

## **Biomechanische Belastungsgrenzen**

Studie zur Unterstützung der Normungsarbeit im Bereich der kollaborierenden Roboter

## **Biomechanical thresholds**

A study to support standardization work on collaborative robots ("cobots")

## **Limites de contraintes biomécaniques**

Étude visant à aider le travail de normalisation dans le domaine des robots collaboratifs

## Impressum

Das Projekt „Kommission Arbeitsschutz und Normung“ wird finanziell durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) gefördert

Autoren der Studie:

Roland Behrens, Christoph Lerez, Dr. Norbert Elkmann  
*Fraunhofer IFF, Magdeburg*

Dr. Katja Jachau, Sarah Schmidt

*Institut für Rechtsmedizin IFR der Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg*

Herausgeber: Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit  
in Europa e.V. (VFA)

Redaktion: Corrado Mattiuzzo  
Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN)  
– Geschäftsstelle –  
Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin  
Telefon (02241) 231–3466  
Telefax (02241) 231–3464  
E-Mail: [info@kan.de](mailto:info@kan.de)  
Internet: [www.kan.de](http://www.kan.de)

Übersetzung: Mandy Williams-Wendl, Sandrine Monin

Veröffentlichung: Juni 2014

## Inhalt

<b>Zu dieser Studie</b> .....	<b>v</b>
<i>Hintergrund</i> .....	v
<i>Ziel der Studie</i> .....	vi
<b>About this report</b> .....	<b>viii</b>
<i>Background</i> .....	viii
<i>Objective of this study</i> .....	ix
<b>À ce propos</b> .....	<b>xi</b>
<i>Contexte</i> .....	xi
<i>Objectif de l'étude</i> .....	xii
<b>Zusammenfassung der KAN</b> .....	<b>xiv</b>
Analyse der vorhandenen Literatur .....	xiv
Kategorisierung „leichter“ Verletzungen .....	xiv
Strukturierung von biomechanischen Belastungsgrenzen .....	xv
<b>Summary by KAN</b> .....	<b>xvi</b>
Literature review .....	xvi
Categorisation of "minor" injuries .....	xvi
Structuring of biomechanical thresholds .....	xvii
<b>Résumé de la KAN</b> .....	<b>xviii</b>
Analyse de la littérature existante .....	xviii
Catégorisation des blessures « légères » .....	xviii
Structuration des limites de contraintes biomécaniques .....	xix
<b>Empfehlungen der KAN</b> .....	<b>xx</b>
<b>Recommendations from KAN</b> .....	<b>xxii</b>
<b>Recommandations de la KAN</b> .....	<b>xxiv</b>
<b>Abschlussbericht der Autoren</b> .....	<b>xxvi</b>



## Zu dieser Studie

Die Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) hat den Auftrag, die deutschen Arbeitsschutzinteressen in der nationalen, europäischen und internationalen Normung zu wahren und die Beteiligung der Sozialpartner an der Normung zu gewährleisten. Dabei verfolgt sie das Ziel, dass nicht nur die deutsche und europäische, sondern auch die internationale Normung den Arbeitsschutz bestmöglich berücksichtigt. Die KAN setzt sich aus je fünf Vertretern der Arbeitgeber, der Arbeitnehmer, des Staates, sowie aus je einem Vertreter der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) und des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. zusammen. Um arbeitsschutzrelevante Sachverhalte in der Normung zu analysieren und den Verbesserungsbedarf in der Normungsarbeit zu ermitteln, vergibt die KAN unter anderem Studien und Gutachten.

### *Hintergrund*

Bisher konnten Roboter nur Aufgaben im Automatikbetrieb übernehmen, die vollständig ohne Personeneinsatz möglich sind. Dies liegt daran, dass die bisher gültigen Arbeitsschutzvorschriften keinen Zugang von Personen in die Nähe von automatisch gesteuerten Robotern erlauben. Insbesondere Montageaufgaben ließen sich jedoch oft nicht automatisieren, weil einzelne Tätigkeiten nicht ohne die Hilfe von Menschen auskommen. Damit neuartige gemeinsame Arbeitsbereiche für Menschen und Roboter geschaffen werden können, müssen sichere Roboter eingesetzt werden, von deren Bewegungen auch ohne trennende Schutzeinrichtungen keine unmittelbaren Gefahren ausgehen. Ein wesentlicher Baustein dieser sicheren Roboter ist eine sichere Steuerung, die alle Bewegungen gezielt überwacht, indem sie die Bewegungen des Menschen erkennt und ihm ausweichen kann. Da ein direkter Kontakt zwischen Roboter und Person trotzdem möglich ist, bleibt im Gegensatz zu trennenden Schutzeinrichtungen ein geringes Risiko einer Kollision bestehen. Die Beanspruchungseffekte durch Kollision müssen daher so begrenzt werden, dass nur geringe, tolerable Verletzungsschweren auftreten können.

Das hat zur Folge, dass die Risikobeurteilung des Roboterherstellers den vorgesehenen betrieblichen Einsatz einschließen muss. Grundlage dieser Risikobewertung ist neben der Maschinenrichtlinie die EN ISO 10218:2011, Teil 1<sup>1</sup> und 2<sup>2</sup>. Diese Normen beinhalten zurzeit keine ausreichenden sicherheitstechnischen Anforderungen an eine Bewertung des Risikos einer Kollision, die durchaus häufiger auftreten

---

<sup>1</sup> „Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter“

<sup>2</sup> „Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 2: Robotersysteme und Integration“

kann. Die tolerablen Folgen einer Kollision könnten bei einer Risikobewertung im Gegensatz zu den bekannten reversiblen Folgen (Schadensparameter S1) und irreversiblen Folgen (S2) mit „S0“ klassifiziert werden.

Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) hat zusammen mit dem Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau<sup>3</sup> Empfehlungen erarbeitet, die technologische, medizinisch-biomechanische, ergonomische und arbeitsorganisatorische Anforderungen an Arbeitsplätze mit kollaborierenden Robotern beinhalten. Weiterhin enthalten die Empfehlungen orientierende Grenzwerte für die maximal erlaubten Verletzungsschweren. Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens des IFA sollen validiert und ggfs. optimiert werden, um dann in die harmonisierte Roboternorm EN ISO 10218-2 einfließen zu können.

Die skizzierte Problematik im Bereich der kollaborierenden Roboter hat eine große allgemeine Bedeutung für viele mechanische Mensch-Maschine-Schnittstellen. Die betroffenen Kreise der UVT sind daher sehr daran interessiert, neben den Erkenntnissen auf dem Gebiet der Roboterkollision auch Ergebnisse zu biomechanischen Belastungsgrenzen für die mechanische Risikobeurteilung allgemein zu bekommen. Bisher liegt hier nichts Vergleichbares, aus der Sicht des Arbeitsschutzes Bewertetes vor.

### *Ziel der Studie*

Die Studie soll als erster Schritt dazu dienen, den aktuellen Stand und weiteren Bedarf an Grundlagen zur mechanischen Risikobeurteilung zu erarbeiten. Dies soll im Hinblick auf die Einordnung von Verletzungsbefunden und biomechanischen Verletzungskriterien in Schadensschwerekategorien geschehen.

Auf den Ergebnissen dieser Studie aufbauende spätere Arbeiten sollen letztendlich helfen, Arbeitsschutzexperten und Herstellern eine Datenbasis bei konkreten Problemstellungen in Risikobewertungen und die Gewissheit zu geben, dass im Bereich des Arbeitsschutzes konforme Entscheidungen bei der mechanischen Risikobeurteilung getroffen werden.

Die im Folgenden benutzten Begriffe „Belastungsgrenze“ und „Verletzungskriterium“ sind als Synonyme zu betrachten.

---

<sup>3</sup> heute: Sachgebiet „Maschinen, Anlagen, Fertigungsautomation und -gestaltung“ des Fachbereichs „Holz und Metall“ der DGUV

Die KAN dankt den Autoren Roland Behrens, Christoph Lerez, Dr. Norbert Elkmann, Dr. Katja Jachau und Sarah Schmidt für die Durchführung der Studie und den folgenden Experten für die Begleitung und Unterstützung im Rahmen einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe:

Ulrich Bamberg	KAN-Geschäftsstelle - Arbeitnehmerbüro, Sankt Augustin
Dr. Michael Huelke	IFA, Sankt Augustin
Sebastian Lentz	DIN, Berlin
Corrado Mattiuzzo	KAN-Geschäftsstelle, Sankt Augustin
Eckhard Metze	KAN-Geschäftsstelle - Arbeitgeberbüro, Sankt Augustin
Hans-Jürgen Ottersbach	IFA, Sankt Augustin
Dr. Beate Schlutter	KAN-Geschäftsstelle, Sankt Augustin
Marc Schulze	BMAS, Bonn
Werner Sterk	KAN-Geschäftsstelle, Sankt Augustin
Dr. Uta Strehle	DGUV, München
Karl-Josef Thielen	KAN-Geschäftsstelle, Sankt Augustin
Dr. Matthias Umbreit	Fachausschuss Holz und Metall der DGUV, Mainz
Reinhard Walleter	Südwestmetall, Stuttgart
Dr. Sascha Wischniewski	BAuA, Dortmund

## About this report

The Commission for Occupational Health and Safety (KAN) has the mandate of safeguarding German occupational safety and health interests in national, European and international standardization activity, and of assuring the participation of the social partners in standardization. It therefore pursues the objective of ensuring that the best possible consideration is given to OSH issues in not only German and European but also international standardization. KAN comprises five representatives each from employers' organizations, employees' organizations and the state, and one representative each from the German Social Accident Insurance (DGUV) and the DIN German Institute for Standardization.

KAN analyses OSH-related issues in standards and scope for improvement in standardization work. One means by which this is achieved is the commissioning of studies and reports.

### *Background*

As current OSH regulations do not allow people in the proximity of automatically controlled robots, such robots can only be used for automated tasks that do not require any human involvement. However, certain tasks, especially on assembly lines, cannot be performed without human assistance, making automation impossible in many cases. New collaborative workspaces for humans and robots will require safe robots whose movements do not pose a direct hazard even if guards are not used. Reliable control systems that prevent the robot colliding with the worker by monitoring all of the movements that occur will be a key component in these safe robots. However, since there is still a possibility of direct contact between the robot and the person in such collaborative workspaces, there remains a small risk of collision that is absent when guards are used. Consequently, the biomechanical strains caused by a collision need to be limited to an extent that only permits low, acceptable levels of injury severity.

Given that need, robot manufacturers' risk assessments must also cover the intended use in the workplace. These risk assessments are based on the Machinery Directive and on EN ISO 10218:2011, Parts 1<sup>4</sup> and 2<sup>5</sup>. The current versions of these standards do not contain adequate requirements in relation to collision risk assessment - a risk that is not uncommon. Risk assessments could classify ac-

---

<sup>4</sup> "Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots"

<sup>5</sup> "Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration"

ceptable collision injuries as "S0" to distinguish them from the established categories of "S1" for reversible injuries and "S2" for irreversible injuries.

In a joint project, the DGUV Institute for Occupational Safety and Health (IFA) and the Expert Committee on Mechanical Engineering, Manufacturing Systems and Structural Steel Engineering<sup>6</sup> drew up recommendations for technological, medical, biomechanical, ergonomic and organisational requirements for workplaces with collaborative robots. The recommendations also include indicative injury severity thresholds. The findings of this IFA research project are to be validated and optimized as necessary before being incorporated into the harmonized robot standard, EN ISO 10218-2.

The issues outlined above are of major relevance in a whole range of mechanical human-machine interfaces. The stakeholders represented in the German social accident insurance institutions that deal with cobots are therefore extremely keen to obtain information not just about collisions with robots but also about biomechanical thresholds, which can be used in assessing mechanical risk. As yet, there are no research findings on this topic that have been evaluated for OSH purposes.

### *Objective of this study*

This study is intended to provide an initial review of the current situation and the need for additional criteria with which to assess mechanical risks. The objective is to classify injury diagnoses and biomechanical injury criteria in injury severity categories.

The findings of this study are to inform subsequent activities, which will ultimately serve to provide OSH experts and manufacturers with a pool of data to help them tackle risk assessment problems and ensure consistent decision-making in the area of mechanical risk assessment.

The terms "threshold" and "injury criterion" are used synonymously in the following.

---

<sup>6</sup> Now known as the "Machinery, plants, automation and design of manufacturing systems" sub-committee of the "Woodworking and metalworking" expert committee of the DGUV

KAN would like to thank the authors, Roland Behrens, Christoph Lerez, Dr Norbert Elkmann, Dr Katja Jachau and Sarah Schmidt, for their work on this study. Thanks also go to the following experts, who provided advice and support as part of the project working group:

Ulrich Bamberg	KAN Secretariat - Employees' Liaison Office, Sankt Augustin
Dr Michael Huelke	DGUV Institute for Occupational Safety and Health (IFA), Sankt Augustin
Sebastian Lentz	DIN, Berlin
Corrado Mattiuzzo	KAN Secretariat, Sankt Augustin
Eckhard Metze	KAN Secretariat - Employers' Liaison Office, Sankt Augustin
Hans-Jürgen Ottersbach	DGUV Institute for Occupational Safety and Health (IFA), Sankt Augustin
Dr Beate Schlutter	KAN Secretariat, Sankt Augustin
Marc Schulze	Federal Ministry of Labour and Social Affairs, Bonn
Werner Sterk	KAN Secretariat, Sankt Augustin
Dr Uta Strehle	DGUV, Munich
Karl-Josef Thielen	KAN Secretariat, Sankt Augustin
Dr Matthias Umbreit	Woodworking and metalworking expert committee of the DGUV, Mainz
Reinhard Walleter	Südwestmetall Employers' Association of the Metal and Electrical Industry, Stuttgart
Dr Sascha Wischniewski	Federal Institute of Occupational Safety and Health (BAuA), Dortmund

## À ce propos

La Commission pour la sécurité et la santé au travail et la normalisation (KAN) a pour mission de défendre les intérêts allemands en matière de sécurité et de santé au travail dans la normalisation nationale, européenne et internationale, et de garantir la participation des partenaires sociaux à la normalisation. Son objectif, dans ce contexte, est de veiller à ce que les enjeux de la prévention soient pris en compte le mieux possible dans la normalisation, non seulement allemande et européenne, mais aussi internationale. La KAN se compose de représentants des employeurs, des employés et de l'État (cinq membres chacun), ainsi que d'un représentant chacun de l'Assurance sociale allemande des accidents du travail et maladies professionnelles (DGUV) et de l'Institut allemand de normalisation (DIN). La KAN commissionne, entre autres, des études et expertises destinées à analyser les aspects de la normalisation ayant une incidence sur la sécurité et la santé au travail et à déterminer les améliorations nécessaires dans le travail de normalisation.

### *Contexte*

Jusqu'ici, les robots pouvaient effectuer uniquement des opérations automatisées sans aucune intervention humaine. Ceci est dû au fait que la législation relative à la sécurité au travail en vigueur jusqu'ici n'autorise pas les personnes à s'approcher de robots à commande automatique. Or, il arrive souvent que certaines opérations, en particulier d'assemblage, ne puissent pas être automatisées, mais nécessitent également l'intervention d'un opérateur. Pour pouvoir créer de nouvelles zones de travail communes pour l'homme et le robot, il faut utiliser des robots sûrs dont les mouvements ne présentent aucun risque direct, même sans protecteurs. L'un des composants fondamentaux de ces robots sûrs est un système de commande sûr qui en surveille tous les mouvements de manière ciblée en reconnaissant les mouvements des personnes pour pouvoir les éviter. Étant donné qu'un contact direct entre le robot et la personne reste tout de même possible, un faible risque de collision subsiste, contrairement aux protecteurs. Les effets des astreintes entraînées par une collision doivent être si limités que les seules blessures susceptibles de se produire seront bénignes et tolérables.

L'évaluation du risque devant être réalisée par le fabricant du robot doit donc prendre en compte l'utilisation prévue. Cette évaluation du risque repose sur la directive Machine, mais aussi sur la norme EN ISO 10218:2011, parties 1<sup>7</sup> et 2<sup>8</sup>. Ces normes

---

<sup>7</sup> « Robots et dispositifs robotiques – Exigences de sécurité pour les robots industriels – Partie 1: Robots »

n'évoquent actuellement pas d'exigences de sécurité suffisantes concernant une évaluation du risque d'une collision qui peut tout à fait avoir lieu plus fréquemment qu'on le croit. Les conséquences tolérables d'une collision pourraient être classifiées dans une évaluation du risque dans une catégorie « S0 », contrairement aux conséquences réversibles (paramètre de dommage S1) et aux conséquences irréversibles (S2) connues.

L'Institut pour la sécurité et la santé au travail de la DGUV (IFA) a élaboré en collaboration avec le comité technique Génie mécanique, systèmes de production, construction métallique<sup>9</sup> des recommandations contenant des exigences technologiques, médico-biomécaniques, ergonomiques et concernant l'organisation du travail sur les lieux de travail impliquant des robots collaboratifs. Ces recommandations établissent d'autre part des limites de tolérance indicatives pour les différents degrés de gravité des blessures maximaux autorisés. Les résultats de ce projet de recherche mené par l'IFA devront être validés et au besoin optimisés, afin de pouvoir les prendre en compte dans la norme harmonisée relative aux robots EN ISO 10218-2.

La problématique ébauchée dans le domaine des robots collaboratifs est d'une grande importance générale pour de nombreuses interfaces mécaniques homme-machine. Les organismes d'assurance accidents sociale concernés attendent donc avec grand intérêt de recevoir des conclusions en ce qui concerne la collision des robots, mais aussi d'une manière générale des résultats relatifs aux limites de contraintes biomécaniques pour l'évaluation du risque mécanique. On ne dispose jusqu'ici de rien de comparable évalué du point de vue de la prévention.

### *Objectif de l'étude*

L'étude avait pour objet de servir dans une première mesure à faire un état des lieux de la situation actuelle et des besoins supplémentaires en principes fondamentaux pour l'évaluation du risque mécanique. Ceci devait être fait en tenant compte du classement des diagnostics et des critères biomécaniques des blessures dans des catégories de gravité des dommages.

Se basant sur les résultats de cette étude, des travaux ultérieurs devraient en fin de compte aider à fournir aux préventeurs et aux fabricants une base de données

---

<sup>8</sup> « Robots et dispositifs robotiques – Exigences de sécurité pour les robots industriels – Partie 2: Systèmes robots et intégration »

<sup>9</sup> Actuellement : sous-section spécialisée « Machines, installations, automatisation et organisation de production » de la commission sectorielle « Bois et métal » de la DGUV

s'ils rencontrent des problèmes concrets lors de la réalisation d'évaluations du risque, et à leur donner l'assurance qu'ils prennent des décisions conformes dans le domaine de la prévention lorsqu'ils réalisent leur évaluation du risque mécanique.

Les termes « limite de contrainte » et « critère de blessure » doivent être considérés comme synonymes.

La KAN remercie les auteurs Roland Behrens, Christoph Lerez, Dr Norbert Elkmann, Dr Katja Jachau et Sarah Schmidt pour la réalisation de l'étude, et les experts suivants d'avoir fourni leur accompagnement et leur aide au sein d'un groupe de travail accompagnant le projet :

Ulrich Bamberg	Secrétariat de la KAN – bureau du salariat, Sankt Augustin
Dr Michael Huelke	Institut pour la sécurité et la santé au travail de la DGUV (IFA), Sankt Augustin
Sebastian Lentz	DIN, Berlin
Corrado Mattiuzzo	Secrétariat de la KAN, Sankt Augustin
Eckhard Metze	Secrétariat de la KAN – bureau du patronat, Sankt Augustin
Hans-Jürgen Ottersbach	Institut pour la sécurité et la santé au travail de la DGUV (IFA), Sankt Augustin
Dr Beate Schlutter	Secrétariat de la KAN, Sankt Augustin
Marc Schulze	Ministère fédéral du Travail et des Affaires sociales, Bonn
Werner Sterk	Secrétariat de la KAN, Sankt Augustin
Dr Uta Strehle	DGUV, Munich
Karl-Josef Thielen	Secrétariat de la KAN, Sankt Augustin
Dr Matthias Umbreit	Commission sectorielle « Bois et métal » de la DGUV, Mayence
Reinhard Walleter	Südwestmetall (fédération patronale du métal et de l'industrie électrique), Stuttgart
Dr Sascha Wischniewski	Institut Fédéral de la Sécurité et de la Santé au Travail (BAuA), Dortmund

## Zusammenfassung der KAN

### Analyse der vorhandenen Literatur

a) Für die Recherche wurden neben frei zugänglichen auch die kostenpflichtigen Datenbanken und –bestände (Informationsmittel) verwendet, die während der Studiendauer der Fraunhofer-Gesellschaft und der Bibliothek der Otto-von-Guericke-Universität zur Verfügung standen. Aus diesen (insgesamt über 7000) wurden 245 für die Zwecke der Studie erfolgversprechende Informationsmittel durchsucht. Dar- aus sind wiederum 1036 Titel in eine eigene Datenbank übernommen worden. Die- se Datenbank basiert auf der Software CITAVI, mit der Literatur und vergleichbare Medien strukturiert abgelegt und verwaltet werden können. Aufgrund der begrenz- ten Bearbeitungszeit konnten nicht alle Titel gesichtet werden. Vor der Exzerption wurde daher zunächst die Relevanz der Titel bewertet.

b) In der Reihenfolge dieser Relevanz sind dann insgesamt 407 Titel gesichtet wor- den. Davon wurden aus 100 Titeln konkrete Belastungs-Beanspruchungs-Relationen exzerpiert und in eine ACCESS-Datenbank übernommen. Diese exzerpierten Titel wurden technisch (Versuchsaufbau und messtechnische Herangehensweise) und medizinisch (medizinische Beschreibung und Untersuchung der Beanspruchung) bewertet. In der ACCESS-Datenbank wurden zu den 100 Titeln 560 Belastungs- Beanspruchungs-Relationen übernommen, denen 1587 gemessene Belastungswerte (messbare, physikalische Größen) zugeordnet sind. Über eine Exportfunktion kann zu jedem Titel aus dieser Datenbank ein Datenfaktenblatt erstellt werden, das alle Informationen zu den Belastungs-Beanspruchungs-Relationen enthält. Darüber hin- aus ist es möglich, weitere Titel in die Datenbank zu übernehmen.

c) Unter den 100 Titeln in der ACCESS-Datenbank haben lediglich 57 eine hohe Ar- beitsschutzrelevanz. Davon entstammen allein 20 Titel aus dem Bereich der Nor- mung bzw. Regelsetzung, das heißt, dass darin keine wissenschaftliche Begründung für die festgelegten Grenzwerte gegeben wird. Somit sind nur 37 von 407 gesichte- ten Titeln für die Beurteilung des derzeitigen wissenschaftlichen Forschungsstandes zur mechanischen Risikobeurteilung von kollaborierenden Robotern relevant. Dies zeigt, wie gering der Umfang an Forschungsarbeiten für nutzbare Grenzwerte in diesem Bereich ist.

### Kategorisierung „leichter“ Verletzungen

a) Viele der existierenden Skalen, Scores und Codierungen von Verletzungsschwe- ren beinhalten nicht den im Fokus der Studie liegenden Bereich der „leichten Ver- letzungen“. Zudem konnte nur bei wenigen Skalen, Scores und Codierungen festge- stellt werden, ob sie anerkannt und weit verbreitet sind. Im Verlauf der Studie wur-

den lediglich zwei Codierungssysteme identifiziert, die in mehreren der recherchierten Titel für die Einordnung von Verletzungen herangezogen wurden. Aufgrund der beachtenswerten Vollständigkeit und weltweiten Verbreitung eignet sich Teil XIX der internationalen statistischen Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, ICD) „Verletzungen, Vergiftungen und bestimmte andere Folgen äußerer Ursachen“ am besten für die Beschreibung von Verletzungsbildern im Arbeitsschutz.

b) Eine neue Schadensschwerekategorie S0 (anknüpfend an die in der Maschinensicherheit etablierten Kategorien S1 und S2) sollte als neuer Bereich unterhalb der bestehenden Kategorie S1 eingeführt werden. Sie sollte jedoch nur für bestimmte, eng eingegrenzte Anwendungsfälle herangezogen werden dürfen.

c) Zu der Verletzungsschwerekategorie S0 zählen ausschließlich oberflächliche Verletzungen, die auch ohne medizinische Behandlung *folgenlos* ausheilen. *Eine Durchdringung der Oberhaut ist **nicht** zulässig und daher von dieser Kategorie ausgenommen.* Zum Beispiel würde eine leichte Prellung am Unterarm ohne Verletzung der Oberhaut als S0 klassifiziert werden, wohingegen eine Schürfwunde am Handballen S1 sein würde. Eine konkrete Zuordnung der zugehörigen Verletzungen erfolgt auf Grundlage der ICD.

## Strukturierung von biomechanischen Belastungsgrenzen

a) Es ließ sich nur eine physikalische Größe bestimmen, die einen *alleinigen* Einfluss auf eine spezifische Beanspruchung hat: die Entstehung von Frakturen wurde in allen betreffenden Titeln einheitlich mit der Größe „Kraft“ bemessen. Es konnten jedoch keine physikalischen Größen benannt werden, mit denen sich biomechanische Belastungen *allgemein* und sinnvoll *für alle denkbaren* Beanspruchungen und Lokalisationen begrenzen lassen. Gerade für singuläre Belastungsereignisse wurde festgestellt, dass die ausschlaggebenden Belastungsgrößen und deren Kombinationen für zahlreiche Beanspruchungen nicht bekannt sind.

b) In der Regel können bis zu drei unterschiedliche Größen und Parameter die Entstehung und/oder Ausprägung einer Beanspruchung beeinflussen. Es wurde für die Strukturierung biomechanischer Belastungsgrößen eine Abbildung entwickelt, mit der sich bis zu drei Einflussgrößen grafisch darstellen lassen. Wie in einem Koordinatensystem kann damit anhand der wertemäßig vorliegenden Einflussgrößen und Parameter die zu erwartende Beanspruchung abgelesen werden.

## Summary by KAN

### Literature review

a) The literature review was carried out using the databases and information sources available to the Fraunhofer Society and the library of Otto-von-Guericke University during the study (both those that were free of charge and those for which a fee was payable). From these sources (totalling more than 7,000), 245 that were felt to be of interest for the study were analyzed, yielding a total of 1,036 literature sources, which were then stored in the study database. The database uses CITAVI, a software package for organising and managing literature and similar media. As time constraints made it impossible to review all of the literature sources, they were assessed for relevance prior to excerption.

b) A total of 407 literature sources were then reviewed in order of relevance. Stress-strain relationships were extracted from 100 of them and then incorporated into an ACCESS database. The excerpted sources were evaluated from a technical (experiment set-up and measuring method) and medical (medical description and examination of the strain) point of view. 560 stress-strain relationships, with 1,587 strain measurements (measurable, physical parameters), were incorporated from the 100 sources into the ACCESS database. Using the export function, fact sheets containing all of the data concerning the stress-strain relationships can be created for each of the sources in the database. It is also possible to add further literature sources to the database.

c) Of the 100 literature sources in the ACCESS database, only 57 are particularly relevant in terms of safety and health. Of those, a whole 20 are from the fields of standardization and regulation, i.e. they do not provide any scientific grounds for the defined thresholds. Consequently, only 37 of 407 reviewed literature sources are relevant when assessing the current state of research on mechanical risk assessment for cobots. These figures show how little research has been done to produce practical threshold values for this field.

### Categorisation of "minor" injuries

a) Many of the existing scales, scores and coding systems for injury severity do not cover minor injuries, which are the focus of this study. Moreover, it was only possible in just a few cases to determine the extent to which they are recognized and in widespread use. The study only identified two coding systems that several of the reviewed sources employed for injury classification. The system most suitable for describing injuries in the OSH field (due to its remarkably exhaustive nature and worldwide use) is that presented in Chapter XIX of the International Statistical

Classification of Diseases and Related Health Problems (ICD), which deals with "Injuries, poisoning and certain other consequences of external causes".

b) A new injury severity category, S0 (in line with the S1 and S2 categories that have become established in machinery safety), should be introduced as a new level, below S1. However, it should only be permitted for a specific set of narrowly defined cases.

c) The S0 injury severity category would only include superficial injuries that heal *completely* without any medical treatment. *Skin breakage would **not** be permitted and would therefore be excluded from this category.* For example, a minor contusion on the lower arm without any skin damage would be classified as S0 but a graze on the ball of the hand would be S1. Any injuries would be classified on the basis of the ICD.

## Structuring of biomechanical thresholds

a) The study only identified one physical parameter that was the *sole* parameter to influence a specific type of strain - "force", which all of the relevant literature sources used to measure fracturing. It proved impossible, however, to find any physical parameters for limiting biomechanical stresses that would be *generally applicable* and *practical for all conceivable* strains and localisations. In particular, it became clear that, in many cases, there was no information as to the (combinations of) factors that trigger one-off stress events.

b) Generally speaking, up to three different factors can influence the development and/or degree of a strain. A chart was developed to enable up to three factors to be visualised for the purpose of structuring biomechanical stresses. Much like a coordinates system, it can be used to derive the probable strain based on the known parameters and factors.

## Résumé de la KAN

### Analyse de la littérature existante

a) On a utilisé pour les recherches effectuées des bases et collections de données gratuites et payantes (supports d'information) disponibles pour toute la durée de l'étude auprès de la Société Fraunhofer et la bibliothèque de l'université Otto von Guericke. Parmi ces supports d'information (7 000 au total), 245 d'entre eux, très prometteurs pour l'étude, ont été étudiés. 1 036 ouvrages en ont été extraits et intégrés dans une base de données interne. Cette base de données a été créée à l'aide du logiciel CITAVI qui permet d'archiver et d'administrer des ouvrages littéraires et autres supports similaires de manière structurée. Le temps imparti à l'étude limité n'a pas permis de passer tous les ouvrages disponibles en revue. La pertinence de chaque ouvrage a donc d'abord été évaluée avant d'en tirer des extraits.

b) 407 ouvrages au total ont alors été passés en revue par ordre de pertinence. Sur ces 407 ouvrages, des relations contrainte-astreinte concrètes ont été extraites de 100 ouvrages et reprises dans une base de donnée ACCESS. Ces ouvrages extraits ont fait l'objet d'une évaluation technique (montage d'essai et approche de mesure) et médicale (description médicale et analyse de l'astreinte). Dans la base de données ACCESS, 560 relations contrainte-astreinte ont été intégrées par rapport à ces 100 ouvrages et 1 587 valeurs de contrainte mesurées y ont été assignées (grandeurs physiques mesurables). Une fonction d'exportation permet de générer pour chaque ouvrage contenu dans cette base de données une fiche d'informations reprenant toutes les informations relatives aux relations contrainte-astreinte. Il est de plus possible d'ajouter d'autres ouvrages à la base de données.

c) Parmi les 100 ouvrages contenus dans la base de données ACCESS, seuls 57 sont particulièrement pertinents pour la sécurité et santé au travail. 20 de ces ouvrages étaient à eux seuls issus du domaine de la normalisation et de la réglementation, ce qui signifie qu'ils ne contenaient aucune justification scientifique pour les limites de tolérance fixées. Ainsi, seuls 37 des 407 ouvrages passés en revue sont d'un quelconque intérêt pour évaluer la situation actuelle de la recherche scientifique en matière d'évaluation du risque mécanique des robots collaboratifs. Ceci montre à quel point on dispose de peu de travaux scientifiques fournissant des limites de tolérance exploitables dans ce domaine.

### Catégorisation des blessures « légères »

a) Beaucoup des échelles, indices et codifications existants pour classer la gravité des blessures ne comportent pas le domaine des « blessures légères » sur lequel

l'étude se concentre. De plus, il a pu être constaté que quelques-unes seulement de ces échelles, indices et codifications sont reconnus et largement répandus. Au cours de l'étude, seuls deux systèmes de codification ont pu être identifiés comme étant pris en compte pour catégoriser les blessures dans plusieurs des ouvrages passés en revue. En raison de sa remarquable exhaustivité et de son degré de diffusion dans le monde entier, le chapitre XIX de la classification statistique internationale des maladies et problèmes de santé connexes (CIM) intitulé « Lésions traumatiques, empoisonnements et certaines autres conséquences de causes externes » convient le mieux pour décrire les blessures dans le domaine de la prévention.

b) Une nouvelle catégorie de gravité des dommages S0 (se basant sur les catégories S1 et S2 établies dans le domaine de la sécurité des machines) devrait être introduite comme nouveau domaine après la catégorie S1 déjà existante. Elle ne doit néanmoins ne pouvoir être prise en compte que dans certains cas d'application particuliers très limités.

c) Les blessures appartenant à la catégorie de gravité des blessures S0 sont exclusivement les blessures superficielles qui peuvent guérir *sans conséquences* sans traitement médical. *L'épiderme ne doit pas être pénétré et tout type de blessure de ce genre sera donc exclu de cette catégorie.* Par exemple, une légère contusion à l'avant-bras sans lésion épidermique serait classée dans la catégorie S0, tandis qu'une écorchure de l'éminence thénar le serait dans la catégorie S1. Les blessures sont classées concrètement sur la base de la CIM.

## Structuration des limites de contraintes biomécaniques

a) Une seule grandeur physique ayant une influence *exclusive* sur une astreinte spécifique a pu être déterminée : l'apparition de fractures a été définie de manière uniforme dans tous les ouvrages en question à l'aide de la grandeur « Force ». Il a été néanmoins impossible de désigner une grandeur physique permettant de limiter les contraintes biomécaniques *de manière générale* et judicieuse *pour toutes les astreintes et localisations imaginables*. Pour les contraintes singulières en particulier, il a été constaté que les grandeurs de la contrainte déterminantes et leurs combinaisons restent inconnues pour de nombreuses astreintes.

b) D'une manière générale, jusqu'à trois grandeurs et paramètres différents peuvent influencer l'apparition et/ou l'intensité d'une astreinte. On a développé pour la structuration des grandeurs de contraintes biomécaniques une représentation qui permet de représenter graphiquement jusqu'à trois grandeurs d'influence. Comme dans un système de coordonnées, on peut ainsi y lire l'astreinte attendue à l'aide des valeurs connues des grandeurs d'influence et des paramètres.

## Empfehlungen der KAN

### *Die KAN beauftragt die KAN-Geschäftsstelle:*

- Die Ergebnisse als KAN-Studie zu veröffentlichen.
- Den KAN-Studie ins Englische zu übersetzen.
- Die Access-Datenbank zusammen mit einer leicht verständlichen Anleitung auf den Webseiten der KAN zugänglich zu machen.

### *Die KAN bittet das DIN:*

- Die Ergebnisse dieser Studie den betroffenen Normungsgremien zur Verfügung zu stellen.

### *Die KAN bittet die DGUV:*

- Die Forschung zu Belastungs- und Beanspruchungsmodellen für die Kategorien S0 und H weiterhin zu fördern.
- Für zukünftige Normungsprojekte die Anwendbarkeit der neuen Schadensschwerekategorien S0 und H zu prüfen. Dabei ist sicherzustellen, dass zu der Verletzungsschwerekategorie S0 ausschließlich oberflächliche Verletzungen zählen, die auch ohne medizinische Behandlung folgenlos ausheilen. Eine Durchdringung der Oberhaut ist nicht zulässig und daher von dieser Kategorie auszunehmen. Unterhalb von S0 könnte darüber hinaus ein Unbedenklichkeitsbereich H eingeführt werden. Der Übergang dieses Bereichs zum Bereich S0 wäre durch die Schmerzschwelle definiert. Damit wäre es möglich, Belastungsereignisse, die keinen Schmerz hervorrufen, für die Risikobewertung als unbedenklich einzustufen.
- Wenngleich Schmerzforschung erforderlich ist, um Schwellenwerte zu ermitteln, darf für die Einteilung und Abgrenzung von Schadensschwerekategorien in Normen jedoch nicht vom Schmerz als Kriterium ausgegangen werden. In Normen mit Produktanforderungen ist vielmehr die zulässige Kraft zu benennen, die auf den Menschen einwirken darf; für wissenschaftlich noch nicht abgesicherte Bereiche bedeutet dies, dass dementsprechend angemessene Sicherheitsabschläge anzugeben sind.

***Die KAN bittet die Bundesregierung:***

- Die Forschung zu Belastungs- und Beanspruchungsmodellen für die Kategorien S0 und H in bestehende Förderprogramme aufzunehmen wie z.B.:
  - Forschung für die Produktion von morgen (Fachprogramm)
  - IKT 2020 - Forschung für Innovationen (Fachprogramm)
  - IKT 2020 - Wissenschaftliche Vorprojekte zur Mensch-Technik-Interaktion für den demografischen Wandel
  - InnoProfile-Transfer Förderung von Forschungsgruppen und Verbundprojekten
- Bei der Vergabe neuer Forschungsprojekte in den genannten Programmen sicherzustellen, dass darin auch die Untersuchung von Sicherheitsaspekten aufgenommen wird.

***Die KAN bittet die Sozialpartner:***

- Die Ergebnisse dieser Studie in ihren Kreisen bekannt zu machen.

## Recommendations from KAN

### *KAN hereby instructs the KAN Secretariat:*

- to publish the findings in the form of a KAN Study;
- to translate the KAN Study into English; and
- to make the Access database accessible on the KAN website, along with easy-to-understand instructions on how to use it.

### *KAN requests that DIN*

- make the findings of this study available to the relevant standards committees.

### *KAN requests that DGUV*

- continue to provide support for research on stress and strain models for the S0 and H categories;
- on future standardization projects, check whether the new injury severity categories of S0 and H could be used. It must be ensured, however, that the S0 injury severity category only includes superficial injuries that heal completely without any medical treatment. Skin breakage is not permitted and must therefore be excluded from this category. A "harmless" level (H) could also be introduced, below the S0 level. The crossover point between these two levels would be defined on the basis of the pain threshold. This would enable those stress events that do not cause any pain to be classified as harmless for the purposes of risk assessment;
- although pain research does need to be carried out in order to determine thresholds, pain must not be used as a criterion when classifying and defining injury severity categories in standards. Instead, standards that contain product requirements should cite the permissible force that may be exerted on an individual. This means that appropriate safety margins need to be given for those areas for which there are no reliable research findings as yet.

### *KAN requests that the Federal Government*

- incorporate research on stress and strain models for the S0 and H categories into existing funding programmes, e.g.:
  - "Research for tomorrow's production" (specialized programme)
  - ICT 2020 - Research for innovation (specialized programme)
  - ICT 2020 - Preparatory research projects on human-technology interaction for demographic change

- InnoProfile-Transfer funding for research groups and joint projects; and
- ensure that any new research projects assigned within the above programmes also include an examination of safety aspects.

***KAN requests that the social partners***

- share the findings of this study within their networks.

## Recommandations de la KAN

### *La Secrétariat de la KAN est chargé par la KAN :*

- de publier les résultats dans une Étude KAN,
- de faire traduire l'Étude KAN en anglais,
- de donner accès à la base de données Access sur les sites Web de la KAN, accompagnée d'instructions faciles à comprendre.

### *La KAN demande au DIN :*

- de fournir les résultats de cette étude aux comités de normalisation concernés.

### *La KAN demande à la DGUV :*

- de continuer à promouvoir la recherche sur les modèles de contrainte et d'astreinte pour les catégories S0 et H.
- de vérifier l'applicabilité des nouvelles catégories de gravités des dommages S0 et H pour des projets de normalisation à venir. Il conviendra ici de vérifier que seules les lésions superficielles qui peuvent guérir sans conséquences sans traitement médical appartiennent à la catégorie de gravité des blessures S0. L'épiderme ne doit pas être pénétré et tout type de blessure de ce genre sera donc exclu de cette catégorie. Il serait d'autre part possible d'introduire une catégorie d'innocuité H qui suivrait la catégorie S0. Le passage de cette catégorie à la catégorie S0 pourrait dépendre du degré de la douleur. Il serait ainsi possible de considérer les contraintes ne provoquant aucune douleur comme étant sans risque pour l'évaluation du risque.
- Bien qu'il soit nécessaire de faire de la recherche sur la douleur pour pouvoir déterminer les valeurs de tolérances, on ne doit pas partir de la douleur comme critère pour définir et délimiter dans les normes les catégories de gravité des dommages. Dans les normes comportant des exigences relatives au produit, il faudra au contraire désigner la force maximale autorisée pouvant être appliquée sur les personnes, ce qui signifie pour les domaines pour lesquelles il n'existe pas encore de résultats de recherche validés qu'il faudra indiquer des marges de sécurité adéquates.

### *La KAN demande au gouvernement fédéral :*

- d'intégrer la recherche sur les modèles de contrainte et d'astreinte pour les catégories S0 et H dans des programmes de financement existants tels que :
  - Recherche pour la production de demain (programme spécialisé)

- IKT 2020 – Recherche pour les innovations (programme spécialisé)
- IKT 2020 – Projets scientifiques préliminaires sur l'interaction homme-technique pour le changement démographique
- InnoProfile-Transfer Promotion de groupes de recherche et de projets mixtes
- de s'assurer lors de l'attribution de nouveaux projets de recherche dans les programmes cités qu'ils intègrent également l'analyse des aspects de sécurité.

***La KAN demande aux partenaires sociaux :***

- de diffuser les résultats de cette étude dans leurs cercles.

## Abschlussbericht der Autoren

Die Studie „Biomechanische Belastungsgrenzen“ wurde Ende 2013 abgeschlossen. Die im Folgenden wiedergegebenen Ergebnisse der Auftragnehmer wurden gemeinsam mit *Zusammenfassung und Empfehlungen der KAN* am 25. März 2014 zur Veröffentlichung freigegeben.

***Hinweise für die Nutzung der [⇒Access-Datenbank](#), in der die im Rahmen der Studie gewonnenen Rechercheergebnisse im Detail abrufbar sind:***

Für die Nutzung der [⇒Access-Datenbank](#) sind Grundkenntnisse im Umgang mit Access und ein Windows-PC mit Microsoft Office ab der Version 2011 erforderlich. Das installierte Office-Paket muss das Programm Access enthalten. Andernfalls ist für gewöhnlich eine nachträgliche Installation möglich. Beim Öffnen der Datenbank erscheint direkt die Ansicht „Datenfaktenblatt“, die alle Informationen einer bestimmten Literaturstelle enthält, sodass andere Tabellen kaum benötigt werden dürften. Alle Tabellen und Formulare können aber über die linke Navigationsleiste der Datenbank erreicht werden. Zur Navigation in den Formularen und Unterformularen finden Sie Erläuterungen ab S. 66 des folgenden Berichts.

Falls Sie sich detaillierter mit den Ergebnissen der Literaturrecherche befassen möchten, jedoch **nicht eine Access-Datenbank nutzen**, können Sie die [⇒Datenfaktenblätter auch im pdf-Format](#) einsehen. Diese Datei enthält alle 100 Literaturexzerpte, sodass sie mit 495 Seiten entsprechend umfangreich ist. Dabei kann es sich beim Umfang eines Datenfaktenblatts für eine exzerpierte Fundstelle um über 20 Seiten (wie etwa bei den ersten beiden in der pdf-Datei befindlichen Fundstellen) oder auch nur um eine oder zwei Seiten handeln, das ist sehr unterschiedlich. Der Aufbau der Datenfaktenblätter ist auf S. 73 des folgenden Berichts beschrieben.

## KAN-Studie 52 „Recherche Biomechanischer Belastungsgrenzen“

Eine Studie der Kommission Arbeitsschutz und Normung KAN,  
bearbeitet durch das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -  
automatisierung IFF

Magdeburg, 18. November 2013

Letzte Änderung am 16. Dezember 2013

# Abschlussbericht

### **Fraunhofer IFF**

Roland Behrens  
Christoph Lerez  
Dr. Norbert Elkmann

### **Institut für Rechtsmedizin (IFR) der Otto-von-Guericke-Universität**

Dr. Katja Jachau  
Sarah Schmidt

## Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>6</b>
1.1 Einleitung	6
1.2 Vergleichbare Studien	7
1.3 Aufbau und Gliederung des Berichts	8
<b>2 Struktur und Inhalt der Studie</b>	<b>10</b>
2.1 Konsortium	10
2.1.1 Fraunhofer IFF – Geschäftsfeld Robotersysteme	10
2.1.2 Otto-von-Guericke-Universitätsklinik Magdeburg – Institut für Rechtsmedizin	11
2.2 Laufzeit und Projektbegleitung	11
2.3 Aufgaben	12
2.3.1 Pflichtaufgaben	12
2.3.2 Nebenaufgaben	13
2.3.3 Arbeitspakete und Ergebnisobjekte	14
<b>3 Durchführung der Quellenrecherche und -exzerption</b>	<b>15</b>
3.1 Recherche relevanter Informationsmittel	15
3.1.1 Eingrenzung der Informationsmittel	15
3.1.2 Wahl der Informationsmittel	17
3.2 Literaturrecherche	18
3.2.1 Kernsuchbegriff	18
3.2.2 Kriterien zur Eingrenzung der Ergebnismenge	19
3.2.3 Suchinstrumente	20
3.2.4 Suchdurchlauf	22
3.2.5 Übernahme der Suchergebnisse	25
3.2.6 Vervollständigung der Suchergebnisse	25
3.3 Sichtung und Exzerption des Rechercheergebnisses	26
3.3.1 Kriterien für die Exzerption eines Titels	26
3.3.2 Strukturierung der Exzerpte	27
3.3.3 Dokumentation der Exzerpte	27
3.3.4 Bewertung der exzerptierten Titel	29
<b>4 Gesamtergebnis der Studie</b>	<b>31</b>
4.1 Ergebnis in Zahlen	31
4.2 Überblicksgebende Erläuterungen zu den relevanten Ergebnisquellen	35
4.2.1 Wissenschaftliche Publikationen	35

4.2.2	Normung und Regelsetzung	37
4.2.3	Portale	39
4.2.4	Sekundärquellen	40
4.3	Verletzungsschwereskalen und Verletzungscodierungen	40
4.3.1	Verletzungsschwereskalen	41
4.3.2	Scores	42
4.3.3	Verletzungscodierungen	43
4.4	Vorschlag über die Definition für die neue Schadensschwerekategorie So	43
4.4.1	Definitionsvorschlag	44
4.4.2	Hinweise zum Definitionsvorschlag	44
4.4.3	Einordnung	44
4.5	Vorschlag über die Strukturierung von Belastungsgrenzen im modernen Arbeitsschutz	45
4.6	Diskussion	49
4.7	Ergänzende Anmerkungen	50
4.7.1	Verwendung von Leichen in Belastungsversuchen	50
4.7.2	Weiterentwicklung der ICD	50
4.7.3	Begrifflichkeiten aus der Rechtsmedizin	50
4.7.4	Förderprogramme der Bundesregierung	51
4.7.5	Einsehen der CITAVI-Datenbank	51
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>56</b>
7.1	Suchbegriffsverzeichnis	56
7.2	Umgang mit der ACCESS-Datenbank	60
7.2.1	Systemvoraussetzungen	60
7.2.2	Aufbau der ACCESS-Datenbank	60
7.2.3	Verknüpfung von Frontend und Backend	60
7.2.4	Relevante Elemente im Frontend	61
7.2.5	Eintragung neuer Daten	63
7.2.6	Nachtagungen von Auswahldaten (Listendaten)	69
7.2.7	Export der Ergebnisse (Datenfaktenblätter)	71
7.2.8	Aufbau der Datenfaktenblätter	72
7.3	Zuordnung der ICD-10-Codierungen zu den akzeptablen Verletzungen aus dem Definitionsvorschlag So	73
7.4	Glossar	76

## Abbildungsverzeichnis

Ausschlussmenge	21
Vereinigungsmengen	21
Schnittmenge	21
Ergebnismenge	22
Ablaufdiagramm eines Suchdurchlaufs	24
Verknüpfung der Elemente eines experimentellen Versuchs	27
Eingabemaske der ACCESS-Datenbank zur Übernahme exzerpierter Daten	28
Bewertungsverteilung der recherchierten Titel	31
Status der recherchierten Titel nach Sichtung	32
Aufteilung nach Themengebieten der gesichteten Titel	33
Aufteilung nach Themengebieten der Titel in der ACCESS-Datenbank	33
Bewertungsverteilung der Titel in der ACCESS-Datenbank (endgültiges Gesamtergebnis)	34
Verletzungen, die durch die Minor Injury Severity Scale kategorisiert werden	42
Einordnung der Schadensschwerekategorie So und des Unbedenklichkeitsbereichs H in die Strukturierung bestehender Kategorien	45
Beispielhafte Darstellung der Belastungs-Beanspruchungs-Relation für drei Einflussgrößen (am Beispiel für Prellungen)	48
Beispielhafte Darstellung der Belastungs-Beanspruchungs-Relation für zwei Einflussgrößen (am Beispiel für Schmerzschwellen)	48
Beispielhafte Darstellung der Belastungs-Beanspruchungs-Relation für eine Belastungsgröße (am Beispiel für Quetschkräfte in Zusammenhang mit automatisch schließenden Türen)	49
Menüpunkt <Externe Daten>	61
<Verknüpfungs-Manager>	61
Navigationsleiste mit allen relevanten Elementen	62
Relevante Elemente im Frontend	63
Tabelle <Literatur> (der Titel mit der ID 36 hat die Datensatznummer 25)	64
Verknüpfung der Elemente eines experimentellen Versuchs	65
Navigation in den Unterformularen / Formularen	65
Unterformular <Literatur>	66
Unterformular <Testobjekte>	67
Unterformular <Lokalisation>	68
Unterformular <Belastungsereignis>	69
Unterformular <Beanspruchungsereignis>	69
Formular <Nachtragungen>	71
Erstellen der Datenfaktenblätter	71
Speichern der Datenfaktenblätter als PDF-Dokument	72

## Tabellenverzeichnis

Arbeitspakete und die Zuordnung der Aufgaben	14
Eingrenzung der Datenbanken bzgl. des Fachbereichs (nach DBIS)	16
Eingrenzung der Datenbanken bzgl. Ihres Typs (nach DBIS)	16
Allgemeine Eingrenzung der Datenbanken	17
Besondere Textelemente, die für die Suche innerhalb der Datenbanken indiziert waren	18
Verwendete Kernsuchbegriffe	19
Zusätzliche Möglichkeiten zur Eingrenzung der Ergebnistreffer durch die Verwendung von Suchfiltern	20
Struktur des Suchbegriffsverzeichnisses	20
Suchbefehle (* bei diesen Datenbanken war die Unterstützung dokumentiert, die tatsächliche Anzahl lag höher)	22
Fünfstufige Bewertung der Suchertreffer	25
In Betracht gezogene Belastungsarten	26
Kriterien für die technische Bewertung eines experimentellen Versuchs	30
Kriterien für die medizinische Bewertung eines experimentellen Versuchs	30
Abschließende Bewertung der übernommenen Titel hinsichtlich ihrer Relevanz für die Studie	34
Liste übernommener Normen	39
Kernsuchbegriff 1 „Verletzung“	57
Kernsuchbegriff 2 „Kraft“	57
Kernsuchbegriff 3 „Grenzwert“	58
Kernsuchbegriff 4 „Biomechanik“	58
Kernsuchbegriff 5 „Unfall“	58
Kernsuchbegriff 6 „Kontakt“	59
Ausschlussbegriffe	60

## 1 Einführung

Die KAN-Studie 52 „Biomechanische Belastungsgrenzen“ wurde speziell für die Unterstützung der Normungsarbeit im Bereich kollaborierende Roboter initiiert. Der erste Abschnitt dieses Kapitels gibt eine kleine Einführung über die aktuelle Situation und Normungsarbeit im Bereich kollaborierender Roboter. Der darauf folgende Abschnitt gibt eine Übersicht über abgeschlossene Studien, die der KAN-Studie 52 sehr ähnlich sind. Die Gliederung des vorliegenden Abschlussberichts wird im letzten Abschnitt vorgestellt.

### 1.1 Einleitung

Klassische Roboter in der industriellen Produktion überzeugen seit langem durch schnelle und hochgenaue Wiederholung von monotonen und immer wiederkehrenden Tätigkeiten. Für zukünftige Anwendungen soll dieses ausgeprägte Leistungsvermögen mit der Flexibilität, Feinmotorik und Intelligenz des Menschen vereint werden, wodurch sich unterschiedliche Vorteile und neue Möglichkeiten ergeben. So erlaubt bspw. die physische Interaktion zwischen Mensch und Roboter eine effizient Realisierung von Prozessen bei der Herstellung von Produkten mit stetig zunehmender Variantenvielfalt. Darüber hinaus ist die Mensch-Roboter-Interaktion ein geeignetes Mittel, um den Menschen zu entlasten.

Bisher verbieten die aktuell gültigen Arbeitsschutzvorschriften einen Zugang von Personen zu automatisch gesteuerten Mehrachsmaschinen wie Robotern oder schränken ihn sehr stark ein. Durch neue Sensor- und Steuerungstechnologien wird es jedoch zukünftig möglich sein, dass Roboter ihre Umgebung überwachen und auf Änderungen selbständig reagieren. Die Bewegungen eines Menschen ließen sich so innerhalb eines gemeinsam genutzten Arbeitsraums erkennen und auswerten, um z.B. bei festgestellter Kollisionsgefahr entsprechende Ausweich- oder Bremsbewegungen einzuleiten. Allerdings ist für viele Anwendungen der direkte Kontakt zwischen beiden Partnern notwendig, sodass nicht unterschieden werden kann, ob es sich um einen gewollten oder ungewollten Kontakt handelt. Somit bleibt ein ernsthaftes Risiko vor gefährlichen Kontaktfällen (Kollision, Quetschung, etc.) bestehen, die mit ernsthaften Verletzungsfolgen für den Menschen einhergehen können. Aus diesem Grund muss die biomechanische Belastung des Menschen bei einem ungewollten Kontakt mit einem kollaborierenden Roboter auf ein akzeptables Beanspruchungsmaß beschränkt werden.

Aktuell wird zu diesem Zweck die relevante Norm DIN EN ISO 10218 [1] [2] überarbeitet. Das Ziel der Überarbeitung sind klare Vorgaben für die Risikobewertung von kollaborierenden Arbeitsplätzen. Bisher beinhaltet die genannte Norm keine ausreichenden sicherheitstechnischen Anforderungen für die Bewertung der Risiken einer Kollision. Von der Unfallversicherung und den Berufsgenossenschaften wird gefordert, dass die Klassifikation noch tolerabler Verletzungen sich deutlich von der Verletzungsschwere mit reversiblen (S<sub>1</sub>) und irreversiblen Folgen (S<sub>2</sub>) abgrenzen muss.

Die skizzierte Problematik im Bereich kollaborierender Roboter hat auch eine hohe Relevanz für andere Bereiche mit mechanischen Mensch-Maschine-Schnittstellen. Bisher liegt aus der Sicht des Arbeitsschutzes zu biomechanischen Belastungsgrenzen nichts Verwertbares vor. Im Zuge der KAN-Studie 52 „Biomechanische Belastungsgrenzen“ sollen der aktuelle Stand und der weitere Bedarf an Grundlagen zu biomechanischen Belastungsgrenzen für die Risikobeurteilung von Arbeitsplätzen mit mechanischen Mensch-Maschine-Schnittstellen erarbeitet werden.

## 1.2 Vergleichbare Studien

Während der Recherche wurden Berichte zu drei Studien gefunden, die einen vergleichbaren thematischen Hintergrund wie die KAN-Studie 52 hatten:

**HSE Research Report RR906 – Collision and injury criteria when working with collaborative robots** – Diese Studie wurde vom britischen HSE (Health and Safety Executive) durchgeführt und hatte den gleichen thematischen Hintergrund wie die KAN-Studie 52. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden biomechanische Belastungsgrenzen zusammengetragen, die sich für den Arbeitsschutz im Bereich kollaborierender Roboter anwenden lassen. Die Studie legte den Fokus sehr stark auf die Inhalte der zukünftigen ISO/TS 15066, die zur Zeit der KAN-Studie 52 (Ende 2013) als Ergänzung der DIN EN ISO 10218-2 [2] erarbeitet wurde. Durch die Studie des HSE sollte die Frage beantwortet werden, ob die Ansätze in der ISO/TS 15066 für den Schutz des Menschen vor mechanischen Belastungen infolge einer Kollision mit einem Roboter ausreichend und realistisch sind. Es wurden mehr als 200 Literaturquellen über die Verletzungs- und Schmerztoleranz des Menschen im Zusammenhang mit mechanischen Belastungen gesichtet. Erwähnenswert ist, dass ein Großteil der verwendeten Literaturquellen zum Zeitpunkt der HSE-Studie für die Erarbeitung eines normativen Standards über Schutzkleidung (CEN/TC 162) verwendet wurde. Der Abschlussbericht dieser Studie bietet zahlreiche Informationen zum Thema „Biomechanische Belastungsgrenzen“ und ist somit eine exzellente Ergänzung zu den Ergebnissen aus der KAN-Studie [3].

**NATO – Test methodology for protection of vehicle occupants against anti-vehicular landmine effects** – Vom Verteidigungsbündnis NATO wurden in einer Studie biomechanische Belastungsgrenzen zusammengetragen, mit denen die Beanspruchung von Insassen eines Kraftfahrzeugs bei der Detonation einer Fahrzeugmine bemessen werden können. Weiterhin wurden Grenzwerte für bestimmte Belastungsgrößen abgeleitet, deren Wirkung auf unterschiedliche Körperbereiche zu nicht-tödlichen Verletzungen führen [4].

**The University of Michigan, Transportation Research Institute, Review of biomechanical impact response and injury in the automotive environment** – In dieser Studie wurden die Forschungsergebnisse aus biomechanischen Belastungsversuchen zusammengetragen, deren Ergebnisse bis Ende 1984 veröffentlicht waren. Die Belastungsgrößen werden im zugehörigen Abschlussbericht nach den folgenden Körperregionen unterteilt: Kopf, Wirbelsäule, Thorax, Unterleib, Becken und untere Extremitäten. Jedes Kapitel adressiert eine dieser Körperregionen und informiert neben der Anatomie auch über klinische Verletzungsbilder sowie Ergebnisse aus experimentellen Studien zu biomechanischen Belastungen. Es ist zu beachten, dass der Fokus in dieser Studie ausschließlich auf singuläre Belastungen im Zusammenhang mit Autounfällen lag [5].

Zu den drei Studien existiert jeweils ein Abschlussbericht, der im Internet abgerufen werden kann.

### 1.3 Aufbau und Gliederung des Berichts

Der vorliegende Abschlussbericht über die KAN-Studie 52 gliedert sich wie folgt:

**Kapitel 2: Struktur und Inhalt der Studie** – In diesem Kapitel finden sich alle Informationen über die Organisation der Studie. Dies beinhaltet den zeitlichen Verlauf, die Vorstellung der Projektpartner, eine Definition der vereinbarten Haupt- und Nebenaufgaben, sowie deren Untergliederung in Arbeitspakete und die Aufgabenverteilung unter den Projektpartnern.

**Kapitel 3: Durchführung der Quellenrecherche und -exzerption** – Dieses Kapitel beinhaltet das genaue Vorgehen während der Studie und untergliedert sich in drei Abschnitte. Der erste Abschnitt beschreibt die Vorbereitung der Recherche. Im zweiten Abschnitt ist die Auswahl und Anwendung der benötigten Werkzeuge für die Literaturrecherche beschrieben. Im letzten Abschnitt finden sich Informationen über die Exzerption der recherchierten Titel und dessen Dokumentation.

**Kapitel 4: Gesamtergebnis der Studie** – Dieses Kapitel gibt die erzielten Ergebnisse der Studie wider. Zunächst wird das Resultat der Recherche in Zahlen

vorgelegt. Ergänzend dazu erfolgt eine Beschreibung der wichtigsten Erkenntnisse bei der Recherche in den einzelnen Fachbereichen und Informationsmitteln. Außerdem werden die Ergebnisse aus den Haupt- und Nebenaufgabe der Studie vorgestellt.

In Kapitel 5 wird der Inhalt des Abschlussberichts zusammengefasst. Das Literaturverzeichnis befindet sich in Kapitel 6. Ergänzende Inhalte zu den erarbeiteten Ergebnissen sind im Anhang zusammengestellt.

## 2 Struktur und Inhalt der Studie

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Struktur und den Inhalt der KAN-Studie. Es werden die Projektpartner vorgestellt, die vereinbarten Aufgaben genannt und deren Aufteilung erläutert.

### 2.1 Konsortium

Die KAN-Studie 52 „Biomechanische Belastungsgrenzen“ wurde durch das Fraunhofer IFF und dem Institut für Rechtsmedizin der Otto-von-Guericke-Universität bearbeitet. Nachfolgend werden beide Institute kurz vorgestellt.

#### 2.1.1 Fraunhofer IFF – Geschäftsfeld Robotersysteme

Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Magdeburg ist eine eigenständige, dezentrale wissenschaftliche Einrichtung im Netzwerk der Fraunhofer-Gesellschaft. Es ist Partner regionaler, nationaler und internationaler Unternehmen sowie staatlicher und kommunaler Institutionen. Seine Aufgabe ist es, mit anwendungsorientierter Forschung zum unmittelbaren Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft beizutragen. Das Fraunhofer IFF ist weltweit tätig und arbeitet marktorientiert. Sein Anspruch ist die Entwicklung ganzheitlicher Lösungen. Dafür kann es auf ein internationales Forschungsnetzwerk von Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft zurückgreifen.

Das Geschäftsfeld Robotersysteme des Fraunhofer IFF entwickelt im Auftrag der Industrie sowie im Rahmen öffentlich geförderter Forschungsprojekte neue Schlüsselkomponenten und Technologien für zukünftige Roboteranwendungen sowie komplette Robotersysteme. Die Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte des Geschäftsfelds Robotersysteme liegen auf folgenden Themen:

- Sichere Mensch-Roboter-Interaktion
- Assistenzrobotik
- Serviceroboter für Inspektion, Reinigung und Wartung
- Robotik in der Produktion und in den Life-Sciences (Labore, etc.)

Am Fraunhofer IFF werden seit 2010 die physikalischen und biomechanischen Eigenschaften von Mensch-Roboter-Kollisionen umfassend untersucht, um Grundlagen über die Risiken und Grenzen für Arbeitsplätze mit Mensch-Roboter-Interaktion abzuleiten. Im Vordergrund steht aktuell die Erfassung der zulässigen

Belastungsgrößen bei einer Kollision zwischen Mensch und Roboter für die unterschiedlichsten Stoßfälle und Körperbereiche. Auf Grundlage der gewonnenen Untersuchungsergebnisse werden funktionelle und gestalterische Anforderungen für die Entwicklung neuer Sicherheitstechnologien definiert, umgesetzt und evaluiert. Diese Technologien umfassen u.a. die Entwicklung taktiler Sensoren, sichere Manipulator-Konzepte sowie Steuerungskonzepte für sichere Brems- oder Reaktionsverhalten von Robotern im Kollisionsfall.

### **2.1.2 Otto-von-Guericke-Universitätsklinik Magdeburg – Institut für Rechtsmedizin**

Die Otto-von-Guericke-Universität wurde 1993 durch den Zusammenschluss der Technischen Universität, der Pädagogischen Hochschule und Medizinischen Akademie Magdeburg gegründet und ist neben der Martin-Luther-Universität Halle die zweite Universität im Land Sachsen-Anhalt. Die Medizinische Akademie Magdeburg wurde im 1954 von Prof. Dr. med. habil. Hasso Essbach gegründet, welcher als Pathologe tätig war. Die rechtsmedizinischen Obduktionen wurden zunächst innerhalb des Institutes für Pathologie durchgeführt.

Im Jahre 1974 wurde die Gerichtliche Medizin dann ein eigenständiges Institut welches bis heute besteht. Neben der Lehre zählen heute folgende Aktivitäten zum Leistungsumfang des Instituts:

- Forensische Medizin
- Forensische Odontostomatologie
- Forensische Genetik
- Klinische Toxikologie und Alkohologie

Im Rahmen der forensischen Medizin kann das Institut der Rechtsmedizin in seiner langjährigen Tätigkeit auf umfassende Erfahrungen im Bereich stumpfer, mittelscharfer und scharfer Verletzungen an verstorbenen und lebenden Menschen zurückblicken.

## **2.2 Laufzeit und Projektbegleitung**

Die Studie wurde im Zeitraum von November 2012 bis Dezember 2013 bearbeitet. In diesem Zeitraum wurde die Studie von einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe (PBA) begleitet, die sich aus Vertretern der folgenden Einrichtungen zusammensetzte:

- Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN)
- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
- Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.

- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS)
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)
- Fachbereich Holz und Metall der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGHM)
- Südwestmetall
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)

Insgesamt gab es drei Projekttreffen mit der KAN und der PBA, bei denen ausgewählte Zwischenergebnisse vorgestellt und diskutiert wurden. Weiterhin wurden im Rahmen dieser Treffen zusätzliche Nebenaufgaben vereinbart, die die Hauptaufgaben der Studie sinnvoll ergänzten. Eine Zusammenstellung aller Nebenaufgaben befindet sich in Abschnitt 2.3.

## 2.3 Aufgaben

Die Leistungsbeschreibung der Studie beinhaltete mehrere Pflichtaufgaben, aus denen für die Projektorganisation verschiedene Arbeitspakete abgeleitet wurden. Neben den Pflichtaufgaben wurden durch die PBA in Abstimmung mit dem Konsortium weitere Aufgaben definiert, die das Gesamtergebnis der Studie sinnvoll ergänzten.

### 2.3.1 Pflichtaufgaben

Insgesamt waren im Rahmen der Studie zwei Aufgabenbereiche zu bearbeiten:

- 1) Rechercheaufgaben
- 2) Erarbeitung von Vorschlägen, wie biomechanische Belastungsgrenzen sinnvoll abgestuft und strukturiert werden können.

Der erste Aufgabenbereich der Studie beinhaltete insgesamt vier Teilaufgaben, welche im Rahmen einer Literaturrecherche zu bearbeiten waren. Die folgenden Inhalte galt es zu recherchieren:

- a) Biomechanische Belastungsgrenzen in der gesamten Regelsetzung
- b) Biomechanische Verletzungskriterien anderer Arbeitsbereiche
- c) Medizinische und biomechanische Verletzungskriterien mit denen sich die Schadensschwerekategorie „unverletzt“ (So) und die aus dem Maschinenschutz bekannten Kategorien S1 und S2 besser spezifizieren lassen
- d) Angewandte Verletzungsschwereskalen und Verletzungscodierungen, mit denen sich die Schadensschwerekategorien einordnen lassen

Da sich die Teilaufgaben a) bis c) thematisch und inhaltlich überschneiden, wurden sie für die Recherchearbeiten zu einer zentralen Fragestellung zusammengefasst:

1) *Recherche von biomechanischen Belastungsgrößen*

Welche biomechanischen Belastungsgrößen und -grenzen wurden bisher im Arbeitsschutz und anderen Anwendungs- oder Fachbereichen thematisiert und ggf. verwendet, die in ihrer Schwere den Schadensschwerekategorien S1 und S2 untergeordnet werden können?

In der Teilaufgabe d) lag der Fokus auf die Recherche von Verletzungsskalen und -codierungen, wodurch sich diese Teilaufgabe formal von den anderen unterscheidet. Die Fragestellung, die der Aufgabe zugrunde gelegt wurde, war:

2) *Recherche von Verletzungsschwereskalen und -codierungen*

Welche angewandten Verletzungsskalen und -codierungen gibt es, mit denen sich die Schadensschwerekategorien So bis S2 spezifizieren lassen?

Die Ergebnisse zu diesem Aufgabenbereich werden in den Abschnitten 4.2 und 4.3 überblicksweise vorgestellt. Ein genauerer Einblick in die Ergebnisse, ist über eine ACCESS-Datenbank möglich, in der alle Titel mit relevanten Belastungs-Beanspruchungs-Relationen eingefügt wurden. Weitere Informationen zu dieser Datenbank sind in den Abschnitten 3.2.5 und 7.2 zu finden.

Bei der Bearbeitung des zweiten Aufgabenbereichs wurden Vorschläge entwickelt, wie die neue Schadensschwerekategorie So definiert werden kann und wie sich biomechanischen Belastungsgrenzen für den zukünftigen Arbeitsschutz strukturieren lassen. Die Ergebnisse werden in Abschnitt 4.5 erläutert.

### 2.3.2 Nebenaufgaben

Die folgende Auflistung fasst die, durch die PBA vereinbarten, Nebenaufgaben zusammen.

- Anlegen eines Glossars mit den verwendeten Fachbegriffen (siehe Abschnitt 7.4)
- Abgrenzung recherchierter Verletzungsschwereskalen (siehe Abschnitt 4.3)
- Dokumentation, wie die recherchierten Belastungsgrößen mit welchen Messverfahren gemessen wurden (siehe Abschnitt 4.2.1).

### 2.3.3 Arbeitspakete und Ergebnisobjekte

In Tabelle 1 sind die Arbeitspakete zusammengestellt, die während der Studie bearbeitet wurden. Die dritte Spalte der Tabelle gibt die Nummer der Aufgabe an, der das jeweilige Arbeitspaket zugeordnet ist. Wie die Arbeitspakete innerhalb des Konsortiums aufgeteilt wurden, ist in den letzten beiden Spalten angegeben. Die Aufteilung der Arbeit erfolgte gemäß der Kompetenz der beiden Projektpartner Fraunhofer IFF und Institut für Rechtsmedizin (IFR).

AP	Bezeichnung	Aufgabe	IFF	IFR
1	Recherche Regelsetzung	1.a	x	
2	Recherche anderer Anwendungsbereiche	1.b	x	x
3	Verdichtung der Ergebnisse		x	x
4	Kategorisierung So	1.c	x	x
5	Recherche angewandter Verletzungsskalen	1.d	x	x
6	Strukturierung der Belastungsgrenzen	2	x	
7	Dokumentation		x	
8	Projektleitung		x	

Tabelle 1 Arbeitspakete und die Zuordnung der Aufgaben

Während der Studie wurden unterschiedliche Ergebnisse erarbeitet, die der KAN nach Abschluss der Studie übergeben wurden. Dabei handelt es sich um folgende Ergebnisobjekte:

- Konzeptpapier über die Durchführung einer Literaturrecherche
- Liste mit allen durchsuchten Datenbanken
- Suchbegriffsverzeichnis
- Suchdokumentationen
- CITAVI-Datenbank mit allen übernommenen Titeln (relevante Ergebnistreffer)
- ACCESS-Datenbank mit allen Belastungsgrößen, die aus relevanten Titeln exzerpiert wurden
- Datenfaktenblätter zu allen relevanten Titeln im PDF-Format
- Abschlussbericht, enthält u.a.:
  - Vorschlag über eine Definition der Schadensschwerekategorie So
  - Vorschlag zur Strukturierung von Belastungsgrößen
  - Suchbegriffsverzeichnis
  - Glossar

Alle aufgeführten Ergebnisobjekte wurden der KAN nach Abschluss der Studie übergeben.

### 3 Durchführung der Quellenrecherche und -exzerption

Die Kernaufgabe der Studie umfasste die Durchführung einer Literaturrecherche, mit dem Ziel, biomechanische Belastungsgrenzen zusammenzutragen, die sowohl in der Regelsetzung als auch in anderen Fachbereichen angewendet werden. In den folgenden Abschnitten werden die Auswahl der durchsuchten Datenbanken, die Vorgehensweise bei der Recherche und die dafür eingesetzten Mittel erläutert. Im letzten Abschnitt dieses Kapitels wird die Exzerption als letzter Schritt der Literaturrecherche beschrieben.

#### 3.1 Recherche relevanter Informationsmittel

Informationsmittel bezeichnen die Datenbanken und -bestände, in denen eine Recherche durchgeführt wird. Für die Literaturrecherche in dieser Studie wurden die Datenbanken nach bestimmten Kriterien ausgewählt, wie in folgenden Unterabschnitten erläutert wird.

##### 3.1.1 Eingrenzung der Informationsmittel

Die inhaltliche Eingrenzung der Informationsmittel war maßgeblich durch die Aufgabenstellung vorbestimmt, wie sie in Abschnitt 2.2 zusammengefasst ist. Auf Grundlage der Aufgabenstellung wurden die Fachbereiche abgeleitet, die inhaltlich von den verwendeten Informationsmitteln abgedeckt sein sollten. In Tabelle 2 sind die abgeleiteten Fachbereiche zusammengestellt. In Ergänzung hierzu ist die Anzahl der Datenbanken angegeben, die den jeweiligen Fachbereich abdecken.

Fachbereich	Beschreibung	Anzahl
<b>Medizin</b>	Abdeckung aller Publikationen aus dem Bereich der Humanmedizin	90
<b>Technik</b>	Abdeckung aller Publikationen aus den Bereichen Technik und Ingenieurwissenschaften	65
<b>Sport</b>	Abdeckung aller Publikationen aus dem Bereich Sport	16
<b>Verkehr und Sicherheit</b>	Abdeckung aller Publikationen zu den Themen Verkehrssicherheit und Unfallforschung	8
<b>Versicherungen</b>	Abdeckung aller Publikationen zu den Themen Kranken- und Unfallversicherung sowie verwandter Themen	2

<b>Normen und technische Regeln</b>	Abdeckung aller Normen, technischer Regeln, Spezifikationen und Fachberichte aus dem englischen und deutschen Sprachraum	20
<b>Verbindliche Regelsetzung (Allgemein)</b>	Abdeckung aller Arbeitsschutzgesetze und verwandten gesetzlichen Regelungen Diese Datenbanken decken auch andere Fachbereiche ab, aber mindestens zwei der hier genannten	30 79

Tabelle 2. Eingrenzung der Datenbanken bzgl. des Fachbereichs (nach DBIS)

Neben den Fachbereichen wurde auch der Datenbanktyp als Auswahlkriterium herangezogen. In Tabelle 3 sind alle Typen zusammengefasst, die für die Recherche in Betracht gezogen wurden.

<b>Datenbanktypen</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Anzahl</b>
<b>Aufsatzdatenbank</b>	Fachübergreifende und/oder -bezogene Aufsätze aus Zeitschriften und zeitschriftenartigen Reihen (z.B. Tagungs- und Kongressberichte) sowie einzelne Buchkapitel	68
<b>Volltextdatenbank</b>	Werke jeglicher Art auf deren Volltexte zugegriffen werden kann	82
<b>Fachbibliographie</b>	Selbstständig und/oder unselbstständig erschienene Werke	90
<b>Dissertationsverzeichnis</b>	Nachweis von Dissertationen innerhalb von Regionalbibliographien	9
<b>Nachschlagewerk</b>	Lexika, Wörterbücher, Thesauri, Abkürzungsverzeichnisse	21
<b>Zeitschriftenbibliographie</b>	Zeitungen und Zeitschriften, die in einem Verzeichnis nach bestimmten Gesichtspunkten geordnet sind	3
<b>Portal</b>	Bündelung von verschiedenen Datenbanken, Diensten o.ä., Angeboten in einer meist hohen Anzahl von Verweisen in Form einer Webseite, die in der Regel einen Einstieg in die Recherche zu einem bestimmten Thema bietet	47
<b>Faktendatenbank</b>	Formal und inhaltlich erschlossene Primärinformationen wie z.B. numerische Daten	12

Tabelle 3. Eingrenzung der Datenbanken bzgl. ihres Typs (nach DBIS)

Neben der fachlichen und typenbezogenen Eingrenzung wurden auch allgemeine Kriterien herangezogen, wie sie in Tabelle 4 zusammengefasst sind.

Allgemeine Kriterien	Beschreibung
<b>Verfügbarkeit</b>	Neben freizugänglichen Datenbanken wurden auch Datenbanken genutzt für welche die Fraunhofer-Gesellschaft und die Otto-von-Guericke-Universität eine Lizenz zum Zeitpunkt der Studie besaß
<b>Sprache</b>	Alle Elemente, die bei der Recherche berücksichtigt wurden, mussten in englischer oder deutscher Sprache verfasst sein
<b>Zeitraum</b>	Eine zeitliche Eingrenzung der Informationsmittel wurde vorgenommen, wenn die Anzahl der Elemente innerhalb der Ergebnismenge sehr groß war

Tabelle 4. Allgemeine Eingrenzung der Datenbanken

Es ist zu beachten, dass zahlreiche Datenbanken mehreren Typen und Fachgebereichen zugeordnet werden konnten oder mehr als eines der allgemeinen Kriterien erfüllten. Nur wenige Datenbanken waren genau einem Typ, einem einzelnen Fachbereich oder Kriterium zuzuordnen.

### 3.1.2 Wahl der Informationsmittel

Die Nutzung von sondierten und kontinuierlich gepflegten Informationsmitteln ist in der Regel nicht kostenfrei, sondern nur durch den Erwerb einer Lizenz möglich. Nur in wenigen Fällen sind qualitativ hochwertige Informationsmittel kostenfrei nutzbar. Für die Bearbeitung der Studie wurden neben den relevanten und freizugänglichen Informationsmitteln auch die kostenpflichtigen Informationsmittel verwendet, welche von der Fraunhofer-Gesellschaft, dem Fraunhofer IFF und der Bibliothek der Otto-von-Guericke-Universität zum Zeitpunkt der Studie zur Verfügung gestellt wurden. Über alle Fachbereiche lag die Anzahl an verschiedenen Informationsmitteln bei über 7000.

Aus allen verfügbaren Informationsmitteln und unter Beachtung der festgelegten Eingrenzungen aus Abschnitt 3.1.1 wurden insgesamt 210 Datenbanken ausgewählt. Bei der endgültigen Auswahl wurde auch berücksichtigt, welche Textelementen neben den standardmäßig vorhandenen (Verfasser, Titel, Ort und Jahr) durchsucht werden konnten. Tabelle 5 fasst diese Textelemente zusammen.

Indizierte Textelemente	Beschreibung	Anzahl
<b>Abstract</b>	Die Abstracts der verzeichneten Werke sind für die Suche indiziert	105
<b>Volltext</b>	Die Volltexte der verzeichneten Werke sind für die Suche indiziert oder können abgerufen werden	73
<b>Daten</b>	Die verzeichneten Daten einer Faktendatenbank sind indiziert	18
<b>Schlagwörter</b>	Die verzeichneten Werke einer Datenbank sind mit Schlagwörter versehen	127

Tabelle 5. Besondere Textelemente, die für die Suche innerhalb der Datenbanken indiziert waren

### 3.2 Literaturrecherche

Für die Durchführung der Suche wurden unterschiedlichen Mittel eingesetzt, die in den folgenden Unterabschnitten vorgestellt und erläutert werden. Weiterhin wird beschrieben, nach welcher Methodik die Suche innerhalb der Datenbanken erfolgte und dokumentiert wurde.

#### 3.2.1 Kernsuchbegriff

Die analytische Zerlegung der Fragestellungen, welche in Abschnitt 2.2 beschrieben ist, bildete die Grundlage zur Ableitung der Kernsuchbegriffe. Diese Begriffe wurden als Ausgangspunkt für die Bestimmung alternativer Suchbegriffe (englische Übersetzungen und Synonyme) verwendet.

Bei der Wahl der Kernsuchbegriffe wurde darauf geachtet, dass sie als Schlag- oder Stichwörter einen Großteil der relevanten Ergebnisse abdecken. Hierfür wurden sie mit Hilfe ausgewählter Nachschlagewerke (Wörterbücher, Lexika, Thesauri) hinsichtlich eines ausgewogenen Verhältnisses zwischen Allgemeingültigkeit und Fachbezug überprüft.

Die Kernsuchbegriffe sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Die Sortierung der Begriffe erfolgt gemäß ihrer Relevanz (Relevanz nimmt mit steigender Zahl ab).

Relevanz	Kernsuchbegriff
1	Verletzung
2	Kraft
3	Grenzwert

4	Biomechanik
5	Unfall
6	Kontakt

Tabelle 6. Verwendete Kernsuchbegriffe

Eine detaillierte Auflistung der verwendeten Kernsuchbegriffe sowie deren deutsche und englische Synonyme ist im Anhang in Abschnitt 7.1 zusammengestellt.

### 3.2.2 Kriterien zur Eingrenzung der Ergebnismenge

Während der Literaturrecherche wurden alle publizierten Werke, deren Veröffentlichung vor dem Jahr 1945 erfolgte, nicht berücksichtigt, da deren Integrität nur sehr schwierig zu beurteilen gewesen wäre. Diese Entscheidung wurde vom Konsortium in enger Abstimmung mit der KAN und der PBA getroffen. Weiterhin wurde es als nicht zielführend erachtet, publizierte Ergebnisse zu berücksichtigen, die unter Verwendung der folgenden Testobjekte gewonnen wurden:

- Kinder (umfasst minderjährige Probanden, Leichname minderjähriger Personen oder Teile von diesen)
- Kranke Testpersonen (umfasst kranke Probanden, Leichname kranker Personen oder Teile von diesen)
- Tiere (umfasst lebende Tiere, Tierkadaver oder Teile von diesen)
- Dummies
- Modelle (FEM, Mehrkörpersysteme, etc.)

Die Eingrenzung des Suchbereichs entsprechend der definierten Kriterien wurde überwiegend durch den gezielten Einsatz bezeichnender Begriffe erreicht, die nicht in den Ergebnistreffern enthalten sein durften und somit zu den ausgeschlossenen Suchbegriffen zählten.

Enthielt eine Ergebnismenge trotz der Verwendung von Ausschlussbegriffen eine sehr hohe Anzahl an Treffern (>200), wurden die Eingrenzungsfiler aus Tabelle 7 herangezogen.

Suchfilter	Beschreibung
Zeitraum	Eingrenzung des Zeitraums, in dem die zu durchsuchenden Werke und Titel publiziert wurden
Verfasser	Auswahl bestimmter Verfasser, welche die zu durchsuchenden Werke und Titel verfasst haben
Verlag	Auswahl bestimmter Verlage, über welche die zu

durchsuchenden Werke und Titel publiziert wurden

Tabelle 7. Zusätzliche Möglichkeiten zur Eingrenzung der Ergebnistreffer durch die Verwendung von Suchfiltern

### 3.2.3 Suchinstrumente

Alle relevanten und irrelevanten Suchbegriffe wurden in einem sog. Suchbegriffverzeichnis strukturiert zusammengefasst. Es wurde für jede verwendete Datenbank ein separates Suchbegriffsverzeichnis angelegt, das während der Suche individuell und situativ fortgeschrieben wurde, bis die Anzahl und Qualität der Suchtreffer den Anforderungen entsprach. Das Suchbegriffverzeichnis setzte sich aus drei Begriffskategorien zusammen:

- Kernsuchbegriffe
- Alternative Suchbegriffe (englische Übersetzungen und Synonyme der Kernsuchbegriffe)
- Ausgeschlossene Suchbegriffe

Jede Begriffskategorie beschreibt eine Teilmenge die zur Ergebnismenge kombiniert wurde. In Tabelle 8 ist der strukturelle Verzeichnisaufbau dargestellt.

		Kernsuchbegriffe			Ausgeschl. Suchbegriffe
		Begriff.A	Begriff.B	Begriff.C	Begriff.X
Alternative Suchbegriffe		Begriff.a1		Begriff.c1	Begriff.Y
		Begriff.a2			

Tabelle 8. Struktur des Suchbegriffsverzeichnisses

In der ersten Zeile sind die Kernsuchbegriffe notiert, wobei jeder Spalte genau einer dieser Begriffe zugeordnet ist. Die Reihenfolge der Begriffe ist wieder durch ihre Relevanz festgelegt (Relevanz nimmt von links nach rechts ab). Jedem Kernsuchbegriff sind in den darunterliegenden Zeilen die zugehörigen Alternativen (englische Übersetzungen und Synonyme) zugeordnet. Die letzte Spalte enthält die Ausschlussbegriffe, die im Suchergebnis nicht enthalten sein dürfen.

Alle alternativen und ausgeschlossenen Suchbegriffe wurden in einer Tabelle gesammelt, die das Gesamt-Suchverzeichnis bildet. Es beinhaltet alle Suchbegriffe, die bei der Recherche über alle Datenbanken verwendet wurden. Aus dem

Gesamt-Suchbegriffsverzeichnis wurden die Begriffe mit der größten Relevanz für die Erstellung des Standard-Suchbegriffsverzeichnisses verwendet. Dieses Verzeichnis diente als Start-Verzeichnis für jede Erst-Suche in einer Datenbank.

Wie bereits erwähnt, ist die Ergebnismenge eine Kombination der Mengen, die aus den verzeichneten Suchbegriffen gebildet wurden. Aus den Ausschlussbegriffen ergab sich die sog. Ausschlussmenge (A).

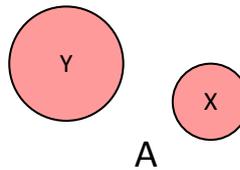


Abbildung 1. Ausschlussmenge

Die Kernsuchbegriffe und/oder deren zugehörigen Alternativen ergaben ein oder mehrere Vereinigungsmengen (V). Die Anzahl unterschiedlicher Vereinigungsmengen korrespondiert hierbei mit der Anzahl unterschiedlicher Kernsuchbegriffe.

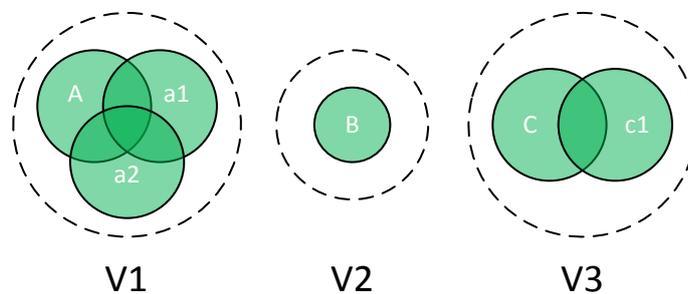


Abbildung 2. Vereinigungsmengen

Anschließend ergab sich aus allen Vereinigungsmengen (V) eine Schnittmenge (S).

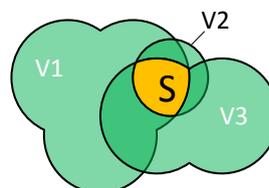


Abbildung 3. Schnittmenge

Im letzten Schritt wurde die Differenz aus Schnittmenge (S) und Ausschlussmenge (A) gebildet, welche schließlich zur gesuchten Ergebnismenge (E) führte.

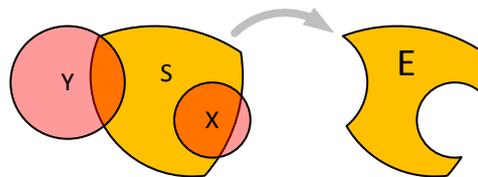


Abbildung 4. Ergebnismenge

Mit Hilfe von Suchbefehlen und Operatoren wurden syntaktische Suchkommandos erzeugt, die die beschriebenen Mengenoperationen realisieren. Die Anwendung der Suchkommandos auf eine Datenbank führte zu der gewünschten Ergebnismenge. In Tabelle 9 sind die verwendeten Suchbefehle und Operatoren zusammengefasst, die von den meisten Datenbanken unterstützt wurden.

Suchbefehle	Beschreibung	Anzahl
<b>AND, OR, NOT</b>	Logische Verknüpfungen zur Eingrenzung der Ergebnismenge	65*
<b>()</b>	Klammersetzung zur Schachtelung der logischen Verknüpfungen	64*
<b>„“</b>	Phrasensuche	65*
<b>*</b>	Trunkierungen	76*

Tabelle 9. Suchbefehle (\* bei diesen Datenbanken war die Unterstützung dokumentiert, die tatsächliche Anzahl lag höher)

Durch den Einsatz von durchstrukturierten Suchbegriffsverzeichnissen und der hier vorgestellten Suchmittel konnten zahlreiche Datenbanken systematisch und zeiteffizient durchsucht werden.

### 3.2.4 Suchdurchlauf

Die erste Suche in einer Datenbank wurde immer mit dem Standard-Suchbegriffsverzeichnis durchgeführt, welches dann abhängig von der Ergebnismenge individuell angepasst wurde. Jede Anpassung, die zu einer wesentlichen Änderung der Ergebnismenge führte, wurde in einer Suchdokumentation festgehalten. Neben dem angepassten Suchbegriffsverzeichnis wurden auch die Suchkommandos festgehalten, die zu einer relevanten Ergebnismenge führten. Die Anzahl der Treffer und das Suchdatum wurden ebenfalls dokumentiert.

Die Vorlage für jede Suchdokumentation wurde in Microsoft EXCEL geschrieben und verfügte über eine Makrofunktion, die aus dem Suchbegriffsverzeichnis und den Suchbefehlen aus Tabelle 9 zugeschnittene Suchkommandos generierte. Hierdurch war es möglich auch komplexe Suchanfragen schnell und komfortabel zu erstellen bzw. anzupassen.

Während eines Suchdurchlaufs wurde nach jeder Suchanfrage die Ergebnismenge analysiert und bewertet. Dabei galt es Treffer zu identifizieren, die eine geringe bis keine oder eine hohe bis sehr hohe thematische Relevanz aufwiesen. In beiden Fällen wurden neue alternative und/oder auszuschließende Suchbegriffe bestimmt, um sie dem Gesamt-Suchbegriffsverzeichnis hinzuzufügen. Anschließend wurde das Suchkommando mit Hilfe der neu-identifizierten Begriffe angepasst, um die Ergebnismenge vorteilhaft einzuschränken und somit deren Qualität zu verbessern. Begriffe, die nicht zur Ergebnismenge beitrugen, wurden gestrichen. Der gesamte Vorgang wurde wiederholt, bis dem Suchbegriffsverzeichnis keine weiteren Begriffe hinzugefügt werden konnten, die die Ergebnismenge weiter eingrenzten. Die einzelnen Schritte dieses Optimierungsprozess sind in Abbildung 5 zusammengefasst.

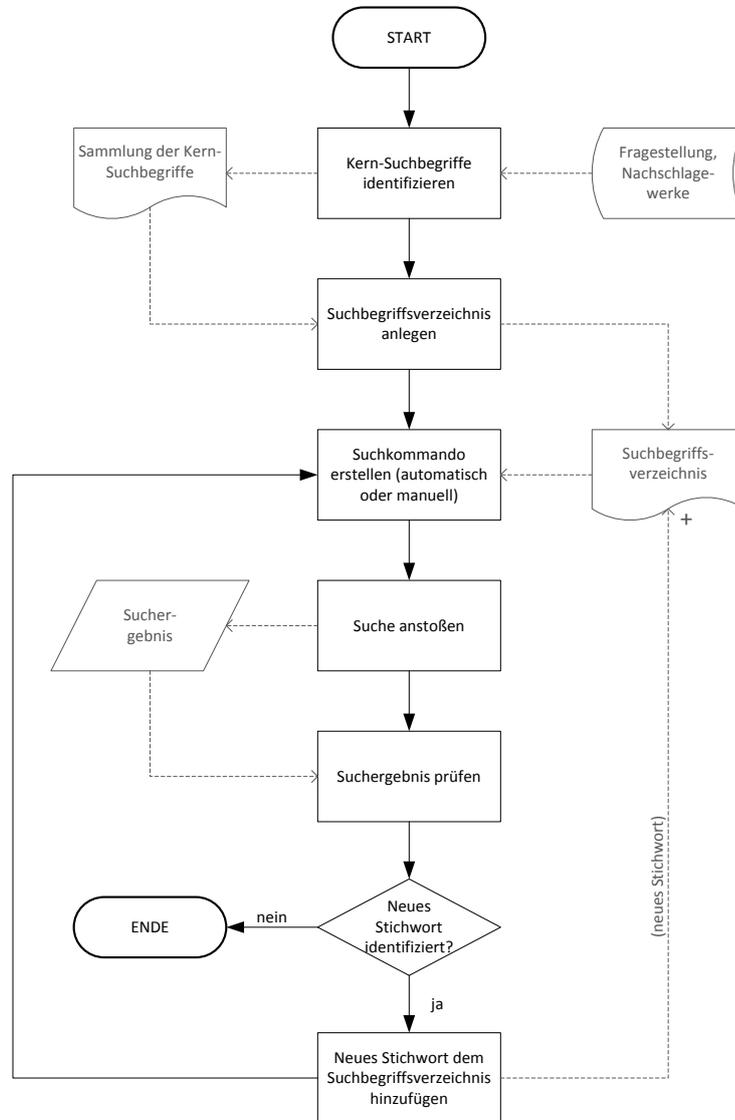


Abbildung 5. Ablaufdiagramm eines Suchdurchlaufs

Sofern es mit der hier beschriebenen Vorgehensweise nicht möglich war, eine sehr umfangreiche Ergebnismenge zu reduzieren, wurden bis zu drei weitere Kernsuchbegriffe im Suchbegriffsverzeichnis ergänzt. Hatte auch dieser Schritt keinen wesentlichen Einfluss auf den Umfang der Ergebnismenge, wurden zusätzlich die Eingrenzungsfilter aus Tabelle 7 herangezogen.

Wies eine Ergebnismenge eine sehr geringe oder keine Anzahl an Suchtreffern auf, erfolgte eine Reduzierung des Suchbegriffsverzeichnisses. Die Vorgehensweise

hierbei war der Vorgehensweise zur Eingrenzung der Ergebnismenge gegensätzlich.

### 3.2.5 Übernahme der Suchergebnisse

Sobald eine Ergebnismenge nicht wesentlich angepasst werden konnte, wurden alle enthaltenen Suchtreffer analysiert und abhängig von Ihrer Relevanz in das Gesamtergebnis der Recherche aufgenommen. Alle Titel, die als relevant im Kontext der Studie einzustufen waren, wurden in eine zentrale Ergebnis-Datenbank übernommen. Hierfür wurde das Literaturverwaltungsprogramm CITAVI verwendet, welches die Ablage und Verwaltung von Literatur und vergleichbaren Medien in einer strukturierten Umgebung ermöglicht.

Bei der Übernahme eines Titels wurde eine erste Bewertung des Inhalts durch den Bearbeiter vorgenommen. Für die fünfstufige Bewertung wurden folgende Maßstäbe angesetzt:

- Stichworte aus dem Suchbegriffsverzeichnis sind im Text enthalten
- Mindestens eines der durch die Hauptaufgaben vorgegebenen Themen ist inhaltlicher Bestandteil
- Es sind konkrete, biomechanische Belastungsgrößen angegeben.

Die einzelnen Bewertungsstufen wurden mit Sternen dargestellt. In Tabelle 10 ist die Bedeutung der einzelnen Stufen zusammengefasst.

Sterne	Beschreibung
★★★★★	Absolut relevant
★★★★	Hoch relevant
★★★	Relevant
★★	Weniger relevant
★	Kaum relevant

Tabelle 10. Fünfstufige Bewertung der Suchtreffer

### 3.2.6 Vervollständigung der Suchergebnisse

Nach Abschluss der Suche wurde eine Nachrecherche durchgeführt, um den verfügbaren Ergebnisraum zusätzlich abzudecken. Hierbei wurde nach dem Prinzip des „Citation Snowballing“ gearbeitet, bei dem die Literaturverweise aus sehr gut bewerteten Titeln nachrecherchiert und bei entsprechender Relevanz in das Gesamtergebnis übernommen wurden [6].

### 3.3 Sichtung und Exzerption des Rechercheergebnisses

Die Sichtung eines Titels beschreibt die Überprüfung des Inhalts auf relevante Informationen, die anschließend bei der Exzerption entnommen und dokumentiert werden. Da im Rahmen der Literaturrecherche über 1000 Titel gesammelt wurden, war es erforderlich, die Titel in der Reihenfolge ihrer Bewertung (absteigend) zu sichten. Aufgrund der zahlreichen Titel und der begrenzten Bearbeitungszeit konnten nicht alle Titel gesichtet werden.

#### 3.3.1 Kriterien für die Exzerption eines Titels

Bei der Sichtung eines Titels wurde als erstes darauf geachtet, ob der Inhalt den formalen Bedingungen aus Abschnitt 3.2.2 entspricht. Waren die Bedingungen nicht erfüllt, wurde der Titel nicht weiter betrachtet und in der CITVAI-Datenbank entsprechend gekennzeichnet. Andernfalls wurden weitere Kriterien angelegt:

- Im Titel sind biomechanische Belastungsgrößen enthalten, die den Arten aus Tabelle 11 zugeordnet werden können
- Die Ziel-Beanspruchung des Versuchs liegt im Bereich der Verletzungsschwere, die durch den thematischen Rahmen der Studie (kollaborierende Roboter) vorgegeben war (ausgenommen hiervon sind z.B. alle Verletzungen von AIS<sub>2</sub> und aufwärts)
- Die Ziel-Beanspruchung des Versuchs ist denkbar im Kontext mit dem thematischen Rahmen der Studie (ausgenommen sind hierdurch z.B. Verletzungen wie Schleudertrauma, Kreuzbandriss, Verbrennungen, etc.)
- Das Belastungsereignis im Versuch ist nachvollziehbar beschrieben und die Ziel-Beanspruchung ist sinnvoll erzeugt

#	Beschreibung
1	Klemm-/Quetschung
2	Stoß
3	Bruch
4	Zug
5	Kompression
6	Biegung
7	Torsion
8	Drei-Punkt-Biegung
9	Beschleunigung

Tabelle 11. In Betracht gezogene Belastungsarten

### 3.3.2 Strukturierung der Exzerpte

Bei der Sichtung der recherchierten Titel fiel eine gewisse Regelmäßigkeit auf. In nahezu allen Titeln wurden Versuche beschrieben, deren Struktur und Ablauf einem immer wiederkehrenden Schema folgten: Die Beanspruchung einer Lokalisation wurde durch ein bestimmtes Belastungsereignis an einem oder mehreren Testobjekten herbeigeführt. Demnach lässt sich eine erzeugte Beanspruchung immer genau einem Belastungsereignis zuordnen, die im weiteren Text als Belastungs-Beanspruchungs-Relation bezeichnet wird. Diese Relation ist durch einen experimentellen Versuch immer mit einer Lokalisation und einem Testobjekt bzw. einer Gruppe von Testobjekten verknüpft. In Abbildung 6 ist der Zusammenhang zwischen den einzelnen Elementen eines Belastungsversuchs schematisch dargestellt. Wie zu erkennen ist, können mehrere Lokalisationen und/oder Testobjekte einem Versuch unabhängig voneinander zugeordnet werden. Das ist gerade bei Versuchen sinnvoll, bei denen mehrere Lokalisationen oder Testobjekte untersucht wurden. Die Verknüpfung einer Belastungs-Beanspruchungs-Relation mit einer Lokalisation und einem oder mehreren Testobjekten ist indes immer eindeutig.

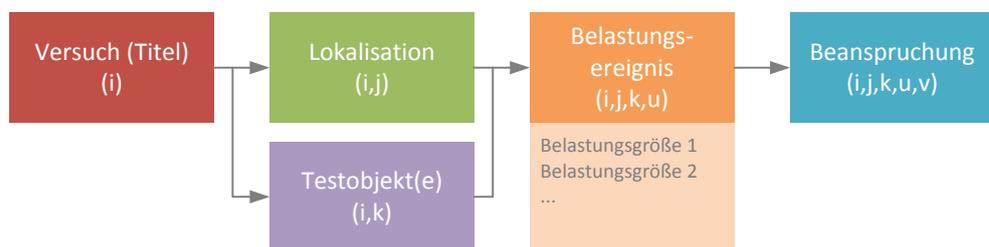


Abbildung 6. Verknüpfung der Elemente eines experimentellen Versuchs

### 3.3.3 Dokumentation der Exzerpte

Auf Grundlage des Schemas aus Abbildung 6 hat das Institut für Arbeitsschutz (IFA) eine Datenbank entwickelt, mit der sich Ergebnisse solcher Versuchsarten übersichtlich dokumentieren lassen [7]. Für die Bearbeitung der Studie wurde in Anlehnung an diese Datenbank eine ACCESS-Datenbank entwickelt, in der sich exzerpierte Daten über eine komfortable Eingabemaske speichern ließen. In Abbildung 7 ist die Eingabemaske dargestellt.

**Literatur**

Laufende Nr. CITAVI: 1029  
 Bearbeitungsdatum: 17.09.2013  
 Bearbeiter: Behrens  
 Bearbeitungsstelle: IFF  
 Titel: Method to investigate contusion mechanics in living humans  
 Autor: Desmoulin, Geoffrey T.; Anderson, Gail S.  
 Bewertung:

Bewertungssystem	Bewertung (txt, num)	Bemerkung
Technische Bewertung (KAN-Studie)	4 / 4	
Medizinische Bewertung (KAN-Studie)	5 / 5	

Datensatz: 1 von 2 | Kein Filter | Suchen

---

**Testobjekte**

ID	CITAVI	Testobjektart	Geschlecht	Anzahl	Alter (min, max, avg, std)	Gesundheit
16	1029	Proband	m	1	34 / 34 / 34	gesund

Beschreibung: Hautfarbe weiß

Datensatz: 1 von 1 | Kein Filter | Suchen

---

**Lokalisation**

ID	CITAVI	Körperbereich	Beschreibung
13	1029	Schienbein	

Datensatz: 1 von 2 | Kein Filter | Suchen

---

**Belastungsereignis**

ID	Testo.	Lok.	Art der Belastung	Dynamik
11	16	13	Stoß	dynamisch

Beschreibung: -Prellung wurde mit einem zylinderförmigen Kollisionskörper erzeugt, der im freien Fall durch ein Rohr geführt wurde  
 - Kollisionskörper wurde mit Tinte eingestrichen, um die Kontaktfläche zu bestimmen

Belastungsbeding.

Typ	Größe	Wert	Beschreibung
Auftreffgeschwindigkeit des Kollid.	Geschwindigkeit	0,7 m/s	
Gewicht des Kollisionskörper (Gel)	Masse	1,9 kg	

Datensatz: 1 von 4 | Kein Filter | Suchen

Belastungswerte

Typ	Größe	Wert	Beschreibung
Einzelwert	Kraft	714 N	peak force
Einzelwert	Fläche	1,6 cm <sup>2</sup>	ink area
Einzelwert	Druck	4540 kPa	peak pressure
Einzelwert	Impuls	5,4 Ns	force impulse
Einzelwert	Verschiebung	8 mm	displacement

Datensatz: 1 von 9 | Kein Filter | Suchen

---

**Beanspruchungsereignis**

ID	Lok.	Bel.	Art der Beanspruchung
11	13	12	Hämatom

Beschreibung: round shape, size 6x6cm, color dark red/violet

Kodiersystem	Kode	Bemerkung

Datensatz: 1 von 1 | Kein Filter | Suchen

Abbildung 7. Eingabemaske der ACCESS-Datenbank zur Übernahme exzerpiert Daten

Nach Abschluss der Sichtung und Exzerption wurde jeder gesichtete Titel in der CITAVI-Datenbank einer Rubrik aus Tabelle 2 zugeordnet, sodass später – beim Einsehen der Datenbank – auf das behandelte Thema des Titels geschlossen werden kann.

### 3.3.4 Bewertung der exzerpierten Titel

Alle exzerpierten Titel, bei denen es sich um wissenschaftliche Publikationen handelte, wurden unter zwei Gesichtspunkten bewertet:

- 1) Qualität des Versuchsaufbaus und der messtechnischen Herangehensweise (technische Bewertung)
- 2) Qualität der medizinischen Beschreibung und Untersuchung der Beanspruchung (medizinische Bewertung)

Insgesamt wurden für jeden Aspekt drei Kriterien definiert, die wiederum unterschiedlich hoch bewertet werden konnten. Der Wert eines Kriteriums ist hierbei ein Maß für die Qualität des Versuchs unter dem jeweiligen Gesichtspunkt. Die Summe der Einzelwerte eines Gesichtspunkts konnte maximal einen Wert von fünf erreichen. In Tabelle 12 sind die Kriterien für die technische Bewertung zusammengefasst und erläutert, in Tabelle 13 die Kriterien für die medizinische Bewertung. Es ist zu beachten, dass Normen und andere Titel aus dem Bereich der Regelung von dieser Bewertung ausgenommen wurden, da diese keinem Rechtfertigungszwang unterliegen.

Kriterium	Wert	Beschreibung
<b>Messaufbau</b>	0	Der Messaufbau ist nicht beschrieben oder ist für die Untersuchungen ungeeignet.
	1	Der Messaufbau eignet sich für die Durchführung der Untersuchungen, jedoch lässt dessen Beschreibung Fragen offen.
	2	Der Messaufbau eignet sich für die Durchführung der Untersuchungen und lässt keine Fragen offen.
<b>Versuchsdurchführung</b>	0	Es sind keine Schritte der Durchführung beschrieben oder es werden grobe Fehler bei dieser vermutet.
	1	Die Dokumentation der Versuchsdurchführung ist lückenhaft.
	2	Durch die Beschreibung kann die Versuchsdurchführung lückenlos nachvollzogen werden.

<b>Auswertung</b>	0	Es ist keine Auswertung der Messdaten beschrieben.
	1	Die Auswertung der Messdaten ist dokumentiert.

Tabelle 12. Kriterien für die technische Bewertung eines experimentellen Versuchs

<b>Kriterium</b>	<b>Wert</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>Ansatz</b>	0	Der Untersuchungsansatz ist nicht beschrieben oder eignet sich nicht für die Erreichung des Untersuchungsziels.
	1	Der Ansatz eignet sich, es gibt jedoch Kritikpunkte (z.B. zu hohes Durchschnittsalter der Testobjekte).
	2	Der Ansatz eignet sich für die Erreichung des Untersuchungsziels.
<b>Beanspruchung</b>	0	Die Verletzung ist nicht beschrieben.
	1	Die Verletzungsbeschreibung ist lückenhaft.
	2	Die Verletzung ist lückenlos beschrieben.
<b>Lokalisation</b>	0	Die Lokalisation ist nicht oder nicht eindeutig beschrieben.
	1	Die Lokalisation ist eindeutig beschrieben.

Tabelle 13. Kriterien für die medizinische Bewertung eines experimentellen Versuchs

## 4 Gesamtergebnis der Studie

In den folgenden Abschnitten werden die Resultate der Studie qualitativ und quantitativ zusammengefasst. Darüber hinaus werden die Einzelergebnisse aus den gewählten Fachbereichen näher beleuchtet und entsprechend ihrer Relevanz für die Studie bewertet. Des Weiteren werden in diesem Abschnitt Vorschläge über die Definition der Schadensschwerekategorie So und zur Strukturierung von Belastungsgrenzen für den zukünftigen Arbeitsschutz vorgestellt. Im Abschluss dieses Kapitels werden der Verlauf und die Ergebnisse der Studie resümiert und diskutiert.

### 4.1 Ergebnis in Zahlen

Die Auswahl der **245** durchsuchten Datenbanken erfolgte aus einer Gesamtzahl von über **7000** Informationsmitteln. Insgesamt wurden **1036** Titel in die CITAVI-Datenbank übernommen. Abbildung 8 zeigt die Bewertungsverteilung der 1036 Titel. Die Bewertung der Titel erfolgte gemäß dem Bewertungssystem aus Abschnitt 3.2.5. Wie zu erkennen ist, wurden 33 Titel nicht bewertet, da sie nicht im thematischen Kontext mit der Studie standen. Bei diesen Titeln handelt es sich u.a. über Literatur zur Durchführung einer systematischen Recherche.

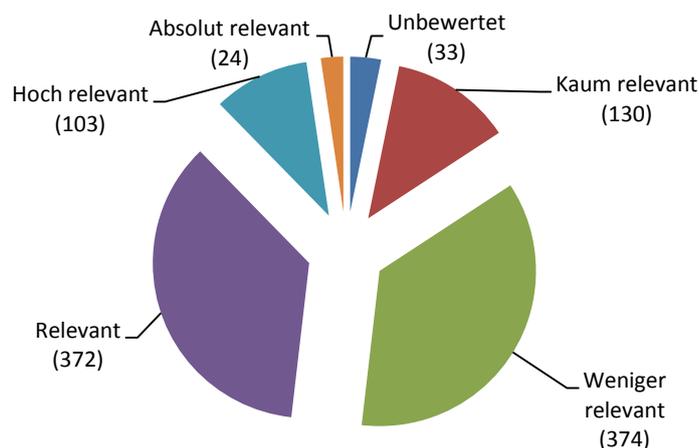


Abbildung 8. Bewertungsverteilung der recherchierten Titel

Die Beschaffung und Sichtung der in der CITAVI-Datenbank enthaltenen Titel erfolgte systematisch beginnend mit den höherbewerteten Einträgen. In

Abbildung 9 ist der Status der gesichteten Titel zahlenmäßig dargestellt. Wie in der Darstellung zu erkennen ist, wurden insgesamt **407** Titel gesichtet, von denen sich 250 als ungeeignet erwiesen. Insgesamt konnten Daten aus **100** Literaturquellen in die ACCESS-Datenbank eingepflegt werden, die bereits in Abschnitt 3.3.3 vorgestellt wurde. Bei den Titeln mit dem Status „Sonstige“ handelt es sich um Quellen aus denen keine Daten direkt gesammelt werden konnten, wie z.B. Literatur über Verletzungsschwereskalen oder Sekundärquellen, welche für das Citation Snowballing (siehe auch Abschnitt 3.2.6) genutzt wurden. Als „unzugänglich“ wurden Titel markiert, die entweder aus zeitlichen oder anderen Gründen nicht beschafft werden konnten oder der Aufwand für die Beschaffung in keinem Verhältnis zur bewerteten Relevanz stand. Titel, welche sich auch in der IFA-Datenbank [7] befinden (insgesamt 23) und unzugänglich waren, wurden separat gekennzeichnet. Somit besteht zukünftig die Möglichkeit, die betreffenden Titel bzw. deren Daten direkt über die IFA-Datenbank abzurufen. Insgesamt wurden 146 vorliegende Titel aufgrund der beschränkten Bearbeitungszeit nicht gesichtet. Es ist allerdings zu beachten, dass die Relevanz dieser Titel als gering eingestuft wurde (kleiner drei Sterne – vergleiche auch Tabelle 10).

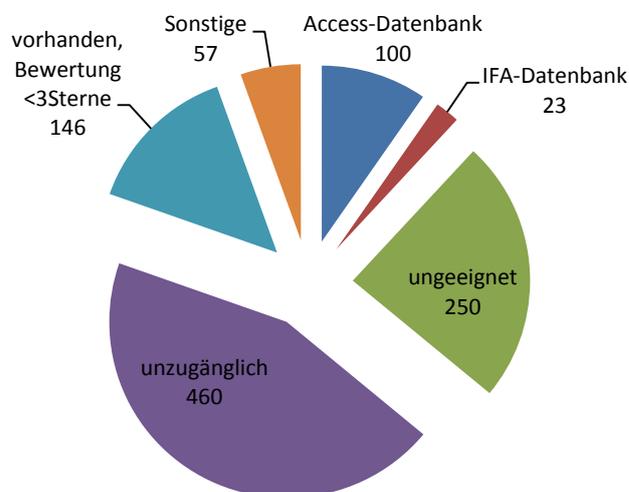


Abbildung 9. Status der recherchierten Titel nach Sichtung

Die Zuordnung der 407 gesichteten Titel zu den Fachbereichen aus Tabelle 2 ist in Abbildung 10 zu sehen. Eine ähnliche Verteilung weisen auch die Titel auf, die in die ACCESS-Datenbank übernommen wurden, wie Abbildung 11 zeigt.

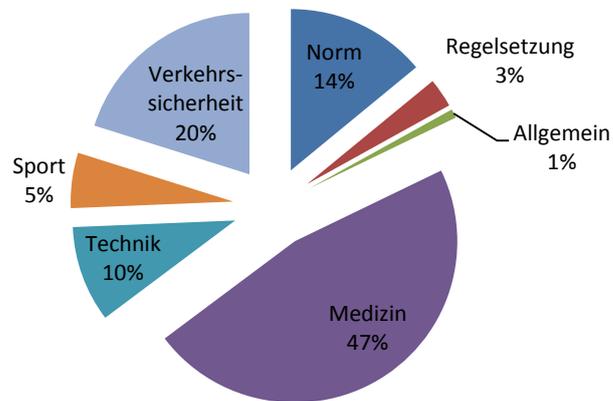


Abbildung 10. Aufteilung nach Themengebieten der gesichteten Titel

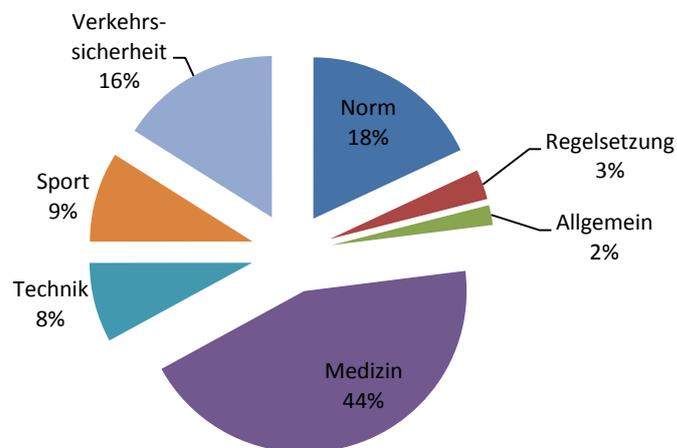


Abbildung 11. Aufteilung nach Themengebieten der Titel in der ACCESS-Datenbank

Die Verdichtung der Ergebnisse erfolgte in einem abschließenden Workshop der Projektnehmer. Hierbei wurden die in der ACCESS-Datenbank aufgenommenen Titel nach ihrer Relevanz für diese Studie erneut bewertet. Diese Bewertung unterscheidet sich von Gesichtspunkten aus Abschnitt 3.3.4, welche auf technische und medizinische Aspekte fokussierte. Die Unterscheidungsmerkmale der abschließenden Bewertung und deren Bedeutung sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Stufe	Beschreibung	Bedeutung
1	Absolut relevant	Normen und Dokumente aus dem Bereich der Gesetzgebung sowie Arbeiten in denen Untersuchungen mit Probanden durchgeführt wurden
2	Relevant	Titel über Versuche mit postmortalen Testobjekten, die unter realitätsnahen Bedingungen (im Kontext der Studie) durchgeführt wurden
3	Weniger relevant	Titel über Versuche mit Teilen postmortalen Testobjekte, die unter realitätsnahen Bedingungen (im Kontext der Studie) durchgeführt wurden
4	Fraglich	Titel über Versuche, die unter realitätsfernen Bedingungen durchgeführt wurden
o	Sekundärquelle	Titel, die auf andere Arbeiten verweisen und aufgrund fehlender Angaben zu den Untersuchungsbedingungen nicht bewertet werden konnten

Tabelle 14. Abschließende Bewertung der übernommenen Titel hinsichtlich ihrer Relevanz für die Studie

In Abbildung 12 ist die Bewertungsverteilung des endgültigen Gesamtergebnisses der Studie dargestellt.

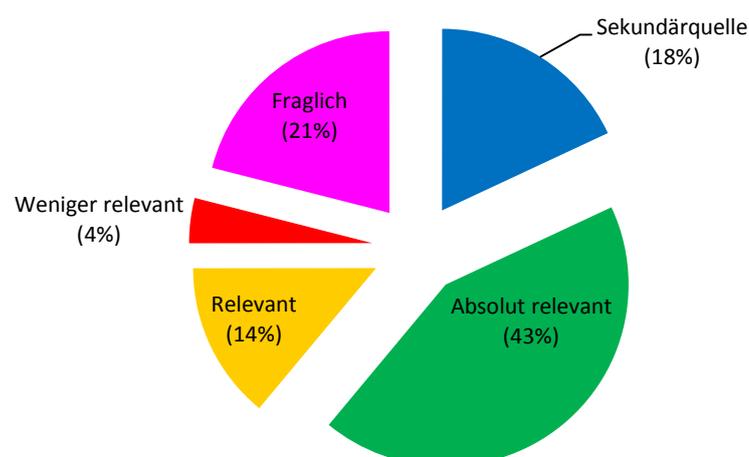


Abbildung 12. Bewertungsverteilung der Titel in der ACCESS-Datenbank (endgültiges Gesamtergebnis)

Zu den 100 Titeln in der ACCESS-Datenbank wurden über ca. 550 Belastungs-Beanspruchungs-Relationen übernommen, denen ca. 1500 gemessene Belastungswerte (messbare, physikalische Größen) zugeordnet sind. Die 560 Belastungs-Beanspruchungs-Relationen sind wiederum Kombinationen aus ca. 200 unterschiedlichen Testobjekten und ca. 250 Lokalisationen.

## 4.2 Überblicksgebende Erläuterungen zu den relevanten Ergebnisquellen

Die im vorhergehenden Abschnitt vorgestellten Zahlen zeigen, dass verglichen mit der sehr großen Menge an recherchierten Titeln, nur sehr wenige Titel relevante Daten enthielten. Dieser Abschnitt erläutert die Hauptgründe, weshalb der Großteil der gesichteten Titel nicht in die ACCESS-Datenbank übernommen werden konnte. Dies erfolgt unter der differenzierten Betrachtung der einzelnen Fachbereiche.

Die gesammelten Erkenntnisse über die Ergebnisse aus den Hauptrubriken

- Wissenschaftliche Publikationen
- Normen und Regelsetzung
- Portale
- Sekundärquellen

werden in den folgenden Unterabschnitten kurz vorgestellt.

### 4.2.1 Wissenschaftliche Publikationen

Wissenschaftliche Publikationen bilden den Großteil der für diese Studie recherchierten Titel. Die Arbeiten unterscheiden sich teilweise sehr stark aufgrund ihrer Untersuchungsinhalte, Zielstellungen und fachspezifischen Hintergründe. Nachfolgend wird kurz auf die Erkenntnisse der Recherche in einzelnen Themengebieten eingegangen.

**Sport** – Die recherchierten Titel aus dem Fachbereich Sport waren größtenteils für die Exzerption ungeeignet, weil sich diese hauptsächlich mit biomechanischen Belastungen während des körperlichen Trainings für bestimmte Sportarten befassen. Der Fokus liegt hierbei u.a. auf Verletzungen durch Dauerbelastungen, Ermüdungserscheinungen oder ungeeignetem Sportgerät.

**Verkehrssicherheit** – Neben den schwerpunktmäßigen Untersuchungen zu Crashtestversuchen (mit Dummys, Tierkadaver und Leichname), steht die nachträglich Beurteilung von Verletzungsvorgängen bei Unfällen im Vordergrund. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen wurden nicht in die ACCESS-Datenbank aufgenommen. Trotz der nicht idealen Passfähigkeit von Crashversuchen wurden

dennoch Ergebnisse aus Belastungsversuchen mit Leichname aus diesem Bereich mit in das Gesamtergebnis aufgenommen. Es sei aber daraufhin gewiesen, dass aufgrund der hohen Belastungen (hohe Geschwindigkeiten, hohe Massen) die ermittelten Grenzwerte ein Maß für die Überlebenswahrscheinlichkeit der Insassen eines Fahrzeugs sind. Die Belastungsgrenzen für die absolute Unversehrtheit der Insassen bei einem Unfall wurden in keinem Titel untersucht.

**Versicherung** – Alle Titel aus dem Fachbereich Versicherung befassen sich meist mit der Rekonstruktion von Unfällen um bspw. Versicherungsbetrug aufzudecken. Untersuchungsgegenstand ist dabei nicht die Bestimmung einer messbaren physikalischen Größe (Belastung) die zu einer Beanspruchung geführt hat, sondern ob die Beanspruchung als Folge der Belastung zu dem angegebenen Ereignis passt. Die gesichteten Titel aus diesem Fachbereich eigneten sich daher nicht für die Studie.

**Medizin** – In medizinischen Veröffentlichungen fanden sich meist nur Messwerte und keine Grenzwerte, da die häufig sehr geringe Anzahl an Untersuchungsobjekten (Leichen) keine Festlegung auf einen Grenzwert zuließ. Beschrieben wird daher nur das Ergebnis einer spezifischen Belastung, ohne daraus Aussagen über Schwellwerte abzuleiten. Weiterhin zeigte sich, dass in vielen Titeln nur die Zielbeanspruchung untersucht wurde, ohne weiter auf die Folgebeanspruchungen einzugehen. Wurden z.B. Bruchkräfte in dynamischen Kollisionsversuchen untersucht, lag der Fokus allein auf den Bruch von Strukturgewebe, sodass die Schädigung von Weichgewebe nicht weiter untersucht wurde.

**Technik** – In den Titeln die dem allgemeinen Fachbereich Technik zugeordnet wurden, wurden die technischen Elemente (Aufbau, Messtechnik, etc.) in den meisten ausreichend gut beschrieben. Im Gegensatz dazu zeigte sich, dass die Dokumentation der medizinischen Inhalte wie Körperlokalisierung oder Verletzungsbild deutliche Schwächen aufzeigte. Fehlende Fachbegriffe und fragwürdige Ansätze zählen zu den häufigsten Auffälligkeiten.

Untersuchungen mit Leichnamen wurden vor allem in den Bereichen Verkehrssicherheit, Medizin und Technik durchgeführt. Bei der Recherche fiel auf, dass das durchschnittliche Alter der verwendeten Leichen sehr häufig > 65 Jahren liegt. Zudem standen für Studien meist nur sehr wenige Testobjekte zur Verfügung, weshalb die statistische Relevanz der Untersuchungsergebnisse eher gering ist. Des Weiteren waren zum Zeitpunkt der Studie keine verifizierten Aussagen bekannt, inwiefern sich Leichen für die Bestimmung biomechanischer Belastungsgrenzen eignen und wie sehr sich die mechanischen Eigenschaften von Leichen von lebenden Personen unterscheiden. Außerdem ist die Verwendung von Leichenteilen für einige Belastungsfälle als fraglich einzustufen. Gerade bei

Pendel- und Fallversuchen, die am häufigsten verwendet wurden, treten immer Wechselwirkungen mit anderen Körperteilen auf. Die verwendeten Messmittel wurden über alle Titel betrachtet in sehr heterogener Qualität eingesetzt. Nur wenige Titel dokumentierten einen einwandfreien Einsatz der verwendeten Messtechnik.

#### 4.2.2 Normung und Regelsetzung

Da Angaben aus dem Bereich der Normung und Regelsetzung keinem Rechtfertigungszwang unterliegen, war es nicht möglich, die jeweiligen Quellen zu recherchieren. Auf welchen Erkenntnissen sich die gewählten Grenzwerte stützten, ist nur in sehr wenigen Normen dokumentiert. In Tabelle 15 sind alle Normen aufgelistet, in denen konkrete biomechanische Grenzwerte gefunden wurden. Die Zusammenstellung der Größen zeigte, dass bestimmte Grenzwerte immer wieder auftauchen, wie z.B.  $150N$  als maximale Kontaktkraft oder  $4J$  als maximal zulässige Energie für ein bewegtes Teil an einer Maschine. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei diesen Werten um Beispiele handelt, die nur im Kontext der jeweiligen Norm zu betrachten sind, sodass von ihnen keine Allgemeingültigkeit ausgeht.

Nummer	Titel
<b>DIN EN 1870-14:2012-06</b>	Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen - Kreissägemaschinen - Teil 14: Vertikalplattenkreissägemaschinen
<b>DIN EN 1870-18:2013-08</b>	Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen - Kreissägemaschinen - Teil 18: Formatkreissägemaschinen
<b>E DIN EN 1870-19:2011-12</b>	Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen - Kreissägemaschinen - Teil 19: Tischkreissägemaschinen (mit und ohne Schiebetisch) und Baustellenkreissägemaschinen
<b>DIN EN 60335-2-79:2010-01</b>	Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Teil 2- 79: Besondere Anforderungen für Hochdruckreiniger und Dampfreiniger (IEC 61J/380/CD:2010)
<b>E DIN EN 60335-2-107:2010-04</b>	Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Teil 2-107: Besondere Anforderungen für batteriebetriebene Roboter-Rasenmäher

	(IEC 116/25/CDV:2009)
<b>DIN EN 931:2010-07</b>	Maschinen zur Herstellung von Schuhen - Zwickmaschinen - Sicherheitsanforderungen
<b>DIN EN 528:2009-02</b>	Regalbediengeräte - Sicherheitsanforderungen
<b>DIN EN 13814:2005-06</b>	Maschinen und Strukturen für Jahrmärkten und in Vergnügungsparks - Sicherheit
<b>DIN EN 1525:1997-12</b>	Sicherheit von Flurförderzeugen - Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme
<b>DIN EN ISO 13856-2:2013-08</b>	Sicherheit von Maschinen - Druckempfindliche Schutzeinrichtungen - Teil 2: Allgemeine Leitsätze für die Gestaltung und Prüfung von Schaltleisten und Schaltstangen
<b>DIN EN ISO 13856-3:2012-03</b>	Sicherheit von Maschinen - Druckempfindliche Schutzeinrichtungen - Teil 3: Allgemeine Leitsätze für die Gestaltung und Prüfung von Schaltpuffern, Schaltflächen, Schaltleinen und ähnlichen Einrichtungen
<b>DIN EN 397:2013-04</b>	Industrieschutzhelme
<b>DIN EN 812:2012-04</b>	Industrie-Anstoßkappen
<b>PD CEN/TR 16148:2011-06</b>	Head and neck impact, burn and noise injury criteria. A Guide for CEN helmet standards committees
<b>E DIN EN 415-10:2011-08</b>	Sicherheit von Verpackungsmaschinen - Teil 10: Allgemeine Anforderungen
<b>DIN EN 12453:2001-02</b>	Tore - Nutzungssicherheit kraftbetätigter Tore - Anforderungen
<b>E DIN EN ISO 14120:2013:09</b>	Sicherheit von Maschinen - Trennende Schutzeinrichtungen - Allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau von feststehenden und beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen
<b>IEC 62368:2010-01</b>	Einrichtungen für Audio/Video, Informations- und Kommunikationstechnik – Sicherheitsanforderungen
<b>DIN EN 415-8:2011-06</b>	Sicherheit von Verpackungsmaschinen - Teil

8: Umreifungsmaschinen	
<b>CSA B44-00</b>	The Safety Code for Elevators

Tabelle 15. Liste übernommener Normen

Des Weiteren wurden Richtlinien für die Durchführung spezieller Testverfahren im Automobilbereich gefunden. Die Grenzwerte der *Economic Commission for Europe* (ECE) und den *Federal Motor Vehicle Safety Standards* (FMVSS) wurden in das Gesamtergebnis übernommen. Nennenswert sind an dieser Stelle die folgenden Organisationen, welche ähnliche Testverfahren für die Überprüfung des Insassenschutzes von Transportmitteln publiziert haben:

- Global Technical Regulations (GTR)
- China Compulsory Certification (CCC)
- TRIAS, dem japanischen Pendant zum ECE
- Federal Aviation Regulations (FAR)
- Joint Aviation Authorities of Europe (JAR)

Die entsprechenden Dokumente waren während der Studie nicht zugänglich oder erwiesen sich als ungeeignet.

#### 4.2.3 Portale

Portale bieten die Möglichkeit Informationen zu einem Themengebiet strukturiert abzurufen und bieten einen Zugang zu weiterführenden Informationen. Bei der Literaturrecherche wurden zwei Portale gefunden, deren inhaltliche Relevanz hinsichtlich des thematischen Hintergrunds der Studie als hoch eingestuft wurden:

**TIMi - The Wiki for Trauma Biomechanics Experts** – Dieses Wiki ist ein integraler Bestandteil des Forschungsnetzwerks „Trauma-Biomechanik“. Es dient als konsolidierte Wissensbasis und ein verlässliches Wissensmanagement hinsichtlich wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Verletzungsentstehung. Das zentrale Ziel des Forschungsnetzwerks „Trauma-Biomechanik“ ist es, sowohl international als auch interdisziplinär die Kommunikation, Information und Koordination von Forschungsprojekten im Fach Trauma-Biomechanik in Deutschland zu stärken. Zu den Gründungsmitgliedern gehören die Bundesanstalt für Straßenwesen, Universität Regensburg, Ludwig-Maximilians-Universität München und die von Audi, BMW, Mercedes, Porsche und Volkswagen gegründete Gesellschaft PDB (Partnership for Dummy Technology and Biomechanics).

Das Wiki ist über

<https://wiki.traumabiomechanics.net>

erreichbar (letzter Abruf am 17.11.2013). Für die Nutzung des Wikis ist eine Registrierung erforderlich, die auf der folgenden Seite durchgeführt werden kann:

<http://www.traumabiomechanik.net/tim-wiki/>

**Traumascores** – Eine umfassende Zusammenstellung angewandter Klassifikationen und Scores (sog. Traumascores) aus dem Bereich der Traumatologie und Orthopädie kann unter der Seite

<http://traumascores.com/>

abgerufen werden (letzter Abruf am 17.11.2013). Neben verschiedenen Traumascores finden sich auf dieser Seite auch kontextbezogene Inhalte, die für zusätzliche Einteilungen oder das weitere Verständnis nützlich sind. Die Seite ermöglicht die schnelle Suche nach Klassifikationen und Scores, um Diagnosen, Therapien und Prognosen vergleichbarer zu machen.

Es ist zu beachten, dass dieses Portal auch Klassifikation und Scores zu Erkrankungen beinhaltet, die nicht durch biomechanische Belastungen verursacht sind (z.B. Osteoporose).

#### 4.2.4 Sekundärquellen

Sekundärquellen sind Titel, die Ergebnisse anderer Titel zusammentragen (sog. Reviews oder Surveys). In den meisten Fällen war es nicht möglich, die Titel zu beschaffen, aus denen die Ergebnisse entnommen wurden. Somit war es nur in wenigen Ausnahmefällen möglich, Sekundärquellen in die ACCESS-Datenbanken zu übernehmen, wenn zu den angegebenen Belastungs-Beanspruchungs-Relationen wichtige Angaben über die Versuchsbedingungen zitiert waren. Alle Sekundärquellen die nicht in die ACCESS-Datenbank übernommen werden konnten, und zu denen dadurch kein Datenfaktenblatt existiert, sind in der CITAVI-Datenbank mit dem Status „Sekundärquelle“ gekennzeichnet. Zu den Sekundärquellen zählen auch die Abschlussberichte der Studien, die in Abschnitt 1.2 bereits vorgestellt wurden.

#### 4.3 Verletzungsschwereskalen und Verletzungscodierungen

Die Suche nach relevanten Verletzungsschwereskalen, Scores und Verletzungscodierungen war aufgrund einer hohen Vielfalt in Kombination mit einer kaum prüfaren Verbreitung sehr schwierig. Nur bei wenigen Skalen, Scores und Codierungen konnte festgestellt werden, ob sie anerkannt und weit verbreitet sind. Weiterhin stellte sich heraus, dass viele Skalen und Scores den Bereich „leichte Verletzungen“ nicht beinhalten, wie er im Fokus der Studie lag.

Es zeigte sich, dass die Skalen und Scores mit der höchsten Akzeptanz und Verbreitung dem Bereich der Fahrzeugsicherheit angehören. Eine Zusammenstellung der am meisten etablierten Skalen und Scores kann in [8] und [9] nachgeschlagen werden. An dieser Stelle sei auch auf eine sehr detaillierte Arbeit über die Untersuchung von Risikobewertungen verwiesen [10], die bei der Definition von Risiken hilfreich sein kann.

#### 4.3.1 Verletzungsschwereskalen

Die am häufigsten verwendete Skale zur Einordnung von Verletzungen war erwartungsgemäß die Abbreviated Injury Scale (AIS). Andere Skalen wurden nur selten in vereinzelt Titeln gefunden. Diese sind aber nicht weiter nennenswert, da sie den folgenden Anforderungen nicht genügten:

- Keine messbare Verbreitung (die betreffende Skale wurde nur in einer Publikation verwendet)
- Die Schweren der eingeordneten Verletzungen lagen oberhalb des AIS-Bereichs „leichte Verletzungen“ und sind somit irrelevant hinsichtlich des thematischen Hintergrunds der Studie
- Die betreffende Skale war für spezielle Belastungs-Beanspruchungs-Relationen konzipiert, die nicht im Kontext mit dem thematischen Hintergrund der Studie stehen

Eine Ausnahme hiervon bildet die Minor Injury Severity Scale (MISS). Diese Verletzungsskale wurde entwickelt, um die Anzeichen einer oberflächlichen Verletzung bei Kindern zu kategorisieren. Als mögliche Anwendungsbereiche der Skale wurden Kindertagesstätten und Schulen erwogen. Die Skale erstreckt sich über einen numerischen Bereich von 1 bis 7, wobei jeder Wert einem Verletzungsbild aus Abbildung 13 zugeordnet ist. Die berücksichtigten Verletzungen sind abhängig von ihrer Intensität einer Schwereklasse zugeordnet. Es wird auch die Kategorie „leichte Verletzungen“ verwendet, weshalb die MISS im Kontext mit der neuen Verletzungsschwereklasse so gut geeignet ist. Im Verlauf der Studie konnte nicht ermittelt werden, ob die MISS tatsächlich verwendet wird. [11]

**CATEGORIES INCLUDED IN THE MINOR INJURY SEVERITY SCALE (MISS)**

<b>Animal scratch/Bite</b>	<b>Firearm/Bow</b>	<b>Puncture/Splinter</b>
<b>Bruise/Bump</b>	<b>Floor/Rug burn</b>	<b>Scrape</b>
<b>Burn</b>	<b>Gymnastics</b>	<b>Stings</b>
<b>Choke/Drown</b>	<b>Joint/Bone/Muscle</b>	<b>Testicle impact</b>
<b>Crushing injuries</b>	<b>Loss of consciousness</b>	<b>Tooth injuries</b>
<b>Cut</b>	<b>Nosebleeds</b>	<b>Torn finger/Toenails</b>
<b>Electricity</b>	<b>Paper cut</b>	
<b>Eye</b>	<b>Poison</b>	

Abbildung 13. Verletzungen, die durch die Minor Injury Severity Scale kategorisiert werden

Generell wird in Frage gestellt, ob eine Verletzungsschwereskala für leichte Verletzungen im Sinne der Verletzungsschwerekategorie So sinnvoll ist, da der Bereich „leichte Verletzungen“ auf wenige oberflächliche Verletzungen präzise eingeschränkt werden kann. Die Verwendung von AIS für die Definition von So wird nicht empfohlen, da der niedrigste Wert (AIS<sub>1</sub>) u.a. den Bruch einer Rippe beinhaltet, was mit einer Letalität von 0.7% einhergeht. Für die bestehenden Verletzungsschwerekategorien S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> ist die AIS jedoch durchaus geeignet.

#### 4.3.2 Scores

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden die folgenden Scores gefunden, deren Ansätze sich für die Verletzungsbewertung im Arbeitsschutz je nach Bedarf verwenden ließen:

**Mayo Wrist Score** – Dieser Score wurde für Bewertung von Verletzungen des Handknochens entwickelt. Die Bewertung erfolgt auf Grundlage von Befunden in den Kategorien Schmerz, Zufriedenheit, Bewegungsumfang und Griffstärke. Die Befunde sind vorgegeben und korrespondieren mit einem numerischen Wert. Das Endergebnis wird durch die Aufsummierung der Befundungswerte gebildet und ermöglicht die objektive Einschätzung der Befindlichkeit eines Patienten. [12]

**Score der orthopädischen Arbeitsgruppe Knie (OAK) der Schweizerischen Gesellschaft für Orthopädie** – Dieser Score ist ein etabliertes Beurteilungsinstrument der Funktionalität des Kniegelenks. Der OAK-Score, bei dem allein 40% der Gesamtpunktzahl auf den Parameter "Stabilität" fallen, ist kein rein anamnestisches oder subjektives Untersuchungsinstrument. Anhand der Punkvergabe wird die Verteilung zwischen subjektiven und objektiven Kriterien mit 25% zu 75% angegeben. Neben der Stabilität werden Aspekte, wie Bewegungsausmaß, Umfangsdifferenzen, Schwellung und Funktionsprüfungen durch den Score berücksichtigt. Die subjektive Beurteilung bezieht sich auf Schmerzhäufigkeit, Aktivitätsniveau und Instabilitätsgefühl. [13]

**Score nach Weber** – Dieser Score ist allgemein auf das Sprunggelenk anzuwenden. Er wird von der deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Traumatologie, dem Berufsverband der Ärzte für Orthopädie als auch in den Leitlinien der Orthopädie empfohlen. Erfasst werden Schmerz, Funktion, Stabilität sowie Ergebnisse der radiologischen Bildgebung in Hinsicht auf korrekte Anatomie und Arthrose. [14]

Es ist zu beachten, dass die hier genannten Scores nur für einen bestimmten Körperteil konzipiert sind und auf spezifische Verletzung sowie Erkrankungen zugeschnitten sind. Dennoch zeigen die hier vorgestellten Scores, dass es durchaus relevant ist auch die Folgen einer Beanspruchung infolge eines Belastungsereignisses zu berücksichtigen. Neben Schmerzen und konkreten Verletzungserscheinungen werden auch Kriterien wie Aktivitätsniveau oder Wohlbefinden berücksichtigt. Diese Aspekte ließen sich möglicherweise auch für die mechanische Risikobeurteilung im Arbeitsschutz heranziehen, die bisher nur die unmittelbaren Beanspruchungen wie Schmerz und/oder Verletzung betrachtet.

#### 4.3.3 Verletzungscodierungen

Im Verlauf der Studie wurden lediglich zwei Codierungssysteme identifiziert, auf deren Grundlage in mehreren Titeln die Einordnung von Verletzungen erfolgte:

- Klassifikation von Weichteilverletzungen (AO-Klassifikation) [15]
- International Classification of Diseases (ICD), Kapitel XIX „Verletzungen, Vergiftungen und bestimmte andere Folgen äußerer Ursachen“ [16]

Beide Codierungssysteme sind uneingeschränkt für alle Bereich des menschlichen Körpers geeignet. Die AO-Klassifikation ist im Vergleich zur ICD sehr stark auf Frakturen und deren Folgeverletzungen spezialisiert, wodurch sie nicht für alle Verletzungen infolge stumpfer Gewalt verwendet werden kann. Das Kapitel XIX in der ICD hingegen deckt deutlich mehr Verletzungsbilder ab, weshalb die ICD der AO-Klassifikation vorgezogen werden sollte.

Aufgrund der beachtenswerten Vollständigkeit und weltweiten Verbreitung, wird die ICD (aktuell ist die zehnte Revision verfügbar) für die Eingrenzung von Verletzungen in der mechanischen Risikobewertung im Arbeitsschutz empfohlen.

#### 4.4 Vorschlag über die Definition für die neue Schadensschwerekategorie So

Es wurde eine Definitionsvorschlag für die Schadensschwerekategorie So erarbeitet, die eine bestimmte Verletzungsschwere als Grenze zur Folgekategorie S1 beschreibt. Neben der Definition wurde ein Konzept erarbeitet, wie So in die bestehende Struktur der Schadensschwerekategorien eingeordnet werden kann.

#### 4.4.1 Definitionsvorschlag

Zu der Verletzungsschwerekategorie So zählen ausschließlich oberflächliche Verletzungen, die ohne medizinische Behandlung folgenlos ausheilen. Eine Durchdringung der Oberhaut ist nicht zulässig und daher von dieser Kategorie ausgenommen. Zum Beispiel würde eine leichte Prellung am Unterarm ohne Verletzung der Oberhaut als So klassifiziert werden, wohingegen eine Schürfwunde am Handballen S1 sein würde.

Eine konkrete Zuordnung der zugehörigen Verletzungen erfolgt auf Grundlage der ICD-10 GM (Tabellen ab S. 73).

#### 4.4.2 Hinweise zum Definitionsvorschlag

Bei der Interpretation des Definitionsvorschlags sind die folgenden Hinweise zu berücksichtigen:

- Es sollte beachtet werden, dass jede Verletzung „die ohne medizinische Behandlung folgenlos ausheilt“ durch eine entsprechende Behandlung schneller ausheilt. Der Bedarf über die Behandlung einer leichten Verletzung ist durch die Definition nicht ausgeschlossen.
- Schmerz ist ein fester Bestandteil von So. Weiterhin wird davon abgeraten, eine Schmerzintensität für die Definition von So heranzuziehen (stark subjektives Empfinden, was schlecht quantifiziert werden kann).
- Alle Verletzungen, die in Abschnitt 7.3 nicht aufgeführt sind, sind der Kategorie S1 und/oder S2 zuzuordnen
- Die Schadensschwerekategorie So erstreckt sich über den Bereich von unverletzt (ggf. Schmerzeintritt) bis zur Schwelle leichter Verletzungen (ggf. gemäß der Definition von AIS 1 „minor injury“)

#### 4.4.3 Einordnung

Grundsätzlich wird die hier vorgestellte Schadensschwerekategorie So analog zu den etablierten Kategorien S1 und S2 als Bereich betrachtet. Es handelt sich bei So somit um keine Grenze, die eine Trennung zweier Schadensbereiche markiert. Der Übergang zwischen zwei Bereichen ist stattdessen durch konkrete Grenzwerte definiert, die mit konkreten Beanspruchungen bzw. Verletzungsbildern korrespondieren.

Die neue Schadensschwerekategorie So sollte grundsätzlich der bestehenden Kategorie S1 untergeordnet werden. Der Übergang von So nach S1 ist mit der Eintrittsschwelle von leichten Verletzungen definiert, wie sie auf in den Tabellen ab S. 73 zusammengefasst sind). Somit sind im Bereich So lediglich sehr leichte

Verletzungen (very slight injuries) erlaubt. Für die Festlegung leichter Verletzungen (slight injuries) kann ggf. die Definition und Zuordnung aus AIS 1 verwendet werden [17].

Als weiterer Bereich, der unterhalb von So angegliedert werden sollte, ist ein Unbedenklichkeitsbereich H (harmless area). Der Übergang des Unbedenklichkeitsbereichs H in den Bereich So ließe sich durch die Grenzwerte festlegen, die mit der Schmerzschwelle (Übergang eines Druckgefühls in einen leichten Schmerz) korrespondieren. Somit wären alle Belastungen, die unterhalb der Grenzwerte von H liegen in der mechanischen Risikobewertung als unbedenklich einzustufen, sodass besondere Schutzmaßnahmen möglicherweise nicht erforderlich wären.

Die Einordnung der neuen Schadensschwerekategorie So und des Unbedenklichkeitsbereichs H neben den bestehenden Kategorien S1 und S2 ist in Abbildung 14 dargestellt.

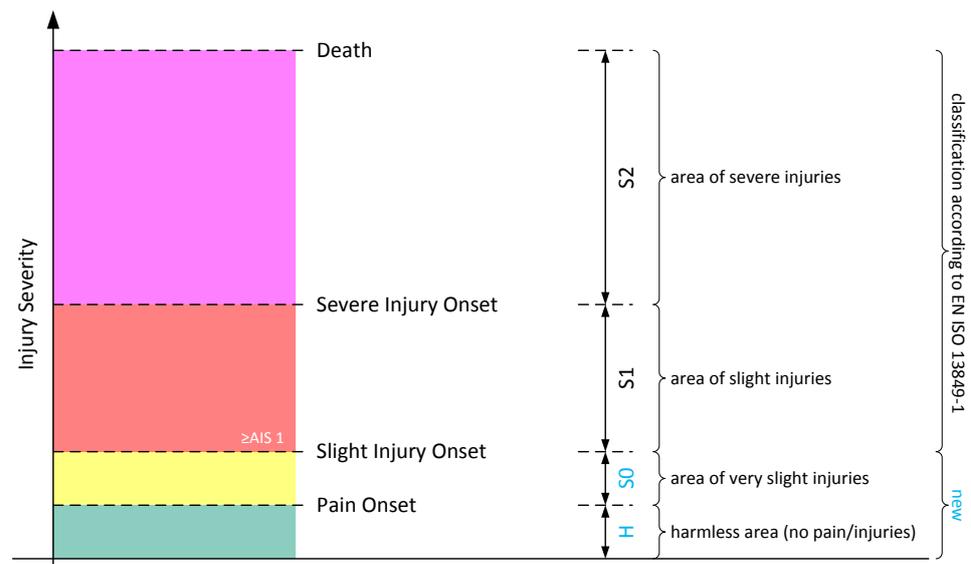


Abbildung 14. Einordnung der Schadensschwerekategorie So und des Unbedenklichkeitsbereichs H in die Strukturierung bestehender Kategorien

#### 4.5 Vorschlag über die Strukturierung von Belastungsgrenzen im modernen Arbeitsschutz

Im Rahmen der Studie ließen sich keine physikalischen Größen bestimmen, die einen alleinigen Einfluss auf eine spezifische Beanspruchung haben. Eine Ausnahme bildet nur die Größe Kraft, mit der die Entstehung von Frakturen in allen betreffenden Titeln einheitlich bemessen wurde. Für einige

Beanspruchungen, wie z.B. Prellungen, wurden in verschiedenen Titeln mehrere Belastungsgrößen angegeben, ohne dass dabei eine konkrete Größe ableiten ließ, die den deutlichsten Einfluss auf die Beanspruchung hat. Der Großteil der gesichteten Titel betrachtete nur eine Belastungsgröße, ohne dabei zu untersuchen, wie maßgeblich deren Einfluss tatsächlich ist.

Aufgrund dieser Situation können keine physikalischen Größen benannt werden, mit denen sich biomechanische Belastungen allgemein und sinnvoll für alle in Betracht kommende Beanspruchungen und Lokalisationen begrenzen lassen. Gerade für singuläre Belastungsereignisse wurde festgestellt, dass die ausschlaggebenden Belastungsgrößen und deren Kombinationen für zahlreiche Beanspruchungen nicht bekannt sind.

Auch wenn keine konkreten Belastungsgrößen benannt werden können, ist bekannt, dass deren Kombination mit einer geometrischen Größe und einer Zeit eine bestimmte Beanspruchung maßgeblich beeinflussen können. So ist bspw. aus der Rechtsmedizin bekannt, dass die Schwere eines Hämatoms von der Energie abhängt, die innerhalb einer bestimmten Fläche und Zeit absorbiert wurde [18]. Aus Schmerzschwellenmessungen ist wiederum bekannt, dass für den quasi-statischen Belastungsfall die maximale Kontaktkraft in Verbindung mit dem Spitzenwert (Druck) der vorliegenden Flächenpressung zwischen Haut und Kontaktkörper relevant ist [19]. Bei der Bestimmung maximaler Schließkräfte von automatischen Türen ist hingegen die Betrachtung eines Kraftwertes ausreichend, wenn von standardisierten Schließkanten ausgegangen werden kann [20]. In einer Untersuchung über die maximale Stoßbelastung von Füßen bei einem Frontalzusammenstoß von PKWs, wurde für Belastungs-Beanspruchungs-Relationen die von mehr als einer Größe oder einem Parameter abhängen der Begriff „Koppelkriterium“ eingeführt [21].

Wie zu erkennen ist, können bis zu drei unterschiedliche Größen und Parameter die Entstehung und/oder Ausprägung einer Beanspruchung beeinflussen. Es wurde für die strukturierte Abbildung biomechanischer Belastungsgrößen eine Darstellung entwickelt, mit der sich bis zu drei Einflussgrößen wiedergeben lassen. Die Struktur orientiert sich hierbei an der Norm DIN EN 62368 [22], in der Belastungsgrößen in ähnlicher Form abgebildet sind.

Bei insgesamt drei Einflussgrößen, lässt sich die beispielhafte Darstellung aus Abbildung 15 heranziehen. Sie besteht aus einer Abszisse (x-Achse) und mehreren Ordinaten (y-Achsen). Auf der Abszisse wird in dem gezeigten Beispiel der Wert einer geometrischen Größe abgebildet. Jede Ordinate ist hingegen einer unterschiedlichen Zeitdauer zugeordnet. In der Ebene, die durch die Abszisse und den Ordinaten aufgespannt wird, markieren farbliche Bereiche unterschiedliche Grenz-Beanspruchungen (z.B. Schmerz oder eine leichte Verletzung). Wie in

einem Koordinatensystem kann anhand der wertemäßig vorliegenden Einflussgrößen und Parameter die zu erwartende Beanspruchung abgelesen werden. Hierbei gilt immer die Ordinate, deren Bezugswert (in diesem Beispiel ist es eine Zeitdauer) durch die Größen erfüllt wird.

Im Beispiel aus Abbildung 15 sind die Einflussgrößen für eine transiente Kollision an einem bestimmten Körperbereich dargestellt:

- $E_{ab}$  absorbierte Kollisionskraft
- $A$  Kontaktfläche
- $T$  Pulsdauer des Kraftimpulses

Für die Einordnung eines Belastungsereignisses, wird abhängig von der gemessenen Pulsdauer die zugehörige Ordinate bestimmt. Es gilt immer die Ordinate, deren zugeordneter Zeitwert dem Ende des Zeitfensters zugeordnet werden kann, in dem die gemessene Pulsdauer liegt. Wurde bspw. eine Pulsdauer von  $T = T^*$  gemessen, gilt die Ordinate mit  $T = T_2$  wenn  $T_2 < T^* \leq T_1$ . Anschließend ergeben die absorbierte Energie (kann über die Messung der Kontaktkraft und Eindringung gemessen werden) und Kontaktfläche die zugehörige Beanspruchung.

Abbildung 16 zeigt die Darstellung für zwei Einflussgrößen anhand eines Beispiels für die oben genannte Schmerzschwellenmessung. Abbildung 17 zeigt die Darstellung anhand des Beispiels für Quetschkraft in Zusammenhang mit automatisch schließenden Türen. Prinzipiell lässt sich die Zuordnung der Belastungsgrößen innerhalb der Darstellung über die Belastungs-Beanspruchungs-Relation beliebig vornehmen und für jede Anwendung individuell anpassen.

Es ist zu beachten, dass jede Darstellung einer Belastungs-Beanspruchungs-Relation immer nur für einen bestimmten Körperbereich gelten kann. Weiterhin müssen in der Darstellung Perzentil-Werte verwendet werden, die besagen, welcher Prozentsatz der Zielpopulation innerhalb und außerhalb der Bereichsgrenzen liegen. Für die Unterteilung des menschlichen Körpers wird auf das IFA verwiesen, die einen gut strukturierten Körperatlas mit Haupt- und Körpereinzelnbereiche erarbeitet und veröffentlicht haben [23].

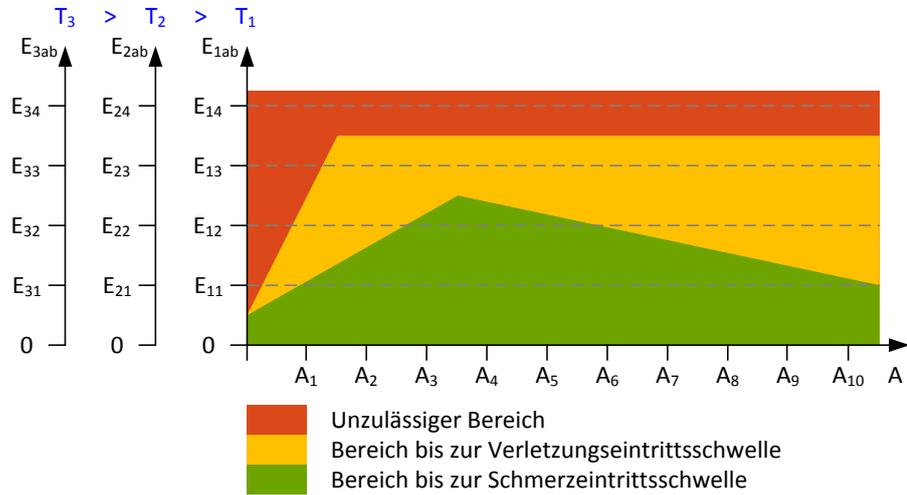


Abbildung 15. Beispielhafte Darstellung der Belastungs-Beanspruchungs-Relation für drei Einflussgrößen (am Beispiel für Prellungen)

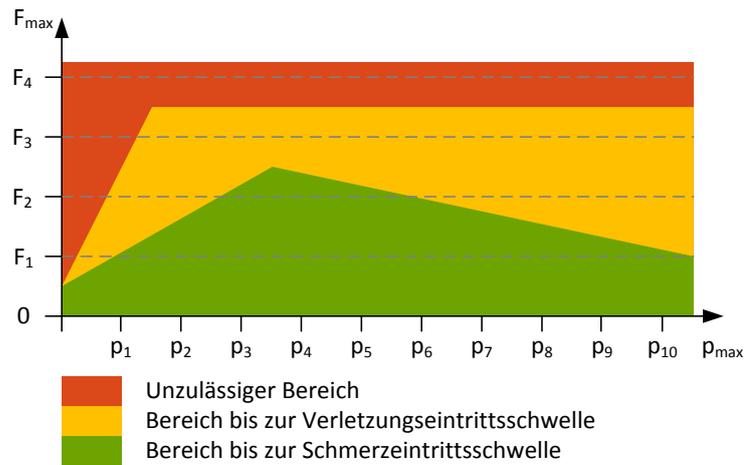


Abbildung 16. Beispielhafte Darstellung der Belastungs-Beanspruchungs-Relation für zwei Einflussgrößen (am Beispiel für Schmerzschnellen)

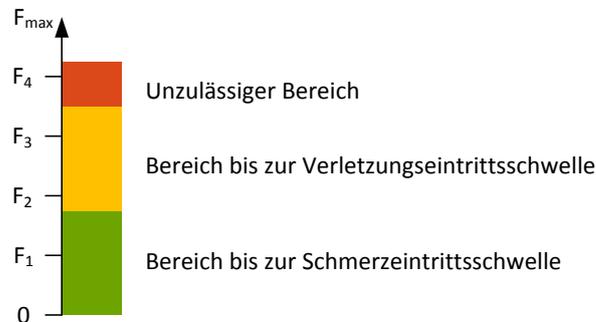


Abbildung 17. Beispielhafte Darstellung der Belastungs-Beanspruchungs-Relation für eine Belastungsgröße (am Beispiel für Quetschkräfte in Zusammenhang mit automatisch schließenden Türen)

#### 4.6 Diskussion

Während der Literaturrecherche konnten die folgenden gebührenpflichtigen Datenbanken nicht berücksichtigt werden:

- Society of Automotive Engineers (SAE)
- Stapp Car Crash Conference
- Transportation Research Board (TRB)

Zahlreiche als relevant eingestufte Ergebnistreffer waren ausschließlich in einer dieser Datenbanken verzeichnet. Da weder die Fraunhofer-Gesellschaft noch die Otto-von-Guericke-Universität über einen Zugang verfügt, konnte die betreffenden Titel nicht eingesehen werden und deshalb in der CITAVI-Datenbank mit dem Status „unzugänglich“ gekennzeichnet. Es wird dringend empfohlen, diese Titel im Rahmen einer Nachrecherche näher zu untersuchen, da die zugehörigen Abstracts auf eine hohe Relevanz vermuten ließen.

Die Sichtung wissenschaftlicher Publikationen aus den Fachbereichen Sport und Verkehrssicherheit zeigte, dass die untersuchten Belastungsereignisse im Zusammenhang mit mechanischen Mensch-Maschine-Schnittstellen nicht zu erwarten sind. Weiterhin ist anzumerken, dass die korrespondierenden Belastungsfolgen weit über ein akzeptables Maß liegen, dass sich noch sinnvoll im Sinne des Arbeitsschutzes begrenzen lässt.

Unter den 100 Titeln in der ACCESS-Datenbank haben lediglich 57 eine hohe Arbeitsschutzrelevanz. Davon entstammen allein 20 Titel aus dem Bereich der Normung bzw. Regelsetzung. Somit sind letztendlich 37 von über 450 gesichteten Titeln für die mechanische Risikobeurteilung von kollaborierenden Robotern absolut hilfreich. Dieses Verhältnis zeigt, dass das Angebot an verwertbaren Belastungsgrößen und Grenzwerten sehr gering ist. Demnach ist der Bedarf an

zugeschnittenen Grenzwerten für die mechanische Risikobewertung in Zusammenhang mit kollaborierenden Robotern weiterhin sehr hoch.

#### **4.7 Ergänzende Anmerkungen**

In diesem Abschnitt sind einige ergänzende Anmerkungen zu unterschiedlichen Aspekten zusammengetragen.

##### **4.7.1 Verwendung von Leichen in Belastungsversuchen**

In keinen der gesichteten und übernommenen Titel, in den Belastungsversuche mit Leichen oder Leichenteilen durchgeführt wurden, fand sich eine Angabe über den Zeitraum vom Eintritt des Todes bis zum Zeitpunkt des Versuches (das sog. postmortale Intervall). Weiterhin wurden keine Titel über Versuche mit verwesenen Leichen oder Leichenteilen gefunden.

Den Rechtsmedizinern, die an der Bearbeitung der KAN-Studie maßgeblich beteiligt waren, ist keine Abhängigkeit zwischen der Länge des postmortalen Intervalls und den mechanischen Eigenschaften einer Leiche bekannt, sofern die Leiche frei von Verwesungserscheinungen ist. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse von Leichenversuchen nie vollständig auf Lebende übertragen werden können, weil der funktionierende Kreislauf fehlt. Für die Erarbeitung von biomechanischen Belastungsgrößen werden generell Belastungsversuche mit Probanden empfohlen, da sie gerade für den Arbeitsschutz präventiv übertragen werden sollen. Hier sind stets Versuche an Lebenden die bessere Wahl.

##### **4.7.2 Weiterentwicklung der ICD**

Zum Zeitpunkt der KAN-Studie war die International Classification of Diseases (ICD) in der Edition 10 aktuell. Es ist zu erwarten, dass zu einem bisher unbekanntem Zeitpunkt eine Edition 11 veröffentlicht wird.

##### **4.7.3 Begrifflichkeiten aus der Rechtsmedizin**

Der Begriff „stumpfe Gewalt“ entstammt dem Fachbereich der Rechtsmedizin und ist wie folgt definiert:

„[...] Der Begriff zielt auf das Verletzungsbild ab, aus dem Schlussfolgerungen über die Art ihrer Entstehung gezogen werden sollen. Er ist weder wörtlich zu nehmen (d.h. der Schnitt mit einem stumpfen Messer [...]) noch (wegen der Vielfalt der ursächlichen Möglichkeiten [...]) abschließend kasuistisch oder exakt physikalisch zu definieren.“ [18]

Der Begriff „spitze, scharfe und halbscharfe Gewalt“ entstammt ebenfalls der Rechtsmedizin und ist wie folgt definiert:

„Die Einwirkung spitzer, scharfer und halbscharfer Gewalt umschreibt eine spezielle Art mechanischer Schädigung, die ihre Charakteristik aus der Form der Kontaktfläche des Werkzeugs und aus dessen Bewegung relativ zur Körperoberfläche bezieht. [...] Bei [dem Begriff halbscharfe Gewalt] handelt es sich [...] um ein Kunstwort, das geprägt wurde, um Zwischenstadien zu den Verletzungen durch stumpfe Gewalt zu charakterisieren. [...]“ [18]

Alle Begriffe sind für die Zuordnung von Beanspruchungen infolge mechanischer Belastungen auch für andere Fachbereiche (z.B. im Arbeitsschutz) durchaus sinnvoll. In der Rechtsmedizin und in der Justiz sind die Begriffe ohne Alleinanspruch sehr etabliert.

#### 4.7.4 Förderprogramme der Bundesregierung

Es wird von den Projektnehmern empfohlen, auch eine Empfehlung an die Bundesregierung auszusprechen, um die Erarbeitung biomechanischer Belastungsgrößen und Grenzwerte zukünftig zu fördern. Hierfür in Frage kommende Programme sind (u.a.):

- Forschung für die Produktion von morgen (Fachprogramm)
- IKT 2020 - Forschung für Innovationen (Fachprogramm)
- IKT 2020 - Wissenschaftliche Vorprojekte zur Mensch-Technik-Interaktion für den demografischen Wandel
- InnoProfile-Transfer - Förderung von Forschungsgruppen und Verbundprojekten

Alle laufenden Förderprogramme können auf der Seite

<http://www.foerderdatenbank.de>

eingesehen werden.

#### 4.7.5 Einsehen der CITAVI-Datenbank

Im Rahmen der Literaturrecherche wurde eine CITAVI-Datenbank angelegt, die alle recherchierten Title enthält. Diese Datenbank kann mit dem kommerziellen CITAVI-Reader eingesehen werden, der über folgende Adresse erreichbar ist:

<https://www.citavi.com/de/download.html>

Es wird empfohlen die neueste Version zu verwenden.

## 5 Zusammenfassung

Das Ziel der KAN-Studie 52 „Biomechanische Belastungsgrenzen“ war die Erarbeitung des aktuellen Stands und des weiteren Bedarfs an Grundlagen für die mechanische Risikobeurteilung. Die Ergebnisse der Studie bilden eine solide Grundlage für zukünftige Arbeiten und dienen Arbeitsschutzexperten sowie Herstellern als Datenbasis bei konkreten Problemstellungen in der Risikobewertung.

Während der Studie wurden im Rahmen einer Literaturrecherche über 1000 Titel zusammengetragen, die relevante Informationen zu biomechanischen Belastungsgrenzen im Kontext mit dem Thema der Studie enthielten. Die Literaturrecherche wurde mit speziell zugeschnittenen Werkzeugen und Methoden durchgeführt, die während der Studie entwickelt wurden. Mit Hilfe einer Literaturverwaltungssoftware wurde die Ablage der relevanten Titel organisiert.

Insgesamt wurden aus 100 der über 1000 Titel konkrete Belastungs-Beanspruchungs-Relationen exzerpiert und in eine ACCESS-Datenbank übernommen. Über eine Exportfunktion kann zu jedem Titel dieser Datenbank ein Datenfaktenblatt erstellt werden, das alle Informationen zu den Belastungs-Beanspruchungs-Relationen enthält. Darüber hinaus ist es möglich, weitere Titel in die Datenbank zu übernehmen.

Das Gesamtergebnis der Studie zeigt, dass der Bedarf an biomechanischen Belastungsgrößen für den zukünftigen Arbeitsschutz sehr groß ist. Ein Großteil der gesichteten Titel befasste sich mit Belastungen, die infolge eines Verkehrsunfalls auf die Insassen eines PKWs wirken. Die damit korrespondierenden Beanspruchungen und Verletzungen lagen in allen Fällen weit über die Verletzungsschwere „leicht verletzt“, die im Fokus der Studie stand. Weiterhin sind die Belastungsarten bei einem Verkehrsunfall von den Belastungsarten verschieden, die bei einem Arbeitsunfall mit einem Roboter zu erwarten sind.

Eine genauere Betrachtung des Gesamtergebnisses zeigt auch, dass bis heute für viele Beanspruchungen und Verletzung die entscheidenden Belastungsgrößen nicht bekannt sind. Gerade im Bereich leichter Weichgewebeverletzungen wurde keine validierte und allgemein akzeptierte Aussage zu den bestimmenden physikalischen Größen gefunden.

Neben der Literaturrecherche wurden im Rahmen der Studie auch Vorschläge erarbeitet, wie sich die neue Schadensschwerekategorie So definieren lässt und wie biomechanische Belastungsgrößen oder Belastung-Beanspruchungs-Relationen für den Arbeitsschutz strukturiert werden können.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] *Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter*, DIN EN ISO 10218-1, 2012.
- [2] *Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 2: Robotersysteme und Integration*, DIN EN ISO 10218-2, 2012.
- [3] HSE, *RR906 - Collision and injury criteria when working with collaborative robots*. Available: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr906.pdf> (2012, Dec. 03).
- [4] NATO, *Test methodology for protection of vehicle occupants against anti-vehicular landmine effects: Méthodologie d'essais pour la protection des occupants de véhicules contre les effets des mines terrestres anti-véhicules*. [Neuilly-sur-Seine Cedex, France]: North Atlantic Treaty Organisation, Research & Technology Organisation, 2007.
- [5] J. W. Melvin, "Review of biomechanical impact response and injury in the automotive environment," *Transportation Research Circular*, no. 374, 1991.
- [6] F. Franke, A. Klein, and A. Schüller-Zwierlein, *Schlüsselkompetenzen: Literatur recherchieren in Bibliotheken und Internet*. Stuttgart [u.a.]: Metzler, 2010.
- [7] Institut für Arbeitsschutz (IFA), *Entwicklung einer Datenbank von Körperbeanspruchungen bei akuter mechanischer Exposition: Projekt-Nr. IFA5111*. Available: [http://www.dguv.de/ifa/Forschung/Projektverzeichnis/IFA\\_5111.jsp](http://www.dguv.de/ifa/Forschung/Projektverzeichnis/IFA_5111.jsp) (2013, Dec. 05).
- [8] W. C. Hayes, M. S. Erickson, and E. D. Power, "Forensic Injury Biomechanics," *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 55–86, <http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.bioeng.9.060906.151946>, 2007.
- [9] P. Thomas, E. Wozdin, M. Mackay, D. Cesari, C. Crandall, T. Gennarelli, K. Langwieder, P. Lovesund, A. J. Mclean, H. Mellander, D. Mohan, K. Ono, D. Otte, F. Walz, and J. Wismans, "Future research directions in injury biomechanics and passive safety research," <http://hdl.handle.net/2134/2581>, 2006.
- [10] L. T. Nguyen, "The derivation and application of risk tolerability criteria," Aston University, 2001.
- [11] L. Peterson, N. Heiblum, and L. Saldana, "Validation of the Minor Injury Severity Scale: Expert and novice quantification of minor injury," *Behavior therapy*, vol. 27, no. 4, pp. 515–530, 1996.

- [12] P. C. Amadio, T. H. Berquist, D. K. Smith, D. M. Ilstrup, Cooney, W P 3rd, and R. L. Linscheid, "Scaphoid malunion," (eng), *J Hand Surg Am*, vol. 14, no. 4, pp. 679–687, 1989.
- [13] W. Muller, R. Biedert, F. Hefti, R. P. Jakob, U. Munzinger, and H. U. Staubli, "OAK knee evaluation. A new way to assess knee ligament injuries," (eng), *Clin Orthop Relat Res*, no. 232, pp. 37–50, 1988.
- [14] Donat Johann Schlemer, "Lebensqualität und klinisch-radiologische Ergebnisse nach Plattenlagerinfekt bei Osteosynthese nach Sprunggelenksfraktur," Inaugural-Dissertation, Abteilung Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Tübingen, 2012.
- [15] T. Ruedi and R. Buckley, *AO Principles of Fracture Management, Books and DVD*: Thieme, 2007.
- [16] World Health Organization, *The ICD-10 classification of mental and behavioural disorders: diagnostic criteria for research*: World Health Organization, 1993.
- [17] *Kriterien für Verletzungen durch Einwirkung auf Kopf und Hals, Verbrennungen und Lärmverletzungen - Leitfaden für Arbeitsgruppen, die europäische Helmnormen erarbeiten; Deutsche Fassung CEN/TR 16148:2011, DIN CEN/TR 16148; DIN SPEC 91248*, 2011.
- [18] B. Brinkmann, *Handbuch gerichtliche Medizin*. Berlin: Springer, 2003.
- [19] A. Muttray, *Bestimmung von Druckschmerzschwellen an der Mensch-Maschine-Schnittstelle – aktueller Stand der Forschung* (2013, Aug. 23).
- [20] D. Mewes, "Schließkräfte an kraftbetätigten Türen und Toren," *BIA-Info 8/98*, vol. 8/98, no. Arbeit und Gesundheit spezial 50 (1998) Nr. 8, pp. S. S32.
- [21] F. Schueler, B. Lorenz, and R. Mattern, "Zur Verletzungsmechanik und Belastbarkeit der unteren Extremität, insbesondere des Fusses," *Fat-Schriftenreihe*, no. 130, 1996.
- [22] *Einrichtungen für Audio/Video, Informations- und Kommunikationstechnik – Sicherheitsanforderungen*, 62368:2009-06, 2009.
- [23] IFA, *BG/BGIA risk assessment recommendations according to machinery directive: Design of workplaces with collaborative robots* (2013, Aug. 22).

## 7 Anhang

### 7.1 Suchbegriffsverzeichnis

Die verwendeten Kernsuchbegriffe und deren deutschen sowie englischen Synonyme sind von Tabelle 16 bis Tabelle 22 zusammengefasst. Die Ausschlussbegriffe, die für die Eingrenzung der Ergebnismenge verwendet wurden, sind in Tabelle 22 eingetragen. Da alle Suchen in den verwendeten Datenbanken unabhängig von Groß- und Kleinschreibung waren, sind die hier aufgeführten Begriffe ungeachtet der Rechtschreibung in Kleinschreibung notiert.

Deutsches Synonym	Englisches Synonym
verletzt*	injur*
trauma	trauma
schmerz	pain
schmerz	hurt
leid	harm
„klinische studie“	"clinical trial"
„klinische forschung“	"clinical research"
schmerztoleranzgrenze	"pain tolerance limit"
„leichte verletzungen“	"light injuries"
„leichte verletzung“	"light injury"
verletzungsvermeidung	"injury prevention"
verletzungsschwere	"injury severity"
„nicht-tödliche verletzungen“	"non-fatal injuries"
„nicht-tödliche verletzung“	"non-fatal injuriy"
„leichte verletzung“	"minor injury"
„leichte verletzungen“	"minor injuries"
wunde	wound
„traumatische verletzung“	"traumatic injury"
„physisches trauma“	"physical trauma"
druckschmerzschwelle	"pressure pain threshold"
druckschmerzschwelle	ppt
druckschmerztoleranz	ptol

druckschmerz	"pressure pain"
schmerzgrenze	"pain threshold"

Tabelle 16 Kernsuchbegriff 1 „Verletzung“

Deutsches Synonym	Englisches Synonym
verletzt*	injur*
trauma	trauma
schmerz	pain
schmerz	hurt
leid	harm
„klinische studie“	"clinical trial"
„klinische forschung“	"clinical research"
schmerztoleranzgrenze	"pain tolerance limit"
„leichte verletzungen“	"light injuries"
„leichte verletzung“	"light injury"
verletzungsvermeidung	"injury prevention"
verletzungsschwere	"injury severity"
„nicht-tödliche verletzungen“	"non-fatal injuries"
„nicht-tödliche verletzung“	"non-fatal injuriy"
„leichte verletzung“	"minor injury"
„leichte verletzungen“	"minor injuries"
wunde	wound
„traumatische verletzung“	"traumatic injury"
„physisches trauma“	"physical trauma"
druckschmerzschwelle	"pressure pain threshold"
druckschmerzschwelle	ppt
druckschmerztoleranz	ptol
druckschmerz	"pressure pain"
schmerzgrenze	"pain threshold"

Tabelle 17. Kernsuchbegriff 2 „Kraft“

Deutsches Synonym	Englisches Synonym
grenzwert	limit
toleranz	tolerance
grenze	threshold
abgrenzung	bound*

maximalwert	„maximum value“
maxim*	max*
schwellewert	level
schwellewert	„marginal value“
kriteri*	crteri*
score	score
höchstwert	„extreme value“

Tabelle 18. Kernsuchbegriff 3 „Grenzwert“

Deutsches Synonym	Englisches Synonym
biomech*	biomech*
biofidel*	biofidel*
biomedizin	„Biomedical engineering“
weichgewebe	„soft tissue“
„biomechanische belastungsgrenzen“	„biomechanical load limit“
kadaver*	cadaver
leichnam	corpse
„postmortales testobjekt“	„post mortem human subject“
„postmortales testobjekt“	pmhs
anthropomet*	anthropomet*

Tabelle 19. Kernsuchbegriff 4 „Biomechanik“

Deutsches Synonym	Englisches Synonym
unfall	accident
arbeitsschutz	„occupational health“
arbeitssicherheit	„occupational safety“
sicherheitsanforderungen	„Safety requirements“
gefahr	danger
risiko	risk
risikobeurteilung	„risk assessment“
sicherheit	safety
risikofaktor	„risk factor“
	„risk factors“

Tabelle 20. Kernsuchbegriff 5 „Unfall“

Deutsches Synonym	Englisches Synonym
kontakt	contact
Impakt	impact
berührung	touch
kollision	collision
„physischer kontakt“	„physical contact“
„ungewollter kontakt“	„unintentional contact“
„stumper aufprall“	„blunt impact“
„stumpfes trauma“	„blunt trauma“
algometrie	algometry

Tabelle 21. Kernsuchbegriff 6 „Kontakt“

Deutsches Synonym	Englisches Synonym
tier	animal
krebs	cancer
medikament*	drug
blutdruck	„blood pressure“
simulation	simulation
rohrstuhl	wheelchair
psych*	psych*
biochem*	biochem*
krankheit	disease
rückenmark	„spinal cord“
neuro*	neuro*
gehirn	brain
fem	„finite element“
veterin*	veterin*
pharma*	pharma*
toxi*	toxi*
diabet*	diabet*
automob*	autmob*
sport	sport
obestias	obesity
fettleibigkeit	adipositiy
adipositas	adiposis

gefäß*	vas?ul*
operation*	surger*
kardi*	cardi*
bakterie*	bacteri*
allerg*	allerg*
patent*	patent
kronisch	chronic
kind*	child*

Tabelle 22. Ausschlussbegriffe

## 7.2 Umgang mit der ACCESS-Datenbank

### 7.2.1 Systemvoraussetzungen

Für die Benutzung der ACCESS-Datenbank wird ein Windows-PC mit Microsoft OFFICE ab der Version 2011 benötigt. Das installierte OFFICE-Paket muss das Programm ACCESS enthalten. Andernfalls ist eine nachträgliche Installation für gewöhnlich möglich.

Für die Benutzung der Datenbank werden Grundkenntnisse im Umgang mit ACCESS empfohlen.

### 7.2.2 Aufbau der ACCESS-Datenbank

Die Datenbank setzt sich aus einem Frontend und einem Backend zusammen. Das Frontend dient zur Eingabe und Darstellung der Daten, die im Backend gespeichert sind. Der Zugang zu den Daten sollte immer über das Frontend erfolgen. Das Frontend ist in der Datei <<iirob.accdb>> gespeichert, das Backend in der Datei <<iirob\_be\_accdb>>.

In dieser Anleitung wird nur die Bedienung des Frontends beschrieben. Einblicke in den Backend-Bereich sind für die Benutzung der Datenbank nicht erforderlich.

### 7.2.3 Verknüpfung von Frontend und Backend

Das Frontend muss bei der ersten Benutzung der Datenbank mit dem Backend verbunden werden:

- <<iirob.accdb>> in ACCESS öffnen
- Im Menüpunkt <Externe Daten> auf **Tabellenverknüpfungs-Manager** {1} klicken (Abbildung 18)

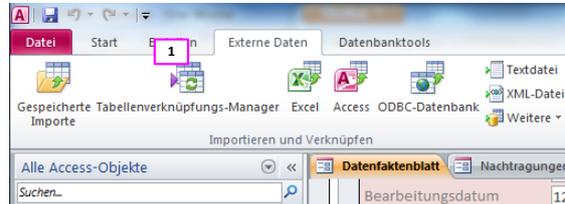


Abbildung 18. Menüpunkt <Externe Daten>

- Es erscheint der <Tabellenverknüpfungs-Manager>
- Im <Tabellenverknüpfungs-Manager> auf **Alle auswählen** {1} klicken und mit **OK** {2} bestätigen (Abbildung 19)
- Es erscheint ein Dialog zum Öffnen einer Datei
- Die Datei <<iirob\_be.accdb>> auswählen und mit OK bestätigen
- Die Verknüpfung zwischen Frontend und Backen ist hergestellt

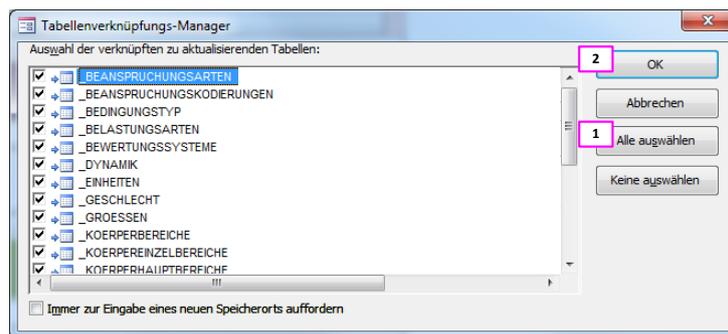


Abbildung 19. <Verknüpfungs-Manager>

#### 7.2.4 Relevante Elemente im Frontend

Das Frontend setzt sich aus Tabellen, Formulare und Berichte zusammen, die über die linke Navigationsleiste {1} (Abbildung 20) erreicht werden.

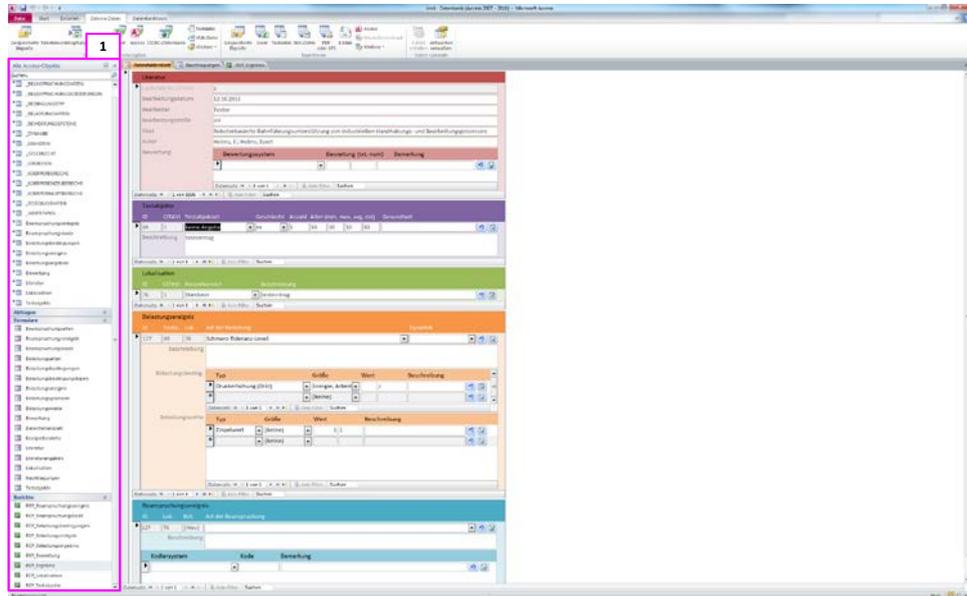


Abbildung 20. Navigationsleiste mit allen relevanten Elementen

Für den Umgang mit der Datenbank sind folgende Elemente wichtig:

- Tabelle <Literatur> {1} (Abbildung 21)
  - Enthält alle übernommenen Titel in tabellarischer Form mit allen wichtigsten Publikationsdaten
  - Wurde aus der CITAVI-Datenbank importiert
- Formular <Datenfaktenblatt> {2}
  - Enthält eine Eingabemaske (sog. Formulare und Unterformulare) mit der Daten zu biomechanischen Belastungsversuche in die Datenbank gespeichert werden können
- Formular <Nachtragungen> {3}
  - Enthält Eingabemasken über die Auswahldaten nachgetragen werden können
- Berichte <REP\_Ergebnis> {4}
  - Enthält eine Darstellung der eingetragenen Daten in Form von Datenfaktenblättern

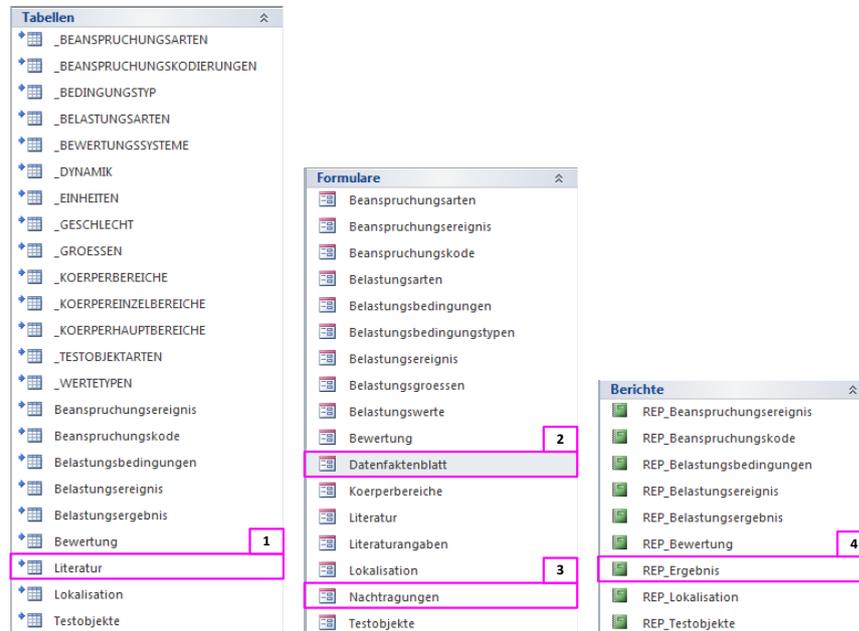


Abbildung 21. Relevante Elemente im Frontend

## 7.2.5 Eintragung neuer Daten

Die Daten über einen Belastungsversuch werden über das Formular <Datenfaktenblatt> in die Datenbank eingetragen. Zunächst muss die Datensatznummer des Titels bestimmt werden, aus den Daten in die Datenbank übernommen werden sollen:

- Tabelle <Literatur> mit einen Doppelklick auf {1} (Abbildung 21) öffnen
- Es erscheint eine Tabelle, die alle bibliografischen Daten der recherchierten Titel enthält
- Den betreffenden Titel in der Tabelle suchen und markieren
- Anschließend prüfen, welche Datensatznummer {1} (Abbildung 22) diesem Titel zugeordnet ist
- Datensatznummer merken – muss in {13} (Abbildung 25) eingetragen werden



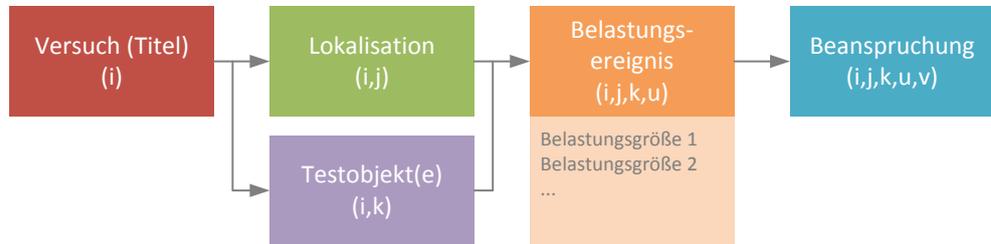


Abbildung 23. Verknüpfung der Elemente eines experimentellen Versuchs

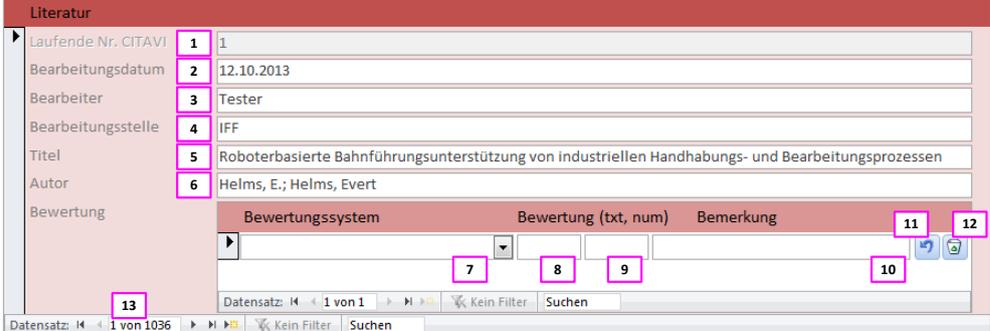
**Navigation in den Formularen / Unterformularen** Innerhalb eines Unterformulars können alle Datensätze angezeigt werden, die im Kontext gemäß Abbildung 23 stehen. Für die Navigation sieht ACCESS eine Steuerleiste vor, die in Abbildung 24 zu sehen ist.



#	Beschreibung
1	Zum ersten Datensatz springen und im Formular anzeigen
2	Zum vorherigen Datensatz springen
3	Nummer des angezeigten Datensatznummer (kann auch direkt eingegeben werden)
4	Zum nächsten Datensatz springen
5	Zum letzten Datensatz springen
6	Einen neuen Datensatz anlegen

Abbildung 24. Navigation in den Unterformularen / Formularen

**Unterformular <Literatur>** Hierüber wird die entsprechende Publikation ausgewählt, zu der Versuchsdaten eingetragen werden sollen. Neben Angaben zur Bearbeitung wird hier auch die Bewertung der Publikation gemäß Abschnitt 3.3.4 vorgenommen. Alle weiteren Elemente sind in Abbildung 25 zusammengefasst.



## # Beschreibung

- |    |  |
|----|--|
| 1  | CITAVI-ID  |
| 2  | Bearbeitungsdatum (aktuelles Datum)  |
| 3  | Name des Bearbeiters   |
| 4  | Name der Bearbeitungsstelle  |
| 5  | Titel der aktiven Publikation (nicht editierbar)   |
| 6  | Autor der aktiven Publikation (nicht editierbar)   |
| 7  | Bewertungssystem auswählen (vgl. Abschnitt 3.3.4)  |
| 8  | Bewertung (numerisch – vgl. Abschnitt 3.3.4)   |
| 9  | (für die vorhandenen Bewertungssysteme nicht notwendig)  |
| 10 | Bemerkung zur Bewertung (optional)   |
| 11 | Eingabe / Änderung rückgängig machen   |
| 12 | Eintrag löschen (Achtung: der gesamte Eintrag wird unwiderruflich gelöscht)  |
| 13 | Steuerleiste zur Navigation zwischen den Publikationen – hier wird die Datensatznummer eingetragen, die aus der Tabelle <Literatur> bestimmt wurde |

Abbildung 25. Unterformular <Literatur>

**Unterformular <Testobjekte>** Hierüber werden alle Informationen zu den Testobjekten eingetragen, die für die Versuche aus der ausgewählten Publikation verwendet wurden. Es ist zu beachten, dass in einer Publikation mehrere Versuche mit unterschiedlichen Testobjekten durchgeführt sein können. Aus diesem Grund ist es möglich, mehrere Testobjekte einer Publikation zuzuordnen.

Testobjekte									
ID	CITAVI	Testobjektart	Geschlecht	Anzahl	Alter (min, max, avg, std)			Gesundheit	
69	1	keine Angabe	m	1	10	10	10	10	
		9 intrag							8
10									

Datensatz: 1 von 1 | Kein Filter | Suchen

## # Beschreibung

- 1 Art der Testobjekte
- 2 Angabe zum Geschlecht
- 3 Anzahl
- 4 Alter (Minimum)
- 5 Alter (Maximum)
- 6 Alter (Mittelwert)
- 7 Alter (Standardabweichung)
- 8 Bemerkung zum Gesundheitszustand (optional)
- 9 Beschreibung der Testobjekte (optional)
- 10 Steuerleiste zur Navigation zwischen den vorhandenen Datensätzen (die der angezeigten Publikation im Unterformular <Literatur> untergeordnet sind)

Abbildung 26. Unterformular <Testobjekte>

**Unterformular <Lokalisation>** Über dieses Unterformular wird die Lokalisation angegeben, an der die angegebenen Testobjekte in der ausgewählten Publikation untersucht wurden. Es ist zu beachten, dass in einer Publikation mehrere Versuche an unterschiedliche Lokalisationen durchgeführt sein können. Aus diesem Grund ist es möglich, mehrere Lokalisationen einer Publikation zuzuordnen. Weiterhin ist zu beachten, dass die angegebene Lokalisation immer im Kontext mit den angezeigten Daten im Unterformular <Testobjekte> stehen muss.

Lokalisation			
ID	CITAVI	Körperbereich	Beschreibung
76	1	1 Stirnbein	testeintrag
2			
3			

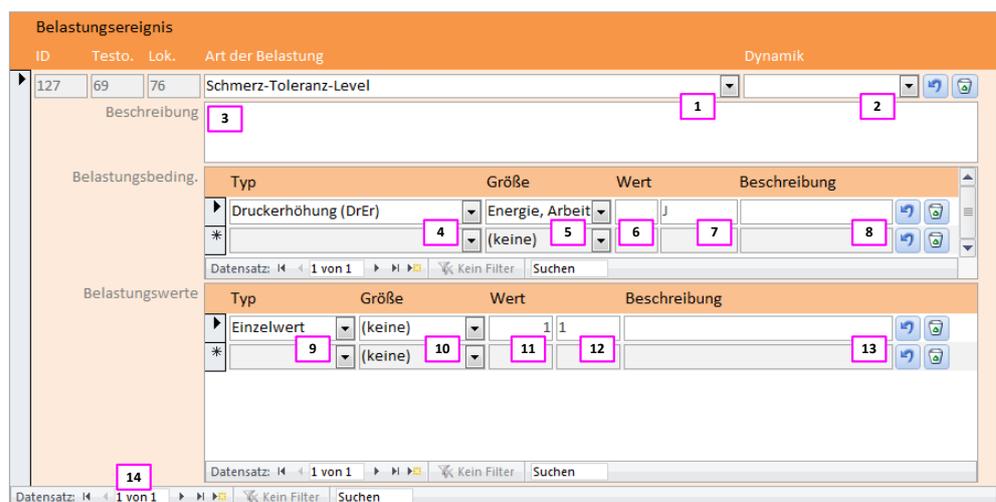
Datensatz: 1 von 1 | Kein Filter | Suchen

## # Beschreibung

- 1 Steuerleiste zur Navigation zwischen den vorhandenen Datensätzen (die der angezeigten Publikation im Unterformular <Literatur> untergeordnet sind)
- 2 Auswahl des Körperbereichs
- 3 Beschreibung des Körperbereichs (optional)

Abbildung 27. Unterformular &lt;Lokalisation&gt;

**Unterformular <Belastungsereignis>** In diesem Unterformular werden alle Informationen zum Belastungsereignis und deren Messgrößen eingetragen. Dieser Eintrag steht im Kontext mit den Daten, die in den Unterformularen <Testobjekte> und <Lokalisation> angezeigt werden. Es ist zu beachten, dass mehrere Belastungsbedingungen (Versuchsgrößen) und/oder Belastungswerte (Messwerte) zum Belastungsereignis angegeben werden können.



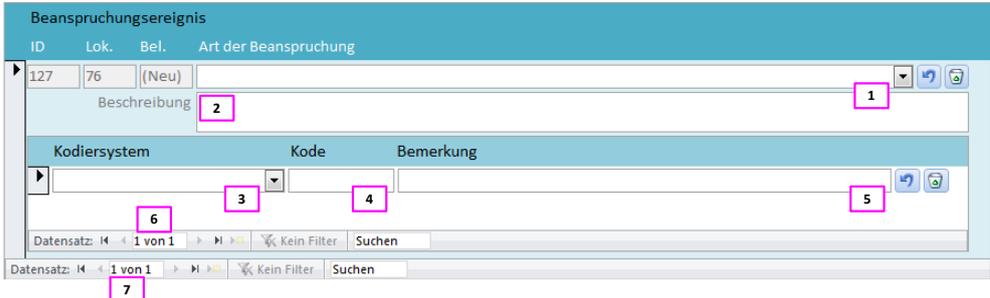
## # Beschreibung

- |    |   |
|----|---|
| 1  | Art der Belastung   |
| 2  | Dynamik der Belastung   |
| 3  | Beschreibung der Belastung (u.a. Informationen zum Versuchsaufbau)        |
| 4  | Art der messbaren Belastungsbedingungen                                   |
| 5  | Physikalische Größe, die der Belastungsbedingungen zugeordnet werden kann |
| 6  | Wert der Belastungsbedingung  |
| 7  | Einheit der physikalischen Größe  |
| 8  | Beschreibung zur Belastungsbedingung                                      |
| 9  | Art des Belastungswert  |
| 10 | Physikalische Größe des Belastungswerts                                   |
| 11 | Numerischer Belastungswert bzw. Messwert                                  |
| 12 | Einheit der physikalischen Größe  |
| 13 | Beschreibung zum Belastungswert   |
| 14 | Steuerleiste zur Navigation zwischen den vorhandenen Datensätzen (die     |

den angezeigten Testobjekten und der angezeigten Publikation untergeordnet sind)

Abbildung 28. Unterformular <Belastungsereignis>

**Unterformular <Beanspruchungsereignis>** Informationen zur Belastungsfolge (sog. Beanspruchung) werden in diesem Formular eingetragen. Jedem Belastungsereignis können mehrere Beanspruchungen zugeordnet werden.



## # Beschreibung

- |   |  |
|---|--|
| 1 | Auswahl der Beanspruchung  |
| 2 | Beschreibung der Beanspruchung   |
| 3 | Auswahl des Kodiersystems zur Einordnung der Beanspruchung   |
| 4 | Kode, mit dem sich die Beanspruchung beschreiben oder charakterisieren lässt   |
| 5 | Bemerkung zur Kodierung  |
| 6 | Steuerleiste zur Navigation zwischen den vorhandenen Datensätzen (die der angezeigten Beanspruchung untergeordnet sind)      |
| 7 | Steuerleiste zur Navigation zwischen den vorhandenen Datensätzen (die dem angezeigten Belastungsereignis untergeordnet sind) |

Abbildung 29. Unterformular <Beanspruchungsereignis>

### 7.2.6 Nachtragungen von Auswahldaten (Listendaten)

In den vorgestellten Unterformularen können bestimmte Inhalte aus Auswahllisten gewählt werden. Die in den Listen enthaltenen Daten können im Formular <Nachtragungen> ergänzt werden.

Körperbereiche	
Koerpereinzelnbereich	1 Schädel/Stirn
Bezeichnung	2 Stirnbein
Fachbezeichnung	3 Os frontale
Fachbezeichnung (eng)	4 frontal bone
Datensatz: 1 von 66   Kein Filter   Suchen	
Belastungsarten	
Bezeichnung	5 Schmerz-Toleranz-Level
Beschreibung	6
Datensatz: 1 von 14   Kein Filter   Suchen	
Belastungsbedingungstypen	
Bezeichnung	7 Druckerhöhung (DrEr)
Beschreibung	8
Datensatz: 1 von 25   Kein Filter   Suchen	
Belastungsgrößen	
Bezeichnung	9 Energie, Arbeit
Abkürzung	10 E
Beschreibung	11
Datensatz: 1 von 37   Kein Filter   Suchen	
Beanspruchungsarten	
Bezeichnung	12 Prellung
Beschreibung	13
Datensatz: 1 von 34   Kein Filter   Suchen	

## # Beschreibung

- 1 Auswahl des Körpereinzelnbereichs gemäß des Körperatlas des IFA / der BG
- 2 Bezeichnung des neuen Körperbereichs
- 3 Fachbezeichnung des angegebenen Körperbereichs
- 4 Englische Fachbezeichnung des angegebenen Körperbereichs
- 5 Bezeichnung der neuen Belastungsart
- 6 Beschreibung der angegebenen Belastungsart
- 7 Bezeichnung der neuen Belastungsbedingungen
- 8 Beschreibung der angegebenen Belastungsbedingungen
- 9 Bezeichnung der neuen Belastungsgröße
- 10 Abkürzung der angegebenen Belastungsgröße
- 11 Beschreibung der angegebenen Belastungsgröße
- 12 Bezeichnung der neuen Beanspruchungsart

### 13 Beschreibung der angegebenen Beanspruchungsart

Abbildung 30. Formular <Nachtragungen>

Es ist zu beachten, dass über das Formular <Nachtragungen> nicht allen Listendaten ergänzt werden können. Dies kann bei Bedarf in den entsprechenden Tabellen vorgenommen werden.

#### 7.2.7 Export der Ergebnisse (Datenfaktenblätter)

Die eingetragenen Daten können über eine Exportfunktion als Datenfaktenblätter herausgeschrieben werden:

- In der Navigationsleiste {1} (Abbildung 20) unter <Berichte> mit der Maus einen Rechtsklick auf <REP\_Ergebnis> {4} (Abbildung 21) ausführen
- Es erscheint ein Kontextmenü
- Anklicken von **Seitenansicht** {1} (Abbildung 31)
- Es erscheinen die Datenfaktenblätter

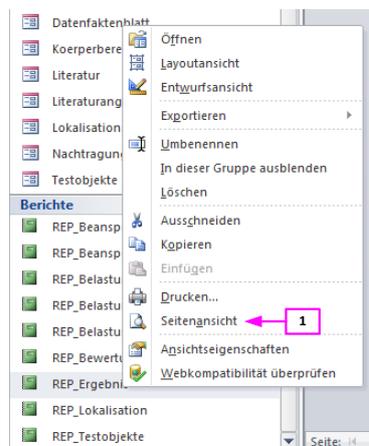


Abbildung 31. Erstellen der Datenfaktenblätter

Anschließend können die Datenfaktenblätter als PDF gespeichert werden:

- Im Hauptmenü den Menüpunkt **PDF oder XPS** {1} (Abbildung 32) anklicken
- Es öffnet sich ein Dateidialog
- Dateinamen angeben, unter den die Datenfaktenblätter gespeichert werden sollen
- Mit **OK** bestätigen
- Die Datenfaktenblätter werden in ein PDF geschrieben

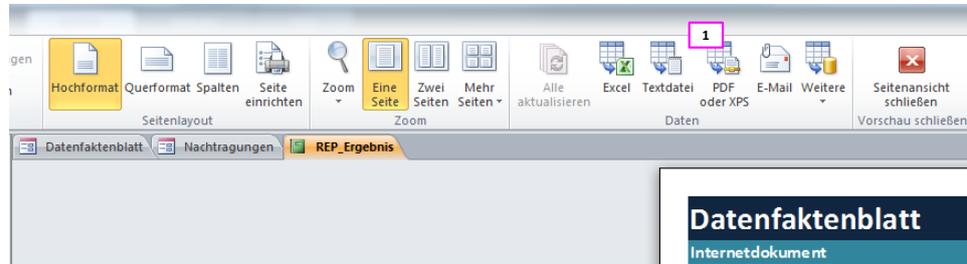


Abbildung 32. Speichern der Datenfaktenblätter als PDF-Dokument

## 7.2.8 Aufbau der Datenfaktenblätter

Die Datenfaktenblätter enthalten folgende Information in der folgenden Reihenfolge:

- Bibliografische Daten
  - Dokumenttyp (gemäß Tabelle 3)
  - Autor
  - Titel
  - Untertitel
  - Abstract
  - Jahr
  - Bewertung
    - Technische Bewertung
    - Medizinische Bewertung
- Lokalisation (mehr als eine Lokalisation je Publikation möglich)
  - BG-Kode (Körperatlas des IFA / der BG)
  - Körperhauptbereich (Körperatlas des IFA / der BG)
  - Körpereinzelnbereich (Körperatlas des IFA / der BG)
  - Bezeichnung der exakten Lokalisation
  - Beschreibung der Lokalisation
  - Belastungsereignis (mehr als ein Belastungsereignis je Lokalisation möglich)
    - Art der Belastung
    - Dynamik der Belastung
    - Beschreibung der Belastung
    - Belastungsbedingungen (mehr als eine Belastungsbedingung je Belastungsereignis möglich)
      - Art der Belastungsbedingungen
      - Physikalische Größe der Belastungsbedingung
      - Wert der Belastungsbedingung
      - Einheit der Belastungsbedingung
      - Beschreibung der Belastungsbedingung

- Belastungsergebnis (mehr als ein Belastungsergebnis je Belastungsereignis möglich)
  - Art des Belastungswerts (Messwert)
  - Physikalische Größe des Belastungswerts
  - Numerischer Belastungswert
  - Einheit des Belastungswerts
  - Beschreibung des Belastungswerts
- Beanspruchungsereignis (mehr als ein Ergebnis je Belastungsereignis möglich)
  - Art der Beanspruchung
  - Beschreibung der Beanspruchung
  - Kodierung der Beanspruchung
- Testobjekte, auf denen die Belastung einwirkte (nur ein Angabe je Belastungsereignis möglich)
  - Art der Testobjekte
  - Geschlecht der Testobjekte
  - Gesundheitszustand
  - Anzahl
  - Alter (Minimum)
  - Alter (Maximum)
  - Alter (Mittelwert)
  - Alter (Standardabweichung)
  - Beschreibung der Testobjekte

Die Qualität der Datenfaktenblätter hinsichtlich ihrer Relevanz für den Arbeitsschutz ist analog zu Abbildung 12 mit einem Farbfeld im Titel kodiert (rechts vom Titel „Datenfaktenblatt“).

### 7.3 Zuordnung der ICD-10-Codierungen zu den akzeptablen Verletzungen aus dem Definitionsvorschlag So

In den folgenden Tabellen sind die Die ICD-10-Codierungen verzeichnet, die den beiden Definitionsvarianten der Schadensschwerekategorie So aus Abschnitt 4.4 zugeordnet sind.

#### Verletzungen des Kopfes

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
Soo.-	<b><i>Oberflächliche Verletzung des Kopfes</i></b> 0 Art der Verletzung nicht näher bezeichnet 1 Schürfwunde 2 Blasenbildung (nichtthermisch) 5 Prellung 8 Sonstige
Soo.o-[0,5,8]	Oberflächliche Verletzung der behaarten Kopfhaut

S00.3-[0,5,8]	Oberflächliche Verletzung der Nase
S00.4-[0,2,5]	Oberflächliche Verletzung der Lippe und der Mundhöhle <b>HINWEIS</b> Oberflächliche Durchtrennungen der Schleimhaut müssen ausgeschlossen werden, da oberflächliche Verletzungen der Schleimhaut zu starken Blutungen neigen. Eine Folge hierbei wäre die Einatmung von Blut, was zu stärksten Atembeschwerden führen kann.
S00.8-[0,5,8]	Oberflächliche Verletzungen sonstiger Teile des Kopfes

### Verletzungen des Halses

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
S10.-	<b>Oberflächliche Verletzung des Halses</b> 0 Art der Verletzung nicht näher bezeichnet 1 Schürfwunde 2 Blasenbildung (nichtthermisch) 5 Prellung 8 Sonstige
S10.0	Prellung des Rachens
S10.1-[0,8]	Sonstige nicht näher bezeichnete oberflächliche Verletzungen
S10.7	Multiple oberflächliche Verletzungen des Halses
S10.8-[0,5,8]	Oberflächliche Verletzung sonstiger Teile des Halses
S10.9-[0,5,8]	Oberflächliche Verletzung des Halses, Teil nicht näher bezeichnet

### Verletzungen des Thorax

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
S20.-	<b>Oberflächliche Verletzung des Thorax</b> 0 Art der Verletzung nicht näher bezeichnet 1 Schürfwunde 2 Blasenbildung (nichtthermisch) 5 Prellung 8 Sonstige
S20.0	Prellung der Mamma [Brustdrüse]
S20.1-[0,2,8]	Sonstige und nicht näher bezeichnete oberflächliche Verletzungen der Mamma [Brustdrüse]
S20.2	Prellung des Thorax
S20.3-[0,2,8]	Sonstige oberflächliche Verletzungen der vorderen Thoraxwand
S20.4-[0,2,8]	Sonstige oberflächliche Verletzungen der hinteren Thoraxwand
S20.8-[0,2,5,8]	Oberflächliche Verletzung sonstiger und nicht näher bezeichneter Teile des Thorax (Brustwand o.n.A., Rippenregion, Thoraxwand o.n.A.)

### Verletzungen des Abdomens, der Lumbosakralgegend, der Lendenwirbelsäule und des Beckens

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
S30.-	<b>Oberflächliche Verletzung des Abdomens, der Lumbosakralgegend und des Beckens</b> 0 Art der Verletzung nicht näher bezeichnet 1 Schürfwunde 2 Blasenbildung (nichtthermisch) 5 Prellung 8 Sonstige
S30.0	Prellung der Lumbosakralgegend und des Beckens (Gesäß, Lumbalgegend, Sakralgegend)
S30.1	Prellung der Bauchdecke (Epigastrium, Flanke, Iliakalregion, Inguinalregion,

	Leiste)
S30.2	Prellung der äußeren Genitalorgane (Labium (majus) (minus), Penis, Perineum, Skrotum, Testis, Vulva)
S30.8-[01,5,8]	Sonstige oberflächliche Verletzungen des Abdomens, der Lumbosakralgegend und des Beckens
S30.9-[0,1,5,8]	Oberflächliche Verletzung des Abdomens, der Lumbosakralgegend und des Beckens, Teil nicht näher bezeichnet

### Verletzungen der Schulter und des Oberarms

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
S40.-	<b><i>Oberflächliche Verletzung der Schulter und des Oberarmes</i></b>
S40.0	Prellung der Schulter und des Oberarmes
S40.7	Multiple oberflächliche Verletzungen der Schulter und des Oberarmes

### Verletzungen des Ellenbogens und des Unterarmes

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
S50.-	<b><i>Oberflächliche Verletzung des Unterarmes</i></b>
S50.0	Prellung des Ellenbogens
S50.1	Prellung sonstiger und nicht näher bezeichneter Teile des Unterarmes

### Verletzungen des Handgelenks und der Hand

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
S60.-	<b><i>Oberflächliche Verletzung des Handgelenkes und der Hand</i></b>
S60.0	Prellung eines oder mehrerer Finger mit Schädigung des Nagels
S60.1	Prellung sonstiger Teile des Handgelenkes und der Hand

### Verletzungen der Hüfte und des Oberschenkels

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
S70.-	<b><i>Oberflächliche Verletzung der Hüfte und des Oberschenkels</i></b>
S70.0	Prellung der Hüfte
S70.1	Prellung des Oberschenkels

### Verletzungen des Knies und des Unterschenkels

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
S80.-	<b><i>Oberflächliche Verletzung des Unterschenkels</i></b>
S80.0	Prellung des Knies
S80.1	Prellung sonstiger und nicht näher bezeichneter Teile des Unterschenkels

### Verletzungen der Knöchelregion und des Fußes

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
S90.-	<b><i>Oberflächliche Verletzung der Knöchelregion und des Fußes</i></b>
S90.0	Prellung der Knöchelregion
S90.1	Prellung einer oder mehrerer Zehen ohne Schädigung des Nagels (Prellung einer oder mehrerer Zehen o.n.A.)

S90.2	Prellung einer oder mehrerer Zehen mit Schädigung des Nagels
S90.3	Prellung sonstiger und nicht näher bezeichneter Teile des Fußes

### Verletzungen mit Beteiligungen mehrerer Körperregionen

Code enthaltener Verletzungen	Bezeichnung
T09.0-	<i>Oberflächliche Verletzung des Rumpfes, Höhe nicht näher bezeichnet</i>
T09.05	Prellung
T10.0-	<i>Sonstige Verletzungen der oberen Extremität, Höhe nicht näher bezeichnet</i>
T10.05	Prellung
T13.0-	<i>Sonstige Verletzungen der unteren Extremität, Höhe nicht näher bezeichnet</i>
T13.05	Prellung

## 7.4 Glossar

Auflistung von Begriffen (u.a. Kernsuchbegriffe), die bei Bedarf zur Harmonisierung von Fachbegriffen herangezogen werden können. In alphabetischer Reihenfolge sind die englischen Fachbegriffe mit den korrespondierenden deutschen Übersetzungen angegeben.

Accident	Unfall
algometry	Algometrie
anthropometry	Anthropometrie
<b>Biofidel</b>	biofidel
biomechanics	Biomechanik
biomedical engineering	biomedizinisches Engineering
blunt impact	stumpfer Aufprall
blunt trauma	stumpfes Trauma
<b>Cadaver</b>	Kadaver, Leichnam
clamping force	Klemmkraft
clinical research	klinische Forschung
clinical trial	klinische Studie
collision	Kollision
contact	Kontakt
contact force	Kontaktkraft
crush force	Quetschkraft
<b>Failure load</b>	Grenzlast
<b>Impact</b>	Aufprall

impact force	Auftreffkraft
injury criteria	Verletzungskriterium
injury prevention	Verletzungsvermeidung
injury severity	Verletzungsschwere
<b>Level</b>	Schwellwert
light injury	leichte Verletzung
limit	Grenzwert
load	Belastung
load limit	Belastungsgrenze
<b>Minor injury</b>	leichte Verletzung
<b>Non-fatal injury</b>	nicht-tödliche Verletzung
<b>Occupational safety</b>	Arbeitssicherheit, Arbeitsschutz
<b>Pain threshold</b>	Schmerzgrenze
pain tolerance limit (PTOL)	Druckschmerztoleranz
physical contact	physischer Kontakt
physical trauma	physisches Trauma
pinch force	Kneifkraft
post mortem human subject (PMHS)	postmortales Testobjekt
pressure	Flächenpressung
pressure pain	Druckschmerz
pressure pain threshold (PPT)	Druckschmerzschwelle
risk assessment	Risikobeurteilung
<b>Safety requirements</b>	Sicherheitsanforderungen
shear force	Scherkraft
shock	Stoß
squeezing force	Quetschkraft
stress	Druck
<b>Threshold</b>	Grenze
tolerance	Toleranz
trapping force	Klemmkraft
trauma	Trauma

trauma score  
traumatic injury

Traumascore, Traumaskala  
traumatische Verletzung

**Unintentional contact**

ungewollter Kontakt