Aufarbeitung der Meßwerte					
Anzahl der Messungen					
Aussagen über Meßfehler			x		
Fehlerbetrachtung insgesamt					
Eichvorschrift zum Meßgerät					
Qualifizierung für Meßpersonal					

x = Festlegungen enthalten; ? = Angaben waren nicht zu ermitteln

Tabelle 5:
(Fortsetzung)

Festlegung in Normen					
	EN 81 Europa	TÜV-Meter	prEN ... (CEN/TC 33) Europa	prEN 1010 Europa	WG 4/TG 12
Meßgerät					
Federkonstante [N/mm]	25	25	500	25	25
Größe der Kraftaufnahmefläche [in mm ²]		490,87	5026,54		?
weitere Beschaffenheitsmerk- male d. Kraftaufnahmefläche		x	x		?
Meßgenauigkeit		?	x		?
Kalibrierfähigkeit			x		?

x = Festlegungen enthalten

? = Angaben waren nicht zu ermitteln

durch das Meßgerät angezeigte Kraft beschreibt nicht die tatsächlich auf den jeweiligen Körperteil wirkende Kraft, sondern eine entsprechend niedrigere (siehe Formeln 1 bis 4).

Das Dämpfungsverhalten weicher Meßgeräte wirkt sich bezüglich der Handhabung und der Kosten dieser Meßgeräte positiv aus. Die anstehenden Signale können mit recht einfacher Elektronik erfaßt werden, unter Umständen sind sogar rein mechanische Zeigerbauformen möglich [14].

5.1.4.2 Meßgeräte hoher Federraten (C_M groß)

Der Einsatz von Meßgeräten mit hohen Federraten und insbesondere die Empfindlichkeit gegenüber hochfrequenten Signalen führt zu einem erhöhten apparativen und Kostenaufwand für die Aufnahme und Verarbeitung der gewonnenen Meßsignale. Der Einbau solcher Geräte bedarf deshalb größter Sorgfalt.

Unter der Voraussetzung, daß die Federate des Meßgerätes C_M die Größen-

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

ordnung der Bauteilfederraten C_B erreicht, kann schon das gewählte Widerlager des Meßgerätes das Meßergebnis beeinflussen. Zusätzlich besteht die Gefahr, daß spröde Bauteile (z.B. Ganzglastüren) beschädigt werden oder die Kraftmeßdose durch unerwartete hohe Spitzenkräfte zerstört wird.

Vorteilhaft sind die geringen Gehäuseabmessungen. Unter der Voraussetzung, daß die Meßgerätfederrate C_M größer als die des zu bewertenden Körperteils C_K ist, werden nie zu niedrige Spitzenkräfte am Bauteil gemessen.

Bei Meßgeräten wie dem starren Geber ist von dieser Tatsache auszugehen, da die Federsteifigkeit des Aufnehmers in jedem Fall über der eines beliebigen menschlichen Körperteiles liegt [14].

5.1.5 Anforderungen an ein universelles Meßgerät und Meßverfahren zur Ermittlung vergleichbarer und verallgemeinerungsfähiger Grenzwerte

Überträgt man die aufgeführten Zusammenhänge zwischen Schließkräften und Hindernissteifigkeiten auf die Quetschung menschlicher Körperteile, so folgt daraus, daß sich an unterschiedlich nachgiebigen Körperteilen bei gleicher dynamischer Stoßbelastung unterschiedliche

Spitzenkräfte einstellen werden. Je weicher ein Körperteil ist, um so geringer sind die wirksamen Spitzenkräfte und um so größer die Stoßzeit. Erst bei hinreichend langsamer Kraftereinleitung bzw. bei Erreichen des statischen Zustandes erfahren alle Körperteile identische Kräfte.

Die Begriffe „statisch“ und „dynamisch“ sind jedoch im Zusammenhang mit der Messung und Bewertung von Schließkräften nur mit Vorsicht zu verwenden. Während es aus meßtechnischer Sicht keine Rolle spielt, ob eine Schließkraft über Sekunden oder Minuten ansteht, sind solche Differenzierungen für die Belastbarkeit des Menschen durchaus relevant. Während beispielsweise eine langandauernde Kraftereinwirkung auf einen Finger nur zu örtlichen Durchblutungsstörungen führt, muß im Bereich des Brustkorbes bei jeder Ausatmung mit einer weiteren Eindrückung gerechnet werden, die u.U. zum Ersticken der eingeklemmten Person führen kann.

Ohne an dieser Stelle genaue Kraft-Zeit-Zuordnungen treffen zu können, läßt sich allgemeingültig feststellen, daß der Mensch um so höhere Belastungen erträgt, je kürzer diese einwirken. Für eine Einwirkdauer von mehr als 1 bis 2 s ist zusätzlich mit unvorhersehbaren Befreiungsreflexen oder Panikreaktionen zu rechnen. Hierdurch können Verletzungen

entstehen, die ein sich ruhig verhaltender Mensch nicht erfahren hätte (z.B. Fingernagelabriß durch ruckartiges Herausziehen eingeklemmter Fingerkuppen). Die in einzelnen Regelwerken vorgenommene Berücksichtigung dieser Zusammenhänge durch Angabe zeitabhängiger Grenzwerte erleichtert es den Herstellern, steuerungstechnische Gegebenheiten auf die Belastungsfähigkeit des Menschen abzustimmen. Dies ist für eine möglichst allgemeingültige und auch für neue Betrachtungsfälle offene Beurteilung von Kräften an Quetschstellen von großer Bedeutung.

Eine mehr pragmatische Methode, die genannten Probleme bei der Messung und Bewertung von Schließkräften zu umgehen, besteht in der Durchführung sensorischer Tests. Hierbei wird eine repräsentative Personengruppe definierten Belastungen ausgesetzt, und die Empfindungen dieser Personen werden als „gut erträglich“, „erträglich“ und „nicht erträglich“ statistisch ausgewertet. Erste im BIA durchgeführte Untersuchungen nach diesem Verfahren zeigten überraschend eindeutige Ergebnisse [14, 15]. Die im CEN/TC33/WG5 aufgestellten Grenzwerte für Schließkräfte wurden beispielsweise so bestimmt.

Bei der Gegenüberstellung der bereits in den Normen nach Tabelle 4 festgeschriebenen Grenzwerte, Meßgeräte

und Meßbedingungen läßt sich erkennen, daß jede der aufgeführten Normen unterschiedliche Ansätze verfolgt. Während bei der StVZO (Omnibustüren) die Bewertung anhand der Spitzenkraft F_S sowie der Effektivkraft F_E erfolgt, wird bei der Bewertung von Aufzugstüren die kinetische Energie E_{kin} des bewegten Türflügels sowie die Klemmkraft F_K zugrunde gelegt. Die schwedische Norm beschreibt darüber hinaus neben Anforderungen an die Spitzenkraft und die Klemmkraft auch die Einwirkdauer dieser Kräfte.

Trotz der genannten Unterschiede in den Bewertungsverfahren hat jedes einzelne seine Vorzüge. Die Verfahren nach DIN bzw. StVZO haben den Vorteil, daß aufgrund der geringen Federsteifigkeit der eingesetzten Meßgeräte bereits bei geringen Kräften große Federwege erzielt werden. Durch den einfachen mechanischen Aufbau und die Schleppzeigeranzeige steht ein Gerät zur Verfügung, das mit hinreichender Genauigkeit Spitzenkräfte ermitteln kann und für den praktischen Einsatz ortsunabhängig und sehr flexibel einsetzbar ist.

Die zusätzlichen Restriktionen beim schwedischen Meßverfahren beruhen auf der Annahme, daß auch Körperteile geschützt werden müssen, die eine relativ hohe Steifigkeit besitzen. In erster Linie trifft dies auf den Kopf und die Fin-

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

ger zu. Unter dem Gesichtspunkt, daß die Federsteifigkeit von Meßgerät und gefährdetem Körperteil möglichst gleich sein sollte, können mit Federraten von 10 bzw. 25 N/mm keine sinnvollen Belastungsgrenzwerte für diese Körperteile ermittelt werden.

In [16] wird für den Kopf von einer Federsteifigkeit von bis zu 3000 N/mm ausgegangen. Demzufolge sind die Kräfteinwirkungen weitaus größer, als sie von einem Meßgerät mit einer geringen Federsteifigkeit angezeigt werden. Das schwedische Meßgerät mit seinem hohen c_M -Wert ist vorzugsweise für den Einsatz an nachgiebigen Schließkanten geeignet, da in Verbindung mit harten, unnachgiebigen Kanten hohe Kraftspitzen auftreten können, die eine Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse kaum gestatten. Außerdem besteht beispielsweise beim Einsatz an Ganzglastüren die Gefahr, daß diese infolge des Kraftstoßes zerstört werden.

5.2 Biomechanische Aspekte der Ermittlung und Anwendbarkeit von Grenzwerten an Quetschstellen

Die Ermittlung und Bewertung von Quetschkräften, die als noch zumutbar auf den menschlichen Organismus wirken können, stellt ein Arbeitsgebiet dar,

auf dem in der Vergangenheit eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt wurde. Je nach dem Anliegen und der Zielstellung dieser Untersuchungen sind jedoch sehr spezielle Versuchsbedingungen angewendet worden, die eine Übertragbarkeit von Einzelergebnissen kaum zulassen.

Im folgenden Abschnitt sollen die in verschiedenen Veröffentlichungen bzw. Recherchen dargestellten Grenzwerte für Quetschkräfte gegenübergestellt werden, wobei besonderes Augenmerk auf die Übertragbarkeit der ermittelten Belastungsgrenzwerte auf die Verhältnisse an kraftbetätigten (Schließ-)Einrichtungen gelegt werden soll. Da eine Übertragbarkeit von Testergebnissen aus Versuchsreihen mit Tieren, Dummies u.ä. Objekten auf den Menschen nicht möglich ist, wurden nur solche Belastungsgrenzwerte berücksichtigt, die am (lebenden) Menschen ermittelt wurden.

5.2.1 Begriffsbestimmung

Für die Beurteilung von auf den menschlichen Körper wirkenden Kräften wird als Basisgröße der Begriff *Belastungsgrenze* definiert:

„*Belastungsgrenze* ist ein Grenzwert, der bei verschiedenartigen Versuchsanordnungen mit unterschiedlichen Versuchs-

objekten gewonnen wird, wobei die ermittelten Werte keine verbindlichen und wissenschaftlich fundierten Grenzwerte darstellen.“[17]

Die Definition beschreibt in knapper Form deutlich die Restriktionen, denen die ermittelten Grenzwerte im Sinne der Bewertung als Komfortwerte unterliegen. Das heißt, die dokumentierten Daten sind nicht als verallgemeinerungswürdige und eindeutige Richtwerte einzuordnen, sondern stets in engem Zusammenhang mit den Randbedingungen entsprechend der jeweiligen Versuchsdurchführung zu sehen.

Hinsichtlich der verwendeten Begriffe werden ergänzend dazu folgende Festlegungen getroffen.

Die spaltenweise Betrachtung nach Tabelle 6 erlaubt eine differenzierte Beurteilung und Kennzeichnung unterschiedlicher Sachverhalte, wobei in Spalte 1 nach dem Gegenstand des Versuchsobjektes unterschieden wird. Aus diesem Grunde ist bei der Angabe von Meßgrößen immer zwischen einem lebenden menschlichen Körper, einem Ersatzmodell und einer Vergleichsgröße zu unterscheiden.

Tabelle 6:
Begriffsdefinitionen für die Beurteilung von Untersuchungsergebnissen im Zusammenhang mit biomechanischen Belastungskenngrößen [18, 19]

was wo	Folge von mechanischer Belastung Schwere	Folge von mechanischer Belastung definierter Größe Schweregrad	physikalischer Parameter für mechanische Belastung Kriterium	Grenzwert von phys. Parameter für mechanische Belastung Schwelle
am lebenden menschlichen Körper: Verletzung	Verletzungsschwere	Verletzungsschweregrad	Verletzungskriterium	Verletzungsschwelle
am Ersatzmodell: Schaden	Schadensschwere	Schadensschweregrad	Schadenskriterium	Schadensschwelle
am Dummy meßbare Vergleichsgröße: Schutz	—	—	Schutzkriterium	Schutzgrenze

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Prinzipiell sind die Begriffe Belastungsschwelle und Belastungsgrenze inhaltlich gleich, d.h., sie beschreiben eine bestimmte Belastung. Faßt man den Begriff Belastungsgrenze weiter, so ist dieser im Rahmen einer speziellen Versuchsanordnung im Sinne der Festlegung eines oberen bzw. unteren Grenzwertes zu verstehen. Dies bedeutet, daß die Belastungsgrenzen unter Umständen weit vor einer beobachteten Verletzung bei Wirkung einer Belastung liegen können, was jedoch in [17] als zulässig angesehen wird, da diese Wirkungen bisher kaum erforscht sind.

Der Zusammenhang zwischen den Versuchsbedingungen und den ermittelten Grenzwerten ist dementsprechend immer in Verbindung mit den dazugehörigen Parametern wie

- Geschwindigkeit von sich bewegenden Massen,
 - Eindringtiefe in den Versuchskörper,
 - Flächenpressung, Stoßdauer,
 - Art und Zustand des Probanden (Geschlecht, Alter, Konstitution usw.),
 - konstruktive Gestaltung der Gefahrstelle (Kantengeometrie, Werkstoff)
- zu sehen.

Da die Untersuchung am lebenden Menschen unter dem Aspekt der Freiwilligkeit der Probanden erfolgt, ist die Annäherung an eine Belastungsgrenze immer von der ungefährlichen Seite aus gegeben, wobei subjektive Empfindungen eine entscheidende Rolle bei der Analyse und Bewertung der Ergebnisse spielen, da ein Überschreiten der Schmerzgrenze bis hinein in den Bereich der Verletzung nicht zu erwarten ist. Andererseits ist die Analyse von Unfallverletzungen mit dem Mangel der fehlenden Kenntnisse der genauen Entstehung und des Verlaufs des Ereignisses behaftet.

Bei der Ermittlung von Belastungsgrenzen wird in den verschiedenen Bereichen auf unterschiedliche Erfahrungswerte und Untersuchungsmethoden zurückgegriffen. Dies sind z.B.:

- Versuche mit Freiwilligen
- Untersuchungen von Belastungen in Sport und Beruf
- Versuche mit Leichen
- Versuche mit Puppen und anderen mechanischen Modellen
- Versuche mit Tieren
- Rekonstruktion von Verkehrsunfällen
- Untersuchungen mittels mathematischer Modelle

5.2.2 Zusammenstellung von Belastungsgrenzwerten

Versuchsergebnisse hinsichtlich der Ermittlung von Belastungsgrenzwerten sind in einer Vielzahl von Veröffentlichungen dokumentiert. Einen umfangreichen und gleichzeitig komprimierten Überblick geben [17 und 20]. Vielfach wurden Versuche an unterschiedlichen Arten von Objekten (z.B. freiwillige Versuchspersonen, Leichen und Leichenteile, Tiere, Ersatzmodelle) durchgeführt. Im Rahmen der vorliegenden Recherche sollen jedoch nur diejenigen Belastungskenngrößen berücksichtigt werden, die unmittelbar am menschlichen Körper ermittelt wurden:

p	[Pa]	= Druck, Flächenpressung
$\dot{\delta}$	[g/ms]	= Änderungsrate der Beschleunigung
a_{\max}	[g]	= Maximalbeschleunigung
\bar{a}	[g]	= mittlere Beschleunigung
$A_{\text{stoß}}$	[cm ²]	= Stoßfläche
t	[ms]	= Beschleunigungsdauer
V	[km/h]	= Geschwindigkeit
F	[N]	= Kraft
p^*	[bar]	= Schädelinnendruck
s	[cm]	= Eindrückung

5.2.2.1 Gesamtorganismus

Die Betrachtung des Gesamtorganismus bei der Ermittlung von Belastungsgrenz-

werten geht auf eine Reihe von Versuchen zurück, die bereits seit 30 Jahren Gegenstand umfangreicher Forschungen sind. In jüngster Zeit tritt die Betrachtung des Gesamtorganismus jedoch zugunsten der gezielten Untersuchung bestimmter Körperregionen und -teile in den Hintergrund. Eine Vielzahl der im folgenden aufgeführten Grenzkkräfte stammt aus dem Bereich der Automobilindustrie; sie sind in die Erarbeitung bzw. Verbesserung der Sicherheitskonzeption von Kraftfahrzeugen einbezogen worden.

Die von der Automobilindustrie definierten Randbedingungen können üblicherweise jedoch nicht mit den Randbedingungen gleichgesetzt werden, wie sie für Quetschstellen gelten. Aus diesem Grunde sollten die vorliegenden Grenzwerte unter einem kritischen Blickwinkel betrachtet werden, ohne deren Bedeutung und Aussagekraft zu mindern.

Wie der Tabelle 7 (siehe Seite 62) zu entnehmen ist, sind vielfach keine konkreten Grenzkkräfte ermittelt bzw. angegeben worden. Allerdings sind in den meisten Fällen Beschleunigungen genannt, so daß davon ausgegangen werden kann, daß Art und Schwere möglicher Verletzungen des Menschen nicht ausschließlich auf die reine Kraftwirkung zurückzuführen sind. Da die in Tabelle 7

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Tabelle 7:
Zusammenstellung von Meßwerten bezogen auf den Gesamtorganismus des Menschen [17]

Bedingungen	p ($10^5 \cdot \text{Pa}$)	\dot{a} (g/ms)	a_{max} (g)	\ddot{a} (g)	t (ms)	v (km/h)	F (N)
schwerer Schock		2,14	40,4		40		
Atemstillstand					50-70		2500
Gurtträger unverletzt, Kopfbeschleunigung			11			24-50	
Nylongurt 7,5 cm breit, ohne Schädigung				45 5	40 1000		
Nylongurt 7,5 cm breit, Cardiovask. Syndrom				25	100		
ohne Schädigung			34,3		10		
Stahlgurte, ohne Schädigung		0,25	18-20		10-100	63	
Artist springt aus 18 m auf Schaumstoffmatte			50		100		
Bradykardie			5-30 9-12				
leichter Schock		0,5	15 12				
ohne Schädigung, rückwärts ohne Schädigung, vorwärts		0,49 1,2		46,2 35,4	128 160		
schwerer Schock		1,37 1,37	38,6 200		120 70		
leichter Schock	1,85						
Schlittenversuche, ohne Beschwerden		1,18					
niedriger Wert ganzer Körper, höherer Wert am Brustbein		1,3-3,8	40-82				

angegebenen Daten nicht an Quetschstellen ermittelt wurden, ist eine Übertragbarkeit der Daten auf die Verhältnisse an Quetschstellen auch nur bedingt möglich.

5.2.2.2 Kopf

Das Problem der Ermittlung und Beurteilung von auf den Kopf des Menschen wirkenden Kräften wird in [21] umfassend dargestellt. Es wird ein Überblick über die Biomechanik der Kopf- und Halsverletzungen gegeben, wobei zu möglichen Auswirkungen auf das zentrale Nervensystem infolge unfallbedingter Verformungen und Relativbewegungen keine Aussagen gemacht werden.

Einen allgemeinen Überblick über die zulässigen Belastungen des Kopfes gibt [22]. Dort wird davon ausgegangen, daß die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Kopfverletzungen mit der Erhöhung folgender Faktoren zunimmt:

- kinetische Energie beim Stoß
- Spitzenkraft
- örtlicher Druck auf den Schädel
- Kraftzunahmegeschwindigkeit
- Stoßdauer

Es wird davon ausgegangen, daß alle aufgeführten Kriterien für die sicherheitstechnische Beurteilung einer potentiellen

Gefährdungssituation berücksichtigt werden müßten. Daß dem bei dem Großteil der angeführten Untersuchungen nicht so ist, läßt die Übertragbarkeit der Ergebnisse unter anderen als den konkreten Versuchsbedingungen in Frage stellen.

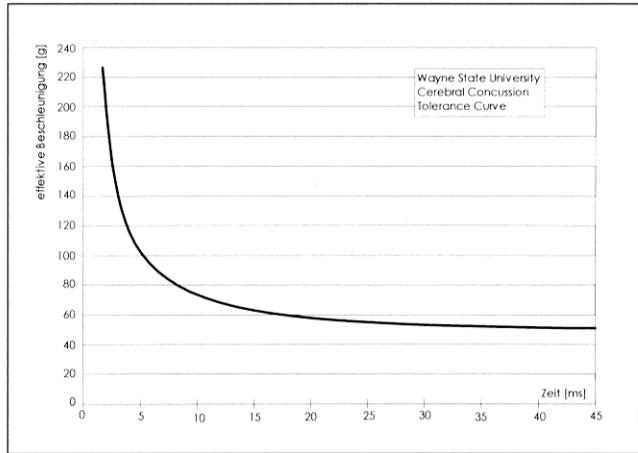
In Auswertung von Leichenversuchen, Tierversuchen und Unfalluntersuchungen wird als Empfehlung eine Grenzkurve für das Eintreten reversibler Hirnschäden angegeben, die eine allgemeine Grundlage für die biomechanische Beurteilung von Kopfverletzungen sein könnte. Einwände gegen die Nutzung des Diagramms (Abbildung 8, siehe Seite 64) ergeben sich allerdings aufgrund der fehlenden Verifizierung an lebenden Personen (Kurve beruht z.T. auf Versuchen mit Affen) sowie wegen der undokumentierten Randbedingungen, die bei der Ermittlung der Beschleunigungen gegeben waren.

Die Messung und Beurteilung spezieller den Kopf betreffender Belastungsgrenzwerte war verstärkt Gegenstand von Untersuchungen der Fahrzeugindustrie. Von einigen Autoren wird bei der Bewertung von Kopfbelastungen Bezug auf die WSU*)-Toleranzkurve genommen. Der dort genannte Beschleunigungswert

*) WSU = Wayne State University

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Abbildung 8:
Zusammenhang zwischen
Beschleunigungszeit
und Beschleunigung



von 80 g wird jedoch nicht als allgemeingültiger Grenzwert gesehen, sondern nur bezogen auf die gewählte Versuchseinrichtung als Grenzwert für das Auftreten von Bewußtlosigkeit unter Unfallbedingungen. Insbesondere wird der Nachweis geführt, daß das Eintreten von Kopf-(Hirn-)Verletzungen nicht unmittelbar vom Schädigungsgrad der Schädelknochen abhängt.

Die Unterscheidung zwischen der Schädigung des Kopfes durch mechanische Kräfte auf den Schädelknochen und die Wirkung von Beschleunigungen wird explizit von einer Vielzahl der angegebenen Quellen getroffen. Hinsichtlich der mechanischen Belastbarkeit des Schädels werden in [23 und 24] unter-

schiedliche Bruchkräfte angegeben. Bei Fallversuchen wurden Bruchkräfte von 7700 N ermittelt, während Stoßversuche Bruchkräfte von 3000 N ergaben.

Unabhängig von diesen Einzelwerten wird gegenwärtig bei Lenkaufprallversuchen mit einem Grenzwert von 150 N/cm² gearbeitet.

In [32] wird als Bruchlast für den Schädelknochen eine Kraft von 25 000 N angegeben, wobei weitere Angaben zu den Versuchsbedingungen nicht gemacht werden.

Ergebnisse ausführlicherer Versuche werden in [33] beschrieben. Darin sind die Spitzenkräfte, die ohne Verletzungen

von Probanden ertragen werden, mit 3900 ... 5100 N angegeben, wobei die Auftreffgeschwindigkeiten der 10 kg schweren Stoßkörper zwischen 7,1 und 8,4 m/s lagen. Die Stoßkörper waren bei diesen Versuchen 5,1 cm stark gepolstert. Bei einer Reduzierung der

Polsterung auf 0,5 cm wurden sogar 16 000 N ohne Bruch ertragen.

In [34] ist das Ergebnis von Messungen im Nasenbereich dargestellt. Stoßversuche mit starren, zylindrischen Körpern (\varnothing 2,5 cm, $m = 32$ kg bzw. 64 kg,

Tabelle 8:
Zusammenstellung von Versuchsbedingungen und Meßergebnissen zur Ermittlung der Belastbarkeit des menschlichen Kopfes

Versuch	Kraft [N]	Randbedingungen	Quelle
Stoßversuche gegen Schädeldach	1 800...11 100	Schlagpendel mit $m = 56$ kg, $v_{\text{Stoß}} = 4,6...5,6$ m/s, axialer Stoß auf horizontal liegende Leichen	[25]
Stoßversuche auf die Stirn	4 200... 7 300 N	Stoßversuche mit zwei starren Körpern (\varnothing 2,54 cm bzw. 0,8 cm), $v_{\text{Stoß}} = 1,6$ m/s bis 3,5 m/s	[26]
Stoßversuche auf rechte bzw. linke Stirnhälfte, Jochbein und Schläfen- und Scheitelbein	Stirn: 4 000 N Schläfen-Scheitelbein: 2 000 N Jochbein: 900 N	$t_{\text{Stoß}} = 5$ bzw. 10 ms, $A_{\text{Stoß}} = 6,45$ cm ²	[27]
Stoßversuche	frontal 6 170 N Hinterhaupt 12 500 N seitlich 5 780 N	$t_{\text{impuls}} = 5$ bzw 10 ms, Kraftmessung mit Piezoaufnehmern hinter dem Stoßkörper	[28]
Stoßversuche	4 000 N	zylindr. Stoßkörper \varnothing 15,2 cm, $m = 10$ kg, $t_{\text{impuls}} = 6$ ms, frontal und seitlich auf den Hinterkopf, Kraftmessung mit Piezoaufnehmer	[29]
Stoßversuche	2 400... 8 000 N 9 600 N	$t_{\text{Stoß}} = 8$ ms bzw. 30 ms, Risse und Brüche im Kopfbereich; $t_{\text{Stoß}} = 8$ ms bzw. 12 ms, keine Verletzungen	[30]
Stoßversuche	11 700 N	gepolsterte Scheibe gegen Stirn von Leichen, $v_{\text{Beanspr.}} = 4,4...8,8$ m/s	[31]

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

$v_{\text{Stoß}} = 10 \text{ km/h}$ bzw. 26 km/h) ergaben Spitzenkräfte von ca. 3000 N, ab denen schwere Knochenbrüche im Gesicht zu erwarten sind. Im Bereich der Nase waren Brüche schon ab 2000 N zu verzeichnen.

5.2.2.3 Hals

Zur Beurteilung von Grenzwerten hinsichtlich der Belastbarkeit des Halses werden in der Vielzahl der in [19] aufgeführten Verweise sowohl die Beugungswinkel als auch die Größe von Halsmuskelkräften als Beurteilungsgrößen herangezogen.

Für die ohne Verletzungen ertragbaren Beugungswinkel werden z.B. folgende Angaben gemacht:

- vorwärts 60 - 70°
- rückwärts 80 - 90°
- seitwärts 60 - 70°

Bei der Längsbelastbarkeit (Schädigungslosigkeit vorausgesetzt) der Halswirbelsäule werden Beschleunigungsgrenzwerte von 12 bis 14 g angegeben. Schlittenversuche mit Freiwilligen erbrachten hingegen im Rahmen der Erträglichkeit von Beschleunigungen einen Wert von bis zu 15 g [35 u.a.]. Tödliche Verletzungen werden bei (negativen) Beschleunigungen von 66 bis 100 g beschrieben.

Die Durchführung von Zugversuchen an Halswirbelsäulen ergab dagegen bereits bei Kraftwirkungen von 600 bis 1900 N ein Verletzungsrisiko [45].

Ähnlich der durch die WSU erarbeiteten Belastungskurve für den Kopf, ist in [42] eine Schadenskennlinie für makroskopische Verletzungen der Halswirbelsäule beim Aufprall auf unnachgiebige Hindernisse dargestellt. Besonders deutlich wird die Abhängigkeit der maximalen Kraft (bis zum Eintreten einer Schädigung) von der Stoßzeit im Bereich bis ca. 50 ms. Hier werden Kräfte von etwa 100 ... 1750 N angegeben, wobei zwischen Schäden, die im Verlauf der Druck- bzw. Biegephase entstehen, unterschieden wird.

5.2.2.4 Obere Gliedmaßen

Da eine Vielzahl von Untersuchungen aus dem Bereich des Fahrzeugbaus stammt, ist vielfach ein deutliches Defizit hinsichtlich der Angabe konkreter Grenzwerte für die Beurteilung der Grenzbelastung der oberen Extremitäten zu erkennen. Derartige Verletzungen spielen im Unfallgeschehen mit Fahrzeugen offensichtlich keine Rolle.

Zur Ermittlung von Belastungsgrenzen durch Quetschkräfte im Bereich der oberen Gliedmaßen sei auf Abschnitt 5.2.3 verwiesen.

Tabelle 9:
Zusammenstellung von Meßwerten bezogen auf den Hals

Versuch	F [N]		$v_{\text{Beanspr.}}$ cm/s	Randbedingungen	Quelle
	Schild- knorpel	Ring- knorpel			
Druckversuche auf Kehlköpfe	126 161 171 202	145 242 233 285	0,05 0,5 300 500	stat. & dyn. Druckversuche mit $v_{\text{Beanspr.}} = 0,005 / 0,5$ cm/s in Zug-Druck-Prüfmaschine	[36]
Stoßversuche gegen Kehlköpfe	400... 450 N			k.A.	[37]
Zugversuche an Halswirbelsäulen	stat. 1446...1940 N dyn. 4400...4500 N			stat. $v_{\text{Beanspr.}} = 1,3$ mm/min dyn. $v_{\text{Beanspr.}} = 1200...1300$ mm/s Verletzungen bei 600...1900 N	[38]
Zugversuche mit Freiwilligen	220 N			Verformungen der Halswirbelsäule zwischen 0,7 ... 3,5 mm	[39]
quasistat. Versuche mit Freiwilligen	180...1150 N			normale Kopfstellung, scherende Kräfte, Grenzwerte weit unter- schwellig und stark richtungs- abhängig	[38]
Druckversuche mit isolierten Halswirbelsäulen	960...6840 N			$v_{\text{Beanspr.}} = 0,5 \dots 0,9$ m/s	[40]
Stoßversuche mit einem Luftkissen	6200 N			frontal gegen Brustkorb von Leichen mit $v_{\text{Stoß}} = 13$ m/s	[41]

Tabelle 10:
Zusammenstellung von Meßwerten bezogen auf die Finger- und Mittelhandknochen

Versuch	F [N]	Randbedingungen	Quelle
Schlagbruchversuche	Fingerringknochen 430... 180 N Mittelhandknochen 250...2600 N	Versuche mit Pendelschlagwerk nach DIN 51222, $v_{\text{Auftreff}} = 2,93$ m/s zur Ermittlung von Bruchkräften	[43]

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

5.2.2.5 Rumpf

Neben der allgemeinen Betrachtung des gesamten Rumpfbereiches erfolgt vielfach eine separate Betrachtung des Brustkorbes. Dies ist insofern von Bedeutung, als die Stabilität und Belastbarkeit im Bereich der Rippen bzw. des Bauches sehr unterschiedlich sind. Die im Versuch ermittelten Grenzwerte beziehen sich darüber hinaus teilweise auf Ergebnisse von Leichenversuchen, so daß auch die dort ermittelten Werte nur unter Vorbehalt zu bewerten sind.

In [44] sind Stoßversuche an Leichen dokumentiert, bei denen ein Zylinder mit einem Durchmesser von 22 cm bzw. eine Platte mit einer Aufprallfläche von 22 · 26 cm im Bereich des 2. und 7. Rippenbogens auftreffen. Bei beiden Stoßkörpern variierten die Stoßkräfte zwischen 1000 und 6000 N. Im Ergebnis der Versuche wurde ermittelt, daß bei Kräften < 2000 N Rippenfrakturen ausschließlich bei kleinen und leichten (25 bis 40 kg) bzw. sehr alten (> 85 Jahre) Versuchspersonen zu verzeichnen waren. Verallgemeinernd werden von den Autoren als Grenzkraft, ab denen mit einem Bruch zu rechnen ist, für den zylindrischen Körper 2000 N bzw. für den Plattenstoßkörper 3300 N angegeben.

Demgegenüber werden in [45] Meßwerte von 5400 N als mögliche Grenzwerte

für die Krafteinwirkung auf den Brustkorb angegeben. Bei den Versuchen an Freiwilligen traten keine bzw. nur geringe Verletzungen auf. Weitere Angaben zu den Versuchsbedingungen wurden nicht gemacht. Bei Kräften, die über Auto-sicherheitsgurte auf Probanden wirkten, konnten dagegen in [46] 3600 N als unkritisch ermittelt werden.

Bei Stoßversuchen an Leichen wurden in [47] bereits bei 3200 N Verletzungen der inneren Organe festgestellt. Der verwendete zylindrische Stoßkörper hatte einen Durchmesser von 10 cm und bewegte sich mit einer Geschwindigkeit von 8,5 bis 14,5 m/s bei einer Einwirkdauer von 7,4 s. Bei anderen Versuchen mit stumpfen Stoßkörpern (\varnothing 15 cm) wurden Kräfte im Bereich 4000 bis 9230 N schädigungslos ertragen (bei maximalen Verformungen des Brustkorbes von 46 bzw. 71 mm). Andererseits führten schon Stoßkräfte von 3000 N in Verbindung mit maximaler Verformung des Brustkorbes um 81 mm zu Rippenbrüchen [48].

Schlittenversuche und Tests mit verschiedenen Aufprallkörpern ergaben Grenzbruchkräfte von 4500 N, wobei eine starke Abhängigkeit vom Körperbau, dem Alter, der Aufprallstelle und den Stoßbedingungen zu beobachten war. Festgestellt wurde eine Abhängigkeit der Schwere der auftretenden Verletzungen

von der Aufprallstelle auf den Rumpf, da z.B. unterhalb der 6. Rippe nicht die Verletzung des Brustkorbes, sondern die Verletzung der inneren Organe im Vordergrund stand. Aus diesem Grunde ist die Darstellung einer Kraft von 4500 N für die alleinige Beurteilung der Gefährdungssituation im gesamten Bereich des Rumpfes nicht ausreichend. Sekundäre Verletzungsrisiken, die von gebrochenen Rippen ausgehen, sind in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt [44].

Im Hinblick auf die Belastung des Rumpfes durch Gurt und Lenkrad bei Versuchen in Kraftfahrzeugen konnten folgende Ergebnisse ermittelt werden:

- Eindrücktiefen zwischen 45 und 60 mm [23, 49]
- horizontale Kräfte von 5800 bis 8500 N [71, 50]
- Thoraxbeschleunigung 40 bis 60 g/3 ms [51, 52]

Die Vielzahl der durchgeführten Untersuchungen zur Ermittlung von Belastungsgrenzwerten an Leichen dokumentiert in besonders starkem Maße die Abhängigkeit der erzielten Meßergebnisse vom Alter der Probanden. In Tabelle 11 (siehe Seite 70) sind weitere Grenzkraften dargestellt, die in Versuchen ermittelt wurden [17, 20].

5.2.2.6 Untere Gliedmaßen

Die meisten der in [17] beschriebenen Untersuchungen zu Belastungsgrenzen der unteren Gliedmaßen beschäftigen sich mit der Vielzahl verschiedener Belastungen durch Stoß, wobei über detaillierte Ergebnisse insbesondere zu Stoßrichtungen im Zusammenhang mit den verwendeten Versuchseinrichtungen berichtet wird.

Die Untersuchung von Stoßkräften auf das Knie erbrachte eine Vielzahl von Grenzbelastungswerten, die jedoch in äußerst großen Bereichen schwanken. Während in [61] davon ausgegangen wird, daß beim Aufprall eines Stoßkolbens mit einer Kraft von bis zu 13 000 N auf ein Knie kein Bruch zu erwarten ist, ist laut [62] im Bereich von 5 000 bis 10 000 N beim Aufprall eines Puffers mit einer 25%igen Wahrscheinlichkeit ein Beckenbruch zu erwarten. Unterschiede in Abhängigkeit vom Geschlecht der Versuchsperson sind darüber hinaus mit einzubeziehen.

Da bei Betrachtung möglicher Quetschgefahren die (Spitzen-)Krafteinwirkung über einen sehr kurzen Zeitraum erfolgt, verdient die Betrachtung sehr kurzer Stoßzeiten in [63] besondere Beachtung. Es wird von einer ansteigenden Bruchgrenze bei kürzer werdender Stoßzeit berichtet, wobei die Kräfte im Bereich

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Tabelle 11:
Zusammenstellung von Meßwerten bezogen auf den Rumpf des lebenden Menschen

Versuch	F [N]	Randbedingungen	Quelle
k.A.	1 600 N		[53]
Schultergurtkraft ohne Verletzungen ertragen	2 500... 5 000 N		[54]
k.A.	5 400 N	Eindrückung $s = 3...4$ cm	[32]
Rückenlage, $m = 30$ kg, $\dot{\alpha} = 3,826$ g/ms	32 000 N	max. Beschleunigung $a_{\max} = 82,6$ g	[45]
Stoßpendel 10 kg	1 670 N	Eindrückung $s = 4,6$ cm, Geschwindigkeit $v = 16,6$ km/h	[19]
k.A.	5 400 N		[55]
Stoßbeanspruchung über ein Stoßpendel	1 670 N	zylindrischer Stoßkörper, $\varnothing 15,2$ cm, $m = 10$ kg, 2,4 cm Gummipolsterung, $v_{\text{Stoß}} = 4,6$ m/s, Brustkorbverformung = 4,6 cm	[56]
statische Biegeversuche an Einzelrippen	400... 1 000 N 100... 250 N	Bruchlast der 6. und 7. Rippe, Alter der Probanden 12 bis 21 Jahre Alter der Probanden 60 bis 70 Jahre	[57]
Stoßversuche gegen Brustbein	2 800 N	keine Schäden an Probanden, 24 mm dicke gepolsterte Scheibe ($\varnothing 15,2$ cm), $v_{\text{Stoß}} = 4,4$ bis 8,8 m/s; Kräfte von 6000 N führten zu Rippenbrüchen	[31]
Stoßversuche	220... 780 N	statische Druckkräfte problemlos ertragbar (in angespannter Haltung Kräfte von 660...1500 N)	[58]
Stoßversuche gegen Brustbein	220... 330 N	männliche Probanden (sitzend), ungepolsterte, abgerundete Scheibe mit $\varnothing 15,2$ cm, Messung mit starrem Kraftgeber; im angespannten Zustand 1100...1300 N	[59]
Stoßversuche gegen Brustbein	1 580...13 100 N	stumpfer, starrer, scheibenförmiger Körper mit $\varnothing 15,2$ mm sowie gegen den Rippenknorpelbereich mit Körper $\varnothing 2,87$ cm, $v_{\text{Stoß}} = 5$ m/s ($F = 580...850$ N)	[60]

Tabelle 12:

Zusammenstellung von Meßwerten bezogen auf die unteren Gliedmaßen des lebenden Menschen

Versuch	F [N]	Randbedingungen	Quelle
Druckbeanspruchung	1 900...12 000 N	Druckbeanspruchung von Fußwurzelknochen über zwei Druckplatten einer herkömmlichen Zug-Druck-Prüfmaschine, $v = 1,5 \text{ cm/min}$	[65]
Stoßkörperbeanspruchung	5 150... 7 020 N	Stoßkörperversuche am gebeugten Knie, $m_{\text{Stoßkörper}} = 56 \text{ kg}$, $v = 6 \text{ m/s}$	[66]
Kraft infolge Muskelanspannung	$<300 / <1\ 300 \text{ N}$	dynamisch, statisch	[67]
Kräfte je iliac crest	4 000 N		[54]
k.A.	3 500... 4 500 N		[68]

von $8900 \pm 2000 \text{ N}$ lagen. Bei knienahen Stößen und Geschwindigkeiten $> 15 \text{ km/h}$ ergaben sich schadensverursachende Kräfte $> 1000 \text{ N}$ [18, 64].

Insgesamt ergibt sich ein weitgehender Konsens für einen zulässigen Belastungsgrenzwert des Unterschenkels unter Berücksichtigung der benachbarten Knie-region von 1000 N . Dies gilt jedoch vorzugsweise wiederum für den Bereich des Straßenverkehrs und die Gefährdung von erwachsenen Fußgängern.

5.2.2.7 Gewebeteile

Versuche zur Bestimmung der Festigkeit der menschlichen Oberhaut sind in [69, 70 und 71] dokumentiert. Aussage-

fähige Einzelwerte konnten daraus jedoch nicht abgeleitet werden. In [17] sind unabhängig davon Versuchsdaten aufgeführt, die jedoch in keinem Fall aus Versuchen am lebenden Menschen her-rühren. Insofern ist die Übertragbarkeit der dort aufgeführten Kräfte (für Ver-suche an Leichteilen liegen die Kräfte im Bereich $100 \text{ bis } 7384 \text{ N}$) auf die tat-sächlich vertretbaren Belastungsgren-zwerte am lebenden Organismus nicht möglich.

Die Relevanz von Versuchen an sepa-rierten Gewebeteilen in bezug auf die Ermittlung von Grenzbelastungsdaten ist unter Vorbehalt zu sehen. Zum einen ist das Auftreten entsprechender Bela-stungssituationen in der Praxis kaum

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

wahrscheinlich, zum anderen ist eine losgelöste Betrachtung einzelner Gewebeteile aus dem Verbund von Knochen, Sehnen, Muskeln u.a. für die Beurteilung einer Gesamtbelastungssituation nicht geeignet.

5.2.3 Weitere Untersuchungen zur Kraftermittlung an Quetschstellen bzw. biomechanischen Belastungsgrenzwerten

Detaillierte Untersuchungen zum Verhalten von kraftbetätigten Türen und automatischen Reversiereinrichtungen werden bereits seit längerer Zeit in der Automobilbranche durchgeführt. Insbesondere die Schwierigkeiten, die sich mit der Umsetzung der „Richtlinie für fremdkraftbetätigte Fahrgasttüren in Kraftomnibussen“ für die Fahrzeughersteller ergaben, veranlaßten einen Sonderausschuß im Auftrag des BMV, auf dem Gebiet der Ermittlung und Beurteilung von Schließkräften weitere Untersuchungen durchzuführen.

Es stellte sich heraus, daß hinsichtlich der Vereinheitlichung von Grenzwerten sowohl für die Spitzen- als auch für die Effektivkraft ein dringender Verallgemeinerungsbedarf besteht. Abweichungen ergeben sich aufgrund der unterschiedlich angesetzten Intervalle für die Ein-

wirkzeit der Kraft (im Rahmen der Effektivwertbildung) sowie durch die Verwendung unterschiedlicher Meßgeräte (der Klasse I + II). Letztendlich konnte eine Einigung dahingehend erzielt werden, den zulässigen Effektivwert der Schließkraft auf 150 N, den Spitzenwert an der Hauptschließkante auf 200 N und an der Nebenschließkante auf 250 N zu begrenzen.

Da laut [72] seit Beginn des Jahres 1990 Schließkräfte an Omnibustüren regelmäßig kontrolliert werden müssen, bestand die Notwendigkeit, einheitliche Meßgeräte zu entwickeln, um die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Meßergebnisse an unterschiedlichen Fahrzeugtypen zu gewährleisten.

Untersuchungen seitens des Berufsgenossenschaftlichen Institutes für Arbeitssicherheit (BIA) führten zur Entwicklung zweier Meßgeräte (siehe Abschnitt 5.1). Ausführliche Messungen und sensorische Tests an Schiebeflügeltüren ergaben für unterschiedlich gestaltete Schließkanten unterschiedliche Ergebnisse, die in entsprechenden Schließkraft-Zeit-Diagrammen dargestellt sind [10]. Aus den Diagrammen ist deutlich die Abhängigkeit der auftretenden Spitzenkraft von der Art der Schließkantengestaltung zu ersehen.

Für die in Abbildung 9 dargestellten Schließkanten wurden die Spitzenkraftverläufe in Abhängigkeit von der An-

triebsleistung der Türantriebe ermittelt, die Öffnungsweiten betragen jeweils 500 mm (Abbildung 10).

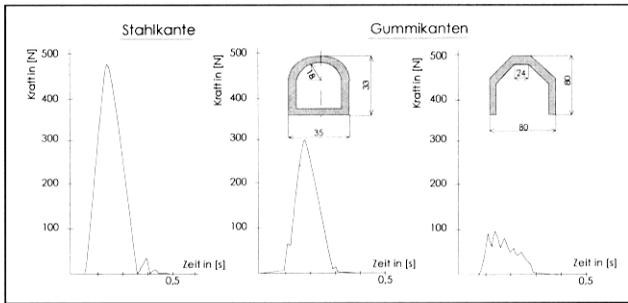


Abbildung 9:
Schließkraft-Zeit-Diagramme für eine Stahlkante und zwei Gummikanten¹⁾

¹⁾ Die in den Abbildungen 9 bis 13 dokumentierten Meßwerte sind mit einem Meßgerät mit einer Federsteifigkeit von 25 N/mm aufgenommen worden.

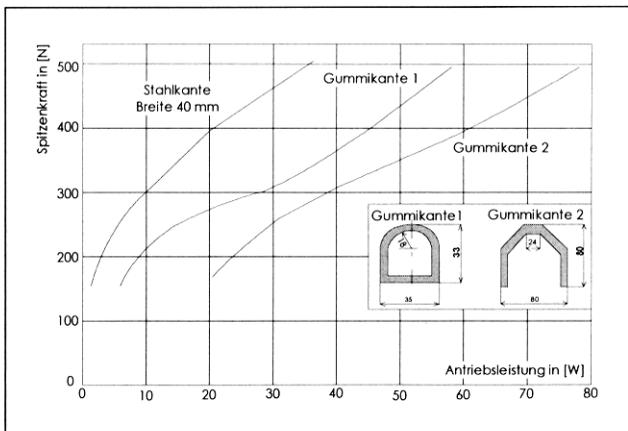


Abbildung 10:
Abhängigkeit der Spitzenkraft an einem Schiebflügel von Antriebsleistung und Schließkantengestaltung

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Die Versuche zur Ermittlung von Grenzwerten an selbsttätig schließenden (Schiebe-)Türen erbrachten die in folgender Tabelle 13 aufgeführten Empfehlungen.

Abbildungen 11 und 12 veranschaulichen die Ergebnisse der an Freiwilligen durchgeführten Versuche.

Die empfohlenen Grenzwerte beruhen auf umfangreichen empirischen Untersuchungen, da gesicherte biomechanische Belastungsgrenzwerte nicht zur Verfügung standen und deren Ermittlung im Rahmen der beabsichtigten Versuche nicht möglich war. Als Probanden standen ca. 50 Freiwillige unterschiedlicher Altersgruppen zur Verfügung, die die Kräfte hinsichtlich ihres individuellen Empfindens nach den Kriterien „gut erträglich“, „erträglich“ und „nicht erträglich“ beurteilten.

Erwartungsgemäß gab es deutliche Unterschiede bei der subjektiven Beurteilung der Erträglichkeit von Spitzenkräften an der beschriebenen Stahlkante und an den Gummileisten. Während an der Stahlkante Spitzenkräfte von 250 N als noch erträglich für die Faust eingestuft wurden, lagen die erträglichen Spitzenkräfte an den Gummikanten bei 400 N. Auch bei Beanspruchungen der Hüfte wurden 400 N als tolerierbar eingeschätzt.

Erheblicher Einfluß bei der Beurteilung von Kräften an Schließkanten ist der geometrischen Gestaltung und der Härte der Schließkante sowie der Öffnungsweite der Tür beizumessen. Dies zeigte sich besonders deutlich bei den Versuchen mit verschiedenen Parameterkombinationen und den resultierenden unterschiedlichen Grenzwerten (siehe Abbildung 17, siehe Seite 87).

Tabelle 13:
Vorgeschlagene Grenzwerte für Schließkräfte an Schiebetüren [10]

Breite der Schließkante in [mm]	zulässige Schließkräfte in [N]	
	Spitzenkraft F_S	Klemmkraft F_K
$b \geq 8$	400	150
$b \geq 18$	250	150
$8 \leq b < 18$	150	150

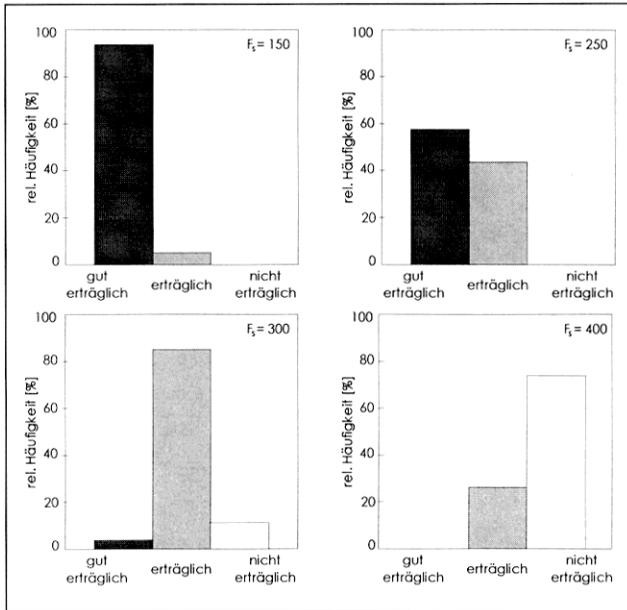


Abbildung 11:
Ergebnisse sensorischer Tests mit der Faust an einer Gummileiste bei verschiedenen Spitzenkräften [8]

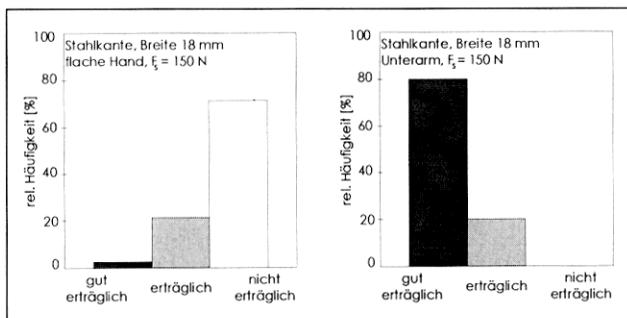


Abbildung 12:
Sensorische Bewertung bei einer Spitzenkraft von 150 N [8]

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

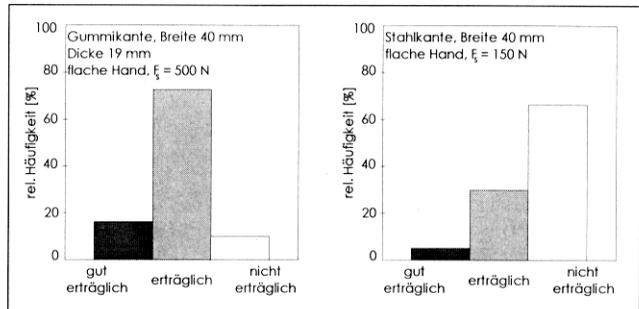


Abbildung 13:
Sensorische Bewertung
von Quetschkanten
unterschiedlicher Steifigkeit [8]

Ergebnis der Untersuchungen war, daß Kräfteinwirkungen von 150 N ($\approx 15,3$ kg) bereits zu Verletzungen am menschlichen Körper führen können.

Neuere Untersuchungen zur Quetschkraftermittlung, Kraftbegrenzung und Sicherung von Quetschstellen — speziell an Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen — werden in [73] beschrieben. Die Messungen erfolgten an Preßbalken verschiedener Papierschnidemaschinen mit dem in Abbildung 7 abgebildeten Meßgerät. Als Spitzenkräfte wurden an den genannten Maschinen Kräfte im Bereich zwischen 150 N bis 600 N ermittelt. Wieder wurden sensorische Tests durchgeführt, die in gleicher Weise wie in [10] Komfortwerte für maximale Quetschkräfte an unter-

schiedlich gestalteten Schließkantenprofilen erbrachten.

An verschiedenen Papierschnidemaschinen wurden darüber hinaus Messungen der Anpreßkräfte bei Schnittandeutung durch den Preßbalken (Niederhalter) durchgeführt. Dabei wurden sowohl die Spitzenkraft als auch die Klemmkraft ermittelt.

Für den Bereich der Papierschnidemaschinen wurde in der EN 1010 die zulässige Preßkraft beim Schnittandeutern bereits von 500 N auf 300 N reduziert; weitere Verringerungen sind z.Z. technisch jedoch nicht möglich.

Die Vorschläge, die in Auswertung der umfangreichen Versuche hinsichtlich der zulässigen Quetschkräfte gemacht wurden, sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 14:

Messungen von Anpreßkräften an ausgewählten Papierschneidemaschinen beim Schnittandeuten [74]

Nr.	Maschine	Spitzenkraft F_S in [N]	Klemmkraft F_K in [N]
1	Plan-Schneidemaschine	375	346
2	Plan-Schneidemaschine	365	345
3	Plan-Schneidemaschine	444	444
4	Plan-Schneidemaschine	442	442
5	Plan-Schneidemaschine	600	502
6	Plan-Schneidemaschine	430	330
7	Plan-Schneidemaschine	412	330
8	Plan-Schneidemaschine	342	246
9	Plan-Schneidemaschine	430	316
10	Plan-Schneidemaschine	414	311

Tabelle 15:

Vorschläge für zulässige Quetschkräfte (Spitzenkraft, Klemmkraft) verschiedener Körperteile an harten, unnachgiebigen Stahlkanten sowie Stahlkante mit Gummiprofil [73, 75]

Körperteil	Kantenbreite b in [mm]	Stahlkanten		Gummiprofil ¹⁾	
		F_S [N]	F_K [N]	F_S [N]	F_K [N]
Finger (flache Hand)	$8 \leq b < 18$	100	50	—	—
	$b \geq 18$	100	100	500	$> 200^{2)}$
Faust	$8 \leq b < 18$	150	150	—	—
	$b \geq 18$	250	150	—	—
Unterarm	$b \geq 18$	250	150	—	—
Fuß	8	150	100	—	—
Hüfte	$b \geq 18$	400	150	—	—

1) Bei dem verwendeten Gummiprofil handelt es sich um 19 mm starkes Moosgummi, das auf der Stahlkante befestigt wurde.

2) Höhere Klemmkräfte ließen sich an der vorhandenen Versuchseinrichtung nicht realisieren.

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

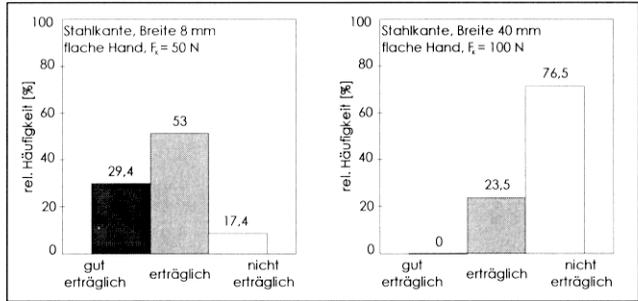
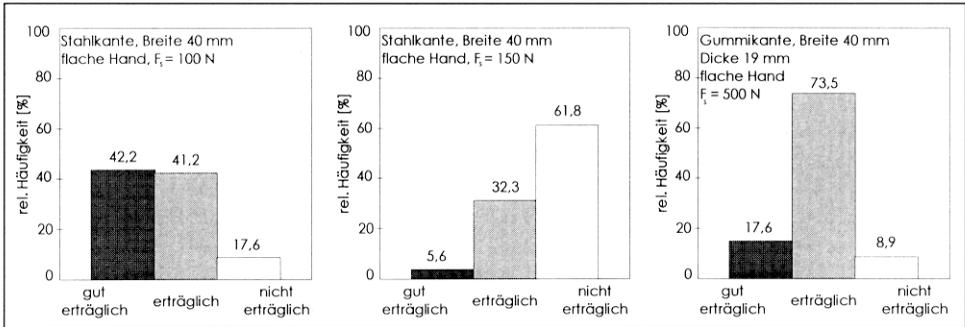


Abbildung 14:
Sensorische Bewertung
von Klemmkräften

Abbildung 15:
Sensorische Bewertung von Spitzenkräften an einer Stahl- bzw. Gummikante



Weitere umfangreiche Untersuchungen, die in [76] dokumentiert sind, haben ebenfalls die Ermittlung von Grenzkraften an Quetschstellen zum Inhalt. Mittels eines Meßgerätes mit einer Federsteifigkeit von 25 N/mm wurden in gleicher Weise wie bei den bereits erwähnten Schiebetür-Versuchen des BIA Klemm- und Spit-

zenkräfte als Grenzwerte der Belastbarkeit von Freiwilligen ermittelt. Die Versuche wurden vorzugsweise an Fingern und Unterarmen durchgeführt. Erwartungsgemäß erwies sich die subjektive Belastbarkeit des Unterarmes höher als die der Finger. Bei Schließkanten aus Stahl, über die Spitzenkräfte von 100 N auf die Finger der Proban-

den einwirkten, konnte eine Abhängigkeit der Erträglichkeit dieser Kraft von der Schließkantenbreite nachgewiesen werden. Mit zunehmender Kantenbreite nahm die als erträglich eingestufte Belastungsbeurteilung zu¹⁾ (Tabelle 16).

stufte Belastungsbeurteilung zu¹⁾ (Tabelle 16).

¹⁾ Versuche wurden mit Schließkantenbreiten von 8 mm, 18 mm und 40 mm durchgeführt

Tabelle 16:

Beurteilung der Erträglichkeit von Quetschkräften auf die flache Hand (Finger) in Abhängigkeit von der Schließkantengestaltung [%-Anteil bezogen auf die Gesamtzahl der Probanden je Versuchsdurchgang]¹⁾ [76]

	Gummikante		Stahlkante						
	40 mm		8 mm		18 mm		40 mm		
	$F_K^{2)}$	$F_S^{2)}$	F_K	F_S	F_K	F_S	F_K	F_S	F_K
50 N					+ 29,4 0 53,0 - 17,6		+ 64,7 0 29,4 - 5,9		
100 N				+ 14,7 0 47,0 - 38,3	+ 0 0 23,5 - 76,5	+ 23,5 0 50,0 - 26,5	+ 5,9 0 55,8 - 38,3	+ 41,2 0 41,2 - 17,6	+ 0 0 58,8 - 41,2
150 N						+ 3,0 0 20,5 - 76,5		+ 5,9 0 32,3 - 61,8	
200 N			+ 76,5 0 23,5 - 0						
400 N		+ 67,6 0 29,4 - 3,0							
500 N		+ 17,6 0 73,5 - 8,9							

¹⁾ + = gut erträglich, 0 = erträglich, - = nicht erträglich

²⁾ F_K = Klemmkraft, F_S = Spitzenkraft

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Da der Maßstab für die Festlegung bzw. Ermittlung von Grenzkraften an potentiellen Quetschstellen an Maschinen wie z.B. Papierschnidemaschinen diejenigen Körperteile sein sollten, die von den insgesamt gefährdeten am wenigsten belastbar sind, ist eine bevorzugte Berücksichtigung der entsprechenden Anforderungen zu beachten. Das heißt, es ist in jedem Fall vom schwächsten der insgesamt gefährdeten Körperteile auszugehen. Im Fall der untersuchten Papierverarbeitungsmaschinen sind dies eindeutig die Hände.

In [2] werden ausführlich Gesichtspunkte der Sicherheit automatisch betätigter Türen untersucht. Ausgangspunkt ist der Vergleich internationaler Normen und Richtlinien und die Gegenüberstellung der dort beschriebenen Höchstwerte für Kräfte an Schließkanten. Einheitlich wird bei verschiedenen Typen von Türen von einer Schließkraft bzw. „der Kraft zum Verhindern der Schließbewegung“ von maximal 150 N ausgegangen. Besonderes Augenmerk wird der Bewegungsenergie bei mittlerer Schließgeschwindigkeit der Tür gewidmet. Für die Quetschkraftermittlung wird eine Feder mit einer Federsteifigkeit von 25 000 N/m vorgeschlagen. Der Grenzwert für die Bewegungsenergie selbst wird mit 10 J angegeben. Allerdings wird vermutet,

daß bei geringer Elastizität des eingeklemmten Körperteiles dieser Wert nicht mehr anwendbar ist. Darüber hinaus sind die Grenzwerte von 4 J¹⁾ bzw. 10 J²⁾ bei Wirkung auf den menschlichen Körper zumindest zum Zeitpunkt der Veröffentlichung von [2] ohnehin fragwürdig, da diese Werte aus dem ANSI Safety Code stammen und in dieser Form ohne Überprüfung übernommen wurden.

Recherchen zu Festigkeitsanalysen und zum Elastizitätsmodul von Knochen ergeben die Kennwerte nach Tabelle 17. Aus diesen Kennwerten erfolgte beispielhaft die Berechnung der maximal zulässigen Energien für Finger- und Armknochen, deren Ergebnisse in Tabelle 18 veranschaulicht sind.

In Tabelle 18 sind zusätzlich die von Medizinern geschätzten zulässigen Werte für alte Menschen und Kinder angegeben. Dabei wird davon ausgegangen, daß alte Menschen und Kinder nur 10 % der Belastungsfähigkeit eines gesunden Erwachsenen mittleren Alters ertragen. In [78] wird die Belastbarkeit des Schädels

1) DIN EN 81, kinetische Energie einer sich bewegenden Tür

2) ANSI Safety Code, DIN EN 81, UNI 8612, kinetische Energie einer sich bewegenden Tür

eines Erwachsenen mit 45 ... 100 J angegeben. Unter Zugrundelegung des 10%-wertes würde dies bedeuten, daß der Kopf eines Kindes schon bei einer Bewegungsenergie von 4,5 J gefährdet ist.

Zusätzlich ist jedoch zu berücksichtigen, daß vor Auftreten eines Bruches mit erheblichen Schädigungen des Gewebes

zu rechnen ist, so daß dieser Wert weiter nach unten zu korrigieren wäre.

Versuche zur Ermittlung von „Schmerzgrenzen“ an Freiwilligen (d.h. Komfortwerte) ergaben die in Tabelle 19 dargestellten Ergebnisse für die kinetische Energie, die durch einen sich bewegenden Türflügel auf den betrachteten Körperteil übertragen wird.

Tabelle 17:
Festigkeit und Elastizitätsmodul menschlicher Knochen

Quelle	Festigkeit [N/mm ²]	Elastizitätsmodul E [N/mm ²]
[77]	84 ... 157	7 800 ... 11 000
[78]	98	22 600
[79]	70 ... 100	4 000 ... 7 000

Tabelle 18:
Aushaltevermögen für die Bewegungsenergie für die Finger- und Armknochen

Körperteil	F [N]	L [mm]	W [J]	W [J] alte Leute	W [J] Kinder
Arm	6 000 ... 11 000	2 ... 18	6 ... 100	1 ... 10	1 ... 10
Finger	4 000 ... 7 500	0,2 ... 1,9	0,7 ... 7	0 ... 1	0 ... 1

Tabelle 19:
Subjektiv empfundene Schmerzgrenzen bei Freiwilligen-Versuchen an ausgewählten Körperteilen

Körperteil	Bewegungsenergie W [J]	Federkonstanten [kg/mm]
Finger	0,2	40/ 1
Hand	0,8	40/ 4
Kopf	1,0	40/ 5
Arm	3,0	30/12

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Die beim Auftreffen auf den Körperteil eintretende Kraftänderung wurde in den durchgeführten Versuchen nicht berücksichtigt. Zu vermuten ist, daß schon durch das Auftreten schneller Kraftspitzen Gewebeschädigungen am Organismus auftreten können.

In [80] wird über Ergebnisse sensorischer Tests im Rahmen der Arbeit im Fachauschuß „Bauliche Einrichtungen“ berichtet. Schwerpunkt der Arbeiten dieser Arbeitsgruppe war der Bereich der Türen und Tore. Im Ergebnis wurde eine Reihe von Grenzwerten veröffentlicht (siehe Abbildung 16).

Abbildung 16: Ergebnisse sensorischer Tests zur Ermittlung von maximalen Quetschkräften (nach [80])

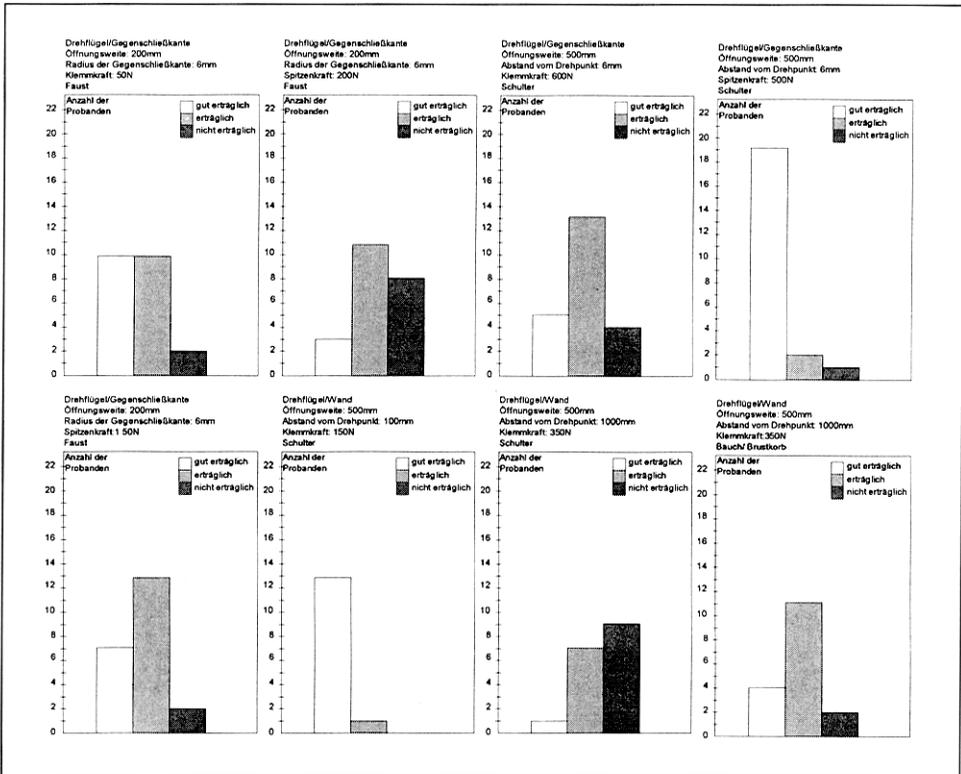


Tabelle 20:
Zulässige Grenzwerte von Schließkräften an Schiebeflügeltüren
in Abhängigkeit von der Öffnungsweite und der Breite der Schließkanten

Öffnungsweite [mm]	Breite der Schließkante [mm]	zulässige Schließkräfte [N]		Einwirkungsdauer [s]
		Klemmkräfte	Spitzenkräfte	
500	≥ 8	150	500	Die Klemmkräfte dürfen nicht länger als 5 s anstehen, es sei denn, daß der Flügel mit einer Kraft von max. 150 N zurückgedrückt werden kann.
200	$\geq 8 > 18$	150	150	
200	≥ 18	150	250	

Tabelle 21:
Zulässige Grenzwerte von Schließkräften zwischen Drehflügel und Gegenschließkante
in Abhängigkeit von der Öffnungsweite und der Breite der Schließkanten

Öffnungsweite [mm]	Form und Abstand der Schließkanten [mm]	zulässige Schließkräfte [N]		Einwirkungsdauer [s]
		Klemmkräfte	Spitzenkräfte	
500	Die dem Flügel zugewandte Kante der Gegenschließkante ist mit einem Radius von 5 mm abgerundet.	150	500	Die Klemmkräfte dürfen nicht länger als 5 s anstehen, es sei denn, daß der Flügel mit einer Kraft von max. 150 N zurückgedrückt werden kann.
200	Zwischen Hauptschließkante und Gegenschließkante ist beim geschlossenen Flügel ein Sicherheitsabstand von mind. 300 mm vorhanden.	(50?)	150	

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

Tabelle 22:
Zulässige Grenzwerte von Schließkräften zwischen Drehflügel und Wand
und zwischen benachbarten Flügeln

Öffnungs- weite [mm]	Form und Abstand der Schließkanten	zulässige Schließkräfte [N]		Einwirkungs- dauer [s]
		Klemmkräfte	Spitzenkräfte	
500	glattflächig oder vorstehen- de Leisten mit einer Breite von mind. 60 mm und mit abgerundeten Kanten/ 5 mm Kantenradius glattflächig vorstehende Teile mit einer Fläche von mind. 50 mm ² und abge- rundeten Kanten/5 mm Kantenradius	250	600	Die Klemmkräfte dürfen nicht länger als 5 s anste- hen, es sei denn, daß der Flügel mit einer Kraft von max. 150 N zurückge- drückt werden kann.

Tabelle 23:
Zulässige Grenzwerte von Schließkräften zwischen der Hauptschließkante eines Falflügels
und der Gegenschließkante

Öffnungs- weite [mm]	Form und Abstand der Schließkanten	zulässige Schließkräfte [N]		Einwirkungs- dauer [s]
		Klemmkräfte	Spitzenkräfte	
500 200 120	Die der Gegenschließkante zugewandte Kante der Hauptschließkante ist mit einem Radius von 5 mm abgerundet; die Gegen- schließkante ist vorstehend und hat eine Breite von mind. 18 mm. Zwischen Hauptschließ- kante und Gegenschließ- kante ist beim geschlosse- nen Flügel ein Sicherheits- abstand von mind. 30 mm vorhanden.	150 150 150	500 200 — ¹⁾	Die Klemmkräfte dürfen nicht länger als 5 s anste- hen, es sei denn, daß der Flügel mit einer Kraft von max. 150 N zurückge- drückt werden kann.

¹⁾ nicht festgelegt, da sich der dynamische Anteil erheblich verringert hat

5.2.4 Schlußfolgerungen und Zusammenfassung zu den Versuchen zur Ermittlung von Grenzwertbelastungen am menschlichen Körper

Nach Zusammenstellung und Vergleich der vorliegenden Versuchsergebnisse ist festzustellen, daß hinsichtlich der erzielten Ergebnisse kein direkter Vergleich der ermittelten Grenzwerte aus den unterschiedlichen Versuchsreihen möglich ist. Die in einer Vielzahl von Veröffentlichungen angegebenen Belastungsgrenzwerte variieren in weiten Bereichen. Ursachen für die teilweise großen Abweichungen der Belastungsgrenzwerte sind vor allem die unterschiedlichen Voraussetzungen, die durch die Versuchsanordnung und die Probanden bestanden. Als Hauptunterschiede und Einflußfaktoren beim Einsatz von Probanden sind insbesondere das Alter und Geschlecht sowie der allgemeine Gesundheitszustand und die Statur der Versuchspersonen zu nennen.

Grenzwerte reichen — je nach Versuchsobjekt — von der subjektiv empfundenen Schmerzgrenze bei Freiwilligen über die Funktionsstörung bis hin zu Schäden und Verletzungen.

Da eine Vielzahl von Untersuchungen aus dem Bereich der Unfallforschung der Automobilindustrie stammt, sind Be-

lastungsgrenzwerte zu Körperteilen, die sich auf Problemfälle dieser Branche beziehen, überrepräsentiert.

Trotz des insgesamt hohen technischen und personellen Aufwandes bei der Durchführung der Versuche treten letztendlich große Defizite hinsichtlich der Verallgemeinerungswürdigkeit der gewonnenen Meßergebnisse in bezug auf die Betrachtung von Quetschstellen auf. Die Ursachen dafür sind vielfältiger Natur. Zusammenfassend sollen folgende Aspekte dies veranschaulichen und gleichzeitig Ansätze für die Ermittlung geeigneter Belastungsgrenzwerte bieten.

1. Praktische Untersuchungen mit Freiwilligen sind nur in eng begrenzten Bereichen hinsichtlich der zumutbaren Belastungen (Kraftwirkungen) möglich. Bei der Ermittlung von Belastungsgrenzwerten von Quetschkraften ist von Komfortwerten auszugehen, die den spezifischen Bedingungen am konkreten Objekt Rechnung tragen. Dementsprechend sind Angaben zu Grenzbelastungen (z.B. bei Bruchuntersuchungen an Gliedmaßen) für die Erarbeitung von Grenzwerten an Quetschstellen nur bedingt nutzbar.

2. Die Beurteilung der von Probanden subjektiv empfundenen Belastungen durch Quetschkraften hängt von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren ab:

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkraften

- Alter
- Geschlecht
- physisches und psychisches Befinden
- Körperbau, Leistungsfähigkeit und Konstitution

3. Die Ergebnisse der Untersuchungen zu Belastungsgrenzwerten am menschlichen Körper werden durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Versuchsaufbau
- Meßverfahren
- zeitlicher Verlauf der Kraftwirkung
- Ort der Krafteinwirkung am menschlichen Körper
- Richtung der einwirkenden Kraft
- konstruktive Gestaltung der Auftreffflächen

4. Der Einsatz von Leichen, Leichenteilen, Tieren und Modellen (Dummies) für die Ermittlung von Grenzwerten ist unter dem Gesichtspunkt der Übertragbarkeit auf lebende Personen nur unter bestimmten Bedingungen sinnvoll und kann allenfalls als Orientierung dienen.

Insbesondere die Untersuchungen des BIA zeigen, wie durch systematische Versuche alle relevanten Aspekte, die es

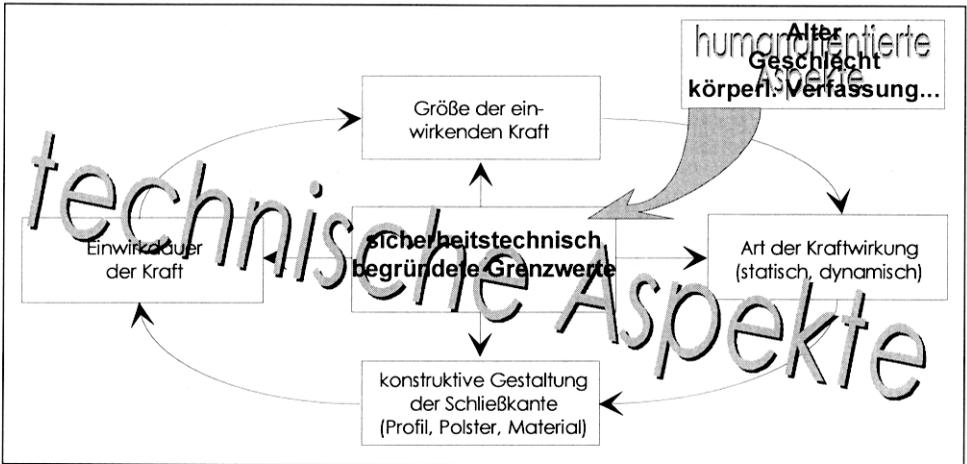
bei der Kraftmessung an Schließeinrichtungen zu beachten gilt, in die Versuche einbezogen werden. Daß diese Arbeiten nur ein Anfang sein können, zeigt die Vielzahl der aufgeworfenen Problemfelder, die bis zum heutigen Zeitpunkt bei anderen Untersuchungen kaum Beachtung fanden.

So ist festgestellt worden, daß die Kenntnisse über den Schließkraftverlauf zwar für die quantitative Bewertung und Ableitung von Maßnahmen erforderlich sind, andere Aspekte aber ebensolchen Einfluß auf die qualitative Bewertung haben (siehe Abbildung 17).

5.3 Nutzungsbedingungen von Meßgeräten und Anwendbarkeit von Belastungsgrenzwerten in Abhängigkeit vom zu betrachtenden Einsatzfall

Der Charakter und der Gegenstand, die Funktion und die Größe einer Gefahrstelle bzw. eines Gefahrenbereichs können zu einer Gefährdung von Personen durch Einklemmen des gesamten Körpers bzw. einzelner Körperteile führen, wobei besondere Gefahren von Schließeinrichtungen ausgehen, die über einen eigenen Schließantrieb verfügen und somit kraftbetätigt sind. Für die Gefährdungssituation beim Einsatz derartiger Einrichtungen ist die Charakteristik der An-

Abbildung 17:
Haupteinflußfaktoren bei der Ermittlung und Beurteilung von Kräften an Quetschstellen



triebsregelung¹⁾ von entscheidender Bedeutung, da damit deren Verhalten beim Auftreffen auf ein Hindernis bestimmt wird.

Der zeitliche Verlauf der beim Auftreffen einer bewegten Masse auf ein Hindernis

¹⁾ Man unterscheidet zwischen reversierenden und nicht reversierenden Schließeinrichtungen. Erstere (z.B. Türen von Aufzügen) öffnen sich selbsttätig wieder, nachdem die integrierte Sensorik (z.B. durch Überwachung der Stromaufnahme des Antriebsmotors) einen von den normalen Betriebsbedingungen abweichenden Betriebszustand ermittelt hat, der beispielsweise durch einen sich zwischen den Schließkanten befindlichen Gegenstand hervorgerufen wurde.

wirkenden Kraft ist durch einen dynamischen und einen statischen Anteil gekennzeichnet. Folge der dynamischen Kraftwirkung ist ein Kraftimpuls, dessen Beurteilung von einer Vielzahl von Randbedingungen abhängt. Um einen eindeutigen und nachvollziehbaren Grenzwert für die zulässige Quetschkraft im Normenwerk festlegen zu können, ist ein geeignetes Meßgerät zur Kraftbestimmung erforderlich. Gerade an dieser Stelle taten sich jedoch in der Vergangenheit Mängel auf, da zwar Untersuchungen zu Kraftwirkungen an verschiedenen Einrichtungen durchgeführt wurden, ein direkter Vergleich der Er-

5 Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften

gebnisse jedoch wegen der unterschiedlichen Meßverfahren und Meßgeräte nicht möglich ist.

Erheblichen Einfluß auf das Meßergebnis hat z.B. die Federsteifigkeit des Meßgerätes. In Ermangelung umfassender systematischer Untersuchungen zur Beanspruchungsfähigkeit des Menschen durch Quetschkräfte sowie wegen der fehlenden Verfügbarkeit geeigneter Meßgeräte wurden durch das BIA umfangreiche, allerdings nur orientierende Untersuchungen durchgeführt.

Bezüglich der gewonnenen Daten zeigte sich eine starke Abhängigkeit der ermittelten Grenzwerte von der Art der untersuchten Quetschstelle. Der Vergleich von an unterschiedlichen Kantenprofilen ermittelten Komfortwerten zeigt, daß eine Pauschalisierung bestimmter Untersuchungsergebnisse und deren Verallgemeinerung nicht zulässig ist. Zwar ist die Ermittlung von Grenzwerten für Quetschkräfte an Versuchseinrichtungen wie etwa Schiebetüren als Orientierung geeignet, spezielle Datenerhebungen und Bewertungen müssen jedoch am konkreten Einsatzobjekt vorgenommen werden.

6.1 Aktueller Wissensstand aus der Sicht der Verfügbarkeit gesicherter Erkenntnisse über die Wirkung von Quetschkräften auf den menschlichen Körper

Bis zum heutigen Tage bestehen bei der Erfassung und Bewertung von Kräften an Quetschstellen und den sich daraus ableitenden Beanspruchungsgrößen (für den Menschen) große Defizite. Dies trifft insbesondere auf die Anwendbarkeit eines einheitlichen, allgemein anerkannten Verfahrens für die Ermittlung der auftretenden Kräfte zu, wodurch die Übertragbarkeit und Verallgemeinerungsfähigkeit sicherheitstechnischer Festlegungen an unterschiedlichen baulichen, verkehrstechnischen und anderen Einrichtungen gewährleistet werden könnte.

Bestehende Vorschriften, Richtlinien und Regeln weichen bei der Angabe verbindlicher Meßgeräte und Meßverfahren sowie einzuhaltender Randbedingungen erheblich voneinander ab, so daß allgemeingültige Aussagen über den betrachteten Anwendungsfall (Größe der maximalen Quetschkraft, Verhalten bei Auftreffen auf ein Hindernis) hinaus nicht getroffen werden können (siehe auch Abschnitt 4.1).

Andererseits besteht ein großer Nachholbedarf für die Beurteilung von Grenz-

werten aus biomechanischer Sicht. Umfangreiche Recherchen zu diesem Thema zeigten, daß einschlägige Veröffentlichungen keine detaillierten und vor allem allgemein verbindlichen Daten zur biomechanischen Belastbarkeit bestimmter Körperteile des Menschen enthalten.

6.2 Ansätze zur Verallgemeinerung und Harmonisierung von Normen, Richtlinien und Untersuchungsergebnissen zum Problem der Ermittlung und Begrenzung der an Quetschstellen wirkenden Kräfte

Da sich Quetschvorgänge aus der Sicht des zeitlichen Kraftverlaufes aus einer dynamischen und einer statischen Komponente zusammensetzen, treten bei derartigen Vorgängen stoßartig Spitzenkräfte auf, deren meßtechnische Erfassung genau definierte Meß- und Auswertebedingungen erfordert. Dies wird in den meisten Regelwerken zwar erwähnt, jedoch werden kaum Angaben zur verwendeten Meßtechnik und den Randbedingungen bei der Datenermittlung gemacht. Es erfolgt keine eindeutige Angabe über den Gültigkeitsbereich bzw. die Randbedingungen, bei denen die angegebenen Grenzwerte gelten. Dies ist um so bedeutender, als in vielen Fällen der spezielle Gegenstand der Be-

6 Bestandsaufnahme

trachtung, d.h. die Maschine oder Einrichtung, nicht exakt durch die im Normenwerk beschriebenen Bedingungen charakterisiert wird.

Bei der Betrachtung von Quetschstellen werden häufig nur die Gefahren durch den statischen Anteil der Quetschkraft berücksichtigt. Die Gefahr dynamischer Kraftspitzen wird demgegenüber vielfach außer acht gelassen. Erst in jüngster Zeit wird vereinzelt differenziert auf statische und dynamische Kraftwirkungen eingegangen.

Im Sinne der Harmonisierung von Sicherheitsstandards innerhalb der EU wird bereits seit längerer Zeit angestrebt, unterschiedliche Forderungen und Normen für vergleichbare Gefährdungen und Risiken auszuschließen und Wiederholungen zu vermeiden. Zur Vereinfachung und Vereinheitlichung des Normenwerkes im Bereich der Sicherung von Quetschstellen wäre es sinnvoll, das Thema „Sicherung von Quetschstellen durch Begrenzung der wirksamen Kräfte“ auf europäischer Ebene in einer B-Norm aufzugreifen. Hierfür sollten ein einheitliches Meß- und Auswerteverfahren sowie allgemein verbindliche Grenzwerte für gefährdete Körperteile festgeschrieben werden.

Zu den Recherchen ist verallgemeinernd eine gewisse Gleichartigkeit hinsichtlich

der Randbedingungen, Wirkungsmechanismen und wirkenden Gefahren an Quetschstellen zu verzeichnen. Trotz der unterschiedlichen Ansätze, wie sie in den verschiedenen Regelwerken (DIN EN, ZHs der Berufsgenossenschaften, ausländische Normen) immer wieder zu verzeichnen sind, ist allen ein gewisser Grundkonsens gemein. Es ist zu untersuchen, welcher Funktion die sich bewegenden Teile dienen; andererseits ist zu berücksichtigen, welche Körperteile einer möglichen Quetschgefahr ausgesetzt sind. Hieraus ergeben sich die Anforderungen und Randbedingungen, die bei der sicherheitstechnischen Optimierung der betrachteten Gefahrstellen zu berücksichtigen sind.

6.3 Möglichkeiten und Grenzen der Vereinheitlichung von Meßgeräten zur Ermittlung von Quetschkräften

Grundvoraussetzung, um in Zukunft zu einheitlichen Regelungen im Rahmen der nationalen bzw. internationalen Normung zu gelangen und Fehlinterpretationen der Meßergebnisse bei der Ermittlung und Beurteilung von Quetschkräften zu vermeiden, ist ein einheitliches, allgemein anerkanntes Meßverfahren. Ein universell einsetzbares Verfahren muß dabei einen Kompromiß zwischen den Be-

langen der Meßpraxis einerseits und biomechanisch-medizinischen Aspekten andererseits darstellen.

Die bisherigen Recherchen haben gezeigt, daß dem Meßgerät besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist. Dies trifft insbesondere auf den Umstand zu, daß die für bestimmte Körperteile zugrunde zu legenden Belastungskenngrößen sich in den Meßgeräteigenschaften widerspiegeln müssen und abhängig von diesen starken Schwankungen unterliegen können.

Die Nutzung eines einzigen Meßgerätes mit unveränderlichen Parametern besitzt einerseits den Vorteil, daß grundsätzlich alle Meßergebnisse untereinander direkt vergleichbar sind. Andererseits ist die Berücksichtigung der unterschiedlichen Federsteifigkeit der verschiedenen Körperteile in den verwendeten Meßgeräten wegen der objektiven Meßwertfassung und der sich daraus ableitenden Aussagerelevanz hinsichtlich der tatsächlichen Belastungsgröße am speziellen Körperteil sinnvoll.

6.4 Aspekte der Vereinheitlichung bzw. Spezifikation von Belastungsgrenzwerten aus biomechanischer Sicht

Wie in Abschnitt 5.2 dargestellt worden ist, sind in einer Vielzahl von Unter-

suchungen bereits Belastungsgrenzwerte für die verschiedenen Körperteile des Menschen ermittelt worden. Ein Vergleich der verfügbaren Daten zeigt allerdings recht schnell, daß bei der Meßwertaufnahme vielfach von unterschiedlichen Voraussetzungen ausgegangen wurde. Dies ist einerseits in den jeweiligen Zielsetzungen der Untersuchungen begründet, andererseits ergeben sich Restriktionen hinsichtlich der Versuchsobjekte. In erster Linie trifft dies auf die Versuche zu, die mit Leichen unternommen wurden.

Da es sich bei der Ermittlung von Belastungsgrenzwerten an Quetschstellen generell um Komfortwerte handeln sollte, sind diese an Freiwilligen vorzunehmen, die über ihr subjektives Schmerzempfinden eine Beurteilung der auf sie einwirkenden Kräfte vornehmen. Derartige Untersuchungen sind bisher insbesondere im BIA durchgeführt worden. Die dort erzielten Ergebnisse lassen vermuten, daß auch im Hinblick auf die wissenschaftliche Vertretbarkeit dieser Ergebnisse Belastungskenngrößen ermittelt werden, die bei der weiteren Normungsarbeit genutzt werden können. Die in Zusammenhang mit den Versuchen beim BIA entwickelten Meßgeräte und -verfahren lassen sich in jedem Fall auch bei den künftigen Untersuchungen nutzen. Weitere Einschränkungen ergeben sich aus der Art der betrachteten Quetsch-

6 Bestandsaufnahme

stelle, so daß nicht in jedem Falle das im BIA entwickelte Verfahren genutzt werden kann. Insbesondere betrifft dies reversierende Schließeinrichtungen, bei denen nicht die gesamte wirkende Kraft durch das Meßgerät angezeigt wird. In diesem Zusammenhang spielt auch die Gestaltung der Schließkante eine bedeutende Rolle, da beispielsweise durch den Einsatz von Gummikanten u.ä. Maßnahmen die Wirkung des bewegten Flügels auf ein potentiell Hindernis beeinflußt wird.

Ein weiterer unbedingt zu berücksichtigender Aspekt bei der Festlegung von Grenzwerten ist der gefährdete Personenkreis — Tabelle 18 verdeutlicht dies. Die Berücksichtigung personenbezogener Gegebenheiten kann letztendlich dazu führen, daß trotz der Ermittlung gesicherter Grenzbelastungswerte an Quetschstellen Werte angesetzt werden müssen, die unterhalb derjenigen liegen, die für gesunde, erwachsene Menschen zulässig sind.

7 Zusammenfassung

Die Begrenzung der wirksamen Kräfte an Quetschstellen stellt nur eine der möglichen sicherheitstechnischen Maßnahmen zum Schutz von Personen und Gegenständen an potentiellen Quetschstellen dar. Diese Maßnahme ist jedoch insofern von besonderer Bedeutung, als in vielen Fällen Schutzeinrichtungen nicht eingesetzt werden können oder die Zugänglichkeit für Personen erforderlich bzw. funktionell bestimmt ist (z.B. bei Papierschneidemaschinen und selbsttätig schließenden Türen und Toren u.ä.). Ferner wird durch den Einsatz von Schutzeinrichtungen vielfach die Bedienbarkeit von Maschinen und Anlagen beeinträchtigt, was zu einer Verminderung der Akzeptanz durch das Personal führt und nicht selten unerlaubte Eingriffe in die Sicherheitsmechanismen nach sich zieht.

Die umfangreichen Recherchen zum Thema „Quetschstellen“ zeigen, daß zum gegenwärtigen Zeitpunkt kaum als gesichert geltende Aussagen zur Kraftmessung und -beurteilung an Quetschstellen getroffen werden können. Einerseits bestehen Probleme bezüglich der Festlegung eines in seinen Parametern eindeutig definierten und für die Verwendung bei bestimmten Einsatzfällen geeigneten Kraftmeßgerätes. Andererseits ergeben sich erhebliche Defizite im Hinblick auf die Bewertung der ermittelten Kräfte, in deren Folge sich kaum wissenschaftlich abgesicherte Belastungsgrenzwerte für bestimmte Personengruppen ableiten lassen.

werte für bestimmte Personengruppen ableiten lassen.

Bei der Festlegung von Grenzwerten für die maximal zulässigen Kräfte an Quetschstellen muß eindeutig zwischen biomechanischen Belastungsgrenzwerten und Komfortwerten unterschieden werden. Die im vorliegenden Bericht dokumentierten Rechercheergebnisse lassen erkennen, daß gegenwärtig ein großes Defizit hinsichtlich der Übertragbarkeit und Relevanz vorhandener biomechanischer Grenzwerte für die Belastung des menschlichen Körpers (bzw. von einzelnen Gliedmaßen) an Quetschstellen besteht. Für die weiteren Arbeiten lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Für die Erfassung und Beurteilung von Quetschkraften sind grundsätzlich Komfortwerte als Maßstab anzusetzen. Biomechanische Belastungsgrenzen, die aus Versuchen an Ersatzmodellen (Leichen, Tiere, Dummies u.ä.) abgeleitet werden, sind nur bedingt als Maßstab für allgemeingültige Festlegungen beim Arbeits- und Gesundheitsschutz anwendbar.
2. Das Hauptaugenmerk der weiteren Arbeiten sollte zunächst auf die als am gefährdetsten eingestufteten Körperteile, insbesondere den Hand-Arm-Bereich, gelegt werden. Die bisherigen Untersuchungen zeigten, daß komfortorientierte Belastungsgrenzwerte für die jeweils

7 Zusammenfassung

gefährdeten Körperteile separat ermittelt werden müssen.

3. Weitere Untersuchungen sind insbesondere hinsichtlich des Einflusses der konstruktiven Gegebenheiten an der Schließkante erforderlich, wobei gegebenenfalls entsprechende Gestaltungsvorschläge zu erarbeiten sind. Orientierung bieten hier entsprechende Untersuchungen des BIA.

4. Bei künftigen Untersuchungen ist der Einsatz eines einheitlichen Meßgerätes anzustreben, bei dem insbesondere Festlegungen zur Federsteifigkeit getroffen werden sollen. Die bis heute nebeneinander existierenden und von verschiedenen Institutionen und Verbänden genutzten Meßgeräte lassen wegen ihrer unterschiedlichen Federraten eine Gegenüberstellung und Vergleichbarkeit der ermittelten Kräfte nicht zu.

- [1] *Prechtl, H.-G.*: Handverletzungen am Arbeitsplatz. Dissertation Wien
- [2] *Nykänen, H.*: Gesichtspunkte zur Sicherung automatisch betätigter Türen. Helsinki
- [3] *Uhlig, D., Fischer, H.*: Studie zu Gefährdungs- und Sicherheitsparametern sowie deren Grenzwerten für die geführte Bewegung von Gegenständen. Berichts-Nr. 3/90
- [4] DIN 31001
- [5] EN 349: „Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen“. TG 1
- [6] ZH 1/494: „Richtlinie für kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore.“ Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG, Hrsg.)
- [7] Sonderdruck aus „Verkehrsrundschau“, Ausgabe A Nr. 52/53, B-Ausgabe Nr. 8 vom 31. Dezember 1988
- [8] *Mewes, D.*: Messung und Bewertung von Schließkräften. Bericht des Berufsgenossenschaftlichen Institutes für Arbeitssicherheit, 1992
- [9] *Walter, J.*: Sicherung von Quetschstellen an Maschinen durch Begrenzung der wirksamen Kräfte. Prüfungsarbeit des Technischen Aufsichtsbeamten im Vorbe-
- reitungsdiens; BG Druck und Papierverarbeitung
- [10] *Mauser, F., Mewes, D., Schliefer, V.*: Messung und Bewertung von Schließkräften an kraftbetätigten Türen und Toren. Die BG, Heft 11/1991, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
- [11] Verkehr und Technik. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
- [12] *Hass, T.*: Messung von Schließkräften an Omnibustüren. Omnibusrevue Heft 7/89, S. 25 - 27
- [13] *Puttich, A.*: Begrenzung von Schließkräften. Prüfungsarbeit des Technischen Aufsichtsbeamten auf Probe
- [14] *Schliefer, V.*: Quetschstellen – Arbeitsgrundlagen für die Normung. (unveröffentlichter) Bericht Nr. 9500854, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit vom 3. März 1995
- [15] *Kloß, G.*: Messung und Beurteilung von Schließkräften an Kraftomnibussen. BIA-Report 4/88
- [16] *Thomas, L.M., Szezzgin, Y., Hodgson, V.R., Cheng, L.K., Gurdjian, E.S.*: Static Deformation and Volume Changes in the Human Skull. Proc. 12th Stapp, 1968, S. 260 - 270

- [17] *Gülich, H.-A.*: Biomechanische Belastungsgrenzen. Aktualisierte Literaturstudie zur Belastbarkeit des Menschen beim Aufprall. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, 1988
- [18] *Aldman, B.*: An experimental model system for the study of lower leg and knee injuries in car pedestrian accidents. 8th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Wolfsburg 1988
- [19] *Aldman, B.*: Synthesis report of the EEC biomechanics programme. Biomechanics of impacts in road accidents (proceedings), Commission of the European Communities, Luxembourg 1984
- [20] *Mewes, D.*: Literaturrecherche über biomechanische Belastungsgrenzen. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, Sankt Augustin, 1992
- [21] *Aldman, B.*: An analytical approach to the impact biomechanics of head and neck injury. Conf. Proc. 30th American Association for Automotive Medicine, 1986
- [22] *Newman, J.A.*: On the Use of the head Injury Criterion (HIC) in Protective Head Gear Evaluation. Conf. Proc. 19th Stapp, 1973, S. 789 - 818
- [23] *Tarriere, C., Fayon, A., Wal-fisch, G.*: Human tolerances to impact an protection measures. CCMC Report, 7 - 74
- [24] *Nyquist, G.W., Cavanaugh, J.M., Goldberg, S.J., King, A.I.*: Tibio bending: Strength and response. Conf. Proc. 30th Stapp 1986
- [25] *Nusholtz, G.S., Melvin, J.W., Huelke, D.F., Alem, N.M., Blank, J.G.*: Response of the Cervical Spine to Superior-Inferior Head Impact. 25th Stapp, 1981, S. 197 - 237
- [26] *Hogdson, V.R., Brinn, J., Thomas, L.M., Grennberg, S.W.*: Fracture Behavior of the Skull Frontal Bone Against Cylindrical Surfaces. 14th Stapp, 1970, S. 341 - 355
- [27] *Nahum, A.M., Gatts, J.D., Gadd, C.W., Danforth, J.*: Impact Tolerance of the Skull and Face. 12th Stapp, 1968, S. 302 - 316
- [28] *Advani, S.H., Powel, W.R., Huston, J., Ojala, S.J.*: Human Head Impact Response — Experimental Data and Analytical Simulations. 2nd IRCOBI, 1975, S. 153 - 163
- [29] *Stalnaker, R.L., Melvon, J.W., Nusholtz, G.S., Alem, N.M., Benson, J.B.*: Head Impact Response. 21th Stapp, 1977, S. 305 - 336
- [30] *Nusholtz, G.S., Lux, P., Kaiker, P., Janicki, M.A.*: Head Impact Response — Skull Deformation and Angular Accelerations. Conf. Proc. 28th Stapp, 1984, S. 41 - 74

- [31] *Patrick, C.M., Mertz, H.J., Kroell, C.K.*: Cadaver Knee, Chest and Head Impact Loads. Proc. 11th Stapp 1967, S. 106 - 117
- [32] *Gögler, E.*: Die Unfallverletzung bei Kraftfahrzeugunfällen als Hinweis auf den Unfallvorgang. Technische Überwachung Nr. 9, 7/1966, S. 304 - 311
- [33] *Nusholtz, G.S., Melvin, J.W.*: Head and Neck response to Axial Impacts. Conf. Proc. 28th Stapp 1984, S. 275 - 288
- [34] *Nyquist, G.W., Cavanaugh, S.J., Goldberg, S.J., King, A.J.*: Facial Impact Tolerance and Response. Conf. Proc. 30th Stapp 1986, S. 379 - 400
- [35] *Burow, K.*: Zur Verletzungsmechanik der Halswirbelsäule. Dissertation TU Berlin 1974
- [36] *Melvin, J.W., Snyder, L.W., Olson, N.R.*: Response of Human Larynx to Blunt loading. 17th Stapp, 1973, S. 101-114
- [37] *Gadd, C.W., Culver, A.M., Nahum, A.M.*: A Study of Responses and Tolerances of the Neck. 15th Stapp, 1971, S. 256 - 268
- [38] *Sances, A., Myklebust, J., Cusick, J.F., Weber, R., Houterman, C.*: Experimental Studies of Brain and Neck Injury. 25th Stapp 1981, S. 149 - 194
- [39] *Colachis, S.C., Strohm, B.R.*: Cervical Traction: Relationship of Traction Time to Varied Tractive Force with Constant Angle of Pull. Arch. Phys. Med. Rehabil. 46, 1965
- [40] *McElhaney, J.H., Paver, J.G., McCraeklin, G.M., Maxwell, G.M.*: Cervical Spine Compression Responses, 27th Stapp 1983, S. 163 - 177
- [41] *Chang, R., Yang, K.H., Levine, A.J., Morgan, R.*: Injuries to the Cervical Spine by a Distributed Frontal Load to the Chest. 26th Stapp, 1982, S. 1 - 40
- [42] *Ziffer, D.*: Schadenslinie für die menschliche Halswirbelsäule. Zbl. Verkehrsmedizin 14, 1968, S. 241 - 245
- [43] *Lippert, H., Kurbjuhn, W.*: Metakarpalia und Grundphalangen im Schlagbruch- und Biegeversuch. Zeitschrift für Orthopädie 111, 1973, S. 69 - 78
- [44] *Burow, K., Kramer, M.*: Experimentelle Untersuchungen über die Art und Schwere von Frakturen am Brustkorb. 1st IRCOBI 1973, S. 387 - 397
- [45] *Gögler, E.*: Biomechanik. In: Handbuch der Verkehrsmedizin. Springer Verlag Berlin 1968, S. 461 - 470

- [46] L'Abbey, J.R., Dainty, D.A., Newman, J.A.: An experimental analysis of thoracic deflection response to belt loading. Conf. Proc. 7th IRCOBI 1982, S. 184 - 194
- [47] Nusholtz, G.S., Melvin, S.W., Mueller, G., MacKenzie, J.R., Burney, R.: Thoraco — Abdominal response and injury. 24th Stapp 1980, S. 187 - 228
- [48] Kroell, C.H., Schneider, D.C., Nahum, A.M.: Impact tolerance and response of the human thorax. 15th Stapp 1971, S. 84 - 134
- [49] TRRL — Human tolerances to impact. Leaflet LF 311 issue 2
- [50] Grattan, E., Clegg, N.G., Hobbs, J.A.: Chest injuries in unrestrained vehicle occupants who survived a road accident. RRL-Report 320/1970
- [51] Patrick, L.M., Mertz, H.J.: Human tolerances to impact: Human anatomy, impact injuries, and human tolerances. SAE P 29, SAE 700195, S. 90 - 103
- [52] Wall, J.G., Lowne, R.W.: Human injury tolerance level determination from accident data using the Opat-dummy. 5th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, London 1974
- [53] Cesari, D., Cavallero, C., Bil-lault, P., Bertommier, M., Farisse, J., Bonnoit, J., Seriat-Gaultier, B., Castera, B.: Analysis of pedestrian head kinematics based on an car-pedestrian test results. Conf. Proc. IRCOBI/AAAM 1985, S. 139 - 158
- [54] Gragg, C.D., Bendixen, C.D., Clarke, T.D., Kopfenstein, H.S., Sprouffs-ke, I.F.: Evaluation of the lap belt, air bag and air force restraint systems during impact with living human sled subjects. SAE 700904
- [55] Bourret, Gasin, Cavallero, C.: Etude statistique sur les accidents chez les enfants de 0 - 14 ans observes a l'hospital de salon-de-provence. Proceedings of biomechanics of trauma in children, 1974, S. 30-1 - 30-8
- [56] Patrick, L.M.: Impact force-deflection of the human thorax. 25th Stapp 1981, S. 471 - 496
- [57] Schmidt, G.: Versuchsdaten als Grundlage einer gerichtsmedizinischen Rekonstruktion von Verkehrsunfällen. Beiträge zur gerichtlichen Medizin 32, 1974
- [58] Stalnaker, R.L., McElhaney, J.H., Roberts, V.L., Trollope, M.L.: Human Torso Response to Blunt Trauma. Proc. Symposium on Human Impact Response, Warren, Michigan 1972, S. 181 - 199

- [59] *Lobdell, T.E., Kroell, C.K., Schneider, D.C., Hering, W.-E., Nahum, A.M.*: Impact Response of the Human Thorax. Proc. Symposium on Human Impact Response, Warren, Michigan 1972, S. 201 - 245
- [60] *Nahum, A.M., Gadd, C.W., Scheider, D.C., Kroell, C.K.*: Deflection of the Human Thorax Under Sternal Impact, 1970, Int. Automobile Safety conf. Compendium, Detroit 1970, S. 797 - 807
- [61] *Stalnaker, R.L., Melvin, J.W.*: Human tolerance to lower extremities impacts. Conf. Proc. IRCOBI 1976 S. 362 - 374
- [62] *Kroell, C.K., Schneider, D.C., Nahum, A.M.*: Comparative knee impact response of part 572 dummy and cadaver subjects. Conf. Proc. 20th Stapp 1976, S. 583 - 606
- [63] *Viano, D.C.*: Femoral impact response and fracture. Conf. Proc. 5th IRCOBI 1980
- [64] *Bunkertorp, O., Romanus, B.*: Clinical studies on leg injuries in car-pedestrian accidents. 9th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles 1982, S. 376 - 387
- [65] *Lippert, H., Laasko, U.K.*: Druckfestigkeit menschlicher Fußwurzelknochen. Zeitschrift für Orthopädie 110, 1972, S. 556 - 563
- [66] *Viano, D.C., Culver, C.C., Haut, R.C., Melvin, J.W., Bender, M., Culver, R.H., Levine, R.S.*: Bolster Impacts to the Knee and Tibia of Human Cadavers and an Anthropometric Dummy. Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
- [67] *Begeman, P.C., King, A.I., Levine, R.S., Viano, D.C.*: Biodynamik Response of the Musculoskeletal System to Impact Acceleration. Conf. Proc. 24th Stapp, 1988
- [68] *Patrick, L.M.*: Human Tolerance to Impact. SAE 650 171, 1970
- [69] *Nahum, A.M., Gadd, Ch.W., Schneider, D.C., Madeira, R.G.*: Tolerances of superficial soft tissue to injury. Journal of Trauma 1973, Vol. 12, S. 1044 - 1052
- [70] *Nahum, A.M., Schneider, D.C.*: Soft tissue injuries and injury tolerance levels. Conf. Proc. 1st IRCOBI 1973, S. 411 - 438
- [71] *Patrick, L.M., Kroell, Ch.K., Mertz, H.J.*: Forces on the human body in simulated crashes. Conf. Proc. 9th Stapp 1965, S. 237 - 259
- [72] StVZO § 35e, Abs. 5

[73] Mewes, D., Walter, J.: Sicherung von Quetschstellen an Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen durch Begrenzung der wirksamen Kräfte. Die BG, November 1993

[74] Walter, J.: Protokoll zu Messungen von Anpreßkräften beim Schnittandeuten an Papierschnidemaschinen. Unveröffentlichter Bericht, BG Druck und Papier, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit

[75] Walter, J.: Positionspapier zur Untersuchung von Grenzwerten für Quetschkräfte im Bereich der Berufsgenossenschaft Druck und Papier, 1995

[76] Mewes, D.: Sensorische Beurteilung von Kräften. Untersuchungsbericht

Nr. 9203640, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, 1992

[77] Saha, S., Hayes, W.C.: Tensile Impact Properties of Bone

[78] Barker, J.F.: Biastronautics Data Book

[79] Egkhor, E., Martinek, H., Wielke, B.: How to Increase the Stability of External Fixation Units. Mechanical Tests and Theoretical Studies.

[80] Niederschrift über die Sitzung des Fachausschusses „Bauliche Einrichtungen“, Sachgebiet „Fenster, Türen, Tore“ vom 25./26. November 1991