Pieper/Lang
(Hrsg.)

# Sicherheits-wissenschaftliches Kolloquium 2013 - 2014

## Band 10

Schriftenreihe des Instituts für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER)

Forschungsbericht - Nr. 30

**Forschungsbericht – Nr. 30**

Ralf Pieper
Karl-Heinz Lang
(Hrsg.)

# Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2013 – 2014

## Band 10

**Wuppertal** **Juni 2015**

Der hier vorliegende Forschungsbericht – Nr. 30 ist die Dokumentation der eingereichten Schriftbeiträge der Autoren, die innerhalb des Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquiums in den Jahren 2013 und 2014 (Wintersemester 2013/2014 und Sommersemester 2014) Themenbeiträge diskutiert haben. Das Sicherheitswissenschaftliche Kolloquium, durchgeführt vom Fachgebiet Sicherheitstechnik / Sicherheits- und Qualitätsrecht der Bergischen Universität Wuppertal in Kooperation mit dem Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER), beschäftigt sich u. a. mit den sich im Wandel befindlichen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen für Sicherheit, Gesundheit und Qualität. Die Verantwortung für den Inhalt der Einzelbeiträge dieser Veröffentlichung liegt bei der jeweiligen Autorin, dem jeweiligen Autor oder dem jeweiligen Autorenkollektiv.

Herausgeber: apl. Prof., Dr. rer. pol. Ralf Pieper
Bergische Universität Wuppertal
Fachgebiet Sicherheitstechnik / Sicherheits- und Qualitätsrecht
Gaußstraße 20
42097 Wuppertal
E-Mail: rpieper@uni-wuppertal.de
Internet: www.suqr.uni-wuppertal.de

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Lang
Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER)
Corneliusstraße 31
42329 Wuppertal
E-Mail: lang@institut-aser.de
Internet: www.institut-aser.de

© by Institut ASER e.V., Wuppertal, 2015
Druck: buch bücher dd ag, Birkach
Printed in Germany 2015

ISBN 978-3-936841-27-5

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

www.institut-aser.de
www.suqr.uni-wuppertal.de

In die Schriftenreihe Forschungsberichte des Instituts ASER e.V. werden seit dem Jahr 2001 u. a. auch solche Forschungsergebnisse eingestellt, die in Bezug auf die auftraggebende(n) Organisation(en) oder auf die beteiligten Kooperationspartner aus Gründen des Datenschutzes vorerst nicht in einer zusammenhängenden Darstellungsform frei veröffentlicht werden können und eine Anonymisierung dieser alleinstehenden Forschungsergebnisse nicht möglich ist oder noch nicht vorgenommen werden konnte. Die Aufarbeitung der Forschungsergebnisse in die Form der formalisierten Forschungsberichte des Instituts ASER e.V. dient dazu, diese Forschungsergebnisse in spätere Veröffentlichungen dann mit geringerem Aufwand einfließen zu lassen.

# Vorwort und Einleitung

Im Jahr 1975 wurde der *Fachbereich Sicherheitstechnik* gegründet. Somit kann die sicherheitswissenschaftliche Forschung und Lehre der Bergischen Universität Wuppertal auf eine vierzigjährige Geschichte zurückblicken[1]. Die dabei entwickelte sicherheitswissenschaftliche Konzeption dient bis heute als Blaupause für viele Neugründungen von Studiengängen an anderen Hochschulen und Universitäten, die ganz überwiegend auch erst im neuen Jahrtausend an den Start gegangen sind[2]. Diesem Sachverhalt entgegengesetzt scheint die Wuppertaler Sicherheitswissenschaft regional ein fast unausgesprochenes, wohl gehütetes Geheimnis zu sein, ein weißer Fleck im Denken und Handeln. Ein Phänomen, das sich hoffentlich nicht noch zu einem Treppenwitz der Geschichte weiterentwickeln wird (vgl. HETTINGER, 1988[3]; PIEPER & LANG, 2007[4]).

Ein Faktum: Durchgängig sind in den vier Jahrzehnten ihres Bestehens die vom *Fachbereich Sicherheitstechnik* bzw. von der *Abteilung Sicherheitstechnik* ausgebildeten Menschen mit der Qualifikation des Sicherheits-, Qualitäts-, Verkehrs-, Brandschutz- oder Umweltschutzingenieurs von Unternehmen, Behörden und Wissenschaftseinrichtungen nachgefragt worden, so dass sie dort mit weithin anerkannter Expertise zur Umsetzung und / oder Entwicklung sicherheitswissenschaftlicher Erkenntnisse beitragen.

Ein Signal: Aus Anlass *„40 Jahre Wuppertaler Sicherheitstechnik“* wurde am 28. Mai 2015 auf dem Campus Freudenberg das öffentliche Symposium zu den 3. Wuppertaler Sicherheitstagen unter dem Motto *„Innovation und Sicherheit im Gleichklang“* veranstaltet. Hierbei sind von der Abteilung Sicherheitstechnik gemeinsam mit Kooperationspartnern sicherheitswissenschaftliche Forschungs- und Entwicklungsergebnisse präsentiert, zukünftige Herausforderungen aufgezeigt und zur Diskussion gestellt worden[5].

---

[1] **Aufbau der Bergischen Universität Wuppertal**
(www.uni-wuppertal.de/universitaet/geschichte-der-universitaet-archiv/aufbau-1973-1998.html).

[2] GERHOLD, L.; J. SCHILLER, S. STEIGER (Hrsg.):
**Sicherheit studieren. Studienangebote in Deutschland.**
Forschungsforum Öffentliche Sicherheit: Schriftenreihe Sicherheit Nr. 15, FU Berlin, Berlin, 2014.

[3] HETTINGER, Th.:
**Gedanken zur Ergonomie und Sicherheitswissenschaft**
In: B.H. Müller, H. Häcker (Hrsg.): Arbeitswissenschaftliche Beiträge zur interdisziplinären Feld- und Laborforschung, Bericht über das Kolloquium aus Anlass des 65. Geburtstages und der Emeritierung von Theodor Hettinger am 27. März 1987 in Wuppertal, Dokumentation Arbeitswissenschaft Band 19, ISBN 978-3-504-65622-5, Verlag Dr. O. Schmidt, Köln, 1988.

[4] PIEPER, R.; K.-H. LANG:
**Vorwort und Einleitung**
In: R. Pieper, K.-H. Lang (Hrsg.): Sicherheitsrechtliches Kolloquium 2005 – 2006 (Band 2), Forschungsbericht Nr. 14, Schriftenreihe des Instituts ASER e.V., ISBN 978-3-936841-12-, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2007 (www.institut-aser.de/pdf_files/literatur/Pieper-Lang-Sicherheitsrechtliches-Kolloquium-2005-2006.pdf).

[5] **3. Wuppertaler Sicherheitstag 2015** (http://wst.uni-wuppertal.de).

Auch das im Jahr 1985 auf der Basis der *Forschungsgruppe Arbeitssicherheitstechnik / Ergonomie (ASER)* gegründete privatrechtliche *Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER)*[6], kann als institutionell nichtsubventioniertes, arbeitswissenschaftliches Forschungsinstitut schon auf eine über dreißigjährige Geschichte in Wuppertal zurückblicken, in der grundlagen- und anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsprojekte auf den Gebieten der Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik, Ergonomie, Arbeitspsychologie und relevanten angrenzenden Gebieten durchgeführt wurden und werden[7].

Das *Fachgebiet Sicherheits- und Qualitätsrecht* in der Abteilung Sicherheitstechnik der Bergischen Universität Wuppertal ist im Jahr 2003 eingerichtet worden. Wissenschaftlicher Schwerpunkt des Fachgebiets sind die Grundlagen, die Entwicklung und der Stand des Rechts auf dem Gebiet der Sicherheit und der Qualität. Dies umfasst die Rechtsbereiche der Produkt-, Anlagen- und Chemikaliensicherheit, der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes im Betrieb, des Umweltschutzes sowie weitere für die Sicherheit relevante Bereiche des öffentlichen und zivilen Rechts[8].

Zum Wissenstransfer: Öffentlich, regelmäßig und gemeinsam wird seit über 10 Jahren in Wuppertal das *Sicherheitswissenschaftliche Kolloquium*[9] vom Fachgebiet Sicherheits- und Qualitätsrecht und dem Institut ASER e.V. veranstaltet. Es wird von den interessierten Kreisen aus dem Land Nordrhein-Westfalen als Forum für den sicherheitswissenschaftlichen Wissenstransfer genutzt, wodurch das Profil der Wuppertaler Sicherheitswissenschaft, der Bergischen Universität Wuppertal und der Wirtschaftsregion Bergisches Städtedreieck gestärkt wird.

Im vorliegenden *Band 10* sind die Beiträge der *95. bis 105. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquien* dokumentiert, welche vom Herbst 2013 bis zum Sommer 2014 durchgeführt wurden. Dazu gehörte als Jubiläumsveranstaltung auch das 100. Sicherheitswissenschaftliche Kolloquium vom Frühjahr 2014, bei dem der Nutzen des Betrieblichen Gesundheitsmanagements für Unternehmen und Verwaltungen auf dem Campus Freudenberg der Bergischen Universität Wuppertal mit vielen Teilnehmerinnen und Teilnehmern anhand des innovativen Industriekonzernbeispiels der Continental AG diskutiert wurde.

Ralf Pieper & Karl-Heinz Lang — Wuppertal, im Mai 2015

---

6 **ASER – Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V.** (www.institut-aser.de)

7 **ASER-Schriftenverzeichnis** (www.institut-aser.de/pdf_files/literatur/ASER-Schriftenverzeichnis.pdf).

8 **Fachgebiet Sicherheits- und Qualitätsrecht der Bergischen Universität Wuppertal** (http://suqr.uni-wuppertal.de).

9 **Präsentationsbeiträge der Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquien seit dem Jahr 2004** (http://suqr.uni-wuppertal.de/index.php?id=735)

# Inhaltsverzeichnis

**Vorwort und Einleitung** ..... **3**

**Inhaltsverzeichnis** ..... **5**

**1 Design, Ergonomie und Sicherheit bei der Produktentwicklung (LUTZ GATHMANN)** ..... **9**

1.1 Arbeitsschutz und Design ..... 9
1.2 Design und Arbeitsschutz ..... 10
1.3 Entwicklung und Design sicherer Produkte ..... 12
1.4 Design eines medizinischen Gerätes ..... 12
1.5 Entwicklung eines medizinischen Messgerätes ..... 15
1.6 Design und Ergonomie ..... 17
1.7 Design und Produktsicherheit ..... 19
1.8 Fazit ..... 22
1.9 Literatur ..... 23

**2 Deutschland sucht den Endlagerstandort: Konzepte und Stand der Endlagerung von Atommüll (JULIA MAREIKE NELES)** ..... **24**

2.1 Radioaktive Abfälle – Entstehung, Arten und Mengen ..... 24
2.1.1 Wie entstehen radioaktive Abfälle? ..... 24
2.1.2 Welche Arten radioaktiver Abfälle gibt es? ..... 26
2.1.3 Welche Mengen sind zu entsorgen? ..... 27
2.1.4 Umgang und Aufbewahrung heute ..... 28
2.2 Diskutierte Alternativen zur Endlagerung ..... 29
2.3 Endlagerung – Konzept, Risiken, Langzeitsicherheit ..... 31
2.3.1 Auf welchem Konzept basiert Endlagerung? ..... 31
2.3.2 Wirtsgesteine ..... 34
2.3.3 Was bedeutet Langzeitsicherheit ..... 36
2.4 Die Suche nach einem Endlagerstandort – Historie ..... 37
2.4.1 Wie versuchte man einen Endlagerstandort zu finden? ..... 37
2.4.2 Die deutschen „Endlagerprojekte“ ..... 39
2.5 Das Standortauswahlgesetz ..... 42
2.6 Ausblick ..... 46
2.7 Literatur ..... 46

**3 Kollaborierende Roboter – Zum Stand von Forschung, Normung und Validierung (MICHAEL HUELKE)** ..... **49**

3.1 Einleitung ..... 49
3.2 Was ist ein kollaborierender Roboter? ..... 50
3.3 Normung ..... 51
3.4 Risikobeurteilung ..... 52

3.5 Anforderungen an kollaborierende Roboter ... 53
3.5.1 Sicherheitstechnische Anforderungen ... 53
3.5.2 Ergonomische Anforderungen ... 53
3.5.3 Arbeitsorganisatorische und arbeitsmedizinische Anforderungen ... 54
3.6 Biomechanische Anforderungen ... 55
3.7 Forschung zu Biomechanischen Anforderungen ... 57
3.8 Wie kann die Einhaltung der Grenzwerte validiert werden? ... 59
3.9 Das biofidele Kraft-Druck-Messgerät des IFA ... 59
3.10 Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen ... 61
3.11 Fazit ... 62
3.12 Literatur ... 62

**4 Psychische Arbeitsbelastungen – Empirische Befunde (NICO DRAGANO) ... 65**

**5 Physische Arbeitsbelastungen – Aktuelle Herausforderungen (ROLF ELLEGAST) ... 66**

5.1 Physische Belastungen und arbeitsbezogene Muskel-Skeletterkrankungen (MSE) ... 66
5.2 Systematik der Erfassung und Bewertung berufsbezogener Belastungen des Stütz- und Bewegungsapparates ... 69
5.3 Beispiele zur Wirksamkeit ergonomischer Arbeitsgestaltungen in der Praxis ... 71
5.3.1 Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung an einem Schleifarbeitsplatz im Schiffbau ... 71
5.3.2 Vakuumhebehilfen bei der Gepäckverladung im Flughafen ... 73
5.3.3 Ziehen und Schieben von Servierwagen in Flugzeugen ... 74
5.4 Aktuelle Herausforderungen für die Arbeitsgestaltung ... 75
5.4.1 Arbeitsbezogene Erkrankungen der unteren Extremitäten ... 75
5.4.2 Physische Inaktivität an Büro- und Bildschirmarbeitsplätzen ... 76
5.4.3 Weiterentwicklungen der Gefährdungsbeurteilung bei physischen Belastungen ... 78
5.4.4 Veränderungen von Arbeitsplätzen und -systemen ... 79
5.5 Zusammenfassung ... 79
5.6 Literatur ... 79

**6 Fachkräftesicherung durch Betriebliches Gesundheitsmanagement – Anforderungen und betriebliche Praxis (HELMUT EHNES) ... 85**

**7 Fachkräftesicherung durch Betriebliches Gesundheitsmanagement – Beispiel eines Demografieprogramms in der praktischen Umsetzung (PETER DOLFEN, KLAUS-DIETER WENDT & ANDRÉ KLUßMANN) ..... 86**

7.1 Einleitung ..... 86
7.2 Rückblick zu frühen, alternsgerechten FuE-Aktivitäten im HdA-Programm ..... 88
7.3 Handlungsprogramm zur Gestaltung des Demografischen Wandels ..... 89
7.4 Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen mit dem Belastungs-Dokumentations-System ..... 91
7.5 Ziele der systematischen Ergonomie-Bewertung von Arbeitssystemen ..... 93
7.6 Ergebnisse der Arbeitssystembeurteilungen ..... 95
7.7 Beispiele „Guter Praxis“ zur menschengerechten Arbeitsgestaltung ..... 97
7.7.1 Beispiel zur Optimierung von manuellen Arbeitsprozessen und dynamischer Muskelarbeit: Gestaltung der Prozesskontrolle beim Aluminium-Bonden ..... 98
7.7.2 Beispiel zur Optimierung von manuellen Lastenhandhabungen: Entwicklung einer Hebehilfe mit unterschiedlichen Greifsystemen ..... 99
7.7.3 Beispiel zur Optimierung der Körperhaltung und dynamischer Muskelarbeit: Bebänderung von Paletten ..... 100
7.7.4 Beispiel zur Optimierung der Lastenhandhabung, dynamischen Muskelarbeit und der Körperhaltung: Manueller Transport von Gewebekassetten ..... 101
7.8 Zusammenfassung und Ausblick ..... 102
7.9 Literatur ..... 103

**8 Herausforderung für das Arbeitsrecht: Reduzierung von Stammbelegschaften (OLAF DEINERT) ..... 106**

8.1 Einführung ..... 106
8.2 Reduzierung von Kernbelegschaften und Ausweitung von Fremdbelegschaften ..... 107
8.3 Zunehmender Einsatz von (Schein-)Selbständigkeit ..... 115
8.4 (Re-)Organisation in Netzwerkstrukturen – jenseits arbeitsrechtlicher Leitbilder ..... 120
8.5 Fazit ..... 123

**9 Berücksichtigung des Human Factors in der Gefährdungsbeurteilung – eine Herausforderung für jeden Sicherheitsingenieur (HARALD GRÖNER) ..... 125**

**10 Innovative Technologien bei Arbeitsmitteln und Arbeitssystemen im Kontext von Ambient Intelligence und Industrie 4.0 (ARMIN WINDEL & MATTHIAS HARTWIG) ..... 126**

10.1 Was bedeutet Ambient Intelligence? ..... 126
10.2 AmI als Forschungsschwerpunkt der BAuA ..... 127
10.3 AmI, Industrie 4.0 und Cyber-Physical-Systems ..... 127
10.4 Einsatz von AmI-basierten Technologien in der Praxis ..... 128
10.5 Konsequenzen für die Forschung ..... 130

**11 Herausforderungen der Funktionalen Sicherheit im Automobilbereich (MARCO SCHLUMMER) ..... 131**

11.1 Einleitung ..... 131
11.2 Funktionale Sicherheit ..... 133
11.3 Funktionale Sicherheit Automotive ..... 134
11.4 Kerninhalte der ISO 26262 ..... 136
11.5 Zusammenfassung ..... 140
11.6 Literatur ..... 141

**12 Nanotechnologie – Ein Beispiel für erfolgreiche Technologiefolgenabschätzung? (ROLF PACKROFF) ..... 143**

12.1 Die Ausgangssituation vor 10 Jahren ..... 143
12.2 Wo stehen wir 2014? ..... 145
12.3 Schlussfolgerungen für die Rechts- und Regelsetzung ..... 150
12.4 Verbesserung der Risikokommunikation ..... 154
12.5 Weiterentwicklung der Sicherheitsforschung ..... 155

**13 Abbildungsverzeichnis ..... 157**

**14 Tabellenverzeichnis ..... 162**

**15 Autoren- und Herausgeberverzeichnis ..... 163**

**16 Verzeichnis der Forschungsberichte ..... 165**

# 1 Design, Ergonomie und Sicherheit bei der Produktentwicklung (LUTZ GATHMANN)

**95. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 29. Oktober 2013 in Wuppertal**

**Staatl. gepr. Techn., Graveurmeister Lutz Gathmann**
Lutz Gathmann Design, Produktsicherheit, Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz in Kreativberufen, Düsseldorf

## 1.1 Arbeitsschutz und Design

Vor ca. 40 Jahren so um 1975 herum begannen die ersten Überlegungen zu Design, bei Persönlicher Schutzausrüstung (PSA). Zwar wurde schon für so gut wie jede Anwendung PSA auf dem Markt angeboten und auch von den Firmen zur Verfügung gestellt aber die Akzeptanzquote bei den Mitarbeitern diese auch zu benutzen war relativ gering. Die Ausreden waren teils vielfältig aber die Hauptargumente für eine Nichtbenutzung waren eigentlich, das die PSA bei der Arbeit behindert und das sie unbequem war also keinen Tragekomfort bietet.

Diese beiden Argumente zielten eher auf ein ergonomisches Problem und wurden auch mehr oder weniger kurzfristig bei vielen Produkten behoben. Trotz dieser Änderungen stieg die Akzeptanz zum Einsatz von PSA aber nur gering an und hauptsächlich nur in Bereichen die ohne PSA akut lebensgefährlich waren.

Dazu kam auch schon damals ein fasst ruinös betriebener Preiskampf der Anbieter. Vor diesem Hintergrund entstanden Überlegungen durch ein verbessertes Design der Produkte die Akzeptanz beim Anwender zu erhöhen und sich dadurch auch etwas aus dem direkten Preiswettbewerb zu lösen. Vorbilder dazu waren das Design von PSA im Sport, sowohl im Wintersport als auch im Motorsport. Von hier wurden Design-Erfahrungen adaptiert und für den Arbeitsschutz übernommen, was sich als nicht trivial erwies weil im Arbeitsschutz damals doch sehr viele und höhere normative Anforderungen verlangt wurden, außerdem waren die aus dem Sportbereichen bekannten Preiskalkulationen auch durch verbessertes Design nicht zu erreichen. Trotzdem setzen viele Anbieter von PSA und auch anderen Arbeitsschutzprodukten auf die zusätzliche Karte Design, so entstand schon bald auf Initiative der A+A in Düsseldorf der Wettbewerb „Gutes Design in der Arbeitswelt“, der über einige Jahre immer wieder Produkte auszeichnete und in einer Sonderschau präsentierte. Design war also sozusagen im Arbeitsschutz angekommen und ist heute ein fester Bestandteil der Produktentwicklung in diesem Bereich.

## 1.2 Design und Arbeitsschutz

Auf der anderen Seite kann man sagen dass der Arbeitsschutz im Design bzw. seinen Akteuren noch nicht angekommen ist. Produkte, ganz gleich ob technische Arbeitsmittel oder Verbraucherprodukte werden meist noch zunächst nach ästhetischen, formalen und funktionellen Gesichtspunkten entworfen und geplant, hier wäre es sinnvoll und kostensparend wenn man schon in die Überlegungen und das Briefing zur Gestaltung von neuen Produkten entsprechende Ansprüche für Normen oder Richtlinien mit einbeziehen würde. Meist wird hier zu spät reagiert auch von Seiten der technischen Konstruktion und so die Chance zum perfekt gestalteten Produkt oft durch erforderliche Nachrüstungen vergeben.

**Abb. 1.1** Arbeitsweise Industriedesigner / Regelkreis Fachkraft für Arbeitssicherheit

Dabei sind die Arbeitsweisen von Industriedesignern und Fachkräften für Arbeitssicherheit fasst deckungsgleich, allein es fehlt an dem gegenseitigen Interesse und Verständnis für den jeweiligen Aufgabenbereich des Anderen. Leider ist die Bereit-

schaft dieses zu ändern oder die jeweilige Fachkompetenz des Anderen hinzuzuziehen nach meinem persönlichen Eindruck auch nicht ausgeprägt. Deutlich wird das auch in den Formulierungen z.B. in der Broschüre „Qualitätsmanagement bei der Gestaltung von technischen Arbeitsmitteln und Verbraucherprodukten“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und auch dadurch das z.B. die VDI / VDE Richtlinie „2424 Industrial Design“ aus dem Jahre 1986 stammt und erst jetzt neu bearbeitet wird. Dadurch werden viele Chancen vergeben und zudem unendliche Ressourcen sinnlos durch doppelte Arbeiten verbraucht.

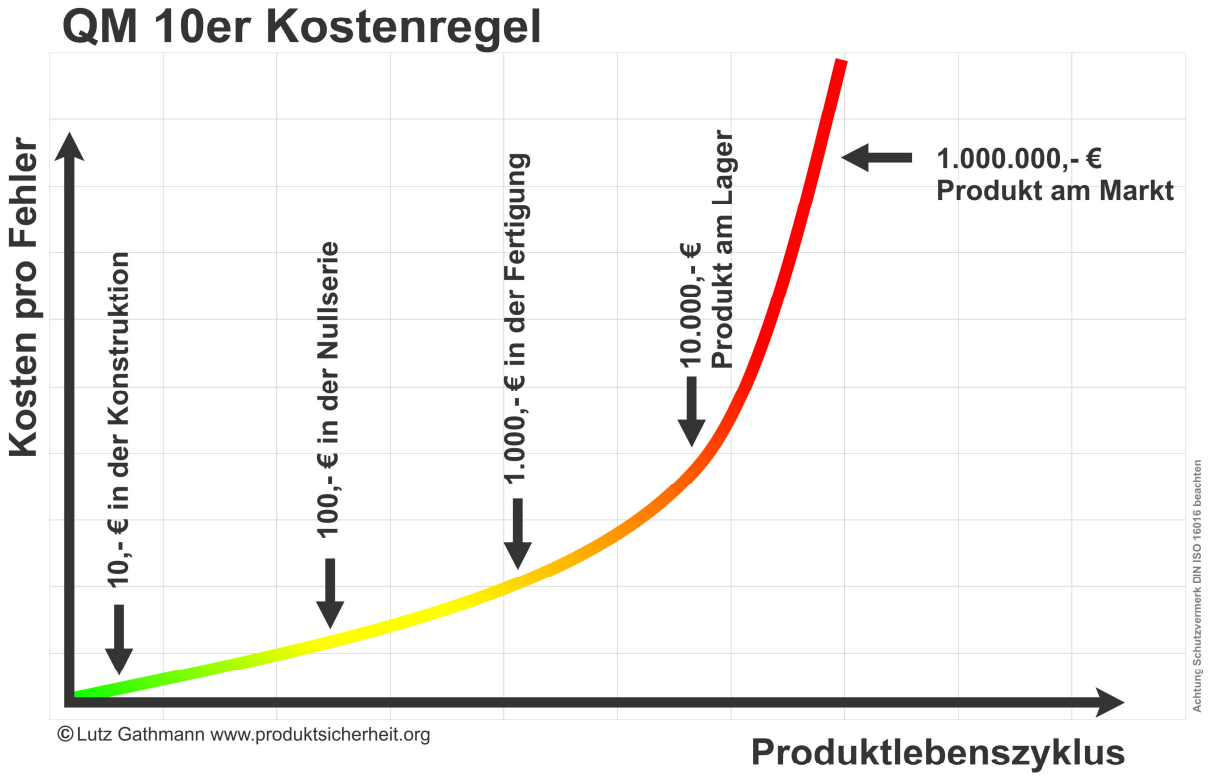



**Abb. 1.2** QM 10er Kostenregel

Dabei gibt es sinnvolle Ansätze in dem Bereich die Zusammenarbeit zu intensivieren, wie die Studien zeigen z.B. „Optimierung der ergonomischen Eigenschaften von Produkten für ältere Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer- Gestaltung und Design“, meist haben sie aber keinen Eingang in die Praktische Arbeit gefunden weil die Ergebnisse nur einem geringen Anwenderkreis bekannt sind und sich auch überwiegend auf die Großserienproduktion beziehen.

## 1.3 Entwicklung und Design sicherer Produkte

Wie schon erwähnt macht es durchaus Sinn in die Entwicklung eines neuen Produktes mehr zu investieren und so alle Aspekte schon zu beleuchten, denn gerade am Anfang ist es vergleichsweise preiswert Fehler zu korrigieren, wie die 10er Kostenregel aus dem Qualitätsmanagement deutlich zeigt.

Auch oder gerade in Bereichen die nicht unbedingt der Großserien Produktion zuzuordnen sind führt hier eine gelungene Abstimmung zwischen Konstruktion, Design und Arbeitsschutz zu ganz neuen und erstaunlichen Ergebnissen. Am Beispiel eines medizinischen Therapiegerätes soll einmal die Vorgehensweise und der Nutzen eines solchen ganzheitlichen Entwicklungsansatzes dargestellt werden.

Im Bereich der medizinischen Arbeitsmittel gibt es grundsätzlich zwei große Problemfelder, das sind zum einen das die Beschäftigten in den medizinischen Berufen die zunehmend unter massiven Belastungen des Bewegungsapparates und hier besonders im Bereich des Rückens leiden. Das ist bedingt durch viel Anheben oder Positionieren von Patienten und zunehmenden Patientengewichten. Zum anderen sind gerade im Bereich der Medizinprodukte oft kleine oder Mittlere Unternehmen tätig die solche Produkte herstellen und am Markt anbieten, die Prüfungen für Medizinprodukte die durch das Medizinproduktegesetz und durch entsprechende Richtlinien, Normen etc. vorgegeben sind, gestalten sich umfangreich, teuer und langwierig.

Eindeutig im Fokus steht hier die medizinische Wirkung eines entsprechenden Gerätes, Design und Ergonomie für Patienten und Medizinischem Personal wird meist keine Aufmerksamkeit geschenkt.

Nach der technischen Konstruktion wird das Produkt überwiegend in ein Standardgehäuse eingebaut das am Markt zu Verfügung steht, Anpassungen an spezielle Funktionen, Einsatzgebiete oder Firmeneigene Produktlinien sind so nicht gegeben bzw. erfolgen wenn lediglich über Farben oder Dekor an der Oberfläche.

Ob also ein Generator einem medizinischen Gerät zugeordnet ist oder einem Schweißgerät lässt sich also nur über die Gehäusefarbe definieren.

## 1.4 Design eines medizinischen Gerätes

Als Beispiel haben wir hier die Gestaltung eines Magnetfeldtherapiegerätes einmal aufgeführt.

Die zur Zeit des Entwicklungsbeginns bestehenden Produkte in diesem Bereich zeigen alle die vorher beschriebenen Fakten, rein technische Produkte die ausschließlich mit Standardkomponenten aufgebaut waren, zudem zeigt sich deutlich das hier

beim Einsatz der Geräte erhebliche körperliche Belastungen für das medizinische Personal entstehen um die richtige Positionierung von Gerät und Patienten vorzunehmen.

**Abb. 1.3** Geräte alt

Nach einen Analyse zur Größe des Absatzmarktes stand sehr schnell fest welche Möglichkeiten hinsichtlich der Fertigungstechniken gegeben waren. Auszuschließen waren z.B. alle Fertigungstechniken die einen gesonderten Werkzeugbau erforderlich gemacht hätten, die zu erwartenden Stückzahlen und die zu erlösenden Marktpreise hätten zusätzliche Werkzeugkosten nicht zugelassen.

Danach gestaltete sich das Briefing in folgende Punkte:

- Besseres eigenständiges Produktimage auch um hiermit IgeL-Leistungen zu verkaufen.
- Ein kompaktes Gerät mit Generator, Spule und Liege.
- Servicefreundlich durch nur einen Servicetechniker zu handhaben.
- Gerätegröße muss durch 80 cm breite Türen in Arztpraxen passen.
- Oberflächen möglichst abnutzungsfrei und leicht zu reinigen.

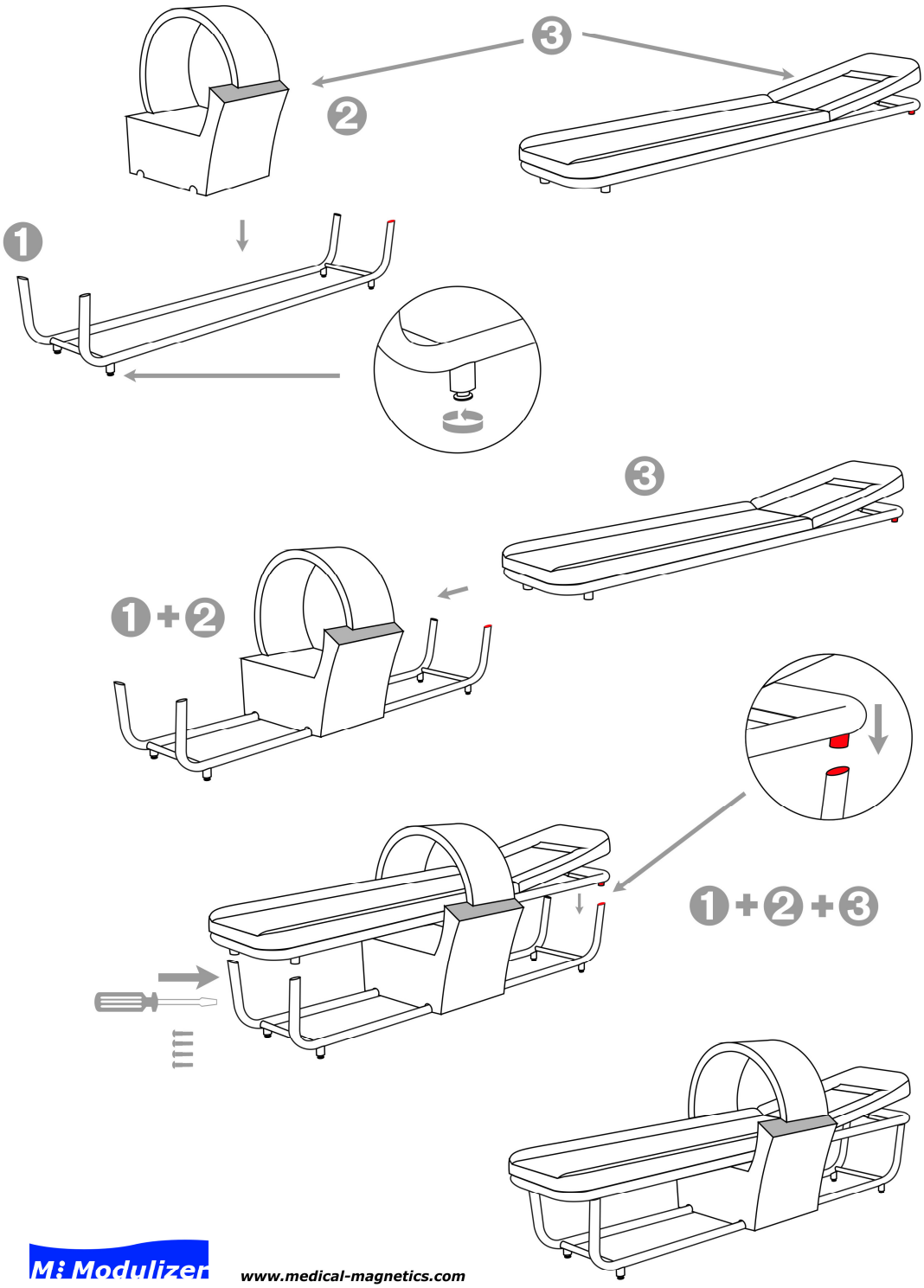



**Abb. 1.4** M3 und Zusammenbauanleitung

Die Punkte aus dem Briefing wurden alle in der Entwicklung konsequent umgesetzt. Das Gerät kann für Transport oder Service in 3 Teile demontiert werden, einem Untergestell (1) einem Liegeteil (3) und einem Teil das Generator und Spule zusammenfasst (2). Das Untergestell besteht aus geschliffenen Edelstahlrohren, ebenso wie der Rahmen der Liege, die Auflage der Liege sind mit Alcantara bezogen das sonst für Sitzbezüge im Fahrzeugbau Verwendung findet. Die Seitenteile der Verkleidung von Spule und Generator sind aus farbigem Acrylglas die anderen teils gebogenen Flächen sind aus Edelstahlfolie die auf einen Kunststoffträger kaschiert ist ein Material das überwiegend im Ladenbau Verwendung findet.

Die Einheit von Spule und Generator ist mit zwei Elektromotoren versehen, die unteren Querstreben dienen als Schienen, so kann die Einheit über eine Steuerung an jede Position der Liege gefahren werden. Am Ende einer Behandlung oder einem technischen Ausfall, sowie zum Ruhezustand fährt die Spule automatisch in die Ausgangsstellung am unteren Ende der Liege zurück.

Die Liege hat nur noch eine Höhe von ca. 50 cm, so dass der Patient sich selbst auf die Liege setzen und dann legen oder aufstehen kann. Durch diese Funktionen ist das medizinische Personal komplett von jeglicher belastender körperlicher Arbeit bei der Vorbereitung, während und nach der Behandlung entlastet.

Die Montage oder Demontage bei Lieferung oder Service erfolgt mit vier zu lösenden Inbusschrauben an den senkrechten Stützen des Untergestells. Beim Servicefall an der Einheit Spule/Generator kann so der Techniker die komplette Einheit kurzfristig austauschen und gleich durch eine neue ersetzen, sowie die ausgebaute Einheit zur Wartung oder Reparatur mit in die Werkstatt nehmen, ohne dass der Praxisbetrieb großartig gestört oder gar unterbrochen wird.

Das Produkt liefert also ein gutes Beispiel dafür wie man durch rechtzeitige Planung alle Anforderungen von den stückzahlgerechten Produktionskosten, ansprechendem Design, guter Servicetauglichkeit, einfacher Benutzerfreundlichkeit und Arbeitsschutz für die medizinischen Angestellten vereinen kann.

## 1.5 Entwicklung eines medizinischen Messgerätes

Ein weiteres Beispiel aus dem Bereich der medizinischen Geräte ist die Entwicklung einen neuen Pupillendistanzmessgerätes (PD Messer).

Die zu Anfang der Endwicklung auf dem Markt befindlichen Geräte wirken alle sehr unförmig und kantig, für ein Messgerät mit dem die Pupillendistanz gemessen wird, also einem wichtigen Wert bei der Anfertigung von Korrektionsbrillen erscheint das etwas abstoßend. Zum einen wird das Gerät vom Optiker direkt beim Kunden einge-

setzt, da scheint es sinnvoll wenn für beide also dem zu Messenden und dem Gemessenem ein ergonomisch angenehmes Produkt zur Verfügung steht, um zum einen die Messung so angenehm wie möglich zu machen und zum anderen keine Messfehler durch falsche oder ungenaue Anwendung zu erzeugen.

**Abb. 1.5** Beispiele

Das Gerät wird vom Messenden mit beiden Händen bedient und beim zu Messenden auf der Nase aufgesetzt und so positioniert das er mit beiden Augen in die Sehschächte schauen kann, die Messung muss von beiden Seiten aktiv durchgeführt werden und erfolgt nicht automatisch oder selbständig.

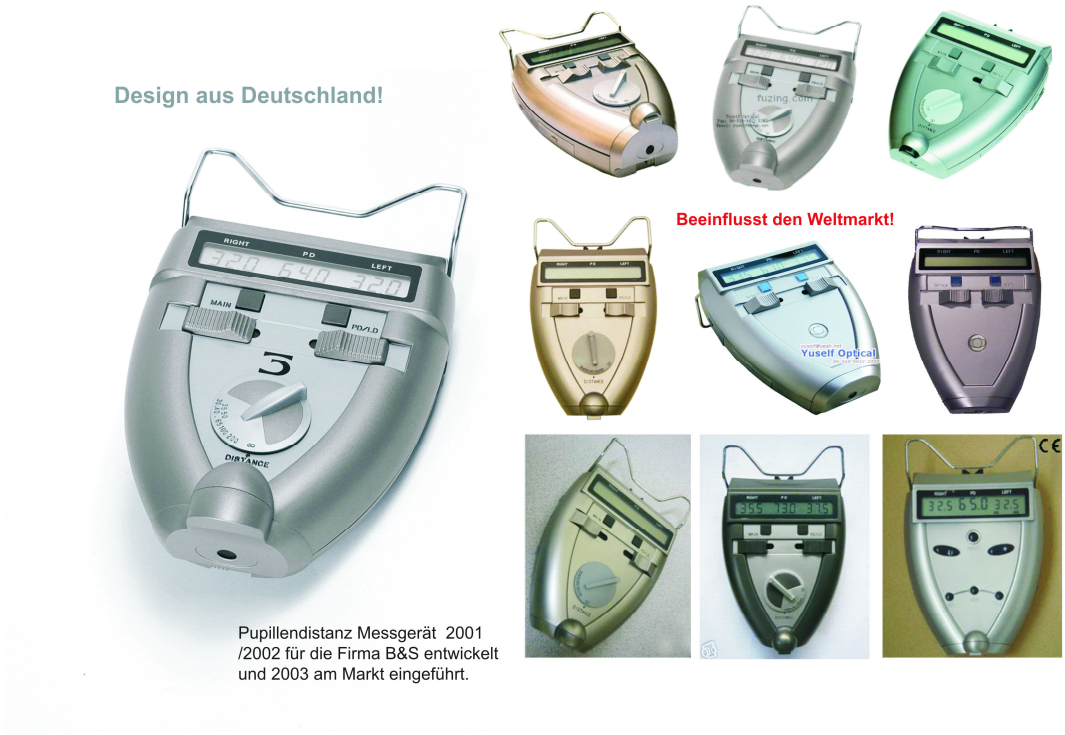



**Abb. 1.6** Original / Plagiate

Bei der Neuentwicklung bzw. der Überarbeitung des Gerätes war als vorgegebene Größe die Ausmaße des inneren Aufbaus des Gerätes, hier hätte eine Änderung der technischen Komponenten die angestrebten Entwicklungs- und Produktionskosten sonst gesprengt.

Es ist also davon auszugehen das alle auf dem Markt befindlichen Geräte dieser Art technisch so gut wie baugleich sind. Das ist zum einen natürlich kostensparend zum anderen ist es natürlich gefährlich weil man keine wirkliche Alleinstellung erreichen kann, wie sich zeigen wird.

Zeigten sich vor Entwicklungsbeginn alle Geräte mehr oder weniger ähnlich hässlich von der Außenform, so wurde durch die Optimierung der Form und der Ergonomie ein Produkt geschaffen das sich wohltuend davon abhebt. Es ist natürlich auf Grund des gleichen Innenaufbaus relativ einfach die neue gefundene Form „nachzuempfinden“, so das heute gut 10 Jahre nach der Entwicklung mehr oder weniger alle Geräte wieder gleich aussehen nur eben auf der Basis der neuen Außenform.

In unserem Kulturkreis würde man das als Plagiate oder Kopien des Designs bezeichnen.

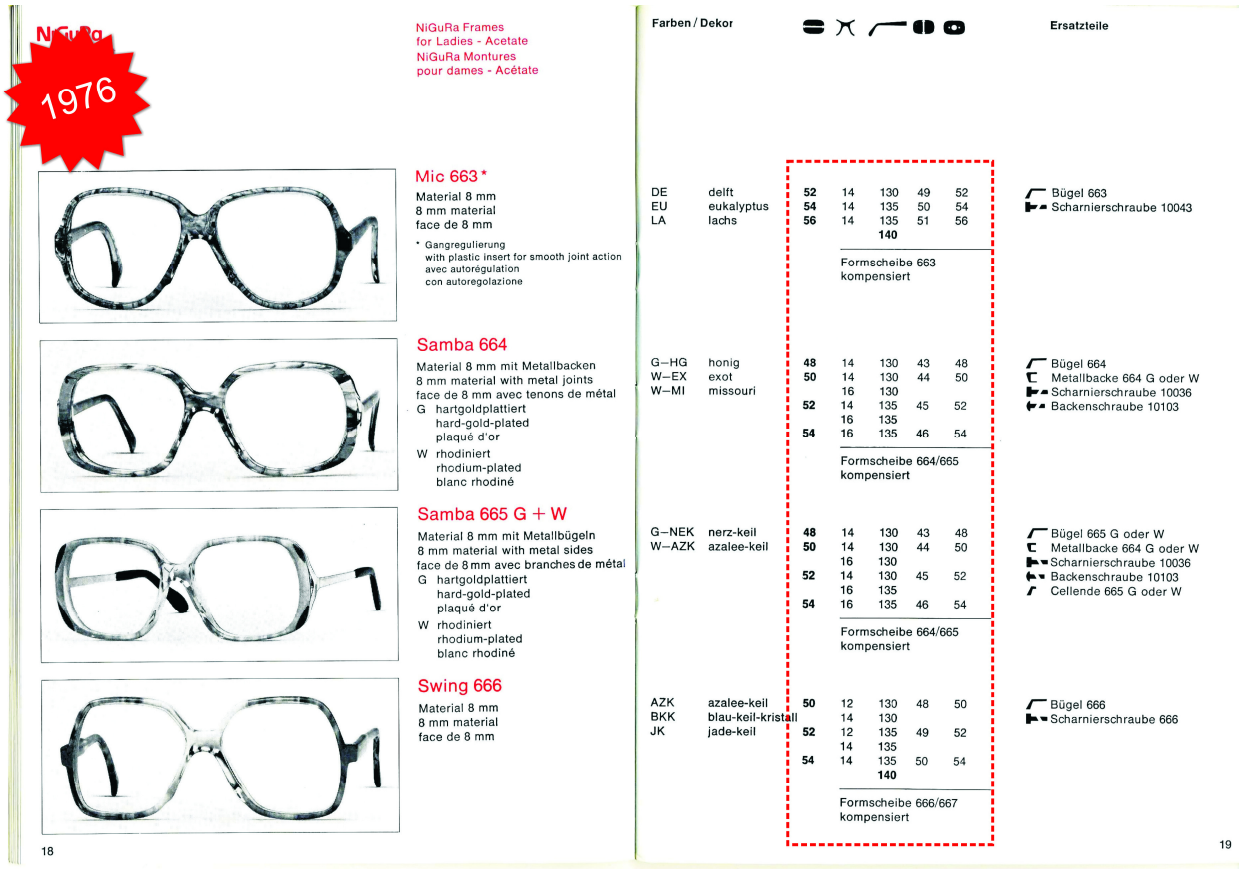
## 1.6 Design und Ergonomie

Am Beispiel von Brillendesign, kann man sehr schön aufzeigen wie sich die technische Leistung eines Produktes verbessert, in diesem Fall Optimierung der Sehleistung, andererseits sich dadurch die Möglichkeiten der ergonomischen Anpassung verschlechtern. Kurz vorab zur Erklärung, zur richtigen Korrektur eines Sehfehlers durch eine Brille ist es erforderlich das der Brillenträger genau durch den optischen Mittelpunkt des Glases sieht (darum auch Ermittlung der Pupillendistanz siehe Kapitel 1.5)

Vor rund 40 Jahren ließen die Glasmaterialien bei optischen Gläsern die zur Korrektur eines Sehfehlers geschliffen waren, nur eine minimale Variation von bis zu 2mm des optischen Mittelpunktes des Glases zu. So war es erforderlich das Brillenfassung und Brillenträger eine übereinstimmende Pupillendistanz hatten um den Sehfehler optimal zu korrigieren. Dadurch mussten Brillenfassungen in verschiedenen Größen angeboten werden um möglichst viele Kopfgrößen und Augenabstände abzudecken.

Durch die Verbesserung und Erhöhung des Brechungsgrades der Brillenglasmaterialien ist es heutzutage möglich den optischen Mittelpunkt eines Glases weiter zu verschieben und so letztlich in jeder Brillenfassung ganz gleich welcher Fassungs-PD die richtige Träger-PD einzupassen.

Für ein ergonomisches Produkt wie die Brille die sich durch technische Innovationen verändert, hätte es eigentlich eine Optimierung bedeuten müssen, leider hat es durch die neuen Möglichkeiten der Glasmaterialien und -bearbeitung aber auf der anderen Seite zu einer Reduzierung des Angebots der Brillengrößen geführt. Allein aus der wirtschaftlichen Überlegung heraus, wenn für die optimale Sehleistung die Brillengröße kein Faktor mehr ist, dann kann hier an Werkzeug- und Herstellkosten, sowie Lagervorrat, etc. eingespart werden.



NiGuRa Frames
for Ladies - Acetate
NiGuRa Montures
pour dames - Acétate

1976

Mic 663*
Material 8 mm
8 mm material
face de 8 mm
* Gangregulierung
with plastic insert for smooth joint action
avec autorégulation
con autoregolazione

Samba 664
Material 8 mm mit Metallbacken
8 mm material with metal joints
face de 8 mm avec tenons de métal
G hartgoldplattiert
hard-gold-plated
plaqué d'or
W rhodiniert
rhodium-plated
blanc rhodiné

Samba 665 G + W
Material 8 mm mit Metallbügeln
8 mm material with metal sides
face de 8 mm avec branches de métal
G hartgoldplattiert
hard-gold-plated
plaqué d'or
W rhodiniert
rhodium-plated
blanc rhodiné

Swing 666
Material 8 mm
8 mm material
face de 8 mm

18

| Farben / Dekor | | | | | | | | Ersatzteile |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DE | delft | **52** | 14 | 130 | 49 | 52 | | Bügel 663 |
| EU | eukalyptus | **54** | 14 | 135 | 50 | 54 | | Scharnierschraube 10043 |
| LA | lachs | **56** | 14 | 135 | 51 | 56 | | |
| | | | | **140** | | | | |
| | | | Formscheibe 663 kompensiert | | | | | |
| G–HG | honig | **48** | 14 | 130 | 43 | 48 | | Bügel 664 |
| W–EX | exot | **50** | 14 | 130 | 44 | 50 | | Metallbacke 664 G oder W |
| W–MI | missouri | | 16 | 130 | | | | Scharnierschraube 10036 |
| | | **52** | 14 | 135 | 45 | 52 | | Backenschraube 10103 |
| | | | 16 | 135 | | | | |
| | | **54** | 16 | 135 | 46 | 54 | | |
| | | | Formscheibe 664/665 kompensiert | | | | | |
| G–NEK | nerz-keil | **48** | 14 | 130 | 43 | 48 | | Bügel 665 G oder W |
| W–AZK | azalee-keil | **50** | 14 | 130 | 44 | 50 | | Metallbacke 664 G oder W |
| | | | 16 | 130 | | | | Scharnierschraube 10036 |
| | | **52** | 14 | 130 | 45 | 52 | | Backenschraube 10103 |
| | | | 16 | 135 | | | | Cellende 665 G oder W |
| | | **54** | 16 | 135 | 46 | 54 | | |
| | | | Formscheibe 664/665 kompensiert | | | | | |
| AZK | azalee-keil | **50** | 12 | 130 | 48 | 50 | | Bügel 666 |
| BKK | blau-keil-kristall | | 14 | 130 | | | | Scharnierschraube 666 |
| JK | jade-keil | **52** | 12 | 135 | 49 | 52 | | |
| | | | 14 | 135 | | | | |
| | | **54** | 14 | 135 | 50 | 54 | | |
| | | | | **140** | | | | |
| | | | Formscheibe 666/667 kompensiert | | | | | |

19

**Abb. 1.7** Katalog 1976

War es also in den 70er Jahren üblich zwischen 4 und 6 Fassungsgrößen anzubieten, besteht heute meist gar keine Größenauswahl mehr und jedes Brillenmodell wird nur noch in einer Größe angeboten.

Die Folge davon ist das die Brille meist nicht mehr richtig anatomisch angepasst werden kann, so kann der Proband zwar super sehen, hat aber anatomische Probleme mit dem Sitz der Brille durch rutschen, drücken oder klemmen. Die Chance zu einem technisch optimalen Produkt zu kommen ist also kaufmännisch vertan worden.

## 1.7 Design und Produktsicherheit

Ist es in dem Bereich der technischen Arbeitsmittel und Maschinen den Konstrukteuren und Designern noch relativ geläufig bzw. sind sie gewohnt sich an Normen, Verordnungen oder Richtlinien zu halten, wird es in dem großen Bereich der Verbraucherprodukte oft unübersichtlich.

Designer, Hersteller oder auch Importeure in diesem Bereich bringen kein Verständnis für technische Regeln auf und es liegt auch jenseits ihrer Vorstellungswelt das von ihren Produkten Gefahren für Verbraucher also ihre Kunden ausgehen könnten. Sie beurteilen Produkte allein nach ihrem Aussehen. Die einzige Ausnahme bildet da inzwischen die Spielwarenindustrie, die durch die europäische Spielzeugrichtlinie mittlerweile einigermaßen diszipliniert werden konnte, zumindest im Bereich der industriellen Anbieter.

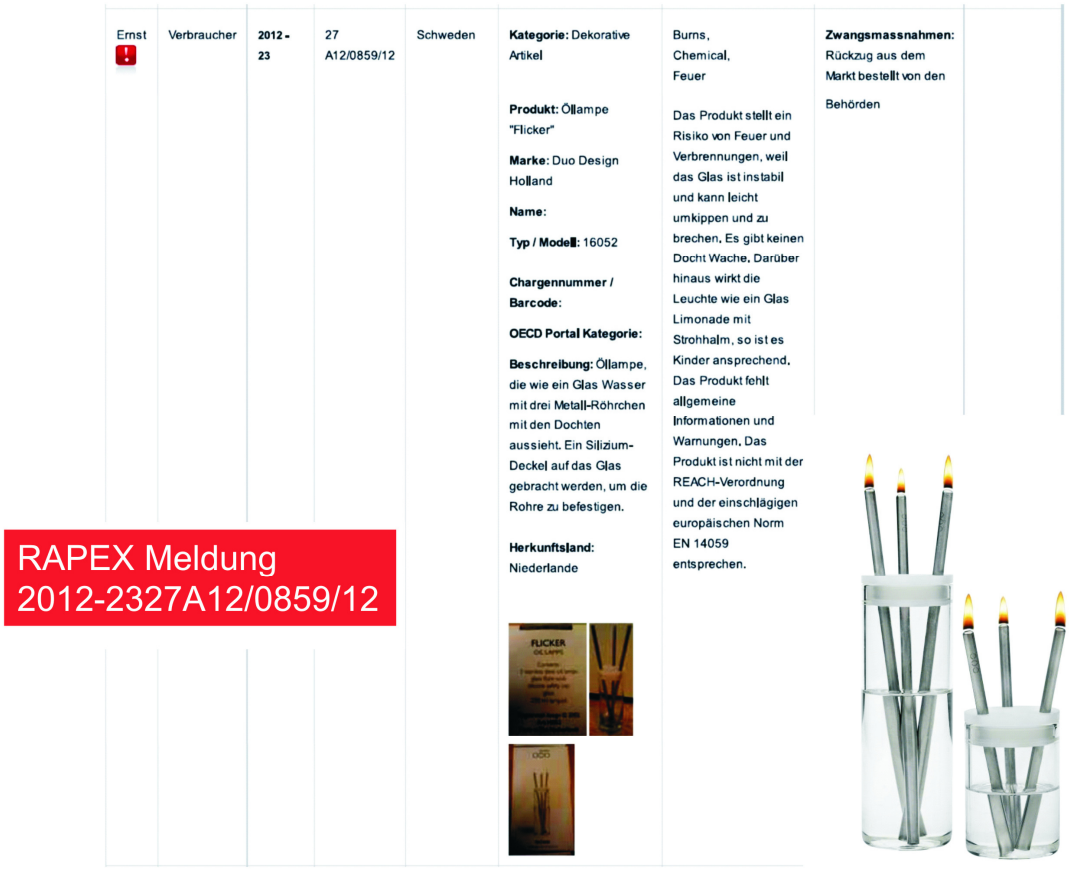
**Abb. 1.8** RAPEX 1

Als besonders Beispiel für den Bereich der erheblichen gesundheitlichen Gefährdungen sehe ich die Öllampen und deren Gestaltung. Nachdem es zu einigen Todesfällen durch Öllampen gekommen war (Kinder hatten am Docht gesaugt) wurde im Jahr

2002 die Norm DIN EN 14059 „Dekorative Öllampen Sicherheitsanforderungen und Prüfverfahren“ veröffentlicht.

Zu diesem Zeitpunkt waren erhebliche Mengen von Öllampen im Markt die in keinster Weise auch nur Teilen oder minimalen Anforderungen dieser Norm entsprachen. Die Hersteller nahmen die Norm aber weitestgehend nicht zur Kenntnis, einige durch die Marktaufsicht beanstandete Modelle wurden zurückgezogen aber flächendeckend war das nach meiner Beobachtung nicht von Bedeutung.

Erst im Jahr 2009 also nach gut sieben Jahren kam es zu größeren europaweiten Überprüfungen durch die Marktaufsichten verschiedener Länder, die für einige Unruhe am Markt sorgte und auch dafür, dass jetzt aufgefallene Unternehmen Mitbewerber meldeten, deren Produkte auch der Norm nicht entsprachen.



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ernst | Verbraucher | 2012 - 23 | 27 A12/0859/12 | Schweden | **Kategorie:** Dekorative Artikel<br>**Produkt:** Öllampe "Flicker"<br>**Marke:** Duo Design Holland<br>**Name:**<br>**Typ / Modell:** 16052<br>**Chargennummer / Barcode:**<br>**OECD Portal Kategorie:**<br>**Beschreibung:** Öllampe, die wie ein Glas Wasser mit drei Metall-Röhrchen mit den Dochten aussieht. Ein Silizium-Deckel auf das Glas gebracht werden, um die Rohre zu befestigen.<br>**Herkunftsland:** Niederlande | Burns, Chemical, Feuer<br>Das Produkt stellt ein Risiko von Feuer und Verbrennungen, weil das Glas ist instabil und kann leicht umkippen und zu brechen. Es gibt keinen Docht Wache. Darüber hinaus wirkt die Leuchte wie ein Glas Limonade mit Strohhalm, so ist es Kinder ansprechend. Das Produkt fehlt allgemeine Informationen und Warnungen. Das Produkt ist nicht mit der REACH-Verordnung und der einschlägigen europäischen Norm EN 14059 entsprechen. | **Zwangsmassnahmen:** Rückzug aus dem Markt bestellt von den Behörden | |



**Abb. 1.9** RAPEX 2

Der Umsatzausfall für einige Unternehmen muss riesig gewesen sein, zumal wir uns zeitlich gerade auf einem Wellenkamm des dekorativen Öllampenhypes befanden. Daraufhin entstanden einige hektische Aktivitäten und es wurden Produkte nachgebessert ohne das die Nachbesserungen dem eigentlichen Sinn der Norm entspra-

chen. Das führte dazu, dass Produkte die schon 2009 mit RAPEX Meldung vom Markt gezogen wurden auch mit Ihren Nachbesserungen gut 3 Jahre später 2012 erneut mit einer RAPEX-Meldung vom Markt gezogen wurden.

Im Jahr 2010 trat die Verordnung (EU) Nr. 276/2010 der Kommission zur Änderung der REACH-Verordnung in Kraft, über Lampenöle und flüssige Grillanzünder. Darin wurde unter anderem eindeutig beschrieben das nur Öllampen in Verkehr gebracht werden dürfen die der Norm DIN EN 14059 entsprechen, sowie das Lampenöle nur in undurchsichtige Behälter abgefüllt werden dürfen.

Wie schon angesprochen ist aber das technische Verständnis und das Empfinden für vorhandene Gefahren in diesen Branchen nicht sehr ausgeprägt und damit fehlt es den Unternehmern offensichtlich auch an der Einsicht, dass diese Produkte tödlich sein können, anders ist ihr Handeln wohl nicht zu erklären. Denn es werden alle Produkte nach wie vor sowohl im Internetverkauf wie auch auf Messen angeboten.

Diese Form mit einem „Trinkglas“ als Ölbehälter und Metallrohre mit innen durchgeführtem Docht als Brenner, die den Eindruck eines Glases mit Trinkhalmen erzeugten, entspricht natürlich auch nicht dem geltenden Produktsicherheitsgesetz, denn so ein Produkt kann einfach in dieser Form nicht sicher sein, denn es ist geradezu eine Einladung an Kinder daran zu saugen, was dann tödlich ist.

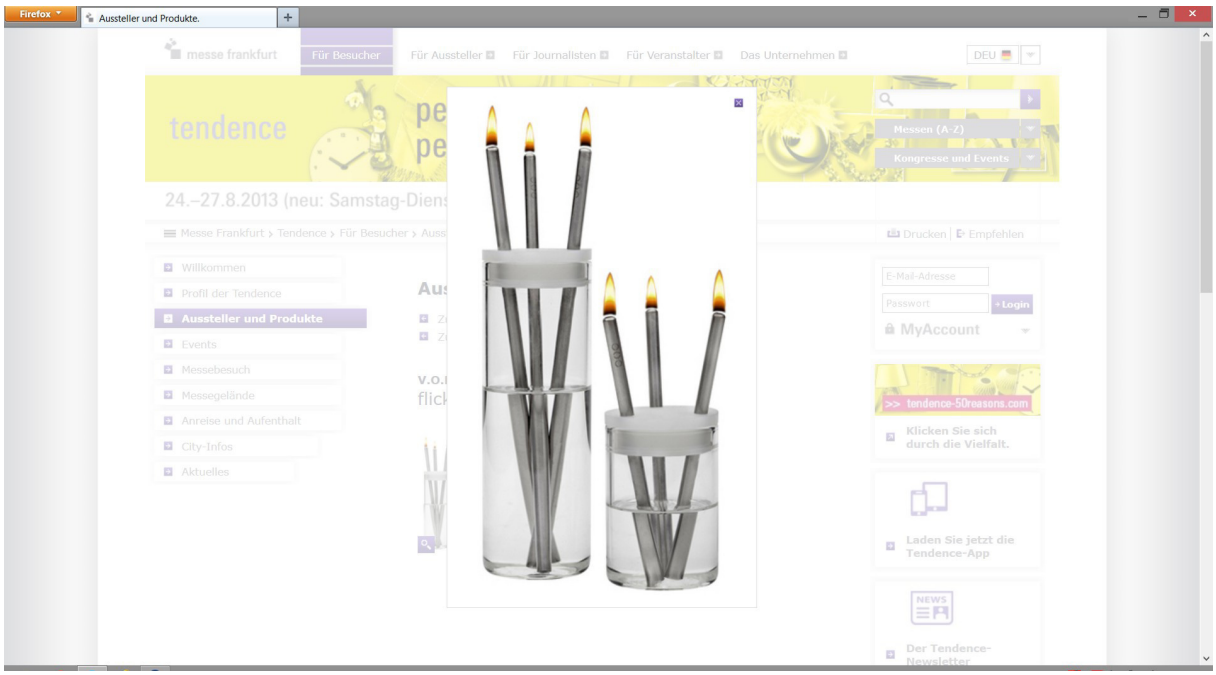



**Abb. 1.10** Messekatalog Frankfurt

Eine ganz andere Frage in diesem Zusammenhang wirft eine Bauanleitung einer großen deutschen Baumarktkette auf, hier wurde exakt für dieses Produkt eine „Bastelanleitung“ zum Selbstbau angeboten!

Hier wird also nicht das Produkt angeboten, also gibt es auch keinen Hersteller, da es ja für den privaten Eigengebrauch hergestellt wird gilt auch nicht das Produktsicherheitsgesetz für das Endprodukt!

Trotzdem geht ja von dem Produkt die gleiche Gefahr aus und es entspricht nicht der Norm DIN EN 14059 und nicht der VERORDNUNG (EU) Nr. 276/2010.

So bleibt letztlich die unbeantwortete Frage “Kann ein Unternehmen eine derartige Selbstbauanleitung also im Internet verbreiten auch ohne jegliche Gefahrenhinweise?“

## 1.8 Fazit

Design, Ergonomie und Sicherheit, sind Anforderungen die langfristig ein gutes Produkt und ein erfolgreiches Produkt ausmachen, gut und relativ einfach ist es immer wenn man bei der Neuentwicklung eines Produktes alle diese Faktoren berücksichtigt, dann besteht die gute Chance zu einem erfolgreichen Produkt zu kommen.

Die nachträgliche Umsetzung einzelner Aspekte in diesem Dreiklang ist immer schwer oder führt meist zu mehr oder weniger gelungenen Kompromissen zu Lasten des einen oder anderen Aspekts.

Ein großes Problem zu sicheren Produkten zu kommen sehe ich in dem Bereich der Verbraucherprodukte, weil hier von vielen Unternehmen und handelnden Personen komplett die Einsicht in die Notwendigkeit fehlt, selbst die einfachsten Forderungen des Produktsicherheitsgesetz wie das Anbringen einer Seriennummer und der Herstelleradresse wird in 95% aller Fälle komplett ignoriert.

Hier wird es nach meiner Einschätzung leider wohl keinen erfolgreichen Weg der Aufklärung und der Prävention geben, sondern hier zählen nur empfindliche wirtschaftliche Strafen und bei dauerhaften ignorieren der gesetzlichen Anforderungen auch persönliche Strafen gegen die Unternehmensverantwortlichen.

## 1.9 Literatur

Barth, Ch.; Höhn, K.; Leder, G.: Qualitätsmanagement bei der Gestaltung von technischen Arbeitsmittel und Verbraucherprodukten. Eine Orientierungshilfe für Entwickler, Konstrukteure, Hersteller, Importeure und Händler technischer Arbeitsmittel sowie Arbeitsschutzexperten. 3. Auflage. Dortmund: 2007.

DIN EN 14059:2003-01 (D) Dekorative Öllampen - Sicherheitsanforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 14059:2002.

Gesetz über Medizinprodukte (Medizinproduktegesetz - MPG) Neugefasst durch Bek. v. 7.8.2002 I 3146; zuletzt geändert d. Art. 4 Abs. 62 G v. 7.8.2013 I 3154.

GUV-Information - Rückengerechtes Arbeiten in der Pflege und Betreuung. Damit der Mensch nicht zur Last wird GUV-I 8557 November 2007.

VERORDNUNG (EU) Nr. 276/2010 DER KOMMISSION vom 31. März 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) in Bezug auf Anhang XVII (Dichlormethan, Lampenöle und flüssige Grillanzünder sowie zinnorganische Verbindungen).

VDI / VDE Richtlinie „2424 Industrial Design“ VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik 1986 (wird überarbeitet).

**Abb. 1.11** Staatl. gepr. Techn. Lutz Gathmann und Prof. Dr. Ralf Pieper (v.l.n.r.) zum Start der Kolloquiumsreihe im Wintersemester 2013/2014.

# 2 Deutschland sucht den Endlagerstandort: Konzepte und Stand der Endlagerung von Atommüll (JULIA MAREIKE NELES)

**96. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 26. November 2013 in Wuppertal**

**Dipl.-Ing. (FH) Julia Mareike Neles**
Institutsbereich Nukleartechnik & Anlagensicherheit im Öko-Institut e.V., Darmstadt

## Wohin mit dem Atommüll? – Konzepte und Stand der Endlagerung in Deutschland

1957 wird erstmals ein Reaktor in Deutschland kritisch, seit 1961 wird Strom aus Kernenergie erzeugt. Seitdem ist die Frage nach der Entsorgung der radioaktiven Abfälle zu lösen. Mehrere Anläufe, ein Endlager insbesondere für die hochradioaktiven Abfälle zu finden, blieben erfolglos. Die Gründe sind vielschichtig, einer ist sicherlich die fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung wie das Beispiel Gorleben zeigt. Mit dem 2013 verabschiedeten Standortauswahlgesetz wurde deshalb ein neuer Versuch gestartet. Erstmals wurde im breiten parteipolitischen Konsens ein Verfahren in einem Gesetz verankert, das ausgehend von einer „weißen Landkarte“ stufenweise zu einem Endlagerstandort führen soll. Der vorliegende Artikel erläutert die geplante Vorgehensweise einschließlich der Beteiligung der Öffentlichkeit. Dazu wird das erforderliche Hintergrundwissen über radioaktive Abfälle und das Konzept der Endlagerung im Artikel aufbereitet. Da das Problem der Endlagersuche in Deutschland ohne die zugehörige Historie nicht nachvollziehbar ist, wird darüber ebenfalls ein Überblick gegeben. Das Thema Endlagerung ist komplex und kann entsprechend nur angerissen werden. Eine Auseinandersetzung damit ist aber wichtig, da die Endlagerung eine breite Öffentlichkeit über lange Zeit betreffen wird.

## 2.1 Radioaktive Abfälle – Entstehung, Arten und Mengen

### 2.1.1 Wie entstehen radioaktive Abfälle?

Radioaktive Abfälle entstehen überwiegend beim Betrieb und beim Rückbau von Kernkraftwerken. Der vorliegende Artikel befasst sich i.W. mit Abfällen dieser Herkunft. Die in der Forschung, in der Medizin und in der Industrie entstehenden radio-

aktiven Abfälle spielen mengenmäßig und für die Endlagerung eine eher untergeordnete Rolle und werden deshalb im Folgenden nicht näher betrachtet.

Bei der Kernspaltung werden schwere Atome des Kernbrennstoffs (Uran oder eine Mischung aus Uran und Plutonium (MOX)) in leichtere Atome gespalten. Die hierbei entstehenden Spaltprodukte sind hochradioaktiv. Die bei der Kernspaltung außerdem frei werdenden Neutronen führen durch Neutroneneinfang im Brennstoff zur Entstehung von sogenannten Transuranen wie Plutonium, Americium und Curium. Alle Transurane sind radioaktiv. Spaltprodukte und Transurane verbleiben im abgebrannten Brennelement.

Ein Teil der frei werdenden Neutronen verlässt den Kernbrennstoff und aktiviert die Materialien der Umgebung. Das bedeutet, dass Atome des umgebenden Wassers, des Betons, des Stahls usw. Neutronen einfangen und so zu radioaktiven Isotopen werden. Aufgrund der großen Reichweite von Neutronen findet Aktivierung nicht nur an der Oberfläche sondern auch im Inneren von Materialien statt. Die aktivierten Materialien werden zu radioaktivem Abfall.

Beim Umgang mit diesen Materialien wie beispielsweise der Reinigung des Kühlwassers, der Wartung oder der Reparatur von Anlagenteilen usw. entstehen Sekundärabfälle (z.B. Ionenaustauscherharze, Wischlappen, Bauteile usw.). Diese Abfälle werden meist unter dem Begriff Betriebsabfälle zusammengefasst.

Größere Mengen ganz unterschiedlicher Arten an radioaktiven Abfällen entstehen schließlich beim Rückbau eines Reaktors.

Eine weitere relevante Abfallart sind diejenigen radioaktiven Abfälle die bei der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen entstehen. Das Ziel der Wiederaufarbeitung ist die Abtrennung des noch im Brennelement vorhandenen Urans und des durch Neutroneneinfang entstandenen Plutoniums. Dazu wird das Brennelement zerlegt und die enthaltenen Brennstoffpellets chemisch aufgelöst. Nach Abtrennung von Uran und Plutonium verbleibt als Abfall die hochradioaktive Spaltproduktlösung. Sie wird in flüssiges Spezialglas eingerührt (verglast) und in sog. Edelstahlkokillen eingegossen. Die hochradioaktiven Hülsen- und Strukturteile des Brennelements werden hochdruckverpresst und ebenfalls in Kokillen verpackt. Weitere radioaktive Abfälle entstehen aus dem Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlage (z.B. verglaste Konzentrate aus der Wasseraufbereitung) und dem Rückbau der Anlagen.

Die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente wurde als Dienstleistung für deutsche Energieversorger in Frankreich und Großbritannien erbracht. Die deutschen Auftraggeber sind vertraglich verpflichtet, ihre Abfälle zurückzunehmen und in Deutschland zu entsorgen. Diese Rückführungen sind in Deutschland bekannt als so genannte „Castor-Transporte“.

Da seit Juli 2005 der Transport abgebrannter Brennelemente zur Wiederaufarbeitung ins Ausland per Atomgesetz verboten ist, ist die Menge radioaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung abzusehen und die Zahl der Rücktransporte begrenzt.

### 2.1.2 Welche Arten radioaktiver Abfälle gibt es?

Wie aus den Entstehungsprozessen deutlich wird, haben radioaktive Abfälle sehr unterschiedliche Eigenschaften. Für eine Unterteilung wird meist die Radioaktivität des Abfalls als seine maßgebliche Eigenschaft herangezogen. So unterscheidet beispielsweise die International Atomic Energy Agency (IAEA) in ihrer Empfehlung in hochradioaktive, mittelradioaktive und schwachradioaktive Abfälle. Eine weitere Klassifizierung ergibt sich aus der Halbwertszeit eines Nuklids. Es wird in langlebige und kurzlebige radioaktive Abfälle unterschieden. In aller Regel hängen solche Einteilungen aber von den verfügbaren Entsorgungswegen des jeweiligen Landes ab, die Grenzen zwischen den einzelnen Abfallklassen werden also nicht überall gleich definiert. Klassifizierungen werden nach Abfalleigenschaften gewählt, die für einen Entsorgungsweg begrenzend sind.

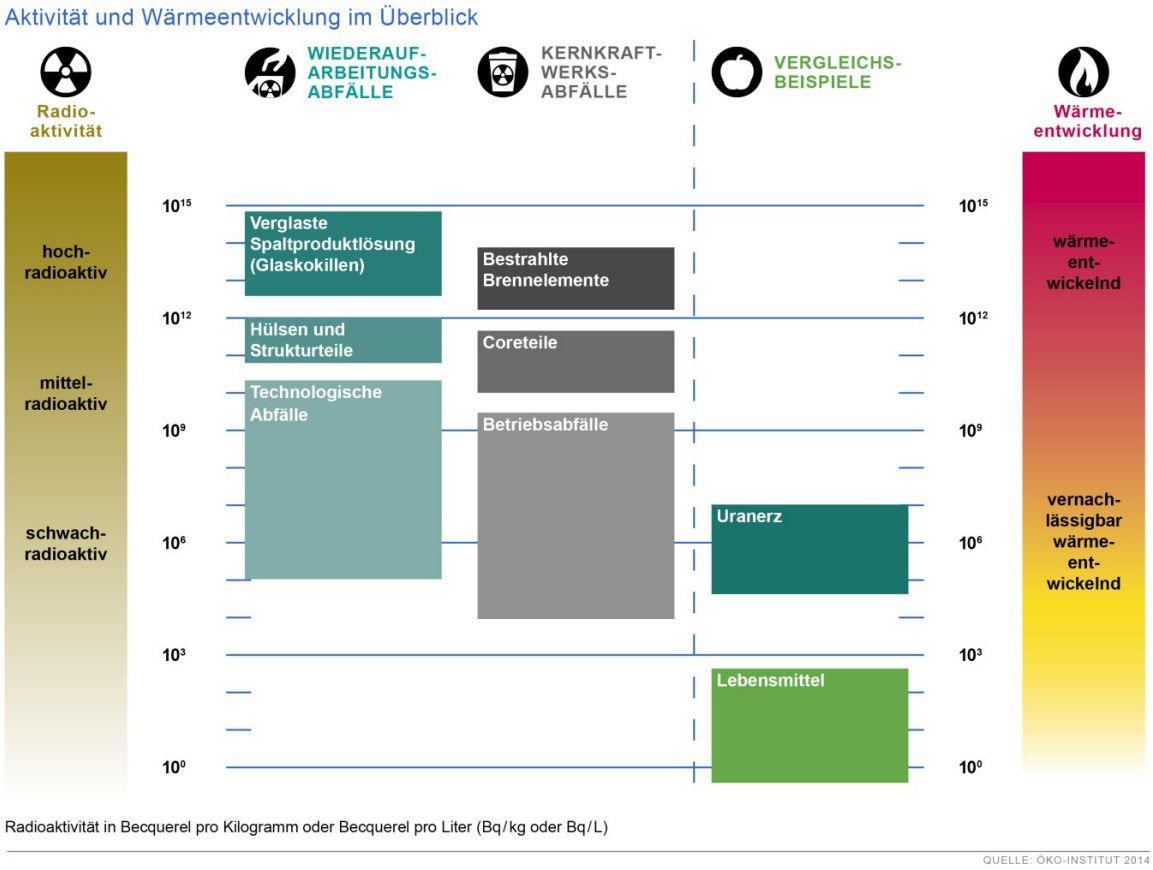



**Abb. 2.1** Klassifizierung radioaktiver Abfälle

In Deutschland wird in wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung unterschieden. Beim radioaktiven Zerfall entsteht immer auch Wärme. Entsprechend sind wärmeentwickelnde Abfälle auch Abfälle mit hoher Radioaktivität. Diese Art der Klassifizierung resultiert aus der Genehmigung des Endlagers Konrad, in das nur Abfälle mit einer begrenzten Wärmeentwicklung eingelagert werden dürfen. Eine negative Beeinflussung der Geologie durch Wärme soll damit ausgeschlossen werden.

Eine schematische Einordnung von Abfallarten nach ihrer Radioaktivität bzw. ihrer Wärmeentwicklung findet sich in Abbildung 2.1.

### 2.1.3 Welche Mengen sind zu entsorgen?

Seit Beginn der Nutzung der Kernenergie in den 1950er Jahren bis Ende 2013 sind in Deutschland 53.592 abgebrannte Brennelemente angefallen, das entspricht rd. 14.900 Mg Schwermetall (Mg SM). Mengenangaben bei Brennelementen erfolgen in dieser Einheit, die für Tonne Uran und Plutonium vor dem Einsatz im Reaktor steht.

Bis zum gesetzlich vereinbarten Ende der Kernenergienutzung im Jahr 2022 werden weitere rund 2.300 Mg SM anfallen. In der Summe werden also rund 17.200 Mg SM abgebrannte Brennelemente zu entsorgen sein. Davon sind 10.500 Mg SM direkt endzulagern. Weitere 6.700 Mg sind in die Wiederaufarbeitung gegangen. Aus der Wiederaufarbeitung resultieren nach aktuellen Schätzungen etwa 1.400 m³ wärmeentwickelnde Abfälle.

Der Gesamtanfall an wärmeentwickelnden Abfällen, der endzulagern ist, wird nach aktuellen Schätzungen (Stand 2014) bis zum Ende der Stromerzeugung aus Kernkraft rund 28.100 m³ betragen.

Die Menge an radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die in Schacht Konrad endgelagert werden soll, ist deutlich größer. Bis Ende 2013 angefallen sind 113.885 m³ sowie weitere Mengen noch nicht behandelte Abfälle. Genehmigt ist das Endlager Konrad für eine Gesamtmenge von 303.000 m³ radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Dazu gehören die Betriebs- und Rückbauabfälle der Kernkraftwerke, die den überwiegenden Anteil liefern, Abfälle der kerntechnischen Industrie, der Forschung usw.

Im Endlager Morsleben sind bereits etwa 37.000 m³ schwach- und mittelradioaktive Abfälle und rund 6.600 einzelne Strahlenquellen endgelagert worden. In der Schachtanlage Asse II wurden etwa 47.000 m³ an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen eingelagert, die aber wieder zurückgeholt und neu endgelagert werden sollen.

Die zu entsorgende Menge radioaktiver Abfälle aus der Asse wird sich bei der Rückholung aus technischen Gründen vergrößern. Studien gehen davon aus, dass durch den zusätzlichen Abraum, der bei der Bergung anfällt und der Volumenzunahme durch die erneute Behandlung und Verpackung insgesamt rd. 200.000 m³ radioaktive Abfälle zu entsorgen sind.

Eine weitere Entsorgungsaufgabe resultiert aus der Brennstoffherstellung. In entsprechenden Anlagen in Deutschland wird Uran für die Brennstoffherstellung angereichert. Dabei entsteht als Rest abgereichertes Uran, so genannte Uran-Tails. Diese sind auf lange Sicht zu entsorgen. Die Bundesregierung geht von einer Menge von 100.000 m³ aus.

Die beiden letztgenannten Positionen sind noch ungelöste Entsorgungsaufgaben. Es handelt sich dabei nicht um neue Bestände, sie wurden aber erst im 2015 vorgelegten Nationalen Entsorgungsprogramm zu den Entsorgungsaufgaben hinzugezählt. In der Presse wurde deshalb häufig von einer Verdopplung der Menge an radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung gesprochen.

### 2.1.4 Umgang und Aufbewahrung heute

Einige Jahre nach ihrem Anfall werden abgebrannte Brennelemente in Transport- und Lagerbehälter wie z.B. den Castor-Behälter verpackt und in Zwischenlagern gelagert. Diese Zwischenlager befinden sich einerseits dezentral an den einzelnen Kernkraftwerksstandorten und andererseits für Abfälle mehrerer Reaktoren an zentralen Standorten. Zentrale Zwischenlager befinden sich an den Standorten Gorleben, Ahaus, Jülich und Greifswald. Das Zwischenlager Gorleben ist zudem bisher das einzige Zwischenlager, dass auch für die Lagerung wärmeentwickelnder Abfälle aus der Wiederaufarbeitung genehmigt ist. Für die wärmeentwickelnden Abfälle ist ein geeigneter Endlagerstandort zu finden.

Radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung aus Betrieb und Rückbau werden in aller Regel zunächst konditioniert, d.h. verpresst, getrocknet, verbrannt, zementiert, usw. mit dem Ziel ein chemisch stabiles Abfallprodukt mit möglichst geringen Volumen zu erhalten. Auch diese Abfälle werden verpackt und zwischengelagert. Diese Abfälle sollen im genehmigten Endlager Konrad bei Salzgitter endgelagert werden. Das Endlager befindet sich im Bau und ist wahrscheinlich frühestens 2022 aufnahmebereit.

An vielen Standorten wird heute mit radioaktiven Abfällen umgegangen, sei es in verschiedenen Zwischenlagern oder Konditionierungsanlagen. Die Deutschlandkarte in der nachfolgenden Abbildung zeigt, wo sich die einzelnen Standorte befinden. Zudem sind die vier deutschen „Endlagerprojekte“ eingetragen.

**Abb. 2.2** Entsorgungsanlagen in Deutschland (Quelle Öko-Institut e.V.)

## 2.2 Diskutierte Alternativen zur Endlagerung

Mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle soll ein dauerhafter Schutz von Mensch und Umwelt vor den schädlichen Wirkungen dieser Abfälle erreicht werden. Außerdem sollen zukünftigen Generationen keine unzumutbaren Lasten aufgebürdet werden. So wird es in den Schutzzielen der Sicherheitsanforderungen des Umweltministeriums von 2010 formuliert. Da die Errichtung eines Endlagers aber in aller Regel auf Ablehnung bei der Bevölkerung stößt, wurde und wird immer wieder die Frage nach Alternativen zur Endlagerung aufgeworfen. Nachfolgend werden die wichtigsten diskutiert. Sie müssen sich letztlich messen lassen an den Schutzzielen, die für die Endlagerung aufgestellt wurden.

### Versenkung im Meer

Feste und flüssige radioaktive Abfälle wurden tatsächlich von 1946 bis zum Verbot 1993 im Meer entsorgt. Diesbezügliche Zusammenstellungen finden sich im TecDoc 1105 der International Atomic Energy Agency (IAEA). Durch internationale Verträge (London Sea Dumping Convention) wurde sie schließlich verboten.

Das Meer bietet ein hohes Verdünnungspotential für Radionuklide und dadurch zunächst eine niedrige Strahlendosis für Individuen. Die hohen Verdünnungsraten wer-

den aber teilweise durch Anreicherung bestimmter Radionuklide in der Nahrungskette wieder aufgehoben. Soweit Abfallverpackungen vorhanden waren, korrodieren diese im Laufe der Zeit. Dadurch wird der radioaktive Abfall vollständig freigesetzt und insbesondere seine langlebigen Inhaltsstoffe wie z.B. Iod-129, Selen-79 und Kohlenstoff-14 zirkulieren über lange Zeiträume in der Biosphäre. Zeitdauer und Verteilung führen so zu inakzeptablen Kollektivdosen.

**Transport ins Weltall**

In den 1970er und 1980er Jahren hat die NASA umfangreiche Untersuchungen zur Endlagerung im Weltall durchgeführt. Letztlich scheitert der Entsorgungsweg an den Risiken und den Kosten.

Aufgrund der begrenzten Nutzlast von Trägerraketen wäre der Aufwand erheblich (zahlreiche Starts in weit entfernte Umlaufbahnen, immense Kosten). Raketen haben dazu insbesondere in der Startphase eine hohe Versagenswahrscheinlichkeit. Zuletzt ist im Oktober 2014 eine unbemannte Trägerrakete mit einem Entsorgungsfrachter explodiert. Ein Unfall mit einer Ladung radioaktiver Abfälle hätte eine Freisetzung des radioaktiven Materials zur Folge und würde sowohl zu hohen lokalen als auch globalen Kontaminationen führen.

**Partitionierung und Transmutation (P+T)**

Darunter wird die Abtrennung von Radionukliden und deren anschließende Umwandlung in kurzlebigere bzw. stabile Elemente verstanden. Das Verfahren befindet sich im Forschungsstadium. Nach heutigen Erkenntnissen ist P+T lediglich für einige Aktiniden wie Plutonium, Neptunium, Americium und Curium geeignet, sie machen etwa 1,2 % eines typischen abgebrannten Brennelements aus. Schon das macht deutlich, dass für das übrige nukleare Inventar sowie entstehende Betriebsabfälle ein Endlager nach wie vor erforderlich bleibt.

Sollte das Verfahren zur Anwendung kommen, sind Anlagen zur Wiederaufarbeitung für die Abtrennung und zur Brennelementfertigung für die Verarbeitung der Aktiniden erforderlich. Für die Umwandlung werden spezielle Reaktoren bzw. beschleunigergetriebene Systeme benötigt, die noch zu entwickeln sind. Die Umsetzung erfordert einen hohen technischen und finanziellen Aufwand. Es muss jahrzehntelang aktiv mit den Abfällen umgegangen werden. Zudem sind die Risiken, die mit dem Betrieb der Anlagen verbunden sind, zu tragen. Außerdem erfordert es grundsätzlich das Bekenntnis zu einer dauerhaften Nutzung der Kernenergie und der damit verbundenen Infrastruktur. Deutschland hat sich hier bekanntlich für einen anderen Weg entschieden.

**Langfristige Zwischenlagerung – „Hütekonzepte“**

Statt eines passiven Systems wie der Endlagerung in geologischen Schichten würden die radioaktiven Abfälle dauerhaft unter Überwachung bleiben müssen, beispielsweise in den Zwischenlagern, in denen sie sich auch jetzt schon befinden.

Was einerseits nach Sicherheit klingt (Überwachung!), stößt andererseits schnell an die Grenzen des Machbaren: Die Abfälle müssten, um eine der Endlagerung ähnliche Sicherheit zu erreichen, über mindestens 1 Million Jahre kontrolliert, Verpackungen und Gebäude gewartet, repariert, ausgetauscht usw. werden. Dieser aktive Umgang ist zu organisieren (z.B. Know How Erhalt) und zu finanzieren. Zudem müsste das radioaktive Inventar vor natürlichen Einwirkungen an der Erdoberfläche wie Eiszeiten, Klimawandel, Überschwemmungen usw. geschützt werden. Zivilisatorische Einwirkungen wie Kriege, Umstürze und Grenzverschiebungen sind über diesen Zeitraum ebenfalls nicht auszuschließen. Entfällt dann die Überwachung, kann das radioaktive Inventar durch Korrosion der Behälter, Sabotage, Diebstahl usw. in die Biosphäre gelangen und Mensch und Umwelt schädigen. Die Zwischenlagerung kann also vernünftigerweise nur überschaubare Zeiträume überbrücken. Als langfristige Lösung oder als Alternative zur Endlagerung ist sie nicht geeignet.

Gemessen an den Schutzzielen bieten die diskutierten Alternativen keine Vorteile hinsichtlich des Schutzes von Mensch und Umwelt heutiger und zukünftiger Generationen. In der internationalen Fachwelt ist dies unumstritten:

*„Auf fachlich-technischer Ebene ist weitgehend anerkannt, dass die Endlagerung in geologischen Tiefenformationen derzeit die sicherste und ökologisch tragfähigste Option als Endpunkt der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente, die als Abfall angesehen werden, darstellt.“*

(Aus der Begründung zu RICHTLINIE 2011/70/EURATOM DES RATES über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle vom 19.7.2011)

## 2.3 Endlagerung – Konzept, Risiken, Langzeitsicherheit

### 2.3.1 Auf welchem Konzept basiert Endlagerung?

Bei der Endlagerung werden langfristig stabile geologische Formationen genutzt, um das Radionuklidinventar dauerhaft und inhärent sicher einzuschließen. Geeignete geologische Formationen müssen mindestens folgenden Anforderungen genügen:

- Das Langzeitverhalten der geologischen Formation muss zuverlässig prognostizierbar sein. Ungeeignet sind beispielsweise Gebiete mit Erdbebenrisiko oder Vulkanismus.

- Die Formation muss in ausreichender Tiefe vorliegen, um eine gegenseitige Beeinflussung zwischen Erdoberfläche und Endlager auszuschließen. Der physische Mindestabstand eines Endlagers zur Erdoberfläche muss dauerhaft gewährleistet sein. Gebiete mit Hebungen der Erdoberfläche sind abhängig von der Größenordnung der Hebungsrate ungeeignet.
- Die Formation muss ausreichend mächtig sein, um für alle einzulagernden Abfälle die Isolationsfunktion sicher zu stellen.
- Die Formation muss so stabil sein, dass ein stabiles Grubengebäude errichtet werden kann.
- Die geologische Formation darf nur eine sehr niedrige hydraulische Durchlässigkeit aufweisen um Wechselwirkungen mit Grundwasser zu vermeiden.
- Gute Sorptionseigenschaften des Wirtsgesteins sind von Vorteil, um die Mobilität von Radionukliden weiter zu begrenzen.
- Die geologische Formation muss eine ausreichende Toleranz gegenüber der mit den Abfällen eingetragenen Wärme aufweisen, d.h. die Wärme darf keine negativen Veränderungen im Gestein hervorrufen.

Die Anforderungen beziehen sich teilweise auf die gesamte geologische Formation und teilweise auf die Eigenschaften des Gesteins dieser Formation, das Wirtsgestein. Der Teil des Wirtsgesteins, der die dauerhafte Isolation des Abfalls von der Biosphäre sicherstellt und daher dauerhaft erhalten bleiben muss, wird in Deutschland als "einschlusswirksamer Gebirgsbereich" bezeichnet.

Über Sicherheitsnachweise ist der Erhalt des Einschlusses darzulegen. Als Nachweiszeitraum hat man sich die Größenordnung 1 Million Jahre gesetzt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, weil er noch als geowissenschaftlich prognostizierbar gilt. Darin schwingt die Erwartung mit, dass das geologische System auch darüber hinaus stabil bleibt und seine Schutzfunktion weiterhin wahrnimmt. Der Zeitraum ergibt sich nicht daraus, dass die Radioaktivität der Abfälle dann bis zur Ungefährlichkeit abgeklungen ist. Die meisten Abfälle könnten nämlich auch nach einer Million Jahren noch nicht uneingeschränkt aus dem Atomrecht entlassen werden.

Ein Endlager wird bergmännisch errichtet, d.h. Schächte durchdringen die Deckschichten und das Wirtsgestein und ermöglichen so Zugang. Beim späteren Verschluss des Endlagers müssen diese „Verletzungen“ des Wirtsgesteins wieder so verschlossen werden, das die Qualität des sicheren Einschlusses gewährleistet ist.

Das in Deutschland bisher präferierte Endlagerkonzept sieht eine nachsorgefreie Endlagerung vor. Das heißt, dass nach Verschluss des Endlagers keinerlei Eingriffe oder Wartungsarbeiten erforderlich werden sollen. Die Rückholbarkeit der Abfälle, also ein Konzept, dass das Endlager soweit offen hält, dass bereits eingelagerte Abfälle wieder herausgeholt werden können, ist nicht explizit geplant aber während der

einige Jahrzehnte dauernden Betriebsphase möglich. Sollten die Abfälle dauerhaft rückholbar gelagert werden, würde das aufgrund der Offenhaltung Sicherheitskompromisse im Hinblick auf den sicheren Einschluss erfordern.

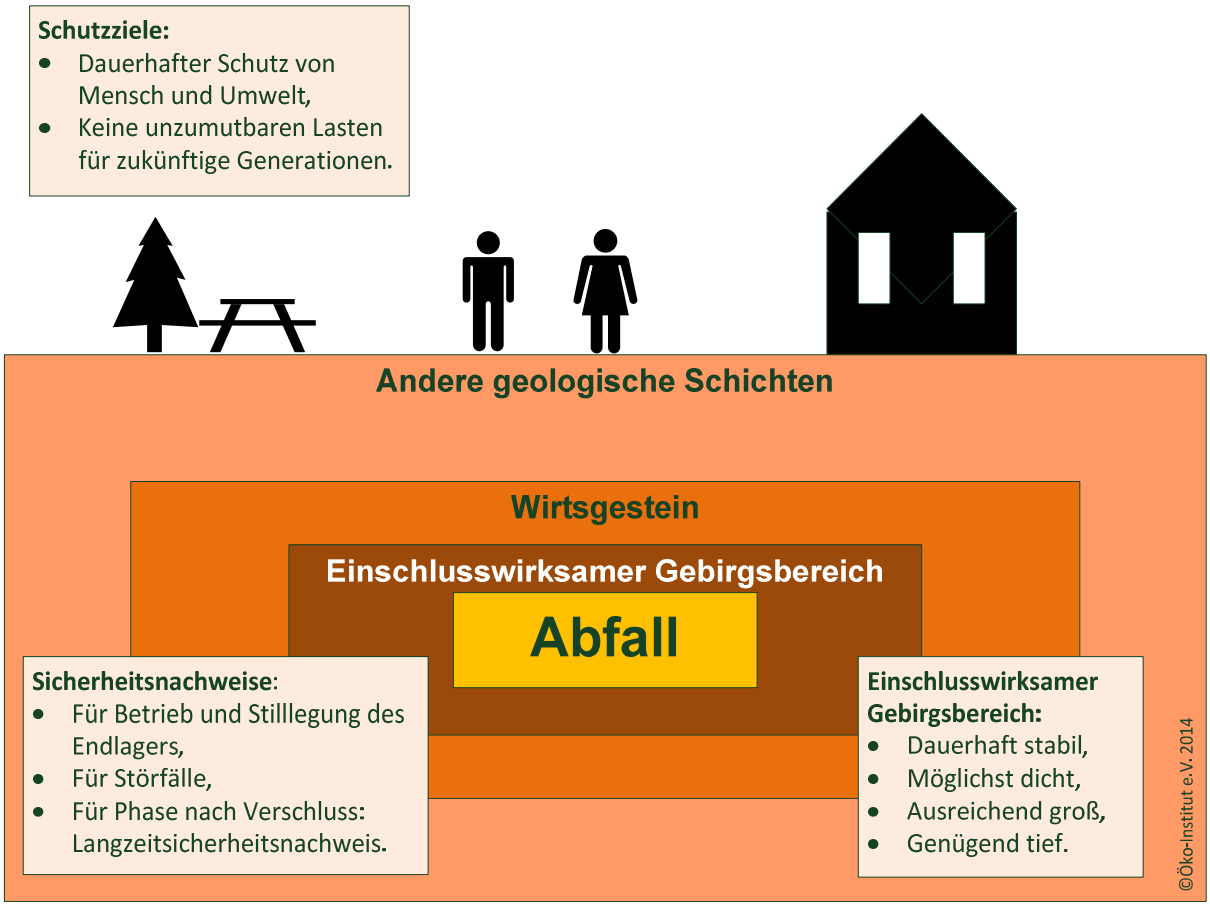



**Abb. 2.3** Konzept der Endlagerung (Quelle: Öko-Institut e.V.)

Die Möglichkeit der Bergung der hochradioaktiven Abfälle bis 500 Jahre nach Verschluss des Endlagers sehen die Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010 jedoch vor. Darunter wird das Herausholen der Abfälle als Notfallmaßnahme verstanden, falls sich das verschlossene Endlager während dieser frühen Phase als fehlerhaft und unsicher erweist und die Endlagerung deshalb rück-gängig gemacht werden soll. Dazu muss dann ein neues Bergwerk aufgefahren werden. Voraussetzung für das Finden und Bergen der Abfälle ist dann, dass die Abfallbehälter so lange in einem handhabbaren Zustand bleiben.

### 2.3.2 Wirtsgesteine

Als mögliche Gesteinsarten kommen Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein wie Granit in Betracht. Auch international werden diese Gesteinsarten als potentiell geeignet betrachtet. Jedes dieser Gesteine hat Vor- und Nachteile, die beispielsweise durch ein angepasstes Endlagerkonzept ausgeglichen werden müssen. Auch ist beispielsweise Steinsalz nicht gleich Steinsalz, da die Entstehung der Formation sowie sonstige Randbedingungen die Eigenschaften eines Gesteins beeinflussen. Genaue Untersuchungen am Standort selbst sind also unerlässlich.

Die nachfolgende Tabelle stellt für einige Aspekte, die für die Endlagerung relevant sind, beispielhaft die prinzipiellen Eigenschaften der drei Wirtsgesteinsarten zusammen. Grün hinterlegt sind die Beschreibungen, die günstig für die Endlagerung sind.

**Tab. 2.1** Vergleich von Wirtsgesteinen (Beispiele)
(Quelle: Öko-Institut e.V. nach BGR)

| Eigenschaft | Steinsalz | Tonstein | Kristallin (Granit) |
|---|---|---|---|
| Durchlässigkeit | Praktisch undurchlässig für Flüssigkeiten und Gase | Sehr geringe bis geringe Durchlässigkeit für Flüssigkeiten | Abhängig von der Klüftung gering bis gut durchlässig |
| Festigkeit | Mittlere Festigkeit | Geringe bis mittlere Festigkeit | Hohe Festigkeit |
| Lösungsverhalten | Hohe Löslichkeit | Sehr geringe Löslichkeit | Sehr geringe Löslichkeit |
| Verformungsverhalten | kriechend | Plastisch bis spröde | spröde |
| Temperaturbelastbarkeit | Sehr belastbar | Gering belastbar | Sehr belastbar |

Neben den geologischen Eigenschaften ist die Verfügbarkeit geeigneter Wirtsgesteine innerhalb der Landesgrenzen Voraussetzung für die Errichtung eines Endlagers. Entsprechend wird international auf unterschiedliche Wirtsgesteine gesetzt. In Deutschland ist das Wirtsgestein Salz am besten untersucht. Deutschland verfügt aber auch über Vorkommen von Tonstein und Granit. In der Schweiz, in Frankreich und in Belgien werden Standorte in den dort vorhandenen Tonsteinvorkommen erkundet. In Schweden und Finnland werden Standorte in Granitgestein als potentielle

Endlagerstandorte untersucht. Steinsalz oder Tonsteinformationen stehen dort nicht zur Verfügung. Der Versuch der USA, ein HAW-Endlager in einem vulkanischen Tuff einzurichten (Yucca Mountain), ist letztlich gescheitert, weil der Langzeitsicherheitsnachweis nicht zu führen war.

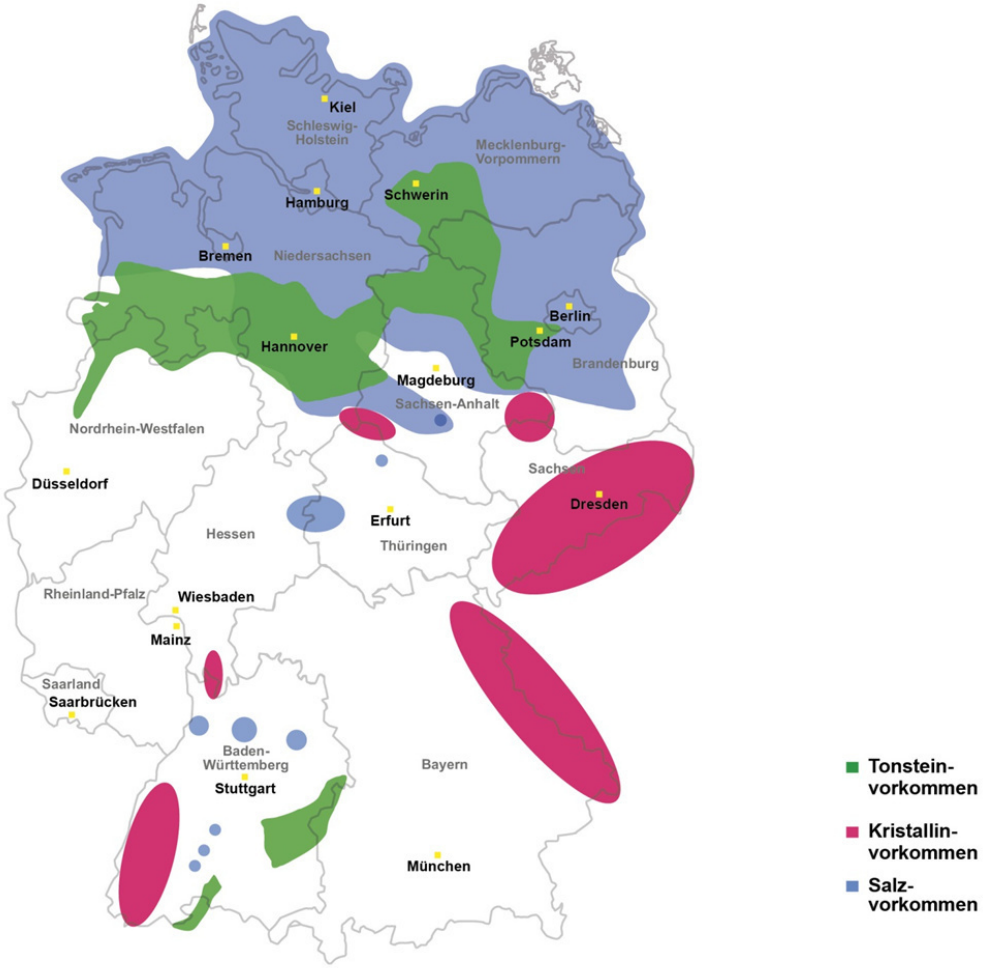



**Abb. 2.4** Vorkommen potentieller Wirtsgesteinsformationen in Deutschland (Quelle: Öko-Institut e.V.)

Die nachfolgende Karte zeigt schematisch die Regionen in Deutschland, in denen Steinsalz, Tonstein oder Granit in größeren Formationen vorkommen. Verschiedene Forschungsarbeiten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ergaben, dass für Steinsalz und Tonstein potentiell mehrere Standorte für ein Endlager geeignet sein können. Für Kristallin wird seitens der BGR eher erwartet, dass keine genügend mächtigen, homogenen und ungeklüfteten Formationen zur Verfügung stehen.

### 2.3.3 Was bedeutet Langzeitsicherheit

Langzeitsicherheit bedeutet: der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle über 1 Million Jahre ist gegeben. Der Nachweis der Langzeitsicherheit ist zentral im Hinblick auf die Genehmigungsfähigkeit eines Endlagers. Der Betrachtungsumfang bezieht sich darauf, wie sich das Endlager und seine Umgebung im zeitlichen Verlauf entwickeln könnten und welche Auswirkungen das auf die eingelagerten Abfälle und insbesondere die Rückhaltung der Radionuklide hat. Das Werkzeug für den Langzeitsicherheitsnachweis ist die Langzeitsicherheitsanalyse.

Zunächst wird dabei ein Katalog relevanter Szenarien erstellt. Diese basieren auf den für die zeitliche Entwicklung des Endlagersystems relevanten Eigenschaften, Ereignissen und Prozessen (international gebräuchlich: FEP für Features, Events, Processes) sowie den Standorteigenschaften und dem Endlagerkonzept. Die Informationen dafür resultieren beispielsweise aus der NEA-FEP Database, einer bei der OECD angesiedelten Datenbank, die alle FEPs internationaler Langzeitsicherheitsanalysen beinhaltet und so den internationalen Wissensstand repräsentiert. Daraus sind die für den jeweiligen Standort zutreffenden FEPs auszuwählen und zusätzlich solche zu berücksichtigen, die sich aus standortspezifischen Informationen neu ergeben. Diese werden dann zu Szenarien kombiniert. Ziel ist es Szenarien zu entwickeln, die einerseits wahrscheinliche Entwicklungen beschreiben und andererseits die gesamte Bandbreite weniger wahrscheinlicher Entwicklungen abdecken.

Zur Beschreibung der im Endlagersystem ablaufenden Prozesse werden zunächst konzeptuelle Modelle entwickelt. Darunter wird das Zusammenführen aller Informationen verstanden, die das Endlagersystem insgesamt beschreiben. Es dokumentiert letztlich das fundierte Verständnis dieses Systems, das sich aus vielen Einzelinformationen, Modellen für Teilsysteme usw. zusammensetzt. Es folgt die Umsetzung in ein numerisches Modell, also ein oder mehrere Computerprogramme, mit dem Prozesse und Szenarienabläufe quantitativ beschrieben werden. Entsprechende Programme wurden bereits für verschiedene Gesteinsarten entwickelt. Mit diesen Modellen werden die Konsequenzen für die verschiedenen Szenarien ermittelt. Unter Konsequenzen werden vor allen Dingen die radiologischen Auswirkungen in der Biosphäre verstanden.

Aufgabe der Sicherheitsbewertung ist es dann, diese Ergebnisse im Hinblick auf die Schutzziele zu bewerten. Wesentliche Fragestellung ist, ob und wie der Grenzwert für die Strahlenexposition der Bevölkerung bei den verschiedenen Szenarien eingehalten wird.

Darüber hinaus werden weitere Analysen zur Ermittlung und Bewertung von Unsicherheiten durchgeführt. Unsicherheiten ergeben sich zwangsläufig, da nicht alle Prozesse genau bekannt sind, vereinfacht werden oder Angaben auf lange Zeiträume bzw. große Volumina extrapoliert werden. Mit einer Sensitivitätsanalyse wird er-

mittelt, wie sich die Variation eines einzelnen Parameters auf das Gesamtsystem auswirkt. Eine probabilistische Analyse, bei der mit Zufallswerten aus einer plausiblen statistischen Verteilung Hunderte von Rechenläufen durchgeführt werden, ergänzt die Untersuchungen. Die Ergebnisse werden statistisch ausgewertet und ebenfalls im Hinblick auf sensitive Parameter bzw. Parameterkombinationen interpretiert.

Der Anspruch an die Vorhersagbarkeit des Langzeitverhaltens eines Endlagers muss sehr hoch sein, da eine spätere Korrektur von Fehlentscheidungen quasi nicht möglich ist. Entsprechend sind höchste Ansprüche an die wissenschaftliche Qualität bei der Entwicklung und Durchführung der beschriebenen Analyse- und Bewertungsschritte zu stellen. Kenntnislücken können nicht akzeptiert werden. Begründete Zweifel sind letztlich ein Grund, ein Endlagervorhaben an einem bestimmten Standort nicht zu realisieren.

## 2.4 Die Suche nach einem Endlagerstandort – Historie

### 2.4.1 Wie versuchte man einen Endlagerstandort zu finden?

Mit dem Beginn der friedlichen Nutzung der Kernenergie in Deutschland fielen radioaktive Abfälle an, für die zunächst keine Entsorgungsmöglichkeit zur Verfügung stand. Mit den 1960er Jahren begann die Diskussion um einen deutschen Endlagerstandort. Das Konzept sah eine Kaverne im Steinsalz vor, die mit festen und flüssigen radioaktiven Abfällen verfüllt werden sollte. Zwischen 1964 und 1966 wählten Expertengruppen im Auftrag des Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung sechs mögliche Standorte aus. Eine öffentliche Beteiligung fand nicht statt. Die nähere Untersuchung von einem der sechs Standorte (Standort Bunde) scheiterte bereits am Grundstückskauf und am lokalen Widerstand, so dass das Vorhaben nicht fortgesetzt wurde. Stattdessen wurde das ehemalige Salzbergwerk Asse II als „Forschungsbergwerk“ erworben und zwischen 1967 und 1978 zur „versuchsweisen“ Endlagerung genutzt.

1965-1969 führte die Endlagersuche in der DDR bei einer Auswahl unter mehreren ehemaligen Salzbergwerken zum Standort Morsleben als Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Abgebrannte Brennelemente lieferte die DDR zurück in die Sowjetunion, insofern ergab sich kein Bedarf für ein Endlager für hoch radioaktive Abfälle.

In den 1970er Jahren änderte sich das Entsorgungskonzept der BRD. Es sollte ein Standort gefunden werden, der sich für ein „Nukleares Entsorgungszentrum“ eignet. Dieses Zentrum sollte vor allen Dingen eine Wiederaufarbeitungsanlage umfassen.

Außerdem sollten Brennelementherstellung, Abfallkonditionierung und Zwischenlager am Standort konzentriert werden. Zu guter Letzt sollte der Standort über eine Endlageroption, also eine Steinsalzformation, verfügen.

Zwischen 1972 und 1976 wurde ein Auswahlverfahren unter Betrachtung aller Landkreise durch das Bundesforschungsministerium durchgeführt. Dabei wurde erste Priorität auf die Standorterfordernisse einer Wiederaufarbeitungsanlage gelegt. Die Endlageroption hatte erst zweite Priorität. In diesem unter Ausschluss der Öffentlichkeit durchgeführten Verfahren wurden vier Standorte aus-gewählt. Juliusburg wurde aufgrund seiner Nähe zur DDR wieder ausgeschlossen. Bei den drei übrigen Standorten führten massive lokale Widerstände zum Abbruch weiterer Untersuchungen. 1975 begannen parallel die Untersuchungen in Schacht Konrad, einem ehemaligen Eisenerzbergwerk, im Hinblick auf die Eignung als Endlager für Abfälle mit geringerer Radioaktivität.

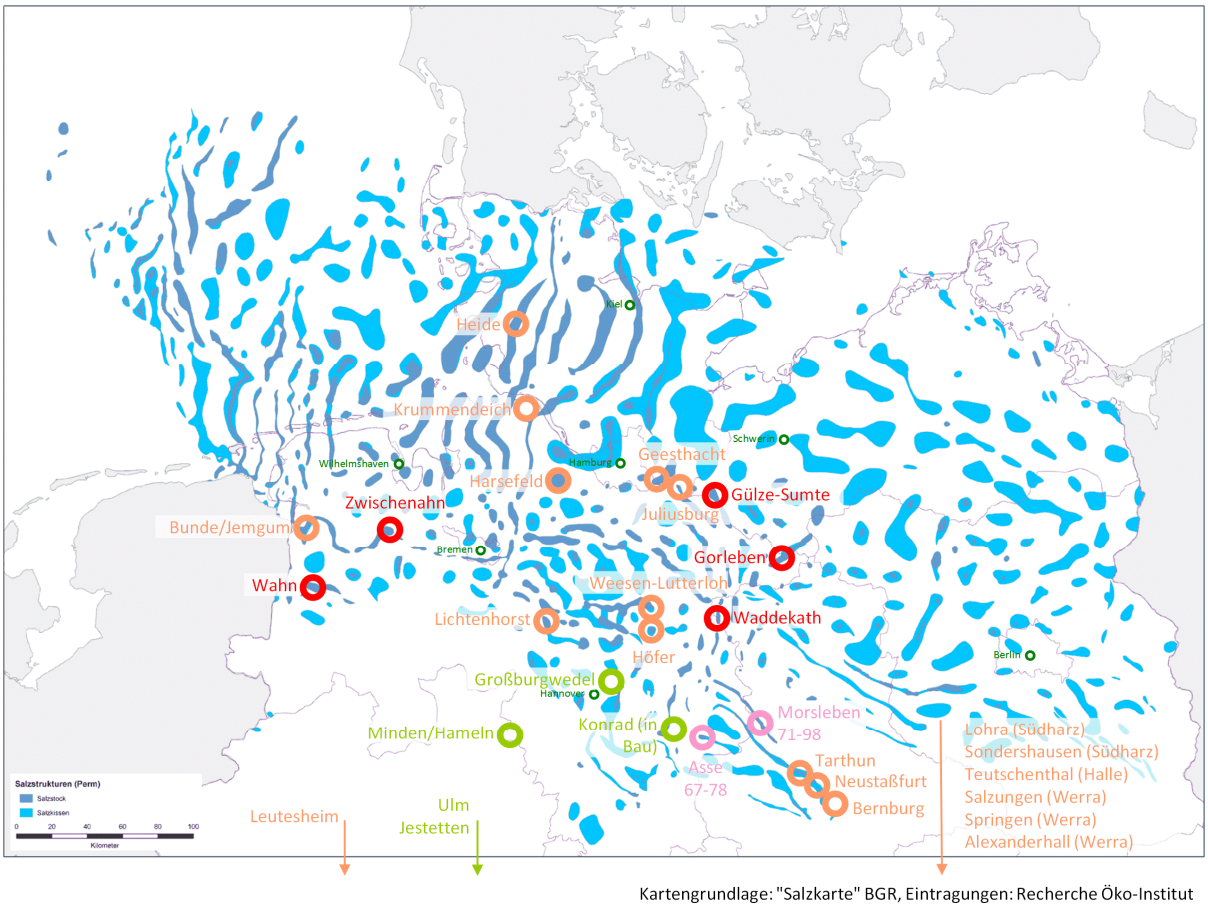



**Abb. 2.5** Standorte der deutschen Endlagerdiskussion seit 1964

Ein zweiter Versuch, einen Standort für das Nukleare Entsorgungszentrum zu finden, wurde zwischen 1976 und 1977 durchgeführt. Verfahrensführer war diesmal das

Land Niedersachsen, da die Mehrzahl der bis dahin benannten Standorte in Niedersachsen lag. Eine interministerielle Arbeitsgruppe führte „streng vertraulich“ ein Auswahlverfahren auf Basis aller Salzstöcke mit einer übertägigen Standortgröße von 3 mal 4 km² durch. Vier Standorte wurden als geeignet ausgewählt, als Standort benannt wurde letztlich Gorleben.

In späteren Forschungsarbeiten untersuchte insbesondere die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) potentielle Wirtsgesteine und Standortregionen im Hinblick auf ihre Eignung als Endlager. Im Rahmen der „Salzstudie“ von 1995 bewertete die BGR 43 Salzstrukturen (ohne Gorleben) und kam zu dem Ergebnis, dass vier davon potentiell für ein Endlager in Frage kommen. In der „Tonstudie“ von 2007 kommt die BGR zu dem Ergebnis, dass in Deutschland auch Regionen mit untersuchungswürdigen Tonformationen vorhanden sind. Eine diesbezügliche Machbarkeitsstudie Studie der Firma DBEtec nennt vier potentiell geeignete Modellstandorte.

In der Abbildung 2.5 werden alle im Rahmen der deutschen Endlagerdiskussion schon einmal genannten Standorte zusammengestellt. Mit orangen und roten Kreisen sind Standorte im Steinsalz gekennzeichnet, die roten Kreise sind die letztgenannten Standorte der Salzstudie der BGR. Standorte mit Tonsteinvorkommen sind grün dargestellt. In rosa sind die beiden als Endlager genutzten, in Stilllegung befindlichen Standorte Asse und Morsleben eingetragen.

### 2.4.2 Die deutschen „Endlagerprojekte“

Im Zusammenhang mit der Endlagerung in Deutschland waren und sind die vier Standorte Asse, Morsleben, Schacht Konrad (Salzgitter) und Gorleben im Fokus der Diskussion. Eigentlich können diese Standorte nicht unter einem gemeinsamen Oberbegriff zusammengefasst werden, da sie einen ganz unterschiedlichen Status haben. Nachfolgend werden die wichtigsten Fakten zu den einzelnen Standorten vorgestellt.

#### Schachtanlage Asse II bei Wolfenbüttel

Das Bergwerk wurde für den Abbau von Kali- und Steinsalz errichtet und war von 1909 bis 1964 in Betrieb. 1965 wurde das Bergwerk von der Bundesrepublik Deutschland als Forschungsbergwerk erworben. Zwischen 1967 und 1978 wurden „versuchsweise“ rund 125.000 Gebinde (Fässer, Gebinde mit verlorener Betonabschirmung (VBA)) mit schwachradioaktiven Abfällen und ca. 1.500 Fässer mittelradioaktive Abfälle eingelagert. Das Gesamtvolumen beträgt rund 47 000 m³. Trotz "Versuchscharakters" war eine Rückholung nie vorgesehen. An Forschungsaktivitäten wurden Versuche zum Verhalten von Salz als Endlagermedium durchgeführt.

Es zeigte sich, dass die Asse als Endlager völlig ungeeignet war. Das Bergwerk wurde ursprünglich zur optimalen Salzausbeute aufgefahren und nicht, um langfristig radioaktive Abfälle sicher einzuschließen. Seit Ende der 1980er Jahre kam es verstärkt zu Lösungszutritten aus dem Deckgebirge. Derzeit müssen täglich rund 12.000 l Wasser gefasst und entsorgt werden. Zusätzlich hat das Bergwerk Stabilitätsprobleme. Das Deckgebirge drückt auf die Südflanke und führt zu Deformationen der Hohlräume. Das Forschungsbergwerk ist also unter erschwerten Bedingungen stillzulegen.

Im Rahmen eines Optionenvergleichs wurde Anfang 2010 aus den Stilllegungsoptionen Vollverfüllung, interne Umlagerung und Rückholung die Rückholung als bevorzugte Maßnahme vom Bundesamt für Strahlenschutz als Betreiber der Anlage ausgewählt und letztlich auch im Atomgesetz verankert. Derzeit wird die Machbarkeit im Detail geklärt. Viele Fragen sind noch offen. So ist unklar, in welchem Zustand die Behälter sind, wie die Rückholung dann technisch durchgeführt werden soll, welchen Risiken Arbeitnehmer und Bevölkerung dabei im Vergleich zu zukünftigen Generationen ausgesetzt sind und vor allen Dingen, wo der Abfall später endgelagert werden kann.

**Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)**

Auch dieses Bergwerk wurde für den Abbau von Kali- und Steinsalz aufgefahren und war von 1900 bis 1970 in Betrieb. Morsleben wurde aus einigen ehemaligen Salzbergwerken als Endlager ausgewählt und von 1971 bis 1991 als Endlager der DDR für schwach- und mittelradioaktive Abfälle genutzt. Nach der Wiedervereinigung wurden von 1994 bis 1998 radioaktive Abfälle überwiegend aus der BRD im ERAM eingelagert. Das endgelagerte Inventar umfasst insgesamt rund 37.000 m³ feste Abfälle sowie ca. 6.600 umschlossene Strahlenquellen. Erst 2001 verzichtete der Betreiber, das Bundesamt für Strahlenschutz, aus Sicherheitsgründen unwiderruflich auf eine weitere Einlagerung. Auch Morsleben hat Standsicherheitsprobleme und Lösungszutritte, die sich langfristig nicht verhindern lassen.

Das Endlager befindet sich in Stilllegung und soll zu diesem Zweck vollständig verfüllt werden. Im Jahr 2005 wurde der "Plan zur Stilllegung des ERAM" vorgelegt und damit das Planfeststellungs-verfahren angestoßen. Die öffentliche Auslegung der Planfeststellungsunterlagen erfolgte im Herbst 2009. Mehr als 13.000 Einwendungen wurden vorgebracht. Diese wurden 2011 im Erörterungstermin diskutiert. Der endgültige Planfeststellungsbeschluss steht noch aus.

### Schacht Konrad bei Salzgitter

Auch bei Schacht Konrad handelt es sich um ein ehemaliges Bergwerk. Hier wurde von 1957 bis 1976 Eisenerz gefördert. Ab 1975 wurden Untersuchungen auf die Eignung als mögliches Endlager durchgeführt. Die Eisenerzschicht wird von 400 m mächtigen Tonsteinschichten überdeckt, die hier die geologische Barriere darstellen. Die Kombination aus mechanisch stabiler Eisenerzformation unter einer mächtigen Tonsteinbarriere stellt einen geologischen Sonderfall in Bezug auf das Wirtsgestein Tonstein dar.

1982 wurde das Planfeststellungsverfahren gemäß Atomrecht eingeleitet. Schacht Konrad soll radioaktiven Abfall mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung aufnehmen. Die Endlagerung soll nicht in den bereits vorhandenen Hohlräumen erfolgen, vielmehr werden neue Hohlräume in der Erzformation aufgefahren.

2002 erfolgte der Planfeststellungsbeschluss. Schacht Konrad war als Endlager für 303.000 $m^3$ Abfall genehmigt. Der Beschluss erhielt aber aufgrund von Klagen zunächst keine Rechtskraft. Erst 2007 wurde das Verfahren nach Abweisung der letzten anhängigen Klage abgeschlossen. Seit 2008 erfolgt die Umrüstung der Schachtanlage zum Endlager. Die Inbetriebnahme war ursprünglich für 2013 geplant. Mittlerweile wird mit 2022 gerechnet und auch dieser Termin ist unsicher. Dies bedeutet auch längere Zwischenlagerzeiträume für die bereits angefallenen Abfälle und ggf. Bedarf an weiteren Zwischenlagerkapazitäten für die aus dem Rückbau der Kernkraftwerke stammenden Abfälle.

### Erkundungsbergwerk Gorleben

Wie in Kapitel 2.4.1 dargelegt erfolgte 1977 die Benennung Gorlebens als Standort für ein nukleares Entsorgungszentrum. Oberste Priorität hatten die Wiederaufarbeitungsanlage sowie weitere oberirdische Anlagen. Unmittelbar nach Benennung von Gorleben formierte sich lokaler Widerstand, der schließlich dazu führte, dass der Bau einer Wiederaufarbeitungsanlage am Standort als politisch nicht durchsetzbar verworfen wurde.

An dem Endlagerstandort im unterirdischen Salzstock wurde aber festgehalten. Die übertägigen Erkundungen (Bohrungen) wurden zwischen 1979 bis 1984 durchgeführt. Von 1986 bis 1997 wurden die Schächte abgeteuft und das Erkundungsbergwerk in seiner heutigen Form aufgefahren.

Neben dem Erkundungsbergwerk befinden sich am Gorlebener Standort das Transportbehälterlager mit den Transport- und Lagerbehältern, die abgebrannte Brennelemente und Glaskokillen enthalten, das Abfallbehälterlager mit nicht wärmeentwickelnden Abfällen und die Pilotkonditionierungsanlage, die für die Reparatur von Transport- und Lagerbehältern genehmigt ist.

Bereits früh tauchten Zweifel an der Eignung auf, weil der Salzstock Kontakt mit Grundwasser hat (Gorlebener Rinne). Im Zuge des deutschen Atomausstiegs wurde daher ab dem Jahr 2000 ein bis zu zehnjähriges Moratorium vereinbart, das zur Klärung der Zweifelsfragen dienen sollte. 2011 wurde die untertägigen Erkundung zunächst wiederaufgenommen. Im Rahmen einer „Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG)“ sollten die vorliegenden Ergebnisse bewertet und eine Aussage zur Eignung erarbeitet werden.

Mit dem 2013 verabschiedeten Standortauswahlgesetz wurde der Status von Gorleben neu definiert. In §29 Standortauswahlgesetz heißt es: *„Der Salzstock Gorleben wird wie jeder andere in Betracht kommende Standort gemäß den nach dem Standortauswahl festgelegten Kriterien und Anforderungen in das Standortauswahlverfahren einbezogen.“*

Im Detail wurde festgelegt:

- Gorleben bleibt im Verfahren. Er wird wie jeder andere Standort verglichen, ausgewählt oder ausgeschlossen.
- Gorleben ist kein Referenzstandort.
- Im Verfahren erfolgt keine Wertung der fortgeschrittenen Erkenntnislage und der bereits vorhandenen Infrastruktur.
- Die bergmännische Erkundung wird beendet. Es wird aber die Offenhaltung des Bergwerks betrieben.
- Der Betrieb Gorlebens als Salzlabor ist unzulässig.
- Die vorläufige Sicherheitsuntersuchung wird ohne Eignungsaussage eingestellt.

Neben der Kritik an der Eignung des Salzstocks wird vor allen Dingen das weder transparente noch nachvollziehbare Verfahren, das zur Nennung von Gorleben führte, kritisiert. Eine Beteiligung der Öffentlichkeit fand nicht statt. Ein parlamentarischer Untersuchungsausschuss des Bundestags beschäftigte sich 2010 – 2013 mit der Frage, ob die Auswahl von Gorleben zulässig war – im Ergebnis mit uneinheitlichen Voten.

## 2.5 Das Standortauswahlgesetz

An allen vier beschriebenen Standorten gibt es Kritik von Seiten der Bevölkerung. Am Standort Asse wurden die Bürger/innen, trotz mahnender Stimmen bezüglich der Probleme, lange von jedem Informationsfluss abgeschnitten. In Gorleben ist der Protest seit der Nennung 1977 ungebrochen und erhielt durch die Castor-Transporte in das oberirdische Zwischenlager immer wieder neue Nahrung. Auch in anderen Ländern gab und gibt es vergleichbare Proteste. Es zeigt sich: Die Suche nach

einem Endlagerstandort umfasst nicht nur die Suche nach geeigneten geologischen und technischen Bedingungen. Auch ein transparenter, nachvollziehbarer Auswahlprozess unter Beteiligung der Öffentlichkeit ist wichtig.

Das „Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und zur Änderung anderer Gesetze (Standortauswahlgesetz - StandAG)“ vom 23. Juli 2013 ist das Ergebnis eines parteipolitischen Kompromisses von CDU, SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP. Das Gesetz ist sicherlich ein Meilenstein in der Geschichte der deutschen Endlagersuche, auch wenn es insbesondere bei den Bürgerinitiativen und Umweltverbänden hoch umstritten ist. Die Initiative ging von der rot-grünen Landesregierung Baden Württemberg aus. Sie schlug ein transparentes Auswahlverfahren unter Beteiligung der Öffentlichkeit vor und kündigte seine aktive Beteiligung an. Andere Bundesländer signalisierten in der Folge ebenfalls Beteiligungsbereitschaft. Damit war ein Fenster für einen Kompromiss geöffnet, der in dem Gesetz mündete.

Das StandAG sieht einen gestuften Ablauf vor und hat für die meisten Schritte Termine gesetzt. Eine Übersicht enthält die nachfolgende Darstellung.

**Tab. 2.2** Zeitlicher Ablauf gemäß StandAG
(Quelle: Öko-Institut e.V. nach StandAG)

| | | |
|---|---|---|
| **2014** | **Einrichtung „Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“** | **§ 3** |
| **2015/16** | **Bericht der Kommission mit Handlungsempfehlungen, Grundlage der Evaluierung des Standortauswahlgesetzes** | **§ 4** |
| **2014** | **Einrichtung des Bundesamtes für kerntechnische Entsorgung** | **§ 7** |
| **2016** | **Beginn des Standortauswahlverfahrens** | **§ 12** |
| **20XX** | **Entscheidung über Standorte zur übertägigen Erkundung** | **§ 14** |
| **2023** | **Entscheidung über Standorte zur untertägigen Erkundung** | **§ 17** |
| **2031** | **Standortentscheidung** | **§ 20** |

Im ersten Schritt soll die "Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe" Empfehlungen erarbeiten, die zu Kriterien der Endlagersuche und zu einer Evaluation des Gesetzes führen sollen. Besetzt ist die Kommission einerseits mit politischen Vertretern, (je acht Personen aus Bundestag und Landesregierungen), die aber in der Kommission kein Stimmrecht haben. Die andere Hälfte der Kommission wird von acht Vertretern der Wissenschaft sowie jeweils zwei Vertretern gesellschaftlicher Gruppen (Umweltverbände, Kirchen, Wirtschaft und Gewerkschaften) gebildet. Diese

Mitglieder sind mit Stimmrecht ausgestattet. Die Umweltverbände haben lange gezögert einen Platz in der Kommission einzunehmen, da sie befürchteten als Feigenblatt für ein ungeliebtes Gesetz zu dienen. Der BUND und die Deutsche Umweltstiftung haben sich dann aber bereit erklärt, jeweils einen Sitz in der Kommission einzunehmen und so ihre Erfahrungen miteinzubringen. Der Streit um den Vorsitz der Kommission wurde durch die Besetzung mit einer Doppelspitze beigelegt, die alternierend die Sitzungen leitet. Die Diskussionen haben dazu geführt, dass die Kommission im Mai 2014 mit etwa einem halben Jahr Verspätung die Arbeit aufgenommen hat. Auch wenn mittlerweile inhaltliche Themen in der Kommission und verschiedenen Arbeitsgruppen behandelt werden, ist die Kritik an einzelnen Kommissionsmitgliedern nicht verstummt. Insbesondere wird den Vertretern der Atomwirtschaft aufgrund verschiedener Klagen ihrer Konzerne gegen Teile des Gesetzes mangelnde Bereitschaft zur Konsensfindung vorgeworfen.

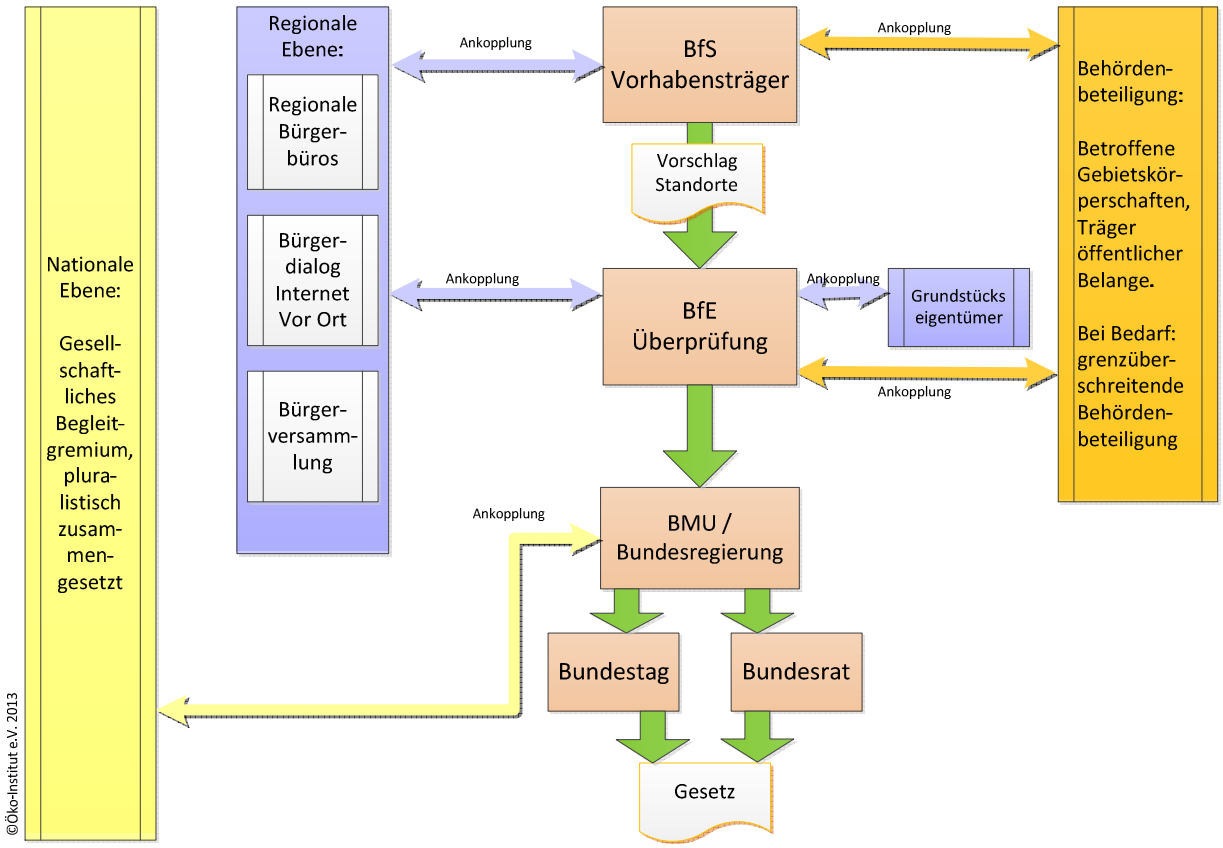



**Abb. 2.6** Ablaufschema und Beteiligte nach Standortauswahlgesetz (Quelle: Öko-Institut e.V.)

Das Standortauswahlverfahren, so wie derzeit im Gesetz festgeschrieben, sieht drei Stufen vor. Von Stufe zu Stufe wird die Anzahl der in Frage kommenden Standorte eingeengt. Beteiligt sind dabei das Bundesamt für Strahlenschutz als Vorhabensträger und das mit dem Standortauswahlgesetz neu geschaffene Bundesamt für kerntechnische Entsorgung für die Überprüfung. Beide sind dem Bundesumweltministerium unterstellt.

Von vornherein soll die Öffentlichkeit intensiv beteiligt werden. Dabei ist eine Begleitung sowohl auf der nationalen Ebene als auch auf der Ebene der Standortregionen vorgesehen. Das Gesetz bleibt hier aber im Allgemeinen und nennt beispielhaft verschiedene mögliche Maßnahmen der Beteiligung. Festgeschrieben ist aber der Grundsatz, die Öffentlichkeitsbeteiligung als lernendes System zu begreifen und gegebenenfalls anzupassen.

Die erste Stufe der schrittweisen Einengung sieht die Auswahl von Standortregionen für eine übertägige Erkundung vor. Auf Basis einer „weißen Landkarte“ sollen ungeeignete Gebiete anhand von Ausschlusskriterien ausgeschlossen werden. Möglicherweise geeignete Gebiete müssen Mindestanforderungen genügen. Diese erste Stufe der Einengung findet „auf dem Papier“ statt, also anhand der vorhandenen Informationen u. a. zur Geologie in Deutschland. Ergebnis sind Vorschläge für Standorte, die übertägig erkundet werden sollen. Sie werden per Gesetz beschlossen.

Die zweite Stufe sieht die übertägige Erkundung der Standorte vor. Die Ergebnisse fließen in die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen zu jedem Standort ein. Anhand der Ergebnisse werden Standorte ausgewählt, die untertägig zu erkunden sind. Diese Standorte werden wieder gesetzlich festgelegt.

Die dritte Stufe sieht die untertägige Erkundung der benannten Standorte vor. Das bedeutet, Schächte werden aufgefahren und ein Erkundungsbergwerk wird errichtet. Mit den Ergebnissen werden die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen weiter fortgeschrieben. Aus der Bewertung der Ergebnisse und dem Vergleich der Standorte wird schließlich der Standort ausgewählt, *„der die bestmögliche Sicherheit für einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet“* (StandAG). Diese Standortentscheidung mündet ebenfalls in ein Gesetz.

Das Standortauswahlgesetz legt ausdrücklich keine konkrete Anzahl von Standorten fest, die in den einzelnen Stufen erkundet werden müssen. Klar ist, dass mit jedem zusätzlichen Standort, der erkundet wird, auch die Kosten erheblich steigen. Klar ist aber auch, dass unterschiedliche Wirtsgesteine erkundet werden sollen, das Gesetz nennt Salz, Ton und Kristallin. Es sollten auch Standorte gleichen Wirtsgesteins miteinander verglichen werden können. Zudem sollte in verschiedenen Regionen Deutschlands gesucht werden. Aus diesen Überlegungen heraus müssten mindestens sechs bis neun Standorte für übertägige Untersuchungen ausgewählt werden.

## 2.6 Ausblick

Mit dem Standortauswahlverfahren wird dem eigentlichen Zulassungsverfahren eine Phase vorgeschaltet, es wird damit nicht ersetzt. Wird gemäß Zeitplan 2031 die Standortentscheidung gefallen sein, schließen sich die Phasen Genehmigung, Klagefristen, Planung, Bau und Inbetriebnahme des Endlagers an. Optimal wäre die Inbetriebnahme eines Endlagers bis 2046, da dann die Betriebsgenehmigungen der meisten Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente auslaufen. Die bisherigen Erfahrungen beispielsweise bei Schacht Konrad lassen aber nicht unbedingt erwarten, dass 15 Jahre ausreichen werden.

Für die Einlagerung des radioaktiven Abfalls werden ebenfalls einige Jahrzehnte benötigt. Es ist der Inhalt von rund 1500 Transport- und Lagerbehältern endzulagern. Wenn pro Jahr der Inhalt von 30 Behältern einschließlich eventueller Konditionierungs- und Verpackungsschritte endgelagert werden kann, ist das Endlager 50 Jahre in Betrieb. Daran schließt sich der Rückbau und der Verschluss des Endlagers an. Bis zum Abschluss dieser Phase bleiben gewisse Zugriffsmöglichkeiten auf den radioaktiven Abfall bestehen. Erst danach beginnt die eigentliche Nachbetriebsphase, in der die Behälter weitere 500 Jahre handhabbar bleiben müssen. Wenn alles richtig gemacht wurde, werden die hochradioaktiven Abfälle dann in ihrem Endlager für sehr lange Zeit, mindestens eine Million Jahre, sicher von der Biosphäre isoliert sein.

## 2.7 Literatur

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (1994): „Kristallinstudie“, Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Regionen in nichtsalinaren Formationen.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (1995): „Salzstudie“, Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Salzformationen.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2007): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland. Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU) (2015):Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (Nationales Entsorgungsprogramm)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Referat RS III 3 (2011): Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle. Bericht der Bundesrepublik Deutschland für die vierte Überprüfungskonferenz im Mai 2012, Bonn.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2010): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle, Bonn.

Bundesrepublik Deutschland (2013): Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und zur Änderung anderer Gesetze (Standortauswahlgesetz – StandAG), 23. Juli 2013.

Brasser, T. / Fein, E. / Herbert, H.J. / Miehe, R. / Müller-Lyda, I. / Noseck, U. / Schmidt, U. / Rübel, A. (2008): Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland. Hauptband und Anhänge, Darmstadt / Braunschweig

DBE Technology GmbH (2007): Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tonstein in Deutschland - GENESIS – Abschlussbericht.

EURATOM (2011): Richtlinie 2011/70/Euratom des Rates über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, 19.7.2011

International Atomic Energy Agency (1999): Inventory of radioactive waste disposals at sea, IAEA-TECDOC-1105, Wien.

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2009): Classification of radioactive Waste, Safety Standards Series No. GSG-1, Wien.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) (1981): Analysis of space systems study for the space disposal of nuclear waste study report. Volume 1: Executive Summary

Neles, Julia Mareike / Pistner, Christoph (Hrsg.) (2012): Kernenergie.
Eine Technik für die Zukunft? Springer Vieweg Berlin, Heidelberg

Schmidt, Gerhard (Öko-Institut e.V), Kirchner, Gerald (Universität Hamburg), Pistner, Christoph (Öko-Institut e.V.) (2013): Endlagerproblematik – Können Partitionierung und Transmutation helfen?, erschienen in Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 22. Jg., Heft 3, November 2013

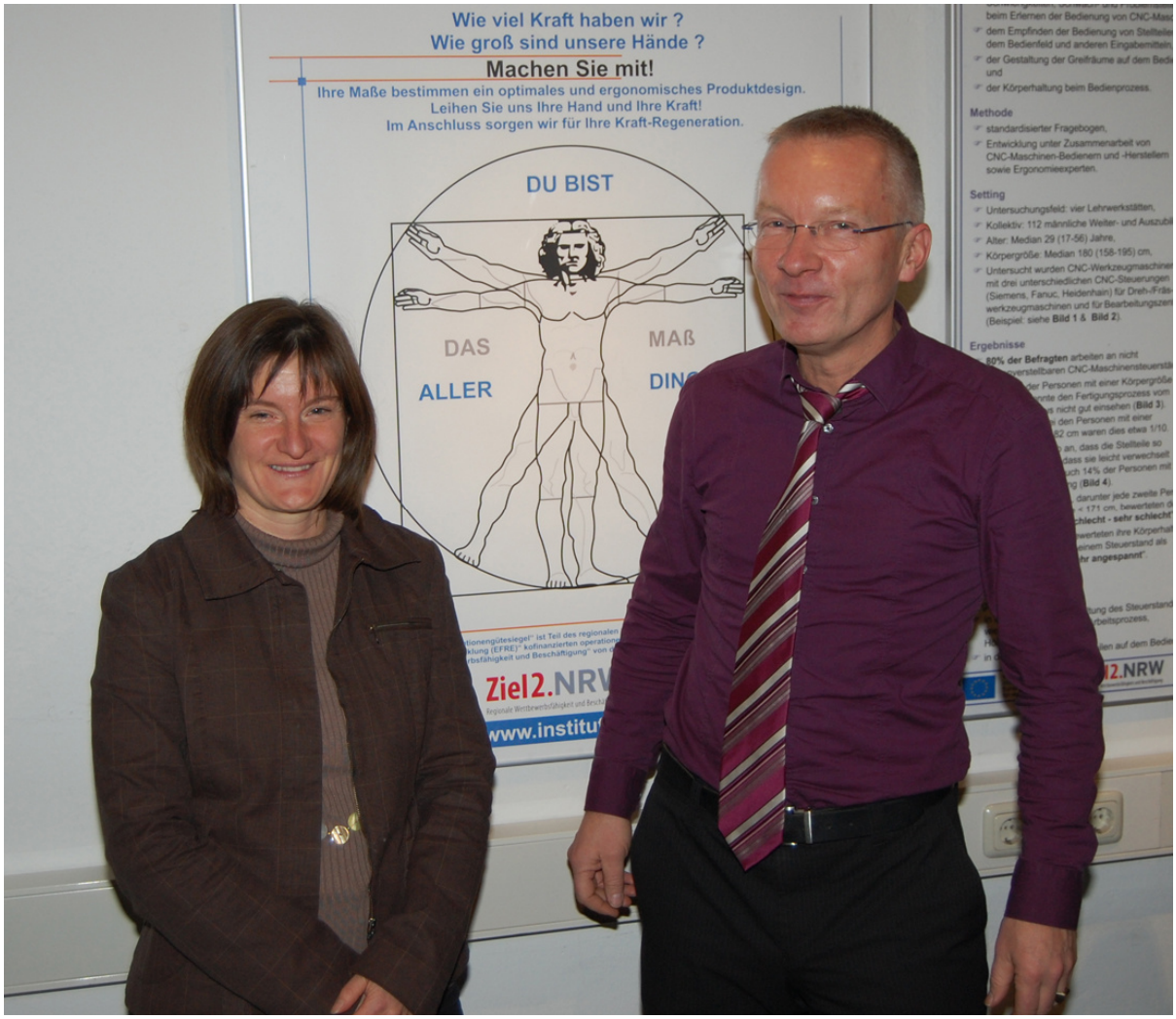



**Abb. 2.7** Dipl.-Ing. (FH) Julia Mareike Neles (Öko-Institut e.V., Darmstadt) und Prof. Dr. Ralf Pieper (Bergische Universität Wuppertal) zu Beginn des 96. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquiums in Wuppertal (v.l.n.r.).

# 3 Kollaborierende Roboter – Zum Stand von Forschung, Normung und Validierung (MICHAEL HUELKE)

**97. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 14. Januar 2014 in Wuppertal**

**Dr. rer. biol. hum., Dipl.-Ing. Michael Huelke**
Referat Neue Technologien, Mensch und Technik des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Stankt Augustin

## 3.1 Einleitung

In der Industrie werden zunehmend Arbeitsplätze eingerichtet, bei denen Personen sehr eng mit Robotern zusammenarbeiten - die sogenannte Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) [5]. Menschliche Fähigkeiten und Fertigkeiten werden mit den präzisen Funktionen des kräftigen Roboters kombiniert. Das ergibt eine effiziente Fertigung und entlastet die beteiligten Personen von der Arbeitsschwere. Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten muss durch geeignete Gestaltung des Arbeitsplatzes und des Roboters gewährleistet sein [12]. Dabei lassen sich jedoch Kollisionen zwischen Mensch und Roboter teilweise nicht ausschließen – denn bei kollaborierenden Robotern sind keine trennenden Schutzeinrichtungen mehr vorhanden.

Das Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) [8] hat zusammen mit dem damaligen Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme und Stahlbau (heute Sachgebiet Maschinen, Anlagen, Fertigungsautomation und -gestaltung im Fachbereich Holz und Metall der DGUV) Empfehlungen [4] insbesondere für die biomechanische Beanspruchbarkeit des Menschen bei Kollisionen entwickelt. Hierin werden Grenzwerte für belastende Kräfte und Drücke angegeben. Inakzeptable Körperbeanspruchungen lassen sich damit vermeiden. Das Robotersystem ist mit sicherer Technik auszustatten und kann dadurch die akzeptablen Kräfte und Drücke im Betrieb zuverlässig einhalten. Diese Empfehlungen sind bereits in die ISO-Norm für Industrieroboter eingearbeitet.

Dieser Beitrag stellt den Stand (Ende 2014) von Forschung, Normung und Validierung aus Perspektive der Arbeitsschutzforschung dar und fokussiert auf den wichtigen – und aus Forschungssicht spannenden – Aspekt der biomechanischen Anforderungen für Roboter, die „auf Tuchfühlung“ arbeiten.

## 3.2 Was ist ein kollaborierender Roboter?

Kollaborierende Roboter sind typischerweise kleine leichte Roboter, die speziell für die MRK innerhalb eines festgelegten Kollaborationsraums konstruiert sind. Dies ist der markierte Arbeitsraum innerhalb des geschützten Bereichs, in dem der Roboter und der Mensch während des Produktionsbetriebs gleichzeitig vorher festgelegte Aufgaben ausführen können. Für die sichere MRK in Industrieanwendungen muss nach der Normenreihe EN ISO 10218 [1] [2] eine geeignete Methode (bzw. Abfolge von den vier Methoden) mit flankierenden Sicherheitsfunktionen ausgewählt werden:

**1) Sicherheitsbewerteter überwachter Halt:** Bei dieser Methode ist eine gleichzeitige Bewegung des Menschen und des Roboters nicht erlaubt. Der Roboter bewegt sich solange autonom, bis der Mensch den Kollaborationsraum betritt. Dann muss der Roboter stoppen, wobei dieser Stopp in Bezug auf Steuerungsausfälle überwacht wird. Der Mensch kann jetzt direkt am stillgesetzten Roboter arbeiten, z.B. ein Werkstück inspizieren. Verlässt der Mensch den Raum, kann der Roboter weiterarbeiten. Solange der Mensch sich im Kollaborationsraum aufhält, darf der Roboter nicht von außerhalb hineinfahren.

**2) Handführung:** Bei dieser Methode ist eine gleichzeitige Bewegung und enge MRK im Kollaborationsraum möglich. Der Roboter bewegt sich aber nicht autonom, sondern wird vom Mensch über ein Eingabegerät, z.B. einen Joystick, geführt. Anfahrbare Positionen und Geschwindigkeiten sind durch sichere Technik überwacht. Verlässt der Mensch den Raum, könnte der Roboter autonom weiterarbeiten (wie bei Methode 1). Der Zugang zum Kollaborationsraum wird dann überwacht.

**3) Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung:** Bei dieser Methode ist eine gleichzeitige Bewegung des Menschen und des Roboters im Kollaborationsraum möglich – aber keine enge Zusammenarbeit. Das Risiko ist dadurch reduziert, dass permanent ein Sicherheitsabstand zwischen Mensch und dem autonom bewegenden Roboter realisiert wird. Dieser Abstand darf je nach Geschwindigkeit des Roboters auch variieren. Der Roboter kann bei Annäherung des Menschen stoppen oder dem Menschen ausweichen. Die Positionen aller Personen im Kollaborationsraum müssen also sicher erfasst werden, z.B. durch berührungslos wirkende Sensoren wie Kameras, Ultraschallsysteme oder Radar.

**4) Leistungs- und Kraftbegrenzung:** Bei dieser Methode arbeiten Mensch und der autonome Roboter gleichzeitig zusammen – so eng, dass es auch zu Kollisionen kommen kann. Das Risiko ist dadurch reduziert, dass die bei einer Kollision einwirkende Kraft und der Druck in der Kollisionsfläche beim Roboter sicher begrenzt sind. Bei einer Risikobeurteilung werden die zulässigen Grenzwerte bestimmt und deren Einhaltung an dem individuellen Arbeitsplatz überprüft. Die Bewegung des Roboters (Geschwindigkeit, Trajektorien, Bremsrampen, usw.) muss entsprechend parametriert werden.

Während der MRK werden die Menschen durch eine oder mehrere Sicherheitsfunktionen geschützt, die in einer von den Roboternormen festgelegten Zuverlässigkeit realisiert sein müssen (z.B. PL d und Kategorie 3 nach EN ISO 13849-1 [6]). Der Mensch muss den Roboter auch selber stoppen können, z.B. durch den Not-Halt. Bei einem Ausfall der Sicherheitsfunktionen muss ein sicherer Stopp erfolgen. Der Wiederanlauf nach einem Stopp darf nur durch eine bewusste Handlung des Bedienpersonals außerhalb des Kollaborationsraumes erfolgen.

## 3.3 Normung

In den 2000er Jahren waren in den Normen für Industrieroboter noch keine ausreichenden sicherheitstechnischen Anforderungen für kollaborierende Roboter vorhanden. Es galt also, für erste Pilotanwendungen den Arbeitsschutz für diese Arbeitsplätze zu regeln, um Roboterherstellern und -betreibern eine Planungssicherheit zu geben.

Auf Initiative des damaligen Fachausschusses Maschinenbau, Fertigungssysteme und Stahlbau erarbeitete das IFA in einem Entwicklungsprojekt grundlegende technologische, medizinisch/biomechanische, ergonomische und arbeitsorganisatorische Anforderungen für derartige Arbeitsplätze. Sie ergänzten und präzisierten die damaligen Normanforderungen und wurden bereits 2009 in einer BG/BGIA-Empfehlung [4] veröffentlicht. Das heute noch online verfügbare, aktualisierte Dokument enthält umfangreiche Hilfen für die Anwendung der sicherheitstechnischen Anforderungen im Rahmen von Risikobeurteilungen in der betrieblichen Praxis. Mit den Empfehlungen können Arbeitsplätze mit kollaborierenden Robotern so eingerichtet werden, dass die durch Kollisionen unter Umständen auftretenden mechanischen Einwirkungen auf die Personen ein tolerables Maß nicht überschreiten. Den Herstellern helfen die Empfehlungen beim Design verletzungsarmer Roboteroberflächen und beim Festlegen sicherer Geschwindigkeiten für die Annäherung an eine kollisionsgefährdete Person.

Für den Bereich der Industrieroboter sind inzwischen in den überarbeiteten Normen EN ISO 10218, Teile 1 [1] und 2 [2], die sicherheitstechnischen Anforderungen für das Anwendungsgebiet „Kollaborierende Roboter (Collaborative Robots)“ definiert. Der „Kollaborierender Roboter“ schließt neben dem Roboter auch das Werkzeug, das am Roboterarm befestigt wird - und mit dem der Roboter Tätigkeiten durchführt - sowie die damit bewegten Gegenstände ein. Für eine seriöse Bewertung der Arbeitssicherheit kommt man auch um die Beurteilung der Umgebung nicht umhin. Schließlich soll der kollaborierende Roboter eine Arbeitsaufgabe in einer festgelegten Umgebung ausführen. Dadurch ergeben sich zwangsläufig auch Kollisionsmöglichkeiten (Quetschen, Scheren), die berücksichtigt werden müssen.

Wie geht es bei den Normen weiter? In der EN ISO 10218-2 steht, dass die konkretisierenden Anforderungen für die kollaborierenden Roboter durch eine zukünftige „Technical Specification ISO/TS 15066 Robots and robotic devices - Safety requirements - Industrial collaborative work-space“ [3] beschrieben werden. Und in dieses Papier haben BG und IFA wesentliche Anforderungen aus der BG/BGIA-Empfehlung eingebracht. Die Entwicklung der ISO/TS 15066 dauert nun schon einige Jahre, ein Entwurf soll erstmalig 2015 veröffentlicht werden.

## 3.4 Risikobeurteilung

Wie bei anderen Maschinen müssen die Gefährdungen innerhalb der Grenzen des Robotersystems identifiziert und die Risiken bewertet werden. In der Regel treten mechanische Risiken wie Stoßen, Quetschen, Klemmen, Scheren usw. auf (siehe Anhang A der EN ISO 10218-1[1]). Roboter besitzen besondere Eigenschaften, die sie von anderen Maschinen unterscheiden:

- Sie führen Bewegungen mit hoher Energie und über einen großen Arbeitsraum aus.
- Es ist schwierig, im Voraus zu bestimmen, wann eine Bewegung eingeleitet und welchen Weg sie folgen wird. Die Bewegungen können je nach betrieblichen Anforderungen variieren.
- Der Arbeitsraum eines Roboters kann mit Arbeitsbereichen anderer Roboter und Maschinen überlappen.
- Personen müssen im Arbeitsraum des Roboters arbeiten, während seine Antriebselemente mit Energie versorgt werden (z.B. im sicheren Stopp).

Wo ein kollaborierender Roboter verwendet wird, muss der zu erwartende Zugang von Personen während der Bewegung des Roboters berücksichtigt werden. Dabei kann es zu einem Kontakt der Bedienperson mit dem Roboter kommen. Dies kann während der Durchführung der Arbeitsaufgabe beabsichtigt oder das Ergebnis einer vorhersehbaren Fehlanwendung sein. Daher ist es besonders wichtig, dass die Kollaborationsaufgabe genau beschrieben und spezifische Gefahren identifiziert werden. Die MRK könnte charakterisiert werden z.B. durch:

- Häufigkeit und Dauer der Anwesenheit von Bedienern oder anderen Beschäftigten im Kollaborationsraum, während der Roboter eingeschaltet ist;
- Häufigkeit und Dauer der Kontakte der Bediener mit dem eingeschalteten Roboter (z.B. Handführung, Übergabe des Werkzeugs oder Werkstücks);
- Wiederanlauf des Roboters nach Verletzung des Mindestabstandes oder nach Kollisionen;

- Umschalten des Roboters zwischen kollaborierendem und autonomen Betrieb, wenn Personen den Raum betreten oder verlassen;
- Zusammenarbeit mit mehreren Personen gleichzeitig;
- Zugriffskonflikte zwischen Mensch und Roboter, wenn z.B. beide auf dasselbe Werkstück zugreifen.

## 3.5 Anforderungen an kollaborierende Roboter

### 3.5.1 Sicherheitstechnische Anforderungen

Ein ganz wesentlicher Baustein einer MRK sind sichere Steuerungen, die verschiedene Sicherheitsfunktionen realisieren (siehe Kapitel 3.2). Sie können alle Bewegungen des Roboters gezielt überwachen. Eine zu hohe Geschwindigkeit oder eine unerlaubte Position führt zum sofortigen Stillsetzen. Über sichere Sensoren wie z.B. Kameras oder Ultraschallsysteme [16] erkennt die Robotersteuerung, wo der Mensch sich befindet. Der Roboter kommt ihm nicht zu nahe bzw. weicht ihm aus. So können Arbeitsplätze geschaffen werden, in denen Roboter den Menschen mit akzeptablen Restrisiken assistieren. Die größten Innovationen finden im Bereich der Sensorik statt [8.1]. Einen guten Überblick über die Vielfalt der eingesetzten Sensortechnologien gibt Ostermann [17].

### 3.5.2 Ergonomische Anforderungen

EN ISO 10218 und ISO/TS 15066 fordern allgemein die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle nach ergonomischen Prinzipien:

- Der Kollaborationsraum darf die Bewegung des Menschen nicht einschränken.
- Die Wahrnehmung, die Aufmerksamkeit und das Denken der Person darf durch die Arbeitsumgebung und den kollaborierenden Roboter nicht eingeschränkt oder gestört werden.
- Der Beginn einer Roboterbewegung und seine Bahn sollten erkennbar, vorhersehbar und logisch sein.

Diese Merkmale sollen helfen, Kollisionen zwischen Mensch und Roboter sowie die Belastung oder möglichen Kontrollverlust des Menschen zu vermeiden. Wie bei jeder Maschine stellt sich auch für kollaborierende Roboter die Frage, welche Eigenschaften der Roboter haben muss, damit eine reibungslose und für den Menschen sichere und angenehme Zusammenarbeit möglich ist. Wie soll er beispielsweise äußerlich

gestaltet sein? Welche Distanzen zum Menschen, Geschwindigkeiten und Fahrwege sind angemessen? Die Roboternormen erkennen die Relevanz dieser Fragen, geben aber aufgrund mangelnder empirischer Kenntnisse keine konkreten Gestaltungshinweise.

In zwei Studien am IFA [8.3] wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Gestaltungsmerkmale von kollaborierenden Robotern auf den Menschen untersucht. Im Virtual Reality Labor SUTAVE [9] des IFA können Arbeitsumgebungen dreidimensional simuliert werden. Für die Studien wurde ein Roboterarbeitsplatz im Labor nachgebildet. Untersucht wurde, wie sich die Bewegungsgeschwindigkeit des Roboters, die Distanz zwischen Mensch/Roboter und die Vorhersehbarkeit der Bewegungsbahn auf den Nutzer auswirken [10] [11]. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sehr schnelle Roboterbewegungen zu erhöhter Anstrengung und zu stärkerem Angstempfinden führen können. Dies spricht dafür, hohe Geschwindigkeiten des Roboters zu vermeiden. Andererseits verringerte sich die Leistung in der Aufgabenbearbeitung, wenn die Roboterbewegungen zu langsam waren. Auch bei geringerer Distanz zwischen Mensch und Roboter stieg das Angstempfinden an. Unvorhersehbare Roboterbewegungen verändern zudem die Leistung in der Aufgabenbearbeitung. Insbesondere schnelle und unvorhersehbare Roboterbewegungen werden als gefährlich wahrgenommen. Weitere Untersuchungen wurden im Projekt ESIMIP [18] durchgeführt.

Die Ergebnisse können dazu dienen, die Normen zu kollaborierenden Robotern zu konkretisieren. Sie stellen einen ersten Schritt zur Formulierung von Gestaltungsempfehlungen dar. Firmen, welche die Einführung kollaborierender Roboter erwägen, können sich anhand derartiger Studien über die Risiken für ihre Mitarbeiter informieren und Vorkehrungen treffen.

### 3.5.3 Arbeitsorganisatorische und arbeitsmedizinische Anforderungen

Wichtig ist auch, dass die Personen für die Teamarbeit mit dem Roboter je nach Arbeitsplatz gesund genug sind, will heißen entsprechend beanspruchbar. Die Eignung der Personen, die mit einem kollaborierenden Roboter arbeiten und einem Kollisionsrisiko ausgesetzt sind, muss in geeigneten regelmäßigen Abständen bestimmt werden. Diese Personen müssen regelmäßig über die Risiken und die Sicherheitsmaßnahmen informiert werden. Dies gilt insbesondere für Installation, Montage, Inbetriebnahme und Einrichtbetrieb. Die besonderen Rahmenbedingungen für die Organisation von MRK (wie Arbeitszeit, Pausen, usw.) müssen festgelegt werden. Nach einer unbeabsichtigten Kollision muss die Arbeitsfähigkeit des Betroffenen und die korrekte Einrichtung des Arbeitsplatzes untersucht werden. Kollaborierende Roboter und die Zugänge zum Kollaborationsraum müssen durch geeignete Warnzeichen und Symbole gekennzeichnet sein. Der Kollaborationsraum muss eindeutig festge-

legt und abgegrenzt werden, z.B. durch Markierungen auf dem Boden, Schilder, etc. Spezielle arbeitsmedizinische Hinweise wurden durch Muttray et.al. [19], JGU Mainz, veröffentlicht.

## 3.6 Biomechanische Anforderungen

Trotz der oben genannten technischen Schutzmaßnahmen kann es bei der MRK zum direkten Kontakt zwischen Roboter und Mensch kommen. Anders als bei trennenden Schutzeinrichtungen bleibt ein geringes restliches Kollisionsrisiko bestehen. Dieses Problem und die Frage nach einer vertretbaren mechanischen Beanspruchung eröffnen ein neues Forschungsfeld für den Arbeitsschutz [8.2] [7]. Eine vergleichbare Situation findet man bei mobilen Servicerobotern, die in steigender Zahl in der Arbeitswelt und in öffentlichen oder privaten Umgebungen nahe neben Personen eingesetzt werden.

Ausgangspunkt der biomechanischen Anforderungen ist, dass mechanische Belastungen an unterschiedlichen Körperteilen zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen. Die Risikoanalyse soll klären, welche Körperbereiche betroffen sind. Das Ziel sollte sein, dass der Kollaborationsraum so minimal wie möglich ist und damit möglichst wenige Körperbereiche exponiert sind. Das Sicherheitskonzept am Roboter sollte Kollisionen soweit möglich vermeiden. Und vom Roboter darf kein aktiver Kontakt ausgehen.

Bei den hier gemeinten Kollisionen zwischen dem Roboter und einer Person kommt es zu elastisch-plastischen Verformungen bestimmter Körperbereiche, während die kollidierende Roboterstruktur – Teilbereiche von Roboter, Werkzeug und Werkstück – im Wesentlichen nicht verformt wird. Dabei entsteht am Körper eine dreidimensionale Kollisionsfläche, deren Größe und Form sich während des Kollisionsprozesses dynamisch ändert. Im Falle einer länger andauernden Quetschung/Einklemmung eines Körperteiles bleibt eine dreidimensionale Verformungsfläche des Körperbereiches bestehen.

In der Kollisionsfläche werden partielle dynamische Kollisionskräfte und -drücke übertragen. Sie bestimmen <u>gemeinsam</u> das Beanspruchungspotenzial. Daher werden in den biomechanischen Anforderungen Grenzwerte für die Beanspruchungskriterien „Kraft“ (als Klemm-/Quetschkraft oder Stoßkraft) und „Druck/Flächenpressung“ festgelegt. Die Grenzwerte der Kräfte geben die maximal zulässige äußere einwirkende Gesamtkraft in der Kollisionsfläche an. Als Begrenzung der in der Kollisionsphase wirkenden Druckbelastung ist der maximal zulässige Partialdruck in der Kollisionsfläche angegeben. Die Einhaltung der Grenzwerte <u>beider</u> Kriterien stellt daher sicher, dass die Beanspruchung eines bestimmten Körperteils im akzeptablen bzw.

tolerablen Bereich bleibt. Der Grenzwert für den Druck (Flächenpressung) verhindert lokale Überbeanspruchungen durch zu hohe Drücke aufgrund zu kleiner Kollisionsflächen. Der Grenzwert für die maximale äußere Kollisionskraft verhindert Überbeanspruchungen der Körperumgebung bei größeren Kollisionsflächen, in denen es ohne Begrenzung zu hohen Kräften bei gleichbleibendem oder sogar geringer werdenden Druck kommen könnte.

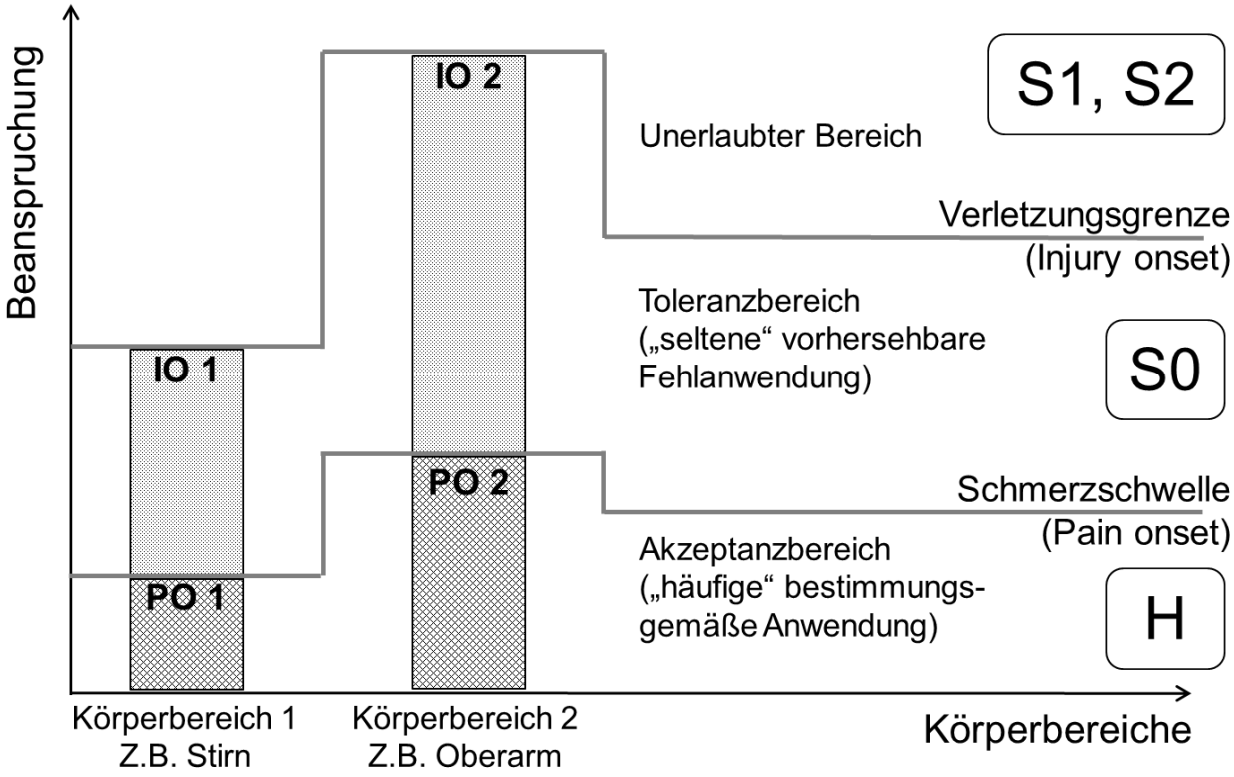



**Abb. 3.1** Diskutiertes Risikokonzept für Beanspruchungen bei Kollisionen.

In der früh erschienenen BG/BGIA-Empfehlung [4] wurden zunächst nur orientierende Grenzwerte in Bezug auf die Verletzungsgrenze veröffentlicht. Diese Grenzwerte wurden, mangels empirischer Probandenuntersuchungen, aus der Literatur der Unfallforschung abgeleitet. Inzwischen liegen Ergebnisse aus Probandenstudien vor (Kapitel 3.7). Der aktuelle Stand der Fachdiskussion bezüglich der Beanspruchungsgrenzen ist in dem Risikokonzept in Abbildung 3.1 dargestellt. Der aus der Risikobewertung bekannte Parameter der Schadensschwere Sx ist für geringe Beanspruchungen erweitert worden:

- Für Kollisionen während der bestimmungsgemäßen Anwendung des Roboters sei maximal eine Beanspruchung akzeptabel bis zur Schmerzschwelle (engl.: pain onset PO) (neue Schadensschwere H für „harmless“, ungefährlich);

- Für Kollisionen während einer sehr seltenen, aber vorhersehbaren (Fehl-) Anwendung des Roboters sei maximal eine Beanspruchung tolerabel bis zur Verletzungsgrenze (engl.: injury onset IO) (neue Schadensschwere S0);
- Beanspruchungen über die Verletzungsgrenze dürfen nicht auftreten und sind z.B. durch trennende Schutzeinrichtungen, Sicherheitsabstand oder weitere Schutzmaßnahmen zu verhindern (bekannte Schadensschweren S1 und S2);
- Für jeden Körperbereich bzw. Körperpunkt sind die Grenzen unterschiedlich.

## 3.7 Forschung zu Biomechanischen Anforderungen

Zur Standardisierung der biomechanischen Anforderungen finden seit 2010 einige sehr aufwändige empirische Untersuchungen mit Probanden statt. Einige der Projekte sind in der nicht vollständigen Übersicht (Abb. 3.2) dargestellt. Die Ergebnisse werden für die normative Festlegung der Beanspruchungsgrenzwerte genutzt (linke Seite der Abbildung) und weitere Versuchsdaten dienen zur Spezifikation der Validierungsmethoden (rechte Seite, Kraft-Druck-Messverfahren).

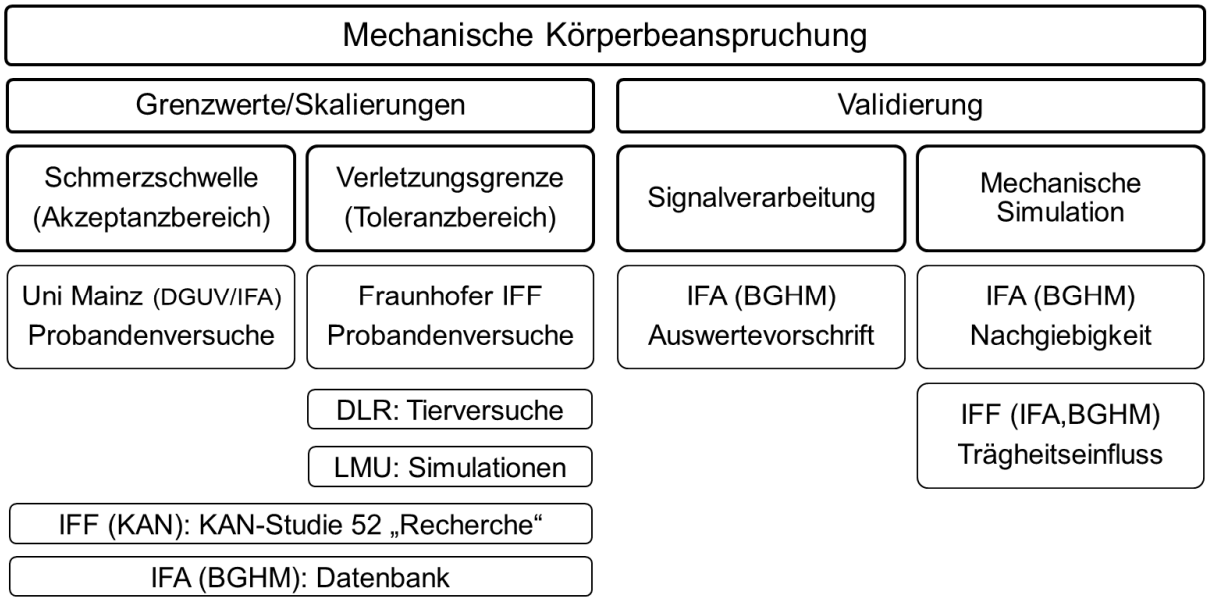



**Abb. 3.2** Übersicht über eine Auswahl von Forschungsprojekten zu biomechanischen Anforderungen.

Im Rahmen dieses Beitrages kann nur kurz auf die wichtigsten Projekte aus Abb. 3.2 eingegangen werden. Alle Probandenstudien hatten die Freigabe durch eine Ethik-Kommission und wurden durch Mediziner geleitet bzw. beaufsichtigt. IFA bzw. DGUV waren jeweils Auftraggeber oder am Projektbegleitkreis beteiligt. Die Ergebnisse sind weitestgehend frei zugänglich:

A) Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin mit Förderung durch DGUV: DGUV-Projekt FP 317 „Schmerzschwellenkataster“ [8.5]. Ziel war die Bestimmung der Schmerzschwellen für 29 Messlokalisationen von 100 Probanden. Dazu wurde vom IFA die Versuchseinrichtung „Druckalgometer“ entwickelt und gefertigt. Hauptergebnis: Schmerzschwellenkataster für Normung, bezogen auf die verwendete Stößelform und die quasistatische Klemmung. Das Projekt endete Ende 2014.

B) Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) Magdeburg im Auftrag des IFA: Studie zur „Bestimmung des Trägheitseinflusses bei Mensch-Roboter-Kollisionen“ mit 12 Probanden [14]. Problemlage: Die Belastungsgrößen sind am Roboter nur für klemmenden Stoß messbar. Für den freien Stoß müssen die Messwerte abhängig von Trägheit und Haltung des betroffenen Körperteils umgerechnet werden. Das Ziel war die Erforschung von empirischen Grundlagen. Projektende in 2013. Das IFA wird mit diesen Daten Korrekturfunktionen für Messgeräte ableiten und in die Normung einbringen.

C) Fraunhofer IFF im Auftrag der Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN): Studie 52 „Biomechanische Belastungsgrenzen“ [20]. Die Ergebnisse stellen den aktuellen Stand und weiteren Bedarf an Grundlagen zur mechanischen Risikobeurteilung von kollaborierenden Robotern dar. Die Studie wurde Ende 2013 abgeschlossen.

D) Fraunhofer IFF und Otto-von-Guericke-Universitätsklinik: „Studie zur experimentellen Bestimmung der biomechanischen Belastungsgrenzen bei Mensch-Roboter-Kollisionen“ [14], [15]. Annahmen: Die Verletzungseintrittsschwelle wird durch die Symptome Ödem, leichtes Hämatom, mittelstarker Schmerz beschrieben. Probanden werden mit Stößen zunehmender Energie beaufschlagt. Jede Untersuchung ist abgeschlossen, sobald eines der genannten Symptome auftritt. Ziel ist die Verifikation der [orientierenden] Belastungsgrenzen [der BG/BGIA-Empfehlung] unter Einbeziehung der verletzungsrelevanten Einflussgrößen. Die Ergebnisse sollen in die Normung einfließen und die maximale Belastungsgrenze bei der MRK definieren. Die Studie wurde 2013 begonnen.

## 3.8 Wie kann die Einhaltung der Grenzwerte validiert werden?

Die Validierung eines kollaborierenden Roboters erbringt letztlich den Nachweis durch Analyse und Test, dass die Sicherheitsanforderungen erfüllt sind. Die Vision der Hersteller und Anlagenbauer ist sicherlich, dass sich diese Validierung zukünftig allein anhand von Konstruktionsdaten des Roboters und des Arbeitsplatzes, den Bewegungsprofilen des Roboters und Simulationen mit digitalen Menschmodellen durchführen lässt. Hier gibt es sicher noch viel Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Die Praxis der Arbeitssicherheit heute ist aber, dass die Einhaltung von Grenzwerten am konkreten Roboterarbeitsplatz mit Messungen überprüft werden muss [4], [12].

Die erforderliche Risikobeurteilung stellt bei einer MRK fest, ob es zu Kollisionen kommen kann. Kritische Kollisionsvorgänge müssen dann gemessen und anhand der Grenzwerte bewertet werden. Hier stellt sich die Frage: Welche biomechanisch-physikalischen Merkmale hat eine Person, wenn sie im Kollaborationsraum einem Kollisionsrisiko ausgesetzt ist? Im Wesentlichen sind dies:

- Körpersteifigkeit (nichtlinear, am Kollisionspunkt und in benachbarten Körperregionen) je nach Körperbereich;
- Trägheit der betroffenen Körpermassensysteme, abhängig von Körperhaltung
- Körperdynamik des betroffenen Körperteils, abhängig von der eigenen Geschwindigkeit bei der Kollision

Für die Validierung müssen diese Merkmale durch ein biofideles, also mechanisch menschenähnliches Messgerät angemessen simuliert werden - denn es können keine Testpersonen zur Validierung eingesetzt werden.

Diese Messgeräte dienen zur Messung mechanischer Größen: Kraft und Druck. Deren Messeigenschaften (Genauigkeit, Auflösung, Frequenzgang, Reproduzierbarkeit, Kalibrierbarkeit, Vorschriften zur Signalauswertung) müssen spezifiziert und standardisiert werden, damit diese Arbeitsplätze weltweit mit angemessener Reliabilität bewertet werden.

## 3.9 Das biofidele Kraft-Druck-Messgerät des IFA

Für die betriebliche Praxis hat das IFA ein Kraft-Druck-Messgerät (KDMG-KOLROBOT) entwickelt [8.4], [13]. Es berücksichtigt die wesentlichen biomechanischen Körpereigenschaften: Verformbarkeit, Trägheitsverhalten und Bewegungsverhalten kollidierter Körperbereiche (Abb. 3.3). Die in der Kollisionsfläche auftretenden Gesamtkräfte und lokale Druckmaxima werden gemessen, visualisiert und dokumentiert (Abb. 3.4).

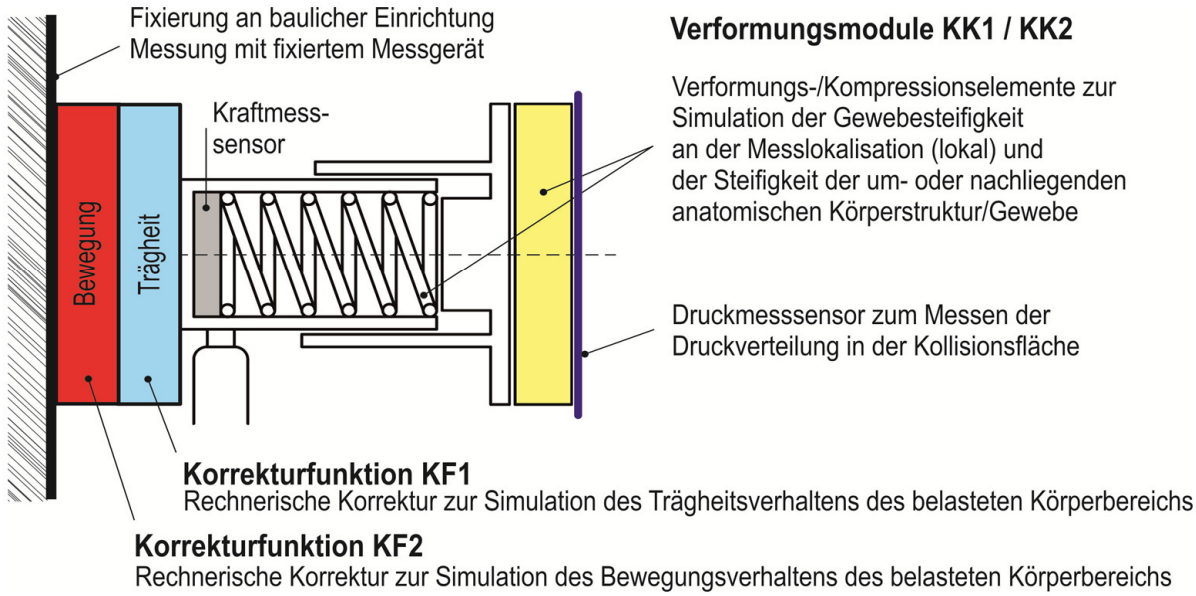



**Abb. 3.3** Physikalisches Messkonzept vom IFA (der Kontakt des Roboters erfolgt von rechts auf den Druckmesssensor).

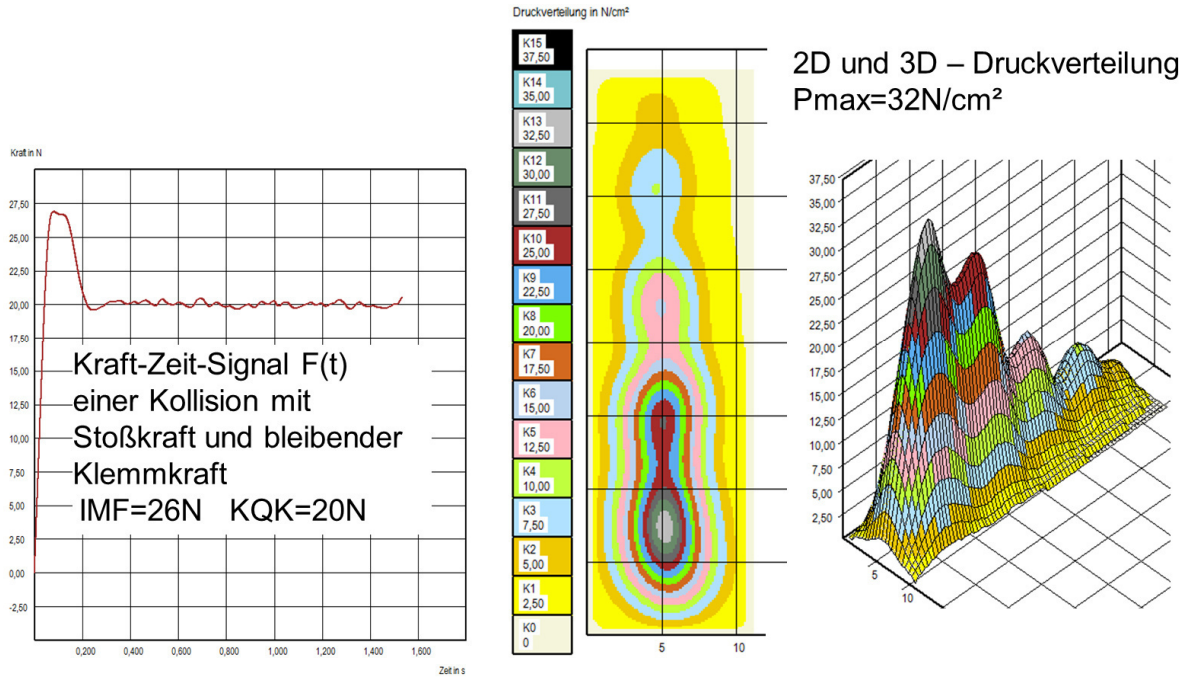



**Abb. 3.4** Messdaten bei einer Kollision
(links: Kraftverlauf; rechts: Druckverteilung).

Zwei Messgerätetypen stehen zur Körpersimulation und Aufzeichnung von Klemm-/Quetsch- oder Stoßimpulsen für die flexible Anwendung in unterschiedlichen Kollisionsumgebungen zur Verfügung. Die Abmessungen dieser Messgeräte sind relativ gering, daher sind die Geräte leicht handhabbar. Sie erlauben eine vielseitige Montage und ermöglichen umfangreiche praxisgerechte Anwendungen. Es ist für 2015 geplant, das komplette Messsystem in Lizenz fertigen und vertreiben zu lassen.

## 3.10 Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen

Für jede neue Applikation sind eine Risikobeurteilung und eine Validierung durch Messungen erforderlich, auch wenn jeweils der gleiche Roboter eingesetzt wird. Bei der Bewertung ist sowohl die bestimmungsgemäße als auch die vorhersehbare Anwendung des Roboters zu betrachten. Die Risiken entstehen meist erst durch die Applikation. Daher gibt es grundsätzlich keinen eigenständigen, zertifizierten, sicheren kollaborierenden Roboter.

Das KDMG-KOLROBOT wurde in verschiedenen Entwicklungsstufen bereits seit einigen Jahren für Messungen an kollaborierenden Robotern genutzt. Dabei hat sich gezeigt, dass die biomechanischen Anforderungen (Kraft- und Druckgrenzwerte) an verschiedenen Applikationen der MRK eingehalten werden können. Die Kontrollparameter am Roboter sind dabei meist die maximalen Achsgeschwindigkeiten und die Oberflächengestaltung der kollidierenden Roboterteile bzw. des Werkzeugs oder Werkstücks. Die Prüf- und Zertifizierungsstelle Maschinen und Fertigungsautomation im DGUV Test hat bereits mehrere Roboterapplikationen zertifiziert.

Problematisch sind meistens die Werkzeuge und Werkstücke, denn die lassen sich zur Verringerung der Druckspitzen nicht beliebig rund formen oder polstern. Scherkanten lassen sich wegen der hohen Druckspitzen kaum beherrschen und sollten möglichst konstruktiv vermieden werden. Das betroffene Körperteil muss bei einer Scherung die Scherkräfte selber halten können. Die Geschwindigkeit des Roboters darf dann nur niedrig sein, damit der Nachlaufweg nicht so groß wird. Alternativ muss der Nachlaufweg durch Nachgiebigkeit der Konstruktion, z.B. am Werkzeug, kompensiert werden.

Grundsätzlich ist das Einklemmen des Oberkörpers oder Kopfes nicht akzeptabel. Im Notfall sollten sich eingeklemmte Personen ohne Verletzung befreien können.

## 3.11 Fazit

Es entstehen in der Produktion neue Arbeitsformen mit kollaborierenden Robotern – die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) – bei denen Menschen ohne trennende Schutzeinrichtungen eng mit einem Roboter zusammen arbeiten. Es gibt dabei mehrere Kollaborationsmethoden: Bei einer davon kann es zu seltenen Kollisionen kommen, die sicher zu begrenzen sind. Als Belastungsgrößen haben sich die eingeprägte Kraft und die Druckverteilung mit lokalen Druckspitzen in der Kollisionsfläche etabliert. Die Forschung zur Bestimmung von Beanspruchungsgrenzwerten hat erste Ergebnisse hervorgebracht. Die Normung für verschiedene Robotikanwendungen ist noch im Fluss, aber für die Industrieroboter wird in 2015 eine erste Veröffentlichung der konkretisierenden Spezifikation ISO/TS 15066 erwartet.

Ein kollaborierender Roboter kann in Bezug auf die biomechanischen Anforderungen nur im Zusammenhang mit einer konkreten Applikation geprüft werden (Roboter mit Werkzeug, Werkstück und Umgebung). Bei der Prüfung werden u.a. die gemessenen Kräfte und Drücke mit den normativen Grenzwerten verglichen und am Roboter eingestellt. Für die Bewertung der mechanischen Beanspruchung bei Kollisionen wurden im IFA geeignete Messgeräte entwickelt, die voraussichtlich durch einen Lizenznehmer in 2015 erstmalig gefertigt und geliefert werden können.

## 3.12 Literatur

[1] ISO 10218-1:2011 Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots. International Organization for Standardization.

[2] ISO 10218-2:2011 Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration. International Organization for Standardization.

[3] Robots and robotic devices - Industrial safety requirements - Collaborative industrial robots (ISO/TS 15066 in draft). International Organization for Standardization.

[4] Ottersbach H.J. et.al.: BG/BGIA-Empfehlungen zur Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern. IFA, Sankt Augustin, 2011. http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bg_bgia_empf_u001d.pdf

[5] Daimler AG. Innovatives Zusammenspiel von Mensch und Roboter bei Mercedes-Benz. Pressemeldung. Stuttgart/Augsburg, 4. Dezember 2012 http://www.daimler.com/dccom/0-5-7153-49-1556285-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0.html

[6] ISO 13849-1:2006 Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design. International Organization for Standardization.

[7] HSE - Health and Safety Executive, Human Science Group, HSE report RR906 - Collision and injury criteria when working with collaborative robots, Derbyshire, 2012. http://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr906.htm

[8] IFA - Institut für Arbeitsschutz der DGUV (2014). Fachinformationsseiten „Kollaborierende Roboter“. Portalseite: http://www.dguv.de/webcode/d130086
Weitere Detailseiten:

[8.1] „Technische Schutzmaßnahmen“. http://www.dguv.de/webcode/d130110

[8.2] „Medizinisch/Biomechanische Anforderungen“. http://www.dguv.de/webcode/d130119

[8.3] „Systemergonomische Gestaltung“. http://www.dguv.de/webcode/d130142

[8.4] „Prüftechnik“. http://www.dguv.de/webcode/d130147

[8.5] „Schmerzschwellenkataster“. http://www.dguv.de/webcode/d130153

[9] IFA - Institut für Arbeitsschutz der DGUV (2014). Fachinformationsseiten „Virtuelle Realität“. http://www.dguv.de/webcode/d108396

[10] Koppenborg, M.; Naber, B.; Lungfiel, A; Nickel, P.: Auswirkung von Autonomie und Geschwindigkeit in der virtuellen Mensch-Roboter-Kollaboration. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung, 59. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund 2013, S. 417-420

[11] Naber, B.; Lungfiel, A.; Nickel, P.; Huelke, M.: Human Factors zu Robotergeschwindigkeit und -distanz in der virtuellen Mensch-Roboter-Kollaboration. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung, 59. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund 2013, S. 421-424

[12] Huelke, M.; Umbreit, M.; Ottersbach, H.J.: Sichere Zusammenarbeit von Mensch und Industrieroboter. MM Maschinenmarkt (2010) Nr. 33, S. 32-34

[13] Ottersbach, H.J.; Huelke, M.: Kollaborierende Roboter - Konzept und Realisierung eines biofidelen Messgeräts zur Begrenzung der Kollisionsbelastung auf Personen bei Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern; Technische Sicherheit Bd. 2 (2012) Nr. 10, S. 14-19

[14] Behrens, R.: Experimentelle Studien zu Mensch-Roboter-Kollisionen am Fraunhofer IFF, Vortrag auf 16. IFF-Wissenschaftstage – Fachtagung MRK, Magdeburg, 20. Juni 2013

[15] Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) Magdeburg. Informationen zu den MRK-Aktivtäten unter http://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/robotersysteme/iff-belastungsstudie.html

[16] Ostermann, B.; Huelke, M.; Kahl, A.: Von Zäunen befreit - Industrieroboter mit Ultraschall absichern. atp edition - Automatisierungstechnische Praxis (2011) Nr. 9, S. 52-59

[17] Ostermann, B.: Entwicklung eines Konzepts zur sicheren Personenerfassung als Schutzeinrichtung an kollaborierenden Robotern. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal 2014.
http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/servlets/DocumentServlet?id=3983

[18] Verbundprojekt EsIMiP: Effiziente und sichere Interaktion von Menschen und intelligenten Produktionsanlagen. Gefördert von Bayerische Forschungsstiftung.
http://www.forschungsstiftung.de/Drucken/Projekt/152.html
http://www.ais.mw.tum.de/index.php?id=121

[19] Muttray, A., B. Geißler, S. Letzel: Kollaborierende Roboter – eine Herausforderung auch für den Betriebsarzt. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 33 (2012) 591-597

[20] Behrens, R., Lerez, C., Elkmann, N., Jachau, K., Schmidt, S.: Biomechanische Belastungsgrenzen - Studie zur Unterstützung der Normungsarbeit im Bereich der kollaborierenden Roboter (KAN Studie 52). Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V. (VFA), Sankt Augustin 2014

**Abb. 3.5** Dr. Björn Ostermann (IFA, Sankt Augustin), Dr. Michael Huelke (IFA, Sankt Augustin), Prof. Dr.-Ing. Ralf Breede (FH Köln) und eine Studentin der Abteilung Sicherheitstechnik (v.l.n.r.) beim fachlichen Austausch im Anschluss des 97. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquiums am 14. Januar 2014 im Institut ASER e.V. in Wuppertal.

# 4 Psychische Arbeitsbelastungen – Empirische Befunde (NICO DRAGANO)

**98. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 21. Januar 2014 in Wuppertal**

**Prof. Dr. Nico Dragano**
Geschäftsführender Direktor des Instituts für Medizinische Soziologie
am Universitätsklinikum Düsseldorf

**Abb. 4.1** Prof. Dr. Ralf Pieper (Bergische Universität Wuppertal) und Prof. Dr. Nico Dragano von der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (v.l.n.r.) zum Start des 98. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquiums.

# 5 Physische Arbeitsbelastungen – Aktuelle Herausforderungen (ROLF ELLEGAST)

**99. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 4. Februar 2014 in Wuppertal**

**Dr. rer. nat. Rolf Ellegast**
Stellvertretender Direktor des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Stankt Augustin

## 5.1 Physische Belastungen und arbeitsbezogene Muskel-Skeletterkrankungen (MSE)

An vielen Arbeitsplätzen gehören physische Belastungen zum Alltag. Sie gelten als Risikofaktoren für arbeitsbezogene Muskel-Skeletterkrankungen (MSE), die mit einem Anteil von ca. 23,4% die häufigste Ursache für krankheitsbedingte Arbeitsunfähigkeit in Deutschland darstellen [1]. Zusätzlich scheiden pro Jahr wegen MSE-bedingter verminderter Erwerbsfähigkeit ca. 24.000 Menschen vorzeitig aus dem Arbeitsleben aus (ca. 13,7% der gesundheitlich begründeten Frühberentungen, zweithäufigste Diagnosegruppe). Auch hinsichtlich der krankheitsbedingten wirtschaftlichen Belastungen rangieren MSE mit an der Spitze. Nach Angaben des statistischen Bundesamtes entstanden im Jahr 2008 Kosten in Höhe von ca. 28,5 Milliarden Euro aufgrund von Muskel-Skeletterkrankungen, die damit hinter Herz-Kreislauf-Leiden und Krankheiten des Verdauungssystems zu den größten Kostengruppen zählen [2]. Darüber hinaus verursachten MSE fast ein Viertel des durch Arbeitsunfähigkeit bedingten Produktionsausfalls im Jahr 2012: mit 12,4 von insgesamt 53 Milliarden Euro deutlich mehr als jede andere Diagnosegruppe [1].

In der Arbeitswelt führen zahlreiche Arbeitsbedingungen zu diversen beruflichen Belastungen des Muskel-Skelett-Systems. Einer Erhebung des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) in 2012 zufolge müssen noch etwa 22,3% der Erwerbstätigen bei der Arbeit häufig schwere Lasten bewegen, wobei Agrarberufe, Transport- und Lagerberufe, Ernährungsberufe, bestimmte Metall-, Pflege- und Gesundheitsberufe, vor allem aber Bau- und Baunebenberufe überdurchschnittlich stark betroffen sind [3]. Das Arbeiten in Zwangshaltungen (gebeugt, hockend, auf Knien, über Kopf) kommt bei ca. 16,6% der Erwerbstätigen häufig vor, besonders verbreitet ist dies wiederum in den Bau- und baunahen Berufen, darüber hinaus in Agrarberufen, verschiedenen Metall- und Elektroberufen sowie den sonstigen Dienstleistungsberufen. Ferner besitzen repetiti-

ve Bewegungen der Hände und Arme, z.B. an Arbeitsplätzen mit immer wiederkehrenden gleichen Handhabungsaufgaben, ein Gefährdungspotenzial für das Muskel- und Skelett-System [3]. Problematisch ist schließlich auch der hohe Anteil von Versicherten, deren Alltag von zunehmendem Bewegungsmangel (z.B. bei Beschäftigten an Bildschirmarbeitsplätzen) und/oder einseitigen Belastungen, z.B. durch langes andauerndes Stehen oder Sitzen ohne wirksame Pausen, gekennzeichnet ist.

Weitere Herausforderungen stellen der demografische Wandel und die anstehende Erhöhung des Renteneintrittalters dar. Prävention arbeitsbezogener MSE erfolgt zunehmend auch vor dem Hintergrund einer fortschreitend älter werdenden Belegschaft.

Aus einer verstärkten Prävention von MSE am Arbeitsplatz durch die Vermeidung/Verringerung muskulo-skelettaler Fehlbelastungen können daher Beschäftigte einen erheblichen gesundheitlichen und die Unternehmen einen gleichfalls beträchtlichen wirtschaftlichen Nutzen ziehen. Der hierdurch leistbare Beitrag zur Erhöhung der Arbeits- und Beschäftigungsfähigkeit liegt im gesamtwirtschaftlichen und gesamtgesellschaftlichen Interesse. Eine zielgerichtete Prävention setzt die genaue Kenntnis physischer Belastungsfaktoren und eine Einschätzung der hiermit verbundenen Risiken an Arbeitsplätzen voraus. Dazu gilt es zunächst, diese Belastungsfaktoren zu ermitteln, die im Zusammenhang mit arbeitsbezogenen Muskel- und Skeletterkrankungen stehen, um in einem zweiten Schritt entsprechende ergonomische Präventionsmaßnahmen einzuleiten.

Bezüglich der physischen Belastungsfaktoren wurde in den letzten Jahren eine Systematik im Rahmen des arbeitsmedizinischen Grundsatzes G 46 „Belastungen des Muskel-Skelettsystems“ erarbeitet, die sich inzwischen in Deutschland etabliert hat [4]. Hierbei werden die folgenden Belastungsarten unterschieden:

- manuelle Lastenhandhabungen, wie Heben, Halten, Tragen, Ziehen und Schieben
- Arbeiten in erzwungener Körperhaltung, wie Sitzen und Stehen ohne wirksame Entlastung, Rumpfbeugehaltungen, Hocken, Knien, Fersensitz, Kriechgang, Liegen und Arme über Schulterniveau
- Arbeiten mit erhöhter Kraftanstrengung und/oder Krafteinwirkung
- repetitive Tätigkeiten mit hohen Handhabungsfrequenzen
- Einwirkungen von Ganzkörper- und Hand-Armvibrationen

Zusätzlich gelten auch einseitige Belastungen und insbesondere Bewegungsmangel als physische Belastungsfaktoren, die mit Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems und auch Stoffwechsel- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen in Verbindung gebracht werden.

Für die Erfassung und Bewertung physischer Belastungsfaktoren sind zahlreiche Methoden verfügbar. Allerdings unterscheiden sich die Verfahren u. a. hinsichtlich des Genauigkeitsanspruchs bzgl. der Belastungserhebung und -bewertung und der Nutzergruppen.

Die Richtwerte für die Bewertung physischer Belastungen werden aus biomechanischen, physiologischen, epidemiologischen oder psychophysischen Untersuchungen abgeleitet. Die prinzipiellen Bewertungskategorien werden im Folgenden kurz dargestellt:

- Skelettale biomechanische Kriterien: Berechnungen äußerer und innerer Belastungen mit biomechanischen Modellrechnungen und auf Grund skelettaler Festigkeitsuntersuchungen an Leichenpräparaten liefern Kenngrößen für die Bewertung innerer Belastungen des Muskel-Skelett-Systems.
- Energetisch und kardiopulmonale Kriterien: Muskel-Skelettbelastungen führen in der Regel zu einer Erhöhung des Energieumsatzes und einer verstärkten Herz-Kreislauf-Aktivität. Zur Bewertung der Belastung können daher zugehörige Beurteilungsrichtwerte wie z.B. der Herzschlagfrequenz, des Arbeitsenergieumsatzes oder der Dauerleistungsgrenze herangezogen werden.
- Muskuläre Kriterien: Der Engpass bei der Beurteilung arbeitsbezogener Muskel-Skelett-Belastungen kann in der Leistungsfähigkeit der Muskulatur liegen. Mögliche Bewertungskriterien können hier die erforderliche Muskelkraft der unmittelbar lokal beanspruchten Muskeln in Bezug zur individuellen Maximalkraft sowie der Belastungsdauer sein. Zusätzlich kann die erhöhte Aktivität und die Ermüdung der Muskeln im Elektromyogramm dargestellt werden.
- Psychophysische Kriterien: Psychophysische Untersuchungen liefern Belastungseinschätzungen von Probanden in Bezug auf subjektiv empfundene physikalische Belastungsgrößen, wie die subjektiv erlebte Anstrengung, die Größe gehandhabter Lastgewichte oder die erlebte Ermüdung. Hieraus können Richtwerte für die Beurteilung der Akzeptanz von Muskel-Skelettbelastungen und Ausführbarkeitskriterien für Tätigkeiten abgeleitet werden.
- Epidemiologische Kriterien: Zur Beurteilung der Langzeitwirkungen physischer Belastungen mit dauerhaften Funktionsbeeinträchtigungen oder Schäden am Muskel-Skelett-System können epidemiologische Untersuchungen herangezogen werden. Bei der Auswahl geeigneter Indikatoren können Aussagen zur Höhe und Dauer schädigender Belastungen und daraus abzuleitender Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge gemacht werden.

Insgesamt werden die Kriterien und Richtwerte zur Beurteilung physischer Belastungen also in der Regel aus biomechanischen, energetischen und kardiopulmonalen, muskulären, psychophysischen und epidemiologischen Daten abgeleitet.

## 5.2 Systematik der Erfassung und Bewertung berufsbezogener Belastungen des Stütz- und Bewegungsapparates

In Abbildung 5.1 sind die prinzipiellen Kategorien der Verfahren zur Erfassung und Bewertung physischer Belastungen am Arbeitsplatz mit deren potenziellen Nutzergruppen dargestellt [5]. Die oberste Kategorie bilden hier die Grob-Screening-Verfahren (Ebene 1), mit denen eine orientierende Erfassung und Bewertung physischer Belastungsfaktoren erfolgen kann. Die im Zusammenhang mit der arbeitsmedizinischen Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G46 empfohlene Checkliste ist ein verbreitetes Beispiel für ein derartiges Grob-Screening-Verfahren [4]. Sie enthält Richtwerte für die Beurteilung der o.g. physischen Belastungsarten, mit deren Hilfe Belastungsschwerpunkte identifiziert werden können. Sind Belastungsschwerpunkte, wie z.B. das Heben und Tragen von Lasten vorhanden, empfiehlt es sich, spezielle Screening-Verfahren (Ebene 2) anzuwenden, mit denen zugehörige Risikofaktoren etwas genauer bewertet werden können. In Deutschland sind in dieser Kategorie die Leitmerkmalmethoden (Heben und Tragen, Ziehen und Schieben und manuelle Arbeitsprozesse) sehr verbreitet [6, 7, 8]. Sie ermöglichen eine einfache, schnelle und praxisnahe Anwendung. Für die Erfassung und Bewertung von Belastungen der oberen Extremitäten stehen weitere Verfahren, wie das RULA-Verfahren (Rapid Upper Limb Assessment) [9, 10, 11] und die OCRA-Checkliste [11, 12, 13] zur Verfügung. In der Regel eignet sich die Anwendung dieser Verfahren insbesondere bei zyklischen, gleichförmigen Belastungsprofilen an Arbeitsplätzen. Limitationen bestehen bei der Bewertung komplexere Arbeitsprozesse, die schwer in den grob klassifizierten Belastungskategorien abzubilden sind. Für einige Belastungsarten, wie z.B. kraftbetonte Tätigkeiten oder Tätigkeiten in Zwangshaltungen, existieren keine Erfassungs- und Bewertungsverfahren auf der speziellen Screeningebene. Hier empfiehlt es sich, Experten-Screeningverfahren (Ebene 3) anzuwenden. Ein Beispiel eines Experten-Screeningverfahrens für die Bewertung kraftbetonter Tätigkeiten ist der unter Federführung des Instituts für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt (IAD) entwickelte Kraftatlas [14]. Für die Bewertung verschiedener Belastungsarten, insbesondere für getaktete Tätigkeiten in der Automobil- und Zulieferindustrie wurden vom IAD in dieser Kategorie das AAWS (Automotive Assembly Worksheet) [15] und das EAWS (European Assembly Worksheet) [16] entwickelt.

Spezielle Screeningverfahren und Experten-Screeningverfahren (Ebenen 2 und 3) haben weiterhin die üblichen Limitationen von Beobachtungsverfahren. Diese Verfahren haben den Nachteil, dass Belastungskategorien nur grob klassifiziert werden und damit oftmals der Komplexität von Arbeitsprozessen nicht gerecht werden können [17]. Insbesondere dreidimensionale Bewegungen, wie z.B. Torsionen und Lateralflexionen des Rückens, sind mit Beobachtungsmethoden nur mit großen Ungenauigkeiten zu erfassen [18]. Ferner kann insbesondere der zeitliche Verlauf von Be-

lastungen und Entlastungen nicht adäquat erfasst und bewertet werden. Hier ist es notwendig, Messungen physischer Belastungen direkt an Arbeitsplätzen durchzuführen (Betriebliche Messungen, Ebene 4). Zur Erfassung und Analyse von Körperhaltungen und -bewegungen im Arbeitsprozess sind einige Mess¬systeme entwickelt worden (z.B. [19, 20]). Diese sind zumeist speziell auf die Bewegungs¬erfassung von Körperteilbereichen, z.B. Rücken, ausgelegt worden und meist nicht für Langzeitanalysen (z.B. eine Arbeitsschicht) im Feld einsetzbar. Aus diesem Grund wurde im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) das CUELA-Messverfahren (Computer unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel- Skelettsystems) entwickelt, mit dem eine kontinuierliche Erfassung und Analyse physischer Belastungsfaktoren direkt am Arbeitsplatz durchgeführt werden kann [21, 22]. Limitationen von Praxismessverfahren ist u.a. eine Begrenzung der Messgenauigkeiten (z.B. bei Kraftmessungen), denen Feldmessungen unter realen Arbeitsbedingungen unterliegen. Hier liefern Labormessungen (Ebene 5), in denen Arbeitsprozesse unter standardisierten Versuchsbedingungen realistisch nachgestellt werden können, die präzisesten Aussagen zur physischen Belastungssituation. Derartige Labormessungen wurden z.B. bei Analysen von Pflegetätigkeiten [23] und spezifischen Belastungen [24, 25] durchgeführt.

**Abb. 5.1** Prinzipielle Kategorien der Verfahren zur Erfassung und Bewertung physischer Belastungen am Arbeitsplatz und potenzielle Nutzergruppen [5]

## 5.3 Beispiele zur Wirksamkeit ergonomischer Arbeitsgestaltungen in der Praxis

Im Folgenden werden Beispiele ergonomischer Arbeitsgestaltungen, die zu einer nachhaltigen Reduktion physischer Belastungen geführt haben, dargestellt.

### 5.3.1 Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung an einem Schleifarbeitsplatz im Schiffbau

Manuelles Schleifen an horizontal liegenden Blechtafeln zur Schweißnahtvorbereitung ist im Schiffbau ein wichtiger Arbeitsgang. Bisher führte der Beschäftigte dazu den Winkelschleifer in hockender Körperhaltung (siehe Abbildung 5.2a). Zur Entlastung der Wirbelsäule kniete er auf der kalten Blechplatte. Die Schleifmaschine befand sich in Armlängenabstand unterhalb des Gesichtes, so dass neben der Vibrations- und Lärmeinwirkung auch Stäube und Dämpfe eingeatmet wurden. Ziel der Verbesserung dieses in mehrfacher Hinsicht gesundheitsgefährdenden Arbeitsverfahrens war es, die Schleifarbeiten in aufrechter Körperhaltung ausführen zu können.

**a** **b**

**Abb. 5.2** Anwendung des CUELA-Messsystems (inkl. Erfassung von Schulter-Arm-Hand-Bewegungen) bei Schweißnahtvorbereitung mit einem konventionellen Winkelschleifer (a, links) und mit dem ergonomisch umgestalteten Bandschleifer (b, rechts)

Dazu entwickelte ein Betrieb unter Verwendung eines handelsüblichen Winkelschleifers einen ergonomischen Bandschleifer (siehe Abbildung 5.2b). Hiermit können Schleifarbeiten aufrecht gehend ausgeführt werden. Die Führungsstange ermöglicht die exakte Einhaltung der markierten Schleifbahn. Das Einatmen von Staub und

Dämpfen vermindert sich durch den vergrößerten Abstand des Gesichtes zum Schleifvorgang. Die typischen Unwuchtvibrationen der rotierenden Schleifscheibe beim Winkelschleifer treten beim Bandschleifer nicht auf.

Die erreichte Verbesserung durch den Einsatz des ergonomisch umgestalteten Bandschleifers sollte quantifiziert werden. Hierzu wurden Messungen mit dem CUELA-Messsystem sowohl bei der Ausführung der Schleifarbeiten mit dem konventionellen Winkelschleifer als auch mit dem ergonomischen Bandschleifer durchgeführt. Die Bewertung der Messergebnisse erfolgte u.a. in Anlehnung an die OWAS-Methode [26].

In Abbildung 5.3 sind die Ergebnisse der Körperhaltungsanalyse (bezogen auf die Arbeitszeit) dargestellt.

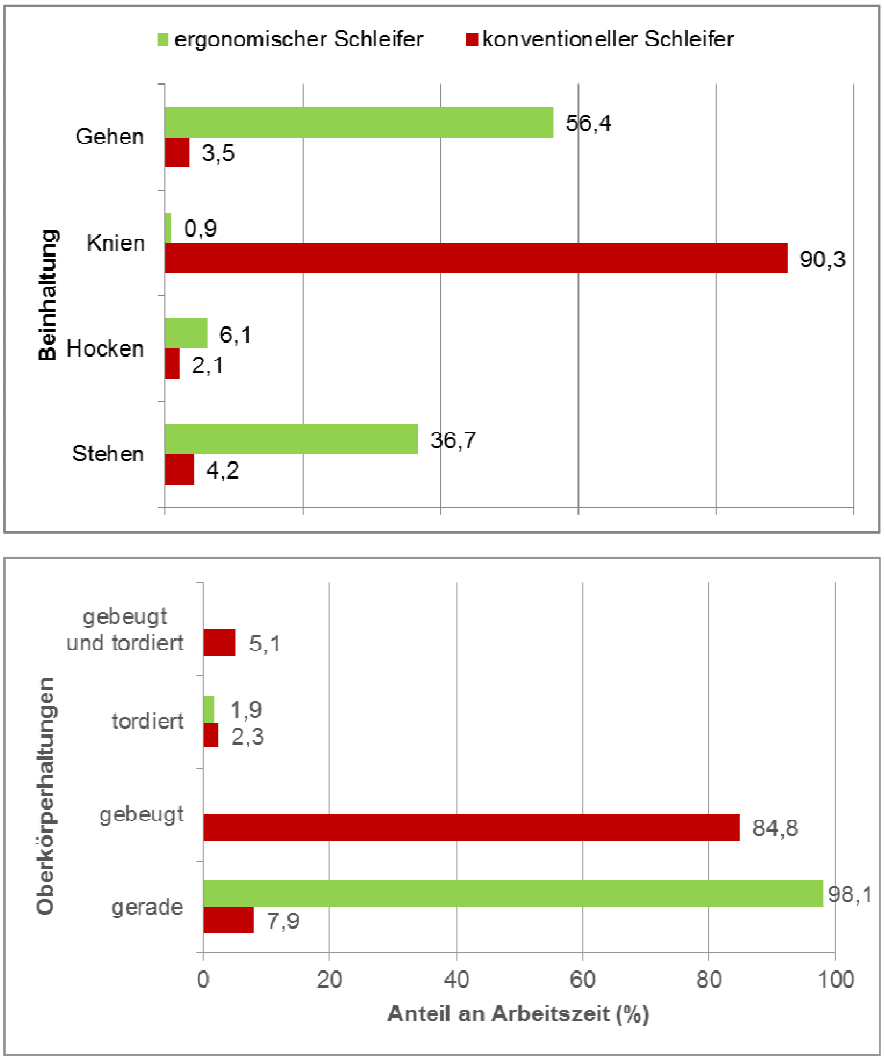



**Abb. 5.3** Ergebnisse der Körperhaltungsanalyse des konventionellen Winkelschleifers im Vergleich zum ergonomischen Bandschleifer

Die Ergebnisse der Körperhaltungsanalyse verdeutlichen im Vergleich beider Arbeitsvorgänge die Beseitigung des hohen Zeitanteils an ungünstigen Körperhaltungen im Knien sowie mit gebeugtem Oberkörper. Beim Schleifen mit dem Turbo-Bandschleifer überwiegt die aufrechte, nicht verdrehte Haltung des Oberkörpers.

Die OWAS-Analyse ergibt, dass bei Arbeiten mit dem Winkelschleifer für nur 9,1% der Arbeitszeit kein ergonomischer Verbesserungsbedarf der Arbeitshaltung besteht (OWAS-Maßnahmenklasse 1), während für 90,9% der Arbeitszeit die eingenommenen Körperhaltungen als gesundheitlich bedenklich für das Muskel-Skelettsystem eingestuft werden (OWAS-Maßnahmenklassen 2, 3 und 4). Bei der neuen Schleiftechnik mit dem ergonomischen Bandschleifer gelten 93,8% der Arbeitszeit als gesundheitlich unbedenklich (OWAS-Maßnahmenklasse 1). Nur 6,2% der Arbeitszeit werden hier der OWAS-Maßnahmenklasse 2 zugeordnet.

### 5.3.2 Vakuumhebehilfen bei der Gepäckverladung im Flughafen

Bevor Betriebe in ergonomische Präventionsmaßnahmen investieren, möchten sie Informationen zu deren humanitären und ökonomischen Nutzen haben. Ein Beispiel hierfür ist die Wirksamkeit von Hebehilfen für Beschäftigte, die häufig schwere Lasten handhaben müssen. Ein Tätigkeitsbereich, der diesen Belastungen durch häufiges Umsetzen von Koffern und Gepäckstücken ausgesetzt ist, ist die Gepäckabfertigung an Flughäfen. Die große Anzahl der Lastenmanipulationen und das Gewicht der Gepäckstücke können bei den Beschäftigten mit hohen Belastungen des Muskel-Skelett-Systems, insbesondere des Rückens, verbunden sein.

Das Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) untersuchte daher auf Initiative der Unfallkasse Hessen und eines Flughafenbetreibers die belastungsreduzierende Wirkung von Vakuumhebehilfen in der Gepäcktransferzentrale eines großen Flughafens. Dazu wurden zehn Beschäftigte der Gepäckabfertigung mit dem CUELA-Messsystem ausgestattet. Die Rückenbelastungen der Arbeitsschichten wurden sowohl an konventionellen Arbeitsplätzen (ohne Hebehilfen) als auch an ergonomisch optimierten Arbeitsplätzen (mit Vakuumhebehilfen) messtechnisch ermittelt und verglichen [27].

Es zeigte sich, dass die Vakuumhebehilfe das hohe Risiko der Gepäckabfertiger für die Entstehung von Rückenbeschwerden bzw. -erkrankungen auf ein akzeptables Maß reduzieren kann. Die Verringerung der manuellen Umsetz- und Hebevorgänge um durchschnittlich ca. 75% lässt eine nachhaltige Wirkung auf den Gesundheitszustand der Beschäftigten erwarten. Die ökonomische Evaluation ergab leichte Erhöhungen der Handhabungszeiten, die jedoch für den Arbeitsablauf im Flughafen keinen wesentlichen Nachteil darstellten. Der Unternehmer war von diesen Ergebnissen

der Evaluation der Hebehilfen überzeugt, dass heute der Einsatz von Hebehilfen selbstverständlich geworden ist. Gerade auch vor dem Hintergrund des demographischen Wandels hat das Unternehmen ein großes Interesse, seine Arbeitsplätze belastungsoptimiert zu gestalten.

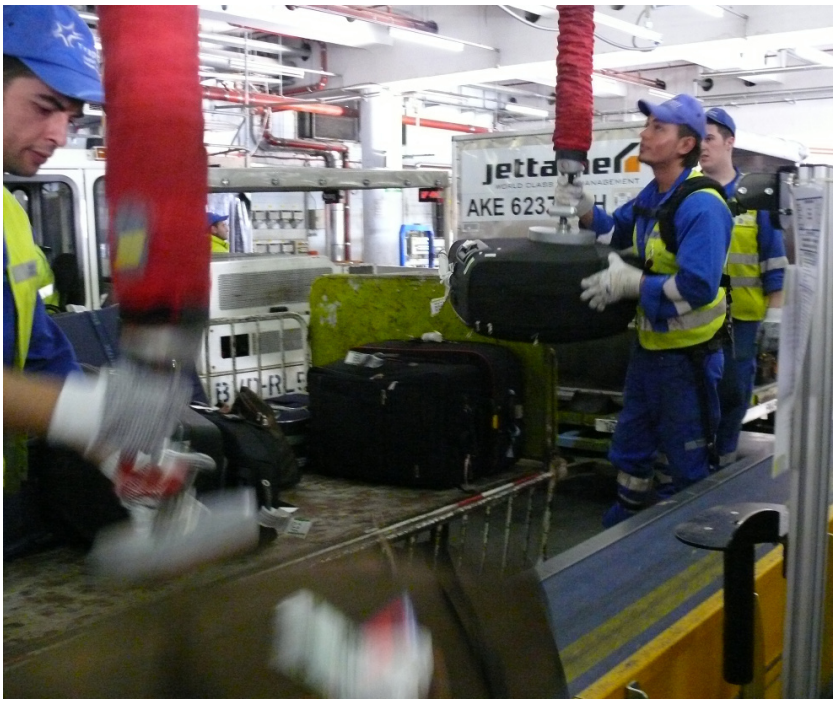


**Abb. 5.4** Heben und Umsetzen von Gepäckstücken mit Hilfe von Vakuumhebehilfen in der Gepäckzentrale eines Flughafens

### 5.3.3 Ziehen und Schieben von Servierwagen in Flugzeugen

Ein weiteres Beispiel für die Optimierung von manuellen Zieh- und Schiebevorgängen ist die Untersuchung zur Ermittlung von Muskel-Skelettbelastungen bei Flugbegleiterinnen und Flugbegleiter beim Schieben und Ziehen von „Trolleys" (Servierwagen) in Flugzeugen [28, 29]. Die Berufsgruppe klagte über hohe Muskel-Skelettbelastungen beim Ziehen und Schieben von Trolleys, insbesondere in der Steig- und Sinkphase des Flugzeugs.

In Felderhebungen wurden hier zunächst Häufigkeiten und Ausführungsbedingungen von Trolley-Handhabungen ermittelt. Auf Grundlage der Flugbeobachtungen und der Angaben der beteiligten Fluggesellschaften wurde ein spezieller Laboraufbau eingerichtet, in dem kinematische und dynamische Untersuchungen des Ziehens und Schiebens von Trolleys auf einer variabel einstellbaren schiefen Ebene von 12 m Länge durchgeführt werden konnten. Insgesamt nahmen 25 Flugbegleiterinnen und

Flugbegleiter (22 weiblich, 3 männlich) an den Labormessungen teil, in denen bei Variation der Neigung (0°, 2°, 5° und 8°), der Trolley-Typen (Fullsize, Halfsize), der Beladungszustände (leer, mittel, voll) und der Handhabungs¬arten (Schieben, Ziehen) die Körperhaltungen und die Aktionskräfte am Trolley erfasst wurden. Die Bewegungserfassung wurde mit Hilfe des CUELA-Messsystems (inkl. Erfassung der Kopf- und Schulter-Arm-Bewegungen) durchgeführt. Die Messung der Handkräfte und der Angriffspunkte erfolgte dreidimensional an beiden Händen bei freier Wahl der individuell bevorzugten Handposition am Trolley. Zur Abschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit der Probanden und zu deren Einordnung in die Gesamtpopulation wurden Maximalkraftmessungen mit den Testpersonen durchgeführt [30]. Die CUELA-Messdaten wurden zusammen mit den ermittelten dreidimensionalen Handkraftmessdaten als Eingangsdaten für das biomechanische Modell „Der Dortmunder“ [31] genutzt. Ziel der biomechanischen Berechnungen war die Ermittlung von Kompressionskräften und Beugemomenten nach vorn an der unteren Lendenwirbelsäule. Die biomechanischen Berechnungen ergaben Druckkräfte bis zu 3 kN und Beugemomente bis zu 130 Nm [32]. Beim Schieben stieg die Wirbelsäulenbelastung generell mit zunehmendem Trolleygewicht und Bodenneigung. Bei den größeren Trolleys (Fullsize) war die Wirbelsäulenbelastung beim Schieben höher als beim Ziehen. Umgekehrt war bei den kleineren Trolleys (Halfsize) die Wirbelsäulenbelastung beim Ziehen höher als beim Schieben. Die Erkenntnisse konnten direkt für die ergonomische Arbeitsgestaltung in der Praxis genutzt werden.

## 5.4 Aktuelle Herausforderungen für die Arbeitsgestaltung

Einige physische Belastungsarten stellen eine Herausforderung für die ergonomische Arbeitsgestaltung dar, da es noch wenige Präventionsansätze gibt und der Schädigungsmechanismus z.T. unklar ist.

### 5.4.1 Arbeitsbezogene Erkrankungen der unteren Extremitäten

Ein Beispiel hierfür ist die Prävention arbeitsbezogener Erkrankungen der unteren Extremitäten. Da über Vorkommen und Zeitdauer kniebelastender Tätigkeiten in den verschiedenen Berufen mit Einführung der Berufskrankheit „Gonarthrose“ keine gesicherten Erkenntnisse vorlagen, wurde 2006 im IFA die Studie „GonKatast“ in Kooperation mit betroffenen Unfallversicherungsträgern gestartet. Ziel der Studie war die Erstellung eines Belastungskatasters auf Grundlage valider Messdaten für relevante Berufsgruppen wie Fliesenleger, Estrichleger, Installateur und Maler.

Mit Hilfe des CUELA Systems konnten 250 Arbeitsschichten in 20 verschiedenen Berufsgruppen messtechnisch erfasst und die relevanten Körperhaltungen (Knien mit und ohne Abstützung des Oberkörpers, Fersensitz, Hocken und Kriechen) automatisch erkannt und quantifiziert werden [33]. Durch eine parallel durchgeführte Dokumentation der gesamten Arbeitsschichtinhalte konnten die Einzelmessungen später so zusammengefügt werden, dass die Abbildung eines vollständigen Arbeitsschichtprofils mit den verschiedenen Tätigkeiten, Pausen, Fahrzeiten u. ä. möglich war.

Die Studie zeigt unter anderem, dass das Ausmaß kniebelastender Tätigkeiten in den untersuchten Berufen je nach ausgeübter Tätigkeit stark variiert, so dass die reine Angabe des Berufes zur quantitativen Beurteilung der Kniebelastung als nicht ausreichend erscheint.

Ein grundsätzliches Problem besteht aber noch mit dem Pathomechanismus bei der Entstehung einer arbeitsbezogenen Gonarthrose. Der Pathomechanismus scheint wesentlich komplexer zu sein als die ausschließliche Betrachtung auftretender Gelenkkräfte. Auch die Ernährung des Knorpels im Zusammenhang mit statischen Zwangshaltungen kann eine erhebliche Rolle spielen. Weiterhin ist das Zeitprofil der unterschiedlichen Belastungseinwirkungen eine relevante Größe. Im Moment werden bei der Bewertung, z.B. in Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren, einfach nur kumulierte Zeiten kniebelastender Arbeitshaltungen betrachtet. Unterhalb einer kritischen Zeitschwelle wird das Risiko nicht bewertet. Auch unterhalb dieser Zeitschwelle können länger andauernde Zwangshaltungen zu Knorpelversorgungsproblemen führen, so dass den Betroffenen mit dieser Empfehlung nicht geholfen wird. Die weitere Erforschung des Pathomechanismus ist daher ein ganz wichtiger offener Punkt bei der Entwicklung geeigneter präventiver Maßnahmen zur Vermeidung arbeitsbezogener Erkrankungen der unteren Extremitäten.

### 5.4.2 Physische Inaktivität an Büro- und Bildschirmarbeitsplätzen

Mit der wachsenden Anzahl von Büroarbeitsplätzen mit überwiegender Computernutzung gewinnt Bewegungsmangel als ein Risikofaktor für Muskel-Skelett-Beschwerden an Bedeutung. Ein möglicher Präventionsansatz ist die Bewegungsförderung am Arbeitsplatz. Dies kann auch durch verhältnispräventive Maßnahmen erfolgen.

Ein Beispiel für eine solche Maßnahme zur Bewegungsförderung an Büro- und Bildschirmarbeitsplätzen ist der Einsatz von besonderen dynamischen Bürostühlen, die das dynamische Sitzen fördern sollen und somit statische Sitzhaltungen, die zu Verspannungen der Muskulatur und zu Wirbelsäulenbeschwerden führen können, entgegenwirken sollen. Als besondere dynamische Büroarbeitsstühle bezeichnet man in diesem Zusammenhang solche Stühle, die durch ihre Konstruktion ein überdurchschnittliches Ausmaß an Dynamik generieren sollen. Auf Initiative der Verwaltungs-

Berufsgenossenschaft (VBG) wurde vor diesem Hintergrund eine vergleichende ergonomische Untersuchung zur Evaluierung von vier besonderen dynamischen Büroarbeitsstühlen im Vergleich zu einem konventionellen Büroarbeitsstuhl im Labor und Feld durchgeführt [34]. Die Untersuchung ging u.a. der Frage nach, ob besondere dynamische Büroarbeitsstühle im Vergleich zum Sitzen auf einem konventionellen Bürostuhl zu einer Erhöhung der Aktivität der Rückenmuskulatur und physischen Aktivität führt.

Die messtechnische Analyse ergab, dass das Sitzen auf den untersuchten besonders dynamischen Büroarbeitsstühle im Vergleich zum Referenzstuhl annähernd keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Muskelaktivitäten, der Körper- und Gelenkwinkel und der physischen Aktivitäten während der Durchführung von Bürotätigkeiten ergab. Im Gegensatz hierzu hatten die ausgeführten Tätigkeiten einen starken Effekt auf die gemessenen Muskelaktivitäten, Körper-/Gelenkwinkel und Kinematik [35]. Die ausgeübte Tätigkeit hatte hier demnach einen größeren positiven Einfluss auf die individuelle Sitzdynamik des Menschen als die Beschaffenheit der untersuchten Büroarbeitsstühle. Diese Ergebnisse lassen folgern, dass neben der Wahl des Bürostuhls auch andere Arbeitsgestaltungsaspekte, wie z.B. arbeitsorganisatorische Aspekte und die Gestaltung des gesamten Büroarbeitsplatzes, bei der Prävention physischer Inaktivität an Büro- und Bildschirmarbeitsplätzen berücksichtigt werden sollten. Eine Checkliste zur individuellen Auswahl eines geeigneten Bürostuhls kann von der VBG bezogen werden [36].

**Abb. 5.5** Beispiel eines dynamischen Büroarbeitsplatzes

Eine weitere verhältnispräventive Maßnahme zur Förderung von Bewegung ist die Nutzung von Sitz-Steharbeitsplätzen im Büro. Untersuchungen haben hier gezeigt, dass Beschäftigte im Büro diese nutzen und im Durchschnitt ca. eine Stunde am Tag mehr im Stehen statt im Sitzen verbringen [37, 38]. Die Aktivitätszunahme hält sich jedoch bei Nutzung von Sitz-/Stehtischen immer noch in Grenzen und insbesondere ist hiermit keine signifikante Erhöhung des Energieumsatzes verbunden [38]. Daher sind zur verhältnispräventiven Gestaltung von bewegungsarmen Büro- und Bildschirmarbeitsplätzen neue, innovative Konzepte, die nachweisbar zu einer Steigerung der physischen Aktivität führen, notwendig. Hersteller haben in den letzten Jahren hierauf reagiert und verschiedene kommerzielle Konzepte von sogenannten dynamischen Büroarbeitsplätzen entwickelt, die leichte physische Aktivität mit der Ausführung von Bürotätigkeiten verbinden. Dabei handelt es sich um eine Kombination von Büroarbeitsplatz und Bewegungselementen, wie z.B. Laufbändern oder Ergometern (Abbildung 5.5), an denen typische Bürotätigkeiten mit erhöhter Bewegungsintensität ausgeführt werden können.

Da über die Auswirkungen dynamischer Büroarbeitsplätze auf die physische Aktivität und die kognitive Leistungsfähigkeit wenig bekannt ist, gehen derzeitige Untersuchungen der Frage nach, diese Arbeitsplätze in systematischen Labormessungen im Vergleich zu konventionellen Arbeitsplätzen zu untersuchen [39, 40].

### 5.4.3 Weiterentwicklungen der Gefährdungsbeurteilung bei physischen Belastungen

Die in Kapitel 5.2 dargestellten Verfahren der unterschiedlichen Erfassungs- und Bewertungsebenen wurden zumeist unabhängig voneinander entwickelt und sind kaum miteinander vernetzt. Die genauen Grundlagen der Bewertung von Screeningverfahren (Ebenen 1 bis 3) sind derzeit nicht sehr transparent offengelegt. Hier sollte sowohl eine Vernetzung der Verfahren aller Ebenen als auch eine genaue Darstellung der Bewertungshintergründe angestrebt werden. Hierdurch wäre es möglich, Kenntnislücken zu identifizieren, die Verfahren auf allen Ebenen weiterzuentwickeln und Widersprüche in Bewertungsergebnissen zu vermeiden.

Beispiele für Kenntnislücken sind fehlende Ansätze für die Bewertung von Zwangshaltungen und die Berücksichtigung sowohl der Risiken von Unterforderung als auch des zeitlichen Verlaufs von Be- und Entlastungen (Erholungsphasen). Ferner sollten die Ebenen 4 und 5 (Betriebliche Messungen und Labormessungen) mit den Ebenen 1 bis 3 vernetzt werden.

Das laufende BAuA-DGUV-Kooperationsprojekt „MEGAPHYS“ verfolgt dieses Ziel.

### 5.4.4 Veränderungen von Arbeitsplätzen und -systemen

Eine weitere Herausforderung an die Arbeitsgestaltung besteht darin, dass die Arbeitswelt einem stetigen Wandel unterliegt. Es ist zu erwarten, dass die Komplexität von Mensch-Maschine-Schnittstellen und IT-Anwendungen zunehmen wird. Ergonomische Forschung muss hier praktikable Lösungen bieten, um physische und mentale Belastungen von Beschäftigten zu minimieren. Weitere zukünftige Forschungsthemen sind die Entwicklung neuer Arbeitsorganisationsformen, die z.B. die Vereinbarkeit von Beruf und Familie oder die Beschäftigungsfähigkeit auch bei zunehmend steigendem Renteneintrittsalter ermöglichen. Bei immer komplexeren Arbeitssystemen und -organisationsformen werden neue physische und psychische Belastungsarten zu erforschen sein. In diesem Zusammenhang sind u.a. neue Mitarbeiterführungsstrategien zu entwickeln.

## 5.5 Zusammenfassung

Die Prävention physischer Belastungen ist auch in der heutigen Arbeitswelt ein wichtiges Thema. Ergonomische Gestaltungsmaßnahmen können zu einer wirksamen Optimierung der physischen Belastung an Arbeitsplätzen führen.

Zukünftige Herausforderungen für die Arbeitsgestaltung ergeben sich z.B. bzgl.

- der Prävention arbeitsbezogener Erkrankungen der unteren Extremitäten,
- der Prävention physischer Inaktivität an Arbeitsplätzen,
- der Gefährdungsbeurteilung bei physischen Belastungen,
- der veränderten Arbeitsplätze und -systeme und
- der demographischen Entwicklung.

## 5.6 Literatur

[1] SUGA: Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2012 Unfallverhütungsbericht Arbeit. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hrsg.), Berlin, 2012. http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/Suga-2012.html (Stand: 26.09.2014)

[2]: DeStatis: Gesundheit Krankheitskosten. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden, 2008. https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/Krankheitskosten/Krankheitskosten.html (Stand: 26.09.2014)

[3]: P. Wittig, Ch. Nöllenheidt, S. Brenscheidt: Grundauswertung der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012 mit den Schwerpunkten Arbeitsbedingungen, Arbeitsbelastungen und gesundheitliche Beschwerden. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2013. Projektnummer: F 2296, http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/Gd73.html;jsessionid=1732C943868DD68FB50BA85DA826A993.1_cid353 (Stand: 26.09.2014)

[4]: Hartmann, B.; Ellegast, R.; Schäfer, K.; Hecker, C.; Kusserow, H.; Steinberg, U.; Ponto, K.; Jäger, M.; Meixner, T.; Neugebauer, G.: Eine Checkliste zur Prüfung des Angebots arbeitsmedizinischer Vorsorge bei körperlichen Belastungen des Muskel-Skelett-Systems. ASU 9 (2007), 499-507

[5]: Ellegast, R. P.: Quantifizierung physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Zbl Arbeitsmed 60 (2010), 386-389

[6]: Caffier, G.; Steinberg, U.; Liebers, F.: Praxisorientiertes Methodeninventar zur Belastungs- und Beanspruchungsbeurteilung im Zusammenhang mit arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen, Bremerhaven: NW Wirtschaftsverlag 1999. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund/Berlin: Forschung, Fb 850)

[7]: Steinberg, U.; Behrendt, S.; Caffier, G.; Schultz, K.; Jakob, M.: Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse. Erarbeitung und Anwendungserprobung einer Handlungshilfe zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2007

[8]: Steinberg, U.; Caffier, G.; Mohr, D.; Liebers, F.; Behrendt, S.: Modellhafte Erprobung des Leitfadens Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten. Bremerhaven: NW Wirtschaftsverlag, 2008. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund/Berlin: Forschung, Fb 804)

[9]: McAtamney, L.; Corlett, E. N. (1993) RULA: a survey method for the investigations of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics 24 (1993) Nr. 2, 91-99

[10]: RULA Deutsch, In: BGIA-Report 2/2007 „Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität - Entwicklung eines Systems zur Erfassung und arbeitswissenschaftlichen Bewertung von komplexen Bewegungen der oberen Extremität bei beruflichen Tätigkeiten", 77-82. http://www.dguv.de/dguv/medien/ifa/de/pub/rep/pdf/rep07/biar0207/rula.pdf

[11]: Hoehne-Hückstädt, U.; Herda, C.; Ellegast, R. P.; Hermanns, I.; Hamburger, R.; Ditchen, D.: BGIA-Report 2/2007 „Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität - Entwicklung eines Systems zur Erfassung und arbeitswissenschaftlichen Bewertung von komplexen Bewegungen der oberen Extremität bei beruflichen Tätigkeiten, In: BGIA-Report 2/2007, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin, 2007. http://www.dguv.de/dguv/ifa/Publikationen/Reports-Download/BGIA-Reports-2007-bis-2008/BGIA-Report-2-2007/index.jsp

[12]: Colombini, D.; Occhipinti, E.; Baracco, A. (2000) A new check list model, set with the OCRA Index, to evaluate exposure to repetitive movements of the upper limbs. Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress 5 (2000), 716-719

[13]: OCRA und OCRA Checkliste deutsch (2007), in: BGIA-Report 2/2007 „Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität - Entwicklung eines Systems zur Erfassung und arbeitswissenschaftlichen Bewertung von komplexen Bewegungen der oberen Extremität bei beruflichen Tätigkeiten", 87-111 http://www.dguv.de/dguv/medien/ifa/de/pub/rep/pdf/rep07/biar0207/ocra1.pdf

[14]: Wakula, J.; Berg, K.; Schaub, K.; Bruder, R.; Glitsch, U.; Ellegast, R.: Der montagespezifische Kraftatlas. BGIA-Report 3/2009. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2009. http://www.dguv.de/dguv/ifa/Publikationen/Reports-Download/Reports-2009-bis-2010/BGIA-Report-3-2009/index.jsp

[15]: Schaub, K.: Das „Automotive Assembly Worksheet" (AAWS), In: Landau, K. (Hrsg.): Montageprozesse gestalten: Fallbeispiele aus Ergonomie und Organisation. Stuttgart: Ergonomia-Verlag 2004, 91 – 111

[16]: Schaub, K.; Caragnano, G.; Britzke, B.; Bruder, R.: The European Assembly Worksheet. In: Mondelo, P.; Karwowski, W.; Saarela, K.; Swuste, P.; Occhippinti, E. (Hrsg.): Proceedings of the VIII International Conference on Occupational Risk Prevention, ORP 2010. Valencia 5.-7.5.2010 (CD-Rom)

[17]: Li, G.; Buckle, P.: Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. 1999. Ergonomics 42, 674-695

[18]: Kilbom, Å.: Repetitive work of the upper extremity: Part I – Guidelines for the practitioner. 1994. International Journal of Industrial Ergonomics, 14, 51-57

[19]: Marras, W. S.: Fathallah, F. A.; Miller, R. J.; Davis, S. W.; Mirka, G. A.: Accuracy of a three-dimensional lumbar motion monitor for recording dynamic trunk motion characteristics. 1992. Int. Journal of Ind. Ergonomics, 9, 75-87

[20]: Plamondon, A.; Delisle, A.; Larue, C.; Brouillette, D.; McFadden, D.; Desjardins, P.; Lariviere, C.: Evaluation of a hybrid system for three-dimensional measurement of trunk posture in motion. 2007. Appl. Ergonomics, 38, 697-712

[21]: Ellegast, R. P.; Hermanns, I.; Schiefer, C.: Workload assessment in field using the ambulatory CUELA system. In: Digital Human Modeling LNCS 5620, V. G. Duffy (Hrsg.), Springer, Berlin 2009, 221-226

[22]: Ellegast, R. P.; Hermanns, I.; Schiefer, C.: Feldmesssystem CUELA zur Langzeiterfassung und -analyse von Bewegungen an Arbeitsplätzen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 64 (2010) Nr. 2, 101-110

[23]: Jäger, M.; Theilmeier, A.; Jordan, C.; Luttmann, A.: Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 3 - Ermittlung der Belastung der Lendenwirbelsäule bei ausgewählten Pflegetätigkeiten mit Patiententransfer. Teil 3: Biomechanische Beurteilung von Tätigkeiten im Gesundheitsdienst hinsichtlich der Möglichkeiten zur Prävention von Gefährdungen der Wirbelsäule. Shaker, Aachen, 2008

[24]: Jäger, M.; Jordan, C.; Theilmeier, A.; Göllner, R.; Luttmann, A.: Belastung der Lendenwirbelsäule bei branchenübergreifend auftretenden Arbeitssituationen mit Lastenhandhabung. In: Konietzko J, Dupuis H, Letzel S (Hrsg.). Handbuch der Arbeitsmedizin. 36. Erg.-Lfg. (Kap. IV-31, S 1-28). ecomed, Landsberg a.L. 2004

[25]: Glitsch U, Ottersbach HJ, Ellegast R, Sawatzki K, Voß J, Luttmann A, Jäger M, Rehme G.: Belastungen der Lendenwirbelsäule bei Schaufeltätigkeiten. BGIA-Report 4/2008. DGUV (Hrsg.). Sankt Augustin, http://www.dguv.de/dguv/ifa/Publikationen/Reports-Download/BGIA-Reports-2007-bis-2008/BGIA-Report-4-2008/index.jsp

[26]: Karhu O.; Kansi P.; Kuorinka I.: Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. 1977 Appl. Ergon 8, 199-201

[27]: Böser C, Post M, Ellegast RP (2011). Ermittlung der Belastung des Muskel-Skelett-Systems bei Verladetätigkeiten am Flughafen. IFA-Report 4/2011. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. http://www.dguv.de/dguv/ifa/Publikationen/Reports-Download/Reports-2011/IFA-Report-4-2011/index.jsp

[28]: Glitsch, U.; Ottersbach, H.J.; Ellegast, R.P.; Hermanns, I.; Feldges, W.; Schaub, Kh.; Berg, K.; Winter, G.; Sawatzki, K.; Voß, J.; Göllner, R.; Jäger, M.; Franz, G.: Untersuchung der Belastung von Flugbegleitern beim Schieben und Ziehen von Trolleys in Flugzeugen. BIA-Report 5/2004, Sankt Augustin: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften. http://www.dguv.de/dguv/ifa/Publikationen/Reports-Download/BIA-Reports-2002-bis-2004/BIA-Report-5-2004/index.jsp

[29]: Glitsch, U.; Ottersbach, H. J.; Ellegast, R. P.; Schaub, K.; Franz, G.; Jäger, M.: Physical workload of flight attendants when pushing and pulling trolleys aboard aircraft. Int. Journal of Ind. Ergonomics 37, 845-854, 2007

[30]: Schaub, K.; Berg, K.; Winter, G.; Ellegast, R. P.; Glitsch, U.; Ottersbach, H. J.; Jäger, M.; Franz, G.: Muscular capabilities and workload of flight attendants for pushing and pulling trolleys aboard aircraft. Int. Journal of Ind. Ergonomics 37, 883-892, 2007

[31]: Jäger, M.; Luttmann, A.; Göllner, R.; Laurig, W.: Der Dortmunder - Biomechanische Modellbildung zur Bestimmung und Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule bei Lastenhandhabungen. In: S. Radandt, R. Grieshaber & W. Schneider (Hrsg.), Prävention von arbeitsbedingten Gesundheits-gefahren und Erkrankungen. Leipzig: Monade-Verlag, 105-124, 2000

[32]: Jäger, M.; Sawatzki, K., Glitsch, U.; Ellegast, R. P.; Ottersbach, H. J.; Schaub, K.; Franz, G.; Luttmann, A.: Load on the lumbar spine of flight attendants during pushing and pulling trolleys aboard aircraft. Int. Journal of Ind. Ergonomics 37, 863-876, 2007

[33]: Ditchen, D.; Ellegast, R. P.; Rehme, G.: Gonkatast – Ein Messwertkataster zu beruflichen Kniebelastungen, IFA-Report 1/2010. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin 2010, http://www.dguv.de/dguv/ifa/Publikationen/Reports-Download/Reports-2009-bis-2010/IFA-Report-1-2010/index.jsp

[34]: Ellegast RP, Keller K, Hamburger R, Berger H, Krause F, Groenesteijn L, Blok M, Vink P (2008). Ergonomische Untersuchung besonderer Büroarbeitsstühle. BGIA-Report 5/2008. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (Hrsg.), Sankt Augustin. http://www.dguv.de/dguv/ifa/Publikationen/Reports-Download/BGIA-Reports-2007-bis-2008/BGIA-Report-5-2008/index.jsp

[35]: Ellegast RP, Kraft K, Groenesteijn L, Krause F, Berger H, Vink P (2012). Comparison of four specific dynamic office chairs with a conventional office chair: impact upon muscle activation, physical activity and posture. Appl Ergonomics 43: 296-307

[36]: VBG (2010). Die Qual der Wahl – wie beschaffe ich den passenden Stuhl? Hilfen und Kriterien für die Auswahl von Bürostühlen. Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) (Hrsg.), Hamburg

[37]: Pronk NP, Katz AS, Lowry M, Payfer JR (2012). Reducing Occupational Sitting Time and Improving Worker Health: The Take-a-Stand Project, 2011. Prev Chronic Dis 9: 110323. DOI: http://dx.doi.org/10.5888.pcd9.110323 (12/12)

[38]: Ellegast RP, Weber B, Mahlberg R (2012). Method inventory for assessment of physical activity at VDU workplaces. Work 41: 2355 2359, DOI: 10.3233/WOR-2012-0464-2355

[39]: Commissaris, D.; Könemann, R.; Hiemstra-van Mastrigt, S.; Burford, E.M.; Botter, J.; Douwes, M.; Ellegast, R.P (2014). Effects of a standing and three dynamic workstations on Computer task performance and cognitive function tests. Applied Ergonomics 45 (2014) Nr. 6, S. 1570-1578

[40]: Botter, J.; Burford, E.M.; Commissaris, D.; Könemann, R.; Hiemstra-van Mastrigt, S.; Douwes, M.; Weber, B.; Ellegast, R.P. Untersuchung von dynamischen Büroarbeitsplätzen. IFA Report 4/2014. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2014
http://www.dguv.de/dguv/ifa/Publikationen/Reports-Download/Reports-2014/IFA-Report-4-2014/index.jsp

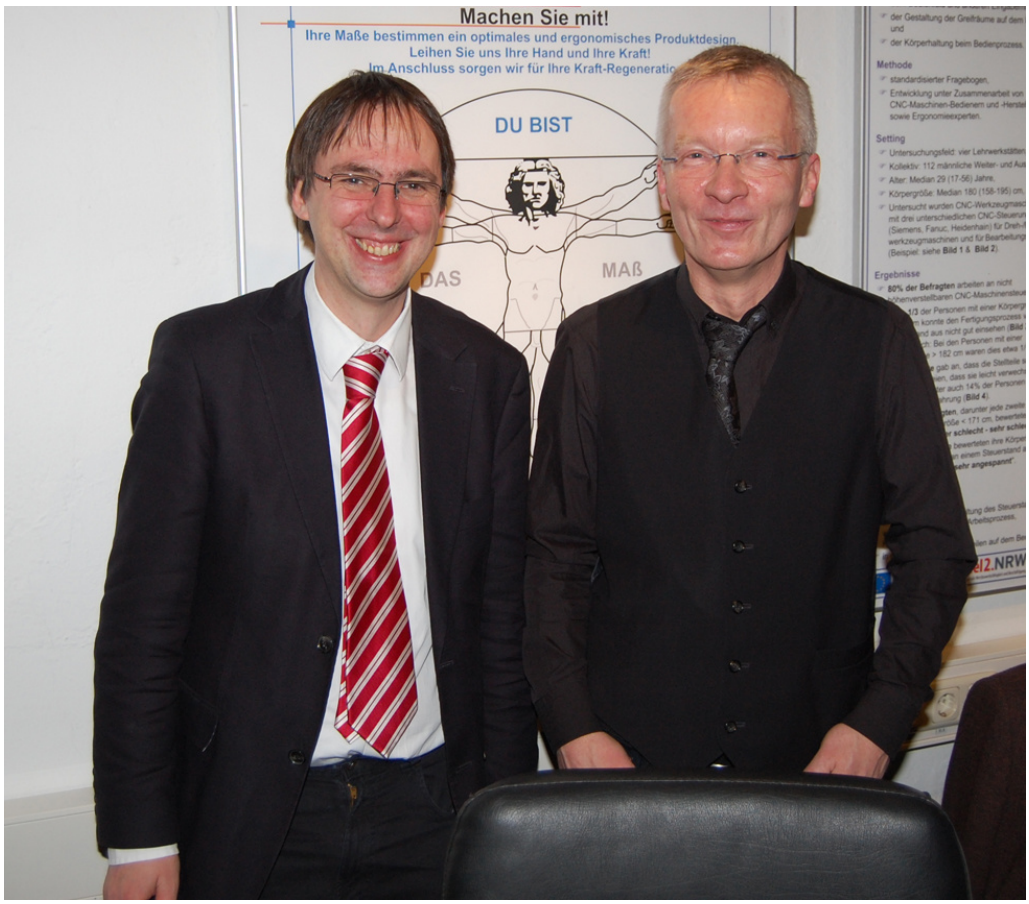



**Abb. 5.6** Prof. Dr. Rolf Ellegast vom Institut für Arbeitsschutz der DGUV in Sankt Augustin zusammen mit Prof. Dr. Ralf Pieper von der Bergischen Universität Wuppertal (v.l.n.r.) nach der Abendveranstaltung in Wuppertal.

# 6 Fachkräftesicherung durch Betriebliches Gesundheitsmanagement – Anforderungen und betriebliche Praxis (HELMUT EHNES)

**100. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 9. April 2014 in Wuppertal**

**Dipl.-Ing. Helmut Ehnes**
Leiter der Prävention der BG Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Heidelberg

**Abb. 6.1** Dipl.-Ing. Helmut Ehnes (BG RCI) skizzierte die Anforderungen, die sich durch den Demografischen Wandel den Unternehmen stellen.

**Abb. 6.2** Stehempfang (oben) und Abschlussdiskussion (unten) beim Jubiläumskolloquium zum Thema des Betrieblichen Gesundheitsmanagement und der Fachkräftesicherung.

# 7 Fachkräftesicherung durch Betriebliches Gesundheitsmanagement – Beispiel eines Demografieprogramms in der praktischen Umsetzung (PETER DOLFEN, KLAUS-DIETER WENDT & ANDRÉ KLUßMANN)

**100. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 9. April 2014 in Wuppertal**

**Dr. Peter Dolfen**
Senior Vice President CSH der Continental AG, Hannover

**Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Wendt**
Head of Corporate Ergonomics CSH der Continental AG, Hannover

**Dr.-Ing. André Klußmann**
Bereichsleiter Arbeit und Gesundheit im Institut ASER e.V., Wuppertal

## 7.1 Einleitung

Seit Mitte der 2000er Jahre erleben wir wirtschaftlich turbulente Zeiten. Mit der sich im Jahr 2007 beginnenden und dann verfestigenden Wirtschafts- und Finanzkrise ist insbesondere Europa stark getroffen worden. Wie sich herausstellt, sind bisher genau die Staaten einigermaßen glimpflich durch die Krise gekommen, deren Wirtschaft anteilsmäßig weiterhin stark im Industriesektor und nicht nur im Dienstleistungssektor tätig ist. Dass Deutschland als Hochlohnland im Vergleich zu den Staaten wie Spanien oder Großbritannien die Krise bisher relativ gut überstanden hat, liegt nicht nur, aber auch daran, dass Deutschland zu einem ganz wesentlichen Teil nach wie vor ein hoch innovativer Produktionsstandort ist.

Betrachtet man die demografischen Entwicklungen unter diesen Randbedingungen, so stellt sich u.a. die Frage, ob wir in Deutschland diese Produktivität auch mit einem um 10 oder 15 Jahre höheren Altersdurchschnitt der Beschäftigten in den Fertigungs- und Montagebereichen aufrecht erhalten können. Schon heute ist vielerorts von Fachkräftemangel die Rede und dies betrifft zukünftig nicht nur die wissensintensiven und / oder produktionsnahen Dienstleistungen, sondern auch die Fertigungs- und Montagebereiche selbst.

Auch wenn wir alle alt werden wollen; älter werden bedeutet auch, dass sich zwar bestimmte Fähigkeiten verbessern können, aber leider auch einige Fähigkeiten und Fertigkeiten zumindest durchschnittlich nachlassen werden, was es möglichst zu kompensieren gilt. Dies ist natürlich ein sehr individuelles Geschehen und mit großen Bandbreiten versehen. Man kennt 80-jährige Marathonläufer aber auch 20-jährige, die nicht in der Lage sind, eine Kiste Wasser zwei Hausetagen hoch zu tragen. Für die allermeisten Menschen wird allerdings keines der beiden Extrema so gelten.

Dennoch sind in der Arbeitswelt verschiedene Fragen zu stellen, wie z.B.: Wie hoch sind heute objektiv die physischen Belastungen in den Arbeitssystemen und wie sind diese in den Betrieben und Branchen verteilt? Sind die Fertigungs- und Montagebereiche in Deutschland auf höhere Altersdurchschnitte mit (vermutlich) geringeren körperlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten eingestellt?

In Europa muss sich Deutschland zusammen mit Frankreich früher und stärker als die anderen europäischen Industrienationen mit der demografischen Herausforderung auseinandersetzen. Der Demografische Wandel der Belegschaften dringt auch immer stärker in das Bewusstsein der Betriebe. Aus verschiedenen Prognosen und Statistiken der vergangenen Jahre ist schon länger bekannt, dass der Anteil jüngerer Erwerbstätiger immer deutlicher abnimmt und es zukünftig zunehmend mehr ältere Erwerbstätige in der Arbeitswelt geben wird. Die Beschäftigungsquote bei den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Alter zwischen 60 und 65 Jahren hat sich beispielsweise in dem Zeitraum vom Jahr 2001 bis zum Jahr 2011 von 1,35 Millionen auf 2,22 Millionen nahezu verdoppelt und betrug im Jahr 2011 rund 45 Prozent (SuGA, 2013). Im Jahr 2012 gab es in der Altersklasse der 60- bis 65-Jährigen erstmals seit fast vier Jahrzehnten wieder mehr Erwerbstätige als Rentner (BIB, 2013).

Die Gründe hierfür sind vielfältig. Zu nennen wären hierzu in erster Linie die immer höhere Lebenserwartung der Bevölkerung bei gleichzeitig rückläufiger Geburtenrate. Als Folge hieraus steigt der Anteil älterer Menschen gegenüber dem Anteil Jüngerer. Zudem hat der Deutsche Bundestag im Jahr 2007 die Anhebung der Regelaltersgrenze auf 67 Jahre beschlossen. Parallel wurde die finanzielle Bezuschussung der Altersteilzeitregelungen über die Bundesagentur für Arbeit eingestellt. Beschäftigte werden also zukünftig voraussichtlich länger arbeiten (müssen) als bisher.

Diese Umstände sind eine Herausforderung für Betriebe, denn zum Erhalt der Arbeits- und Beschäftigungsfähigkeit der Menschen im erwerbsfähigen Alter wird es noch mehr als bisher schon auch auf eine alters- und alternsgerechte Gestaltung der Arbeit ankommen. Nach Empfehlungen des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales sollte dies deshalb auch bereits beim Einstieg in die Erwerbstätigkeit einsetzen und sich über den gesamten Erwerbsverlauf erstrecken (BMAS, 2010).

In der Fachliteratur finden sich dazu auch die Begrifflichkeiten Defizitmodell und Kompetenzmodell für die Modulation der Fähigkeiten der älter werdenden Menschen.

Das Defizitmodell geht von dem Nachlassen bestimmter körperlicher Fähigkeiten wie etwa Kraft und Reaktionsschnelligkeit aus, wohingegen das Kompetenzmodell überwiegend die Steigerung psychomentaler Fähigkeiten wie Erfahrung, Übersicht, Urteilsvermögen und Risikobewusstsein in die Waagschale wirft.

Diese gewonnenen Kompetenzen sind zwar sehr positiv zu bewerten, ändern aber nichts an der Tatsache, dass sich in altersgemischten Teams insbesondere im Fertigungsarbeitssystem die Defizite zu Nachteilen für die älteren Beschäftigten und negativ auf das Ergebnis der gesamten Arbeitsgruppe auswirken können.

Neben dem Phänomen des veränderten Leistungsspektrums spielt bei der Betrachtung demografischer Effekte auch die Fehlzeitenhäufigkeiten der verschiedenen Alterskohorten eine bedeutsame Rolle. So zeigen die Gesundheits- bzw. Krankheitsstatistiken, dass mit zunehmendem Alter auch die Häufigkeit von Erkrankungsfällen zunimmt und vor allem die Dauer der einzelnen krankheitsbedingten Abwesenheitszeiten ansteigt.

Da die Population der Beschäftigten in den höheren Alterskohorten ebenfalls zunimmt, lässt das Zusammentreffen aller drei Faktoren für die Entwicklung der Fehlzeiten eine ungute Tendenz für die Beschäftigten und für die Betriebe erwarten. Dieser Tendenz ist sach- und fachgerecht entgegen zu treten, weshalb die Continental AG schon früh ihr Demografie-Handlungsprogramm startete, dies seit über 10 Jahren betreibt sowie kontinuierlich weiterentwickelt und ausweitet.

## 7.2 Rückblick zu frühen, alternsgerechten FuE-Aktivitäten im HdA-Programm

Im Rahmen des seit dem Jahr 1974 vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) gemeinsam mit dem Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA) durchgeführten Programms „Forschung zur Humanisierung des Arbeitslebens“ (HdA-Programm) wurden u.a. Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit dem Ziel gefördert, tätigkeitsbedingte physische und psychische Belastungen abzubauen. Hierbei kam es in den 1980er Jahren zu einer Reihe von Branchenprojekten zur Einführung neuer Arbeitsstrukturen.

In den Continental-Werken Stöcken und Korbach wurden im Rahmen dieses HdA-Programmes schon Anfang der 1980-iger Jahre die Arbeitssysteme der „Reifenkonfektionäre“ – auch „Reifenwickler“ genannt – untersucht. Hierbei lag bereits damals der „Leistungswandel älterer Mitarbeiter“ im Fokus der Betrachtung. Im Berichtband I (Alt et al., 1988) von insgesamt sechs Teilberichten dieses BMFT-Projektes im HdA-Programm heißt es hierzu:

*„Insbesondere bei den rund 800 Reifenwicklern wurde beobachtet, dass Arbeitnehmer in extrem hoher Zahl nach dem Erreichen der Altersspanne zwischen dem 35. bis 40. Lebensjahr ihre Tätigkeit aufgaben und entweder zu anderen Arbeitsplätzen mit niedrigeren Anforderungen überwechselten oder in den meisten Fällen die Firma verließen. Daraus ergaben sich folgende Auswirkungen:*

- *sozialer Abstieg von bewährten Mitarbeitern, die anschließend oft wegen ihres Alters nur minderqualifizierte und entsprechend minderhonorierte Arbeiten finden,*
- *vorzeitiger Verlust wertvollen Erfahrungsgutes für das Unternehmen sowie*
- *finanzielle Belastung des Unternehmens infolge eines relativ hohen Ausbildungsaufwandes für neueinzustellende, ungelernte Mitarbeiter.“*

Die damaligen Projektaktivitäten führten zu einer Umgestaltung dieser Arbeitssysteme, Neustrukturierung der Arbeitsorganisation und zu einer umfangreichen Berücksichtigung ergonomischer Optimierungsansätze in der Entwicklung und Beschaffung neuer Maschinen.

In den darauf folgenden 15 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland, die durch die Deutsche Einheit und die fortschreitende Globalisierung mit entsprechendem Wettbewerbsdruck sowie besonders auch – bei dem vorhandenem Überangebot an Arbeitskräften – durch die Entwicklung hin zur Massenarbeitslosigkeit geprägt waren, konnte vieles des damals schon erarbeiteten HdA-Wissens letztlich nur in einem zu begrenzten Umfang umgesetzt werden, wie aus heutiger Sicht festzustellen ist.

Mit der Diskussion um den Demografischen Wandel ab Anfang des neuen Jahrtausends und um die Fachkräftesicherung in der Arbeitswelt ab dem Jahr 2010 wurden diese Aspekte jedoch wieder stärker und systematischer aufgegriffen, so dass heute bei der Continental AG ein ganzheitliches Konzept zur Förderung der Arbeits- und Beschäftigungsfähigkeit mit Unterstützung moderner Methoden und Werkzeuge umgesetzt wird.

## 7.3 Handlungsprogramm zur Gestaltung des Demografischen Wandels

Bei der Continental AG wurde bereits im Jahre 2002 das Phänomen des Demografischen Wandels als bedeutsam für den Konzern begriffen und eine Projektgruppe ins Leben gerufen. Schnell war geklärt, dass diese demografische Entwicklung überwiegend für die Beschäftigten in den Fertigungsbereichen von Bedeutung ist und dass demgegenüber die Arbeitssysteme in der Administration und Forschung nicht so stark beeinflusst werden. Daher haben wir hierbei von Beginn an das Hauptgewicht auch auf die Fertigungsbereiche gelegt.

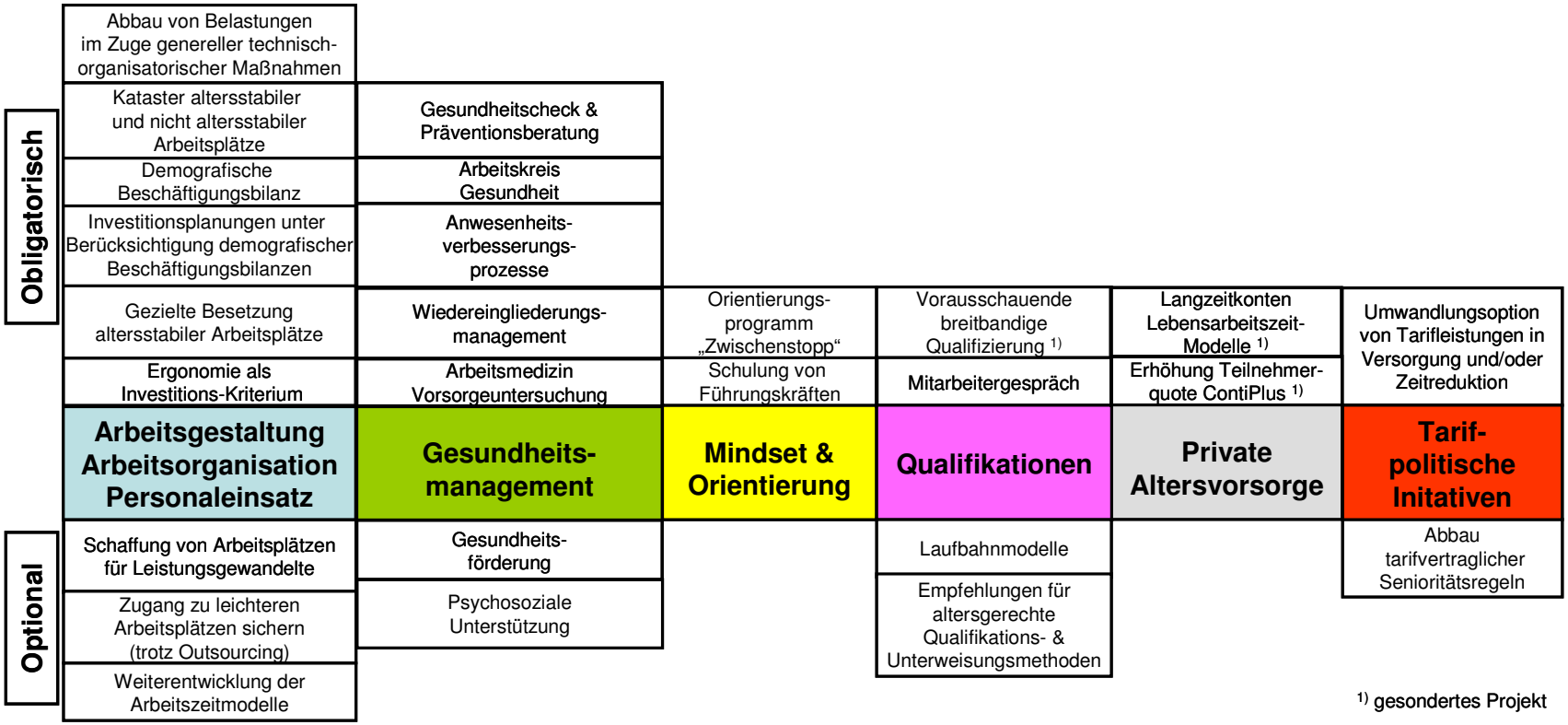



**Abb. 7.1** Demografie-Handlungsprogramm der Continental AG.

Die Continental AG hat dann für das Jahr 2005 – zunächst für die Standorte der Rubber Group in Deutschland, später auch ausgeweitet auf weitere Divisionen – konkrete Berechnungen darüber vorgenommen, wie sich die Population der 55- bis 65-Jährigen anteilig an der Gesamtpopulation der Fertigungsmitarbeiter/innen entwickeln wird. Waren im Jahr 2005 rund acht Prozent der Fertigungsmitarbeiter/innen in dieser Altersgruppe, so zeigte die Hochrechnung eine Verdreifachung auf 25 Prozent für das Jahr 2015. Praktisch heißt dies, dass dann für Tausende von Beschäftigten in dieser Altersgruppe geeignete Arbeitssysteme zur Verfügung stehen müssen. Hieraus leitete sich die Aufgabenstellung ab, zu überprüfen, ob auch real dann eine entsprechende Zahl altersgerechter Arbeitssysteme zur Verfügung stehen, die insofern heute oder möglichst in nächster Zukunft schon alternsgerecht sind.

Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 2005 bei der Continental AG ein Konzept zur Förderung der Beschäftigungsfähigkeit in älteren Berufsjahren aus den sechs Handlungsfeldern „Arbeitsgestaltung, Arbeitsorganisation und Personaleinsatz“, „Gesundheitsmanagement“, „Mindset & Orientierung“, „Qualifikation“, „Private Altersvorsorge“ und „Tarifpolitische Initiativen“ entwickelt (Abb. 7.1).

Im Weiteren wird hier das Modul des ersten Handlungsfeldes, also der „Arbeitsgestaltung, Arbeitsorganisation und Personaleinsatz“ vorgestellt. Um die Arbeits- und Beschäftigungsfähigkeit der Fachkräfte zu sichern, ist es von hoher Bedeutung, Art und Ausmaß der tätigkeitsbedingten Arbeitsbelastungen zu kennen, um daraus erforderliche und wirksame Gestaltungsmaßnahmen ableiten und umsetzen zu können. Fokussiert wurde bei der Continental AG vor allem auf die Tätigkeiten in der Fertigung, da hier zurzeit die größten Risiken für ein vorzeitiges Ausscheiden der Beschäftigten aus dem Berufsleben gesehen werden.

## 7.4 Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen mit dem Belastungs-Dokumentations-System

Tätigkeiten mit physischen Arbeitsbelastungen werden seit dem Jahr 2006 systematisch mit dem so genannten „Belastungs-Dokumentations-System“ (Gebhardt, Müller & Peters, 2003) analysiert und bewertet, welches auf die speziellen Bedürfnisse der Continental AG angepasst wurde (Dolfen & Klußmann, 2012).

Das Belastungs-Dokumentations-System (BDS) ist aus dem arbeitswissenschaftlichen Experten-Verfahren „Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen (BAB)“ abgeleitet worden, welches in den späten 1970er Jahren in FuE-Projekten des HdA-Programmes entwickelt wurde (Müller & Hettinger, 1981; Hettinger et al., 1985; Peters, 1986). Es wird fortlaufend weiterentwickelt und so werden beispielsweise neue

arbeitswissenschaftliche Einzelverfahren darin aufgenommen, wenn sie verfügbar und in der Betriebspraxis validiert sowie für das Belastungs-Dokumentations-System adaptiert wurden (Abb. 7.2).

Berücksichtigt werden beispielsweise bei den physischen Arbeitsbelastungen zurzeit die Leitmerkmalmethode für Heben, Halten und Tragen (LASI, 2001), die Leitmerkmalmethode Ziehen und Schieben (LASI, 2002), die Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse (LASI, 2013), die Körperhaltung (Sämann, 1970), die Körperbewegung und dynamische Muskelarbeit (Spitzer, Hettinger, Kaminsky, 1982) sowie die Körperhaltungs- und Körperbewegungsverteilung (Klußmann et al., 2013).

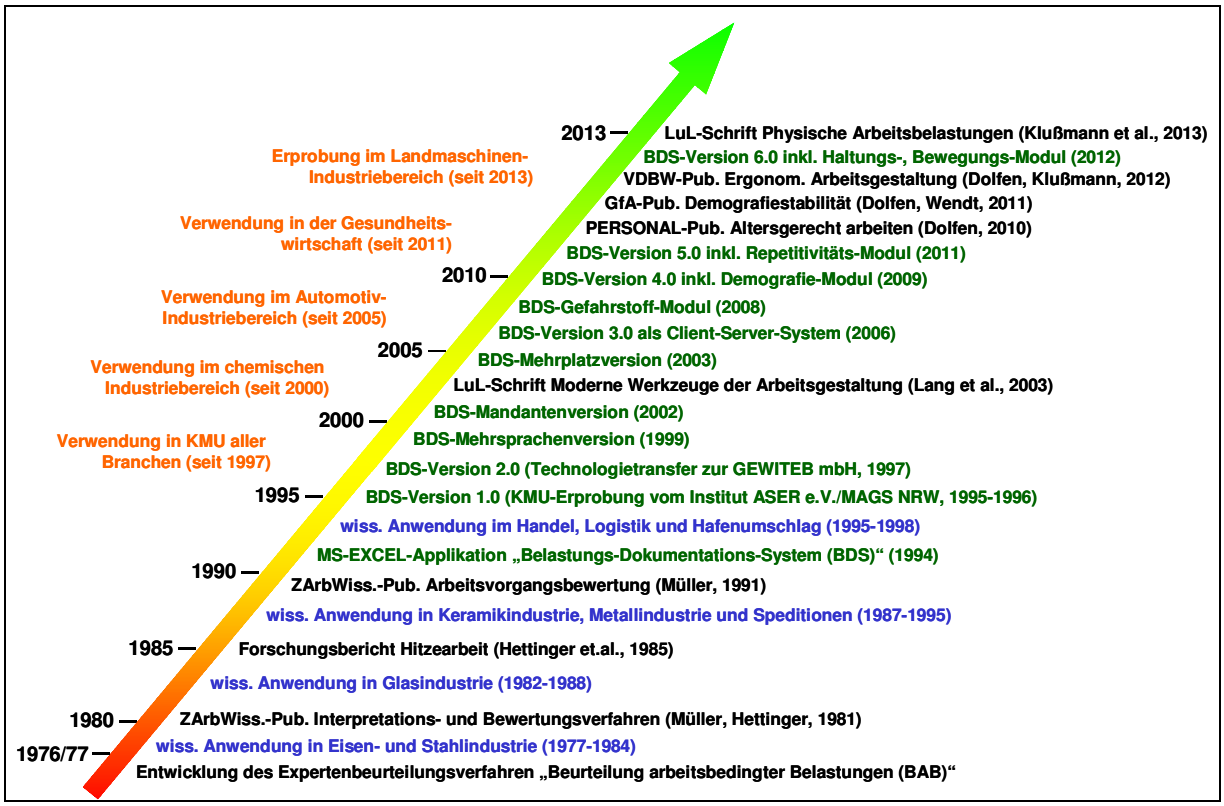



**Abb. 7.2** Meilensteine der BAB/BDS-Entwicklung seit den 1970-iger Jahren.

Die Ergebnisse der Bewertung der physischen Arbeitsbelastungen werden separat für die o.g. Belastungsarten in einem Ampelsystem dargestellt: Grün sind Arbeitsbelastungen, bei denen eine Gesundheitsgefahr durch Überbeanspruchung nicht zu erwarten ist; Gelb ist der Übergangsbereich, der kritisch sein kann, in der Regel aber ausführbar ist (Dauerleistungsgrenze); Rot deutet an, dass die Gefahr einer Überbelastung wahrscheinlich ist und diese Tätigkeit zumindest nicht langandauernd in einer Arbeitsschicht und nicht längerfristig im Arbeitsleben ausgeübt werden kann. An die-

ser Darstellung ist ablesbar, ob ein Arbeitssystem gefahrlos für einen Beschäftigten – sei er/sie jung oder alt – ausübbar ist.

Ergänzend dazu werden auch demografische Veränderungen berücksichtigt. Die Abnahme der physischen Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter wird durch eine höhere Beanspruchung des Organismus ausgeglichen, was im Belastungs-Dokumentations-System entsprechend in Form höherer Belastungsbalken (Darstellung als dünne Balken siehe Abb. 7.3) dargestellt wird. Auf diese Weise kann die Beanspruchung der älteren Beschäftigten dargestellt und somit präventiv auf Risiken für Personen mit diesem spezifischen Leistungsvermögen hingewiesen werden. Grundlagen hierfür bilden u.a. die Arbeiten von SAUP (1993) sowie HOLLMAN & HETTINGER (2000).

## 7.5 Ziele der systematischen Ergonomie-Bewertung von Arbeitssystemen

Hauptziel der Continental AG beim Demografie-Handlungsprogramm ist es, zunächst insbesondere die physischen Arbeitsbelastungen kontinuierlich zu reduzieren. Gesteuert wird dies mit zwei ergonomischen Kennzahlen, der „Physischen Belastungsrate“ und der „Altersstabilitätsrate“.

Die „Physische Belastungsrate“ ist dabei eine Kenngröße aus den physischen Gefährdungen in einer Organisationseinheit (z.B. einer Division, eines Werkes oder einer Abteilung). Integriert in diese Kennzahl sind die Arbeitsbelastungen durch Heben-Tragen, Schieben-Ziehen, Beanspruchung der oberen Extremitäten, Arbeitsenergieumsatz, Körperhaltung, Körperbewegung und die Körperhaltungs- und Körperbewegungsverteilung über die Arbeitsschicht.

Diese Kennzahl ermöglicht standardisiert über alle Konzernstrukturen die Definition, Vereinbarung und Steuerung von Zielmarken sowie die Verfolgung des aktuellen Status und der Entwicklung erreichter Verbesserungen. Einschränkend ist zu erwähnen, dass sich diese Kennzahl nicht eignet um verschiedene Produktionsarten miteinander zu vergleichen.

Als zweite ergonomische Kennzahl wird die „Altersstabilitätsrate“ betrachtet. Dies ist eine Kenngröße für den Prozentsatz von altersstabilen Arbeitssystemen in einer Organisationseinheit auf Basis der physischen Arbeitsbelastung und weiterer altersmodulierter Kriterien, wie z.B. Reaktionsgeschwindigkeit, Feinmotorik, Sehvermögen etc.

Insbesondere die Altersstabilitätsrate wird derzeit besonders beachtet, denn auf Grund der zu erwartenden Altersverteilung der Fertigungsmitarbeiter/innen in den

kommenden Jahren werden in jeder Abteilung in jedem Werk mindestens 30 Prozent altersstabile Arbeitssysteme vorgehalten werden müssen.

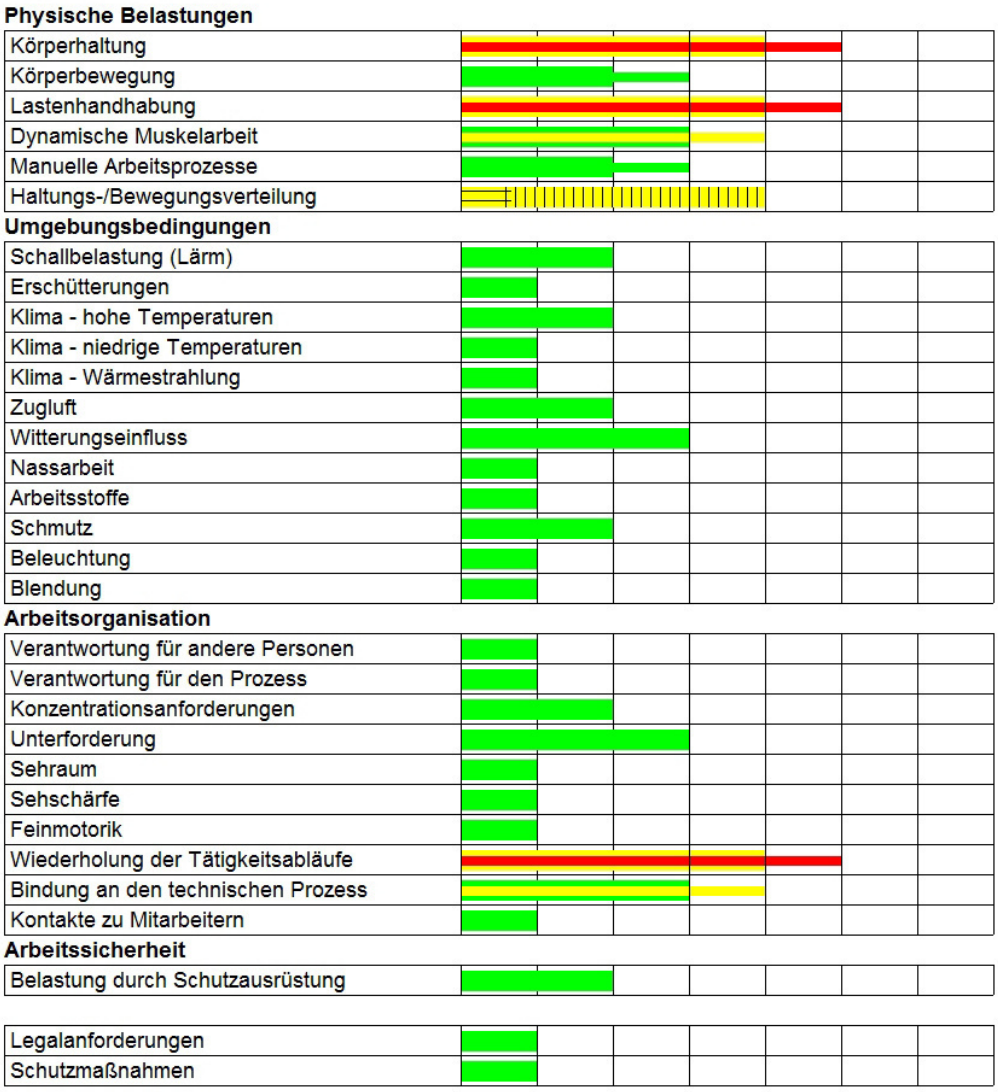



**Abb. 7.3** Siebenstufiges BAB/BDS-Bewertungsprofil. Die Balkendiagramme zeigen die Arbeitsbelastungen eines Arbeitsvorgangs oder Arbeitssystems von Bewertungsstufe 1 (sehr gering belastend) bis Bewertungsstufe 7 (Überbelastung sehr wahrscheinlich).

Als „Altersstabil“ wurden hierbei Arbeitssysteme definiert, die keine roten Bewertungen in den relevanten Arbeitsbelastungsmerkmalen aufweisen. Auf einer Metaebene können die Arbeitssysteme auf Werksebene, auf Abteilungsebene oder auf Kostenstellenebene sortiert und gelistet werden, so dass der prozentuale Anteil der altersstabilen und nicht altersstabilen Arbeitssysteme ausgewiesen wird (siehe Abb. 7.4).

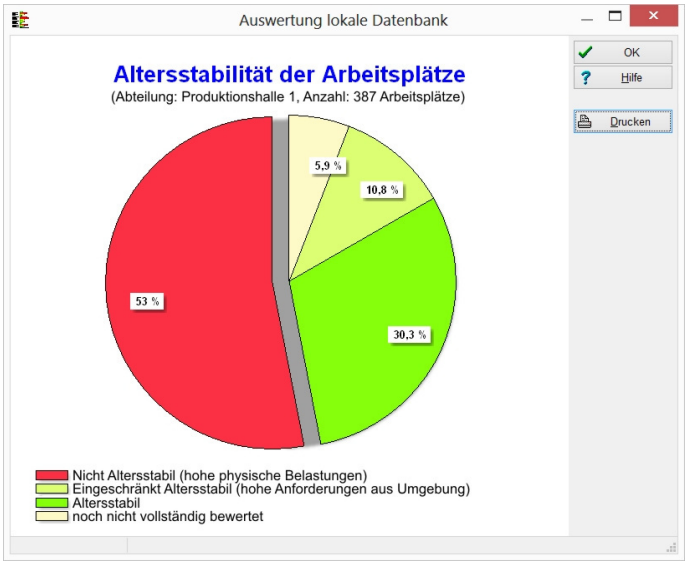



**Abb. 7.4** Arbeitssysteme können auf Divisionsebene, auf Werksebene, auf Abteilungsebene oder auf Kostenstellenebene sortiert und gelistet werden, so dass beispielsweise der prozentuale Anteil der altersstabilen, bedingt altersstabilen und nicht altersstabilen Arbeitssystemen ausgewiesen werden kann.

Der konkrete Verbesserungsbedarf wird dabei natürlich auf der Ebene einzelner Arbeitsvorgänge („Tätigkeiten“) von Arbeitssystemen abgeleitet und die dabei ermittelten Maßnahmen der Arbeitsgestaltung umgesetzt sowie auf deren Wirksamkeit überprüft.

## 7.6 Ergebnisse der Arbeitssystembeurteilungen

Bisher wurden auf diese Art und Weise die Arbeitsbelastungen von Tätigkeiten mit ca. 20.000 Beschäftigten ermittelt und bewertet sowie ein entsprechendes Kataster für „altersstabile Arbeitssysteme“ aus über 30.000 einzelnen Arbeitsvorgängen erstellt. Hieraus wurden Kennzahlen abgeleitet, eine Maßnahmenpriorisierung vorgenommen sowie Gestaltungsmaßnahmen festgelegt und umgesetzt.

Auf diesem Kataster der altersstabilen Arbeitssysteme basieren die weiteren Komponenten des Handlungsfeldes „Arbeitsplatzgestaltung, Arbeitsorganisation und Arbeitseinsatz“ des Demografie-Handlungsprogramms der Continental AG. So ist zum Beispiel die Möglichkeit der kontinuierlichen Reduktion von Arbeitsbelastungen sowohl durch technische als auch durch organisatorische Maßnahmen möglich, messbar und nachvollziehbar.

Das Konzept stellt seine Tragfähigkeit zunehmend unter Beweis. Prioritäten für die Arbeitssystemgestaltung wurden abgeleitet und bereits eine Reihe von Maßnahmen umgesetzt, die zur Reduktion der Arbeitsbelastungen führten. Innerhalb des Jahres 2012 wurde beispielsweise der Anteil altersstabiler Arbeitssysteme um 7 % erhöht. Und für die erste Jahreshälfte 2013 konnte bereits eine Verbesserung um weitere 3 % erreicht werden.

**Abb. 7.5** Teilnehmerinnen und Teilnehmer der 3. Ergonomie-Netzwerk-Jahreskonferenz der Continental AG am 10.-11. März 2015 in Berlin.

Zwischenzeitlich wurden an allen deutschen Standorten der Continental AG spezifische Ergonomieteams eingeführt sowie eine Netzwerkstruktur für den deutschen Wirtschaftsstandort der Continental AG implementiert. Derzeit gibt es innerhalb der Continental AG in Deutschland so drei werksübergreifende Ergonomie-Netzwerke mit jeweils rund 20-30 Teilnehmer/innen. Diese treffen sich in regelmäßigen Abständen im Wechsel an den unterschiedlichen Standorten der Continental AG, um sich gemeinsam Beispiele „Guter Praxis“ von ergonomisch gestalteten Arbeitssystemen anzuschauen, aber auch um ergonomische Problem-Arbeitsvorgänge zu betrachten und gemeinsam Lösungen zu erarbeiten.

So kamen im März 2015 rund 100 Teilnehmer/innen aus den drei Ergonomie-Netzwerken im Rahmen eines bundesweiten zweitägigen Ergonomie-Netzwerk-

Kongresses in Berlin zusammen (Abb. 7.5), um sich die generierten „Good-Practice-Beispiele“ gegenseitig im Rahmen eines Wettbewerbs vorzustellen. Umrahmt wurden diese Beispiele „Guter Praxis“ durch verschiedene Impulsreferate, Workshops und Ausstellungen. Hierbei wurden die besten „Good-Practice-Beispiele“ von Dr. Ariane Reinhart, Mitglied des Vorstands, Personal, Arbeitsdirektorin der Continental AG, prämiert (Abb. 7.6).

**Abb. 7.6** Prämierung der Wettbewerbssiegerteams durch Personalvorstand und Arbeitsdirektorin Dr. Ariane Reinhart (2.v.r.) beim 3. Ergonomie-Netzwerk-Kongress am 10. März 2015 in Berlin.

## 7.7 Beispiele „Guter Praxis“ zur menschengerechten Arbeitsgestaltung

Im Folgenden werden einige Good-Practice-Beispiele dargestellt, die im Rahmen der 1. Ergonomie-Netzwerk-Konferenz der Continental AG im Jahr 2012 vorgestellt und ausgezeichnet wurden.

### 7.7.1 Beispiel zur Optimierung von manuellen Arbeitsprozessen und dynamischer Muskelarbeit: Gestaltung der Prozesskontrolle beim Aluminium-Bonden

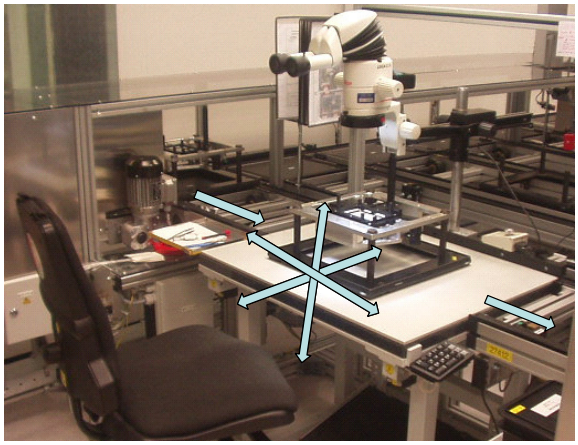
**Ausgangssituation:** Zur Sichtkontrolle muss der mit einer Baugruppe bestückte Werkstückträger aus der Linie ausgeschleust und unter dem Mikroskop auf einer Gleitfläche (Hartlaminat) bewegt werden. Die zu bewegenden Gewichte liegen je nach Produkt zwischen 1,5 und 3,9 kg. Die bei der Bewegung auftretenden hohen Seitenkräfte führen zu einer hohen Belastung des Schulter-, Armsystems wie auch der Rückenmuskulatur.

**Maßnahmen:** Die auftretenden Reibungskräfte wurden durch Verwendung einer Kugelplatte mit engster Teilung statt der Hartlaminatplatte deutlich reduziert. Eine Stabilisierung erfolgte durch die Verbindung der Kugelplatte mit einer minimierten Gleitfläche. Eine Einstellung des Gleitwiderstandes ist durch die Höhenverstellung der Kugelplatte individuell möglich.

**Ergebnisse:** Durch die Umgestaltung ist nur noch ein Minimum an dynamischer Muskelarbeit erforderlich. Die aufzubringenden Kräfte wurden deutlich reduziert.

**Projektaufwand:**

- Arbeitsaufwand: bis 8 Stunden
- Projektdauer: bis 1 Monat
- Kosten: 5.000 € pro Kontrollplatz



| Bewertungsstufe: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Körperhaltung | | | | | | | |
| Körperbewegung | | | | | | | |
| Lastenhandhabung | | | | | | | |
| Dynamische Muskelarbeit | | | | | | | |
| Manuelle Arbeitsprozesse | | | | | | | |

| Bewertungsstufe: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Körperhaltung | | | | | | | |
| Körperbewegung | | | | | | | |
| Lastenhandhabung | | | | | | | |
| Dynamische Muskelarbeit | | | | | | | |
| Manuelle Arbeitsprozesse | | | | | | | |

**Legende:** **Die Balkendiagramme zeigen die Bewertung des Arbeitsvorgangs von Stufe 1 = sehr gering belastend bis Stufe 7 = Überbelastung sehr wahrscheinlich.**

**Abb. 7.7** **Links:** Bewegen eines Werkstückträgers unter dem Mikroskop auf einer Gleitfläche (Hartlaminat). **Rechts:** Verminderung der Reibungskräfte durch Verwendung einer Kugelplatte mit engster Teilung.

### 7.7.2 Beispiel zur Optimierung von manuellen Lastenhandhabungen: Entwicklung einer Hebehilfe mit unterschiedlichen Greifsystemen

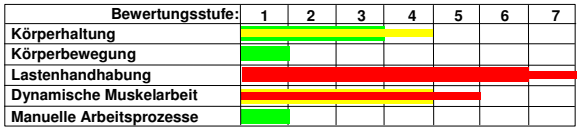
**Ausgangssituation:** An verschiedenen Arbeitssystemen müssen Gewichte (in der Regel Kisten oder Produkte) zwischen 5 und 15 kg manuell gehoben werden. Eine Recherche unter den am Markt angebotenen Hebegeräte führte zu der Erkenntnis, dass diese die Anforderungen für eine Umgestaltung nicht erfüllen, da hiermit die Anwendung pro Arbeitsvorgang zu zeitaufwendig und zu unflexibel wird und dies somit unwirtschaftliche Kostensteigerungen zur Folge haben würde.

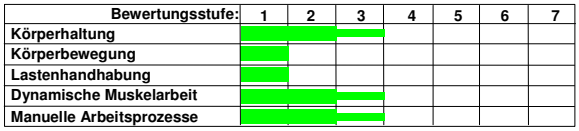
**Maßnahmen:** Es wurde ein kostengünstiges Hebegeräte mit Greifer entwickelt, um hiermit z.B. Klein-Ladungs-Träger (Standardisierte Kunststoffbehälter teilweise auch mit höheren Gewichten) auf ein Rollenband abzulegen. Greifer und Hebegerät sind Eigenkonstruktionen mit CE-Kennzeichnung. Die Greifer werden passend für die unterschiedlichsten Anwendungen selbst entwickelt.

**Ergebnisse:** Das neu entwickelte Hebegerät befreit die Beschäftigten von manueller Lastenhandhabung und hat eine sehr hohe Akzeptanz unter den Beschäftigten. Es wurde bisher an sechs Montagebändern sowie zwei weiteren anderen Anwendungen eingeführt. Insgesamt sind bisher 10 Geräte im Einsatz.

**Projektaufwand:**

- Arbeitsaufwand: 1. Gerät: 2 Wochen, jedes weitere ca. 1 Woche
- Projektdauer: Entwicklung bis zur CE-Kennzeichnung ca. 1 Jahr
- Kosten: je Fall 3.000 bis 6.000 €




**Legende:** **Die Balkendiagramme zeigen die Bewertung des Arbeitsvorgangs von Stufe 1 = sehr gering belastend bis Stufe 7 = Überbelastung sehr wahrscheinlich.**

**Abb. 7.8** **Links:** Manuelles Heben der Klein-Ladungs-Träger bzw. Klein-Last-Träger (KLT). **Rechts:** Einsatz eines Hebegerätes mit Greifern für unterschiedliche Anwendungen.

### 7.7.3 Beispiel zur Optimierung der Körperhaltung und dynamischer Muskelarbeit: Bebänderung von Paletten

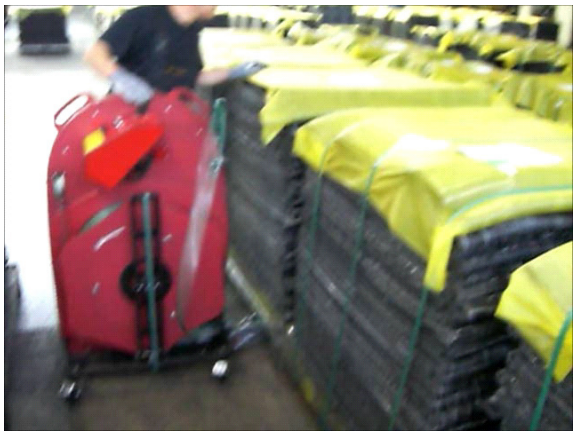
**Ausgangssituation:** Um bei der Bebänderung von Paletten die Packbänder unter der Palette durchzuführen, müssen sich Beschäftigte jeweils sehr tief bücken. Hierbei wird häufig eine schlechte, stark vorgebeugte Körperhaltung eingenommen; teilweise ist auch ein Hinknien erforderlich.

**Maßnahmen:** Eine Bändermaschine wurde angeschafft. Die Beschäftigten können die Maschine im Stehen bedienen. Das tiefe Bücken entfällt vollständig, die Maschine fädelt das Band unter der Palette durch und bringt es in den Greifraum des Beschäftigten.

**Ergebnisse:** Die Maschine wird für 100 % der Paletten benutzt. Die Beschäftigten müssen sich nicht mehr tief bücken. Die unergonomischen Arbeitsbelastungen durch ungünstige Körperhaltung und durch dynamische Muskelarbeit wurden deutlich reduziert. Darüber hinaus hat sich die Arbeitsvorgangsdauer bei der Bebänderung einer Palette halbiert.

**Projektaufwand:**

- Arbeitsaufwand: unter 8 Stunden
- Projektdauer: bis 1 Monat
- Kosten: ca. 10.000 €



| Bewertungsstufe: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Körperhaltung | | | | | | | |
| Körperbewegung | | | | | | | |
| Lastenhandhabung | | | | | | | |
| Dynamische Muskelarbeit | | | | | | | |
| Manuelle Arbeitsprozesse | | | | | | | |

| Bewertungsstufe: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Körperhaltung | | | | | | | |
| Körperbewegung | | | | | | | |
| Lastenhandhabung | | | | | | | |
| Dynamische Muskelarbeit | | | | | | | |
| Manuelle Arbeitsprozesse | | | | | | | |

**Legende:** **Die Balkendiagramme zeigen die Bewertung des Arbeitsvorgangs von Stufe 1 = sehr gering belastend bis Stufe 7 = Überbelastung sehr wahrscheinlich.**

**Abb. 7.9** **Links:** Manuelles Bebändern von Paletten in schlechter, stark vorgebeugter Körperhaltung, teilweise auch im Knien. **Rechts:** Unterstützung der Tätigkeit mit einer Bebänderungsmaschine.

### 7.7.4 Beispiel zur Optimierung der Lastenhandhabung, dynamischen Muskelarbeit und der Körperhaltung: Manueller Transport von Gewebekassetten

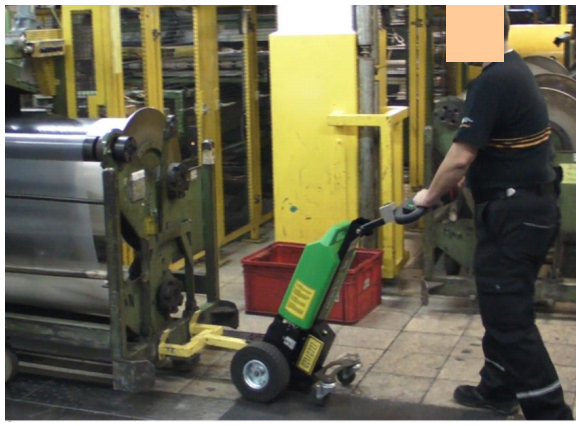
**Ausgangssituation:** Bisher wurden leere Gewebekassetten per Hand aus der Maschine gezogen und auf den Abstellplatz abgestellt. Anschließend wurde die aufgefüllte Kassette, das Gewicht liegt bei ca. 730 kg, vom Bereitstellungsplatz in die Maschine geschoben. Die größten Belastungen entstehen durch das Beschleunigen oder Abbremsen der Kassetten. Weiterhin bestand eine erhöhte Unfallgefahr durch das schnelle Einfahren der Kassette in die Maschine. Es bestand Quetschgefahr, da ein schnelles Abbremsen auf Grund der großen Masse nicht möglich war.

**Maßnahmen:** Durch die Anschaffung einer akkuangetriebenen Ziehhilfe (Anbieter: Fa. Movexx) und die Anpassung des Aufnahmehakens wurde die Tätigkeit der Beschäftigten auf das genaue Steuern der Gewebekassetten fokussiert.

Ergebnisse: Durch die Einführung der akkuangetriebenen Ziehhilfe wurden die Tätigkeiten der Beschäftigten um die unergonomischen Arbeitsbelastungen eliminiert und damit ist das Arbeitssystem jetzt altersgerecht gestaltet worden.

**Projektaufwand:**

- Arbeitsaufwand: 1 Woche
- Projektdauer: ca. 8 Wochen (Lieferzeit)
- Kosten: ca. 5.000 €



| Bewertungsstufe: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Körperhaltung | | | | | | | |
| Körperbewegung | | | | | | | |
| Lastenhandhabung | | | | | | | |
| Dynamische Muskelarbeit | | | | | | | |
| Manuelle Arbeitsprozesse | | | | | | | |

| Bewertungsstufe: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Körperhaltung | | | | | | | |
| Körperbewegung | | | | | | | |
| Lastenhandhabung | | | | | | | |
| Dynamische Muskelarbeit | | | | | | | |
| Manuelle Arbeitsprozesse | | | | | | | |

**Legende:** **Die Balkendiagramme zeigen die Bewertung des Arbeitsvorgangs von Stufe 1 = sehr gering belastend bis Stufe 7 = Überbelastung sehr wahrscheinlich.**

**Abb. 7.10** **Links:** Situation vor der Durchführung der Gestaltungsmaßnahmen, manuelles Ziehen und Schieben der Gewerbekassette. **Rechts:** Optimierung des Transports von Gewerbekassetten durch die Unterstützung einer akkuangetriebenen Ziehhilfe von Movexx®.

## 7.8 Zusammenfassung und Ausblick

Die einzelnen Standorte der Continental AG in Deutschland sind aufgefordert, ihre eingeleiteten Verbesserungsmaßnahmen standardisiert zu dokumentieren (Investitionskosten der Maßnahme, Personalaufwand, Vorher-/Nachherbewertung der Arbeitsbelastungen) und in eine zentrale Good-Practice-Datenbank im Intranet einzustellen, damit Werke und Abteilungen mit ähnlichen Problemstellungen hierauf zugreifen und daraus lernen können.

Zudem durchlaufen neu anzulegende Arbeitssysteme im Vorfeld eine Bewertung mit den oben beschriebenen Methoden und werden erst realisiert, wenn alle Arbeitsbelastungen „grün“ bewertet wurden. Der hierbei erreichte Effekt ist primärpräventiv, das heißt, dass nicht nur ältere Beschäftigte entlastet werden, sondern auch jüngere Beschäftigte durch die Arbeitssysteme weniger stark belastet und beansprucht werden sowie somit länger gesund und leistungsfähig bleiben können.

Die Akzentuierung auf die Qualität der Arbeit, verbunden mit einer kontinuierlichen Verbesserung der Ergonomie, wird als unternehmensseitige Vorleistung der Continental AG gesehen (Verhältnisprävention) und erhöht die Akzeptanz für die anderen Bausteine des Demografie-Programms. Sind doch die Bereiche „Gesundheitsmanagement“ und „Qualifikation“ Module, die auch den Beschäftigten mehr Eigenverantwortung und Leistungsbereitschaft für die permanente Qualifizierung und Gesunderhaltung im Sinne der Erhaltung der Arbeits- und Beschäftigungsfähigkeit übergeben und abverlangen (Verhaltensprävention).

Grundlage für einen gemeinsamen Erfolg des Unternehmens und der Beschäftigten in diesem Bereich ist hier ein abgestimmter und verbindlicher Mix zwischen Verhältnis- und Verhaltensprävention. Beides gehört zusammen und bedingt sich gegenseitig.

Dabei wird eine hohe Glaubwürdigkeit sowohl beim Management als auch beim Betriebsrat durch die Anwendung gesicherter arbeitswissenschaftlicher Methoden erreicht. Durch die objektive Analyse und Bewertung der Arbeitsbelastungen im Arbeitssystem ist diese Art der Dokumentation unabhängig vom Datenschutz. Somit wird auch eine breite Akzeptanz auf der Seite der Beschäftigten geschaffen, durch die reine Analyse und Bewertung der Arbeitssysteme, losgelöst von der individuellen Belastung und Beanspruchung einzelner Beschäftigten.

Die standardisierte Dokumentation erlaubt auch eine rasche Übersicht über die lokale ergonomische und demografische Situation der Arbeitssysteme durch die systematische Auswertung der BDS-Datenbank.

Das verwendete Ampelsystem hat einen Aufforderungscharakter, der auch im Management und in den weiteren Fachabteilungen (Industrial Engineering, Werkzeugbau etc.) wahrgenommen und verstanden wird. Die Steuerung mit den ergonomischen Kenngrößen durch Zielsetzung und Controlling funktioniert ebenfalls.

Somit wird das eingesetzte Methodeninventar als sehr hilfreich angesehen, um die Notwendigkeit der ergonomischen Gestaltung von Arbeitssystemen zu erkennen und Verbesserungen belastungsseitig zu ermitteln und umzusetzen.

Nach der erfolgreichen Einführung des Demografie-Programms in Deutschland ist der weltweite Roll-Out des „Belastungs-Dokumentations-Systems“ in Werken der Continental AG im Herbst 2014 gestartet, dessen Verankerung in allen Kontinenten bis zum Jahr 2018 geplant ist.

## 7.9 Literatur

Alt, R.; H. P. Euler, E. Fehse, H. Hein, R. Markmann, B. Schulte, F. Wille, N. Wolf (1988): Altersadäquate Arbeitsanforderungen. Leistungswandel älterer Mitarbeiter am Beispiel „Reifenkonfektionäre“. Teilbericht I. Schriftenreihe „Humanisierung des Arbeitslebens“. Band 80. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988.

BIB (2013): Erstmals seit 1974 mehr Erwerbstätige als Rentner unter den 60- bis 65-Jährigen. Pressemitteilung des Bundesinstituts für Bevölkerungsforschung vom 14.08.2013 www.bib-demografie.de/SharedDocs/Meldungen/DE/Aktuelles_Box/2013_08_14_gdm_08_beschaeftigung_rente.html (Abruf vom 14.08.2013).

BMAS (2010): Bericht der Bundesregierung „Aufbruch in die altersgerechte Arbeitswelt". Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.). Berlin, 2010.

Dolfen, P.; A. Klußmann (2012): Ergonomische Gestaltung von Arbeitssystemen mit physischen Belastungen als Beitrag zur Fachkräftesicherung. In: VDBW aktuell – Das Magazin für Arbeitsmedizin in Deutschland, Ausgabe III / 2012 (September 2012: Schwerpunktthema: Muskel-Skelett-Erkrankungen), Verband Deutscher Betriebs- und Werksärzte e.V., Karlsruhe, 2012, S. 12-13.

Gebhardt, H.; B.H. Müller, H. Peters (2003): Instrumente des Arbeits- und Gesundheitsschutzes: Das Belastungs-Dokumentations-System (BDS) und die Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen (BAB). REFA-Nachrichten, 56 (2003), Heft 2/April 2003, REFA, Darmstadt, 2003.

Hettinger, T. (1975): Arbeitswissenschaft in der Betriebspraxis. In: angewandte Arbeitswissenschaft. Heft-Nr. 60, Dez. 1975. Hrsg.: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (IfaA), Bachem Verlag, Köln, 1975.

Hettinger, T. (1984): Probleme der Übertragbarkeit arbeitswissenschaftlicher Forschungsergebnisse in der Praxis. In: Leistung und Lohn – Zeitschrift für Arbeitswirtschaft. Nr. 150/151, Juni 1984. Hrsg.: Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (BDA). Heider-Verlag, Bergisch Gladbach, 1984.

Hettinger, T.; B.H. Müller, H. Peters, J. Peters, R. Tielsch, M. Ulrich (1985): Hitzearbeit. HdA-Bd. 67, BMFT, Bonn, 1985.

Hollmann, W.; Hettinger, T. (Hrsg.) (2000): Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. 4. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart, 2000.

Klußmann, A.; C. Mühlemeyer, K.-H. Lang, P. Dolfen, K.-D. Wendt, Hj. Gebhardt, B. Neumann, A. Schäfer (2013): Praxisbewährte Methoden zur Bewertung und Gestaltung physischer Arbeitsbelastungen. Leistung und Lohn – Zeitschrift für Arbeitswirtschaft, Nr. 541-545, BDA – Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (Hrsg.), Berlin, Heider-Verlag, Bergisch Gladbach, 2013.

Lang, K.-H.; A. Schäfer, H. Gebhardt, B.H. Müller (2003): Moderne Werkzeuge zur Bewertung und Gestaltung industrieller Arbeit. In: Leistung und Lohn – Zeitschrift für Arbeitswirtschaft. Nr. 389/393, Nov. 2003. Hrsg.: Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (BDA), Berlin, Heider-Verlag, Bergisch Gladbach, 2003.

Müller, B.H. (1982): Synthetische Arbeitsplätze – Verfahren zur Entwicklung von arbeitsplatztypischen Belastungs-Beanspruchungs-Profilen. Dissertation. Wuppertal, 1982.

Müller, B.H. (1989): Ergonomie – Bestandteil der Sicherheitswissenschaft. REFA. Beuth. Habilitation. Berlin, 1989.

Müller, B.H.; Th. Hettinger (1981): Interpretations- und Bewertungsverfahren arbeitswissenschaftlich-ergonomischer Felddaten. Z.Arb.wiss. 35(1981), S. 82-86.

Peters, H. (1986): Verfahren zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen BAB. In: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Erfassung und Bewertung arbeitswissenschaftlicher Daten, Schriften des IfaA Nr. 62, Köln, 1986, S. 64-78.

Saup, W. (1993): Alter und Umwelt. Eine Einführung in die ökologische Gerontologie. Stuttgart, Kohlhammer.

Schäfer, A.; K.-H. Lang, H. Gebhardt, M. Deilmann, B.H. Müller (2006): 30 g Gesünder Arbeiten – die CD für den Arbeits- und Gesundheitsschutz. In: Leistung und Lohn – Zeitschrift für Arbeitswirtschaft, Nr. 428-432, Nov. 2006. Hrsg.: Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (BDA), Berlin, Heider-Verlag, Bergisch Gladbach, 2006.

Spitzer, H.; T. Hettinger, G. Kaminsky (1982): Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit. 6. Auflage, Beuth Verlag, Berlin, 1982.

Steinberg, U.; F. Liebers, A. Klußmann, H. Gebhardt, M.A. Rieger, S. Behrendt, U. Latza (2012): Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse 2011. Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision. Forschungsbericht F 2195: 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2012.

SuGA (2013): Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2011 - Unfallverhütungsbericht Arbeit. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2013.

**Abb. 7.11** Senior Vice President CSH Dr. Peter Dolfen stellte am 9. April 2014 bei der Jubiläumsveranstaltung in Wuppertal das Demografie-Programm der Continental AG zur Fachkräftesicherung vor.

**Abb. 7.12** Teil des Plenums beim 100. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquium auf dem Campus Freudenberg der Bergischen Universität.

# 8 Herausforderung für das Arbeitsrecht: Reduzierung von Stammbelegschaften[1] (OLAF DEINERT)

**101. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 29. April 2014 in Wuppertal**

**Prof. Dr. Olaf Deinert**
FG Bürgerliches Recht, Arbeits- und Sozialrecht der
Georg-August-Universität Göttingen

## 8.1 Einführung

Seit in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die große Arbeitsmarktkrise in Deutschland die Vorstellung von einer Dauerbeschäftigung während des gesamten Berufslebens bei einem Arbeitgeber für Viele zur Illusion gemacht hat[2], ist Flexibilität, vor allem der Arbeitnehmer, gefragt. Zunehmend wird nicht nur Flexibilität im Berufsleben zum Arbeitsplatzwechsel gefordert, sondern auch Flexibilität innerhalb der Beschäftigung. Eine solche Flexibilität hat das Arbeitsrecht in großem Umfang in der Zwischenzeit möglich gemacht. Es schafft Flexibilisierungsspielräume, vor allem im Arbeitgeberinteresse, teilweise auch im Arbeitnehmerinteresse. Dies führt zu einer Erosion des „Normalarbeitsverhältnisses“[3]. Diejenigen, die nicht im Normalverhältnis arbeiten, werden ein Stück weit an den Rand der Belegschaft gedrängt. Das betrifft insbesondere Teilzeitbeschäftigte, besonders geringfügig Beschäftigte („Minijobber“), sowie befristet Beschäftigte[4]. Das namentlich auf EU-Ebene diskutierte „Flexicurity-Konzept“, das Flexibilität einerseits und Sicherheit andererseits miteinander ver-

---

[1] Die Thematik wurde vom Verfasser im Rahmen einer umfangreicheren Untersuchung in RdA 2014, 65, behandelt. Die nachfolgenden Ausführungen reduzieren sich auf den wesentlichen Aspekt der Reduzierung von Stammbelegschaften, vor allem durch Leiharbeit und (Re-Organisation der Unternehmen in Netzwerkstrukturen.

[2] Vgl. IAB-Kurzbericht 27/2006.

[3] Vgl. statt vieler Waltermann, Abschied vom Normalarbeitsverhältnis?, Welche arbeits- und sozialrechtlichen Regelungen empfehlen sich im Hinblick auf die Zunahme neuer Beschäftigungsformen und die wachsende Diskontinuität von Erwerbsbiografien?, Gutachten B zum 68. Deutschen Juristentag, München 2010.

[4] Deinert, RdA 2014, 65, zu II.

binden soll[5], konnte bislang noch nicht nachhaltig eingelöst werden. Seit den sogenannten Hartz-Reformen Anfang dieses Jahrtausends hat die Veränderung von Belegschaftsstrukturen allerdings noch eine neue Dimension erhalten. Durch die Deregulierung des Rechts der Leiharbeit und systematischen Einsatz von Leiharbeitnehmern in den Betrieben hat man es nicht mehr nur mit einer Zunahme von Randbelegschaften zu tun. Vielmehr wird der Anteil Fremdbeschäftigter, die im Betrieb tätig werden, größer. Dabei ermöglicht die Leiharbeit den weisungsgebundenen Einsatz von Arbeitnehmern fremder Arbeitgeber. Leiharbeiter sind ein Stück weit Fremdbelegschaften.

## 8.2 Reduzierung von Kernbelegschaften und Ausweitung von Fremdbelegschaften

Zunächst war Leiharbeit lange Zeit kein Thema in der Nachkriegsbundesrepublik, weil sie in das Vermittlungsmonopol der Bundesanstalt für Arbeit einbezogen war[6]. Freilich hielt das Bundesverfassungsgericht ein gänzliches Verbot gewerbsmäßiger Arbeitnehmerüberlassung für unvereinbar mit Art. 12 Abs. 1 GG[7]. Der Gesetzgeber hat darauf reagiert und die Leiharbeit in gewissen Schranken zugelassen und durch das AÜG reguliert[8].

Zu einer wahrhaften Boombranche wurde die Leiharbeit, nachdem die nach ihrem Vorsitzenden Peter Hartz benannte sogenannte Hartz-Kommission diese als ein mögliches Instrument zur Verringerung von Arbeitslosigkeit sowie zur Verkürzung von Arbeitslosigkeitszeiten und damit als Brückeninstrument in reguläre Beschäftigung ansah und dementsprechend eine Aufwertung durch sogenannte Personalserviceagenturen (PSA) sowie die Deregulierung der Leiharbeit gefordert hat[9]. Eine entsprechende konzeptionelle Umgestaltung erfolgte durch das Erste Gesetz für mo-

---

5 Grünbuch, Ein modernes Arbeitsrecht für die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts, KOM (2006) 708 endg.; dazu Wank, AuR 2007, 244 ff.; Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Gemeinsame Grundsätze für den Flexicurity-Ansatz herausarbeiten: mehr und bessere Arbeitsplätze durch Flexibilität und Sicherheit, KOM (2007), 359 endg.

6 Zur verfassungsrechtlichen Billigung des Vermittlungsmonopols BVerfGE 21, 245, s. aber EuGH Slg. 1991 I-197-Höfner und Elser und in der Folge die völlige Freigabe der Arbeitsvermittlung durch das Erste Gesetz zur Umsetzung des Spar-, Konsolidierungs- und Wachstumsprogramms (Erstes SKWPG) vom 21.12.1993, BGBl. I 2353, sowie Gesetz zur Vereinfachung der Wahl der Arbeitnehmervertreter in den Aufsichtsrat vom 23.3.2002, BGBl. I 1130.

7 BVerfGE 21, 261.

8 Vgl. Kittner, Arbeits- und Sozialordnung, 39. Aufl., Frankfurt/M. 2014, Einleitung I 1 zum AÜG, Nr. 4.

9 Moderne Dienstleistungen am Arbeitsmarkt, Bericht der Kommission, 2002, S. 147 ff., 157.

derne Dienstleistungen am Arbeitsmarkt[10]. Damit wurde unter anderem ein Anspruch der Leiharbeitnehmer auf Gleichbehandlung mit den Stammbeschäftigten des Einsatzbetriebes (§§ 9 Nr. 2, 10 Abs. 4 AÜG) eingeführt[11]. Wesentliche Einschränkungen des Leiharbeitsrechts wurden aufgehoben. Besondere Befristungsverbot, Neueinstellungsverbot, Synchronisationsverbot und Höchstbefristungsdauer entfielen, weil nach den Vorstellungen des Gesetzgebers im Gegenzug der Gleichbehandlungsanspruch eingeführt wurde[12]. Von diesem Gleichbehandlungsanspruch gab es aber zwei Ausnahmen: einerseits konnte innerhalb der ersten sechs Wochen nach Neueinstellung im Anschluss an Arbeitslosigkeit ein geringeres Entgelt gezahlt werden, wenn der Arbeitnehmer mindestens eine Vergütung in Höhe des bisherigen Arbeitslosengeldes erhielt. Diese Regelung entfaltete allerdings kaum praktische Bedeutung und wurde 2011 wieder beseitigt[13]: denn andererseits konnte vom Gleichbehandlungsgrundsatz infolge einer Tariföffnungsklausel abgewichen werden. Diese Tariföffnungsklausel wiederum hatte einen Konstruktionsfehler[14]. An sich würde die Tarifdispositivität einer gesetzlichen Regelung eine Gewerkschaft vor keine großen Herausforderungen stellen. Die Forderung der Arbeitgeber nach einer Unterschreitung der Gleichbehandlung könnte eine Gewerkschaft einfach mit der gesetzlichen Regelung im Rücken zurückweisen. Dementsprechend ging auch der Gesetzgeber davon aus, dass die Tarifdispositivität der Regelung vor allem auf eine Ermöglichung flexibler Gestaltungen, etwa durch Pauschalisierungen sowie die Chance auf eine Verstetigung der Vergütung für Verleihzeiten und verleihfreie Zeiten ermögliche[15]. Die Tarifdispositivität wäre dem gemäß ein Katalysator für die Etablierung von Tarifstrukturen in der Verleihbranche. Allerdings fanden die Verleiharbeitgeber in der CGZP[16] eine Organisation, die zum Abschluss von Tarifverträgen auf geringem Niveau (7,21 € pro Std.) bereit waren[17]. Die so vereinbarte Unterschreitung des Gleichbehandlungsgrundsatzes würde zunächst zwar nur die Mitglieder der der CGZP angeschlossenen Organisationen treffen. Nach der gesetzlichen Regelung ist die Abweichung vom Gleichbehandlungsgrundsatz aber bereits im Falle einer Bezugnahme im Leiharbeitsvertrag auf den Tarifvertrag möglich. Da nun in den Arbeits-

---

[10] V. 23.12.2002, BGBl. I 4607.

[11] Ein Gleichbehandlungsanspruch war bereits durch das Job-AQTIV-Gesetz (v. 10.12.2001, BGBl. I 3443) eingeführt worden, damals aber noch von einer zwölfmonatigen Karenzzeit abhängig. Dieser Gleichbehandlungsanspruch ist nach BVerfG DB 2005, 110, verfassungsgemäß.

[12] BT-Drucks. 15/25, S. 39.

[13] Erstes Gesetz zur Änderung des Arbeitnehmerüberlassungsgesetzes – Verhinderung von Missbrauch der Arbeitnehmerüberlassung v. 28.4.2011, BGBl. I 642.

[14] Vgl. zum Folgenden Deinert, NZA 2009, 1176, 1177; vgl. auch Krause, KJ 2013, 119, 124 f.; Waltermann, NZA 2010, 482, 483, 485.

[15] BT-Drucks. 15/25, S. 38.

[16] Christliche Gewerkschaften Zeitarbeit und Personalserviceagenturen.

[17] Dazu bereits Schüren, Jahrbuch des Arbeitsrechts 41 (2004), S. 49, 51 ff.

verträgen der Leiharbeiter regelmäßig auf diese Tarifverträge Bezug genommen wurde, wurde der Gleichbehandlungsgrundsatz damit flächendeckend ausgehöhlt. Das setzte die DGB-Gewerkschaften in Zugzwang, ging es doch nun nicht mehr nur darum, die für die Arbeitnehmer nachteilige Gestaltung abzuwehren, sondern durch positive Gestaltung Tarifverträge von den Arbeitgebern einzufordern. In der schlecht organisierten Branche konnte das in der Folge nur auf geringfügig höherem Niveau (7,41 € pro Std.) gelingen.

Einem Schildbürgerstreich gleich hatte der Gesetzgeber mit dieser Regelung also wesentliche Schutzvorschriften des Leiharbeitsrechts beseitigt, ohne ein echtes Äquivalent dafür zu schaffen. In der Folge führte dies zu einem unglaublichen Anstieg der Zahlen der Leiharbeitnehmer. Waren es im Jahr 2003 noch etwa 300.000, lag die Zahl der Leiharbeiter im Jahr 2010 bereits bei 742.000. Freilich ging etwa die Hälfte der so gewonnenen Arbeitsplätze in anderen Branchen außerhalb der Leiharbeitsbranche verloren[18]. Die von der Hartz-Kommission erhoffte Brückenfunktion der Leiharbeit war demgegenüber nur von geringer Bedeutung[19]. 2008 wurde bereits davon berichtet, dass etwa 1/4 der Betriebe reguläre Beschäftigung durch Leiharbeit ersetze[20]. Unter dem Strich konnte man mit diesen Instrumenten mehr weisungsgebundene Beschäftigte einsetzen, die günstiger zu haben waren als eigene Arbeitnehmer. Damit wurde eine partielle Verdrängung der Kernbelegschaften durch Fremdbelegschaften bewirkt. Das zeigt sich auch gut in der Pufferfunktion der Leiharbeit beim Arbeitsplatzabbau, wie sie nach der Krise der Jahre 2008/2009 zu beobachten war. Die Zahl der Leiharbeitnehmer sank um mehr als 1/4, während im Jahre 2011 bereits wieder der Stand des Jahres 2008 erreicht worden war. Damit erwies sich die Leiharbeit als Schutzschild für die engere Kernbelegschaft[21]. Auch der berühmte „Klebeeffekt“, wonach Leiharbeitnehmer, wenn sie erst einmal im Einsatzbetrieb reüssieren, voraussichtlich vom Entleiher übernommen werden, war kaum feststellbar. Zwar haben rund 30% der Leiharbeiter eine Festanstellung gefunden[22]. Allerdings ist über das weitere Schicksal dieser Festanstellungen nichts bekannt. Insbesondere wird nicht zwischen unbefristeten und befristeten Anschlussbeschäftigungen unterschieden.

Folgeeffekt dieser Regelung ist, dass die Leiharbeiter als Fremdbelegschaftsangehörige deutlich schlechtere Bedingungen genießen als die Stammkräfte, so dass in vielen Betrieben Zweiklassenbelegschaften entstanden sind. Etwa 8% der Leiharbeiter sind auf ergänzende Grundsicherungsleistungen angewiesen. Nicht mehr die Flexibi-

---

[18] IAB-Kurzbericht 2/2013.

[19] Vgl. Hohendanner/Walwei, WSI-Mitt. 2013, 239, 241.

[20] Gute Arbeit 5/2008, S. 12.

[21] Vgl. Hohendanner/Walwei, WSI-Mitt. 2013, 239, 241.

[22] Böckler impuls 8/2008, S. 1.

lität des Personaleinsatzes stand im Vordergrund, ja nicht einmal die Möglichkeit kurzfristiger Anpassungen der Belegschaftsstärke ohne Rücksicht auf das Kündigungsrecht[23]. Vielmehr wurde Leiharbeit für Entleiher attraktiv dadurch, dass man Personalkosten durch Einsatz billigerer Fremdbelegschaften reduzieren konnte, ohne auf das Recht verzichten zu müssen, arbeitsbezogene Weisungen zu erteilen. Man ging sogar dazu über, die Entgeltkosten durch Ausgliederung von Beschäftigten in konzerneigene Leiharbeitsunternehmen mit anschließender Rückausleihe auf entsprechende Arbeitsplätze wie zuvor einzusetzen[24].

Konsequenz dieser Entwicklung ist, dass in einem Betrieb Beschäftigte mehrerer Unternehmen arbeiten. Es gilt nicht mehr der Grundsatz „ein Unternehmen – eine Belegschaft". Vielmehr kann es im Betrieb eine Belegschaft mit Angehörigen verschiedener Unternehmen geben. Das Arbeitsrecht war allerdings konzeptionell auf diese „Viel-Arbeitgeber-Belegschaften" nicht vorbereitet. Gleichwohl hat die Rechtsprechung dem an verschiedenen Stellen Rechnung getragen. So werden Leiharbeitnehmer, die dauerhaft beim Entleiher im Einsatz sind und nicht nur zur Vertretung von Stammarbeitskräften oder zur Bewältigung von Auftragsspitzen herangezogen werden, bei der Ermittlung der Betriebsgröße für die Kleinbetriebsklausel des §23 KSchG mit berücksichtigt[25]. Auch berücksichtigt die Rechtsprechung Leiharbeitnehmer zur Ermittlung der Betriebsgröße und damit der Betriebsratsgröße nach §9 BetrVG[26]. So wird dem Umstand Rechnung getragen, dass der Betriebsrat für eine Belegschaft zuständig ist, wenn diese auch rechtlich gesehen gespalten ist. Zudem werden Leiharbeitnehmer zur Ermittlung der Belegschaftsstärke im Rahmen des §111 BetrVG berücksichtigt[27]. Dieser Sichtweise entspricht auch eine Entscheidung des BAG, wonach zur Ermittlung der sechsmonatigen Betriebszugehörigkeitsdauer als Voraussetzung des passiven Wahlrechts nach §8 BetrVG eine Vorbeschäftigung als Leiharbeitnehmer im selben Betrieb zu berücksichtigen ist[28]. Auf derselben Linie liegt es schließlich, wenn das BAG entschieden hat, dass ein Vertragspartnerwechsel nach sachgrundloser Befristung hin zu einem Verleihunternehmen ausschließlich zu dem Zweck, erneut die Möglichkeit sachgrundloser Befristungen zu eröffnen, rechtsmissbräuchlich mit der Folge ist, dass das Leiharbeitsverhältnis als unbefristet nach §16 TzBfG gilt[29].

---

[23] Vgl. Krause, KJ 2013, 119, 120 f.

[24] Vgl. „Fall Schlecker beunruhigt Zeitarbeitsbranche", FAZ v. 12.1.2010.

[25] BAG DB 2013, 1494.

[26] BAG NZA 2013, 789, in Abwendung von BAG DB 2004, 1836.

[27] BAG NZA 2012, 221; zur Berücksichtigung gestellter Arbeitnehmer des öffentlichen Dienstes im Rahmen des formellen Betriebsverfassungsrechts vgl. auch BAG NZA 2012, 519.

[28] BAG AP Nr. 15 zu § 8 BetrVG 1972.

[29] BAG DB 2013, 2276.

Auf den ersten Blick scheint diese Entwicklung durchaus den Regelungen der Europäischen Leiharbeitsrichtlinie[30] zu entsprechen. Sie zielt nach ihrem Erwägungsgrund (11) darauf ab, einem Bedürfnis der Arbeitnehmer, Beruf und Privatleben zu vereinbaren, Rechnung zu tragen, zugleich aber einem Flexibilitätsbedarf der Unternehmen zu entsprechen und zur Schaffung von Arbeitsplätzen und zur Eingliederung in den Arbeitsmarkt beizutragen. Dementsprechend fordert Art. 4 der Richtlinie unter anderem die Abschaffung von Verboten und Einschränkungen, sofern diese nicht aus Gründen des Allgemeininteresses gerechtfertigt seien. Allerdings wird unter Bezugnahme auf das Flexicurity-Konzept (s.o. I.) in Erwägungsgrund (9) der Schutz der Leiharbeitnehmer an erster Stelle (Art. 2 der Richtlinie) genannt. Die umfassende Deregulierung, wie sie durch das erste Hartz-Gesetz erfolgte, ist vor diesem Hintergrund keineswegs richtlinienkonform[31]. Die gebotene Eindämmung des Wildwuchses der Leiharbeit wurde dementsprechend durch Gesetz vom 28.4.2011 in Angriff genommen[32]. Nach der Neukonzeption ist das AÜG nicht mehr nur für die gewerbsmäßige Arbeitnehmerüberlassung anwendbar, sondern für Arbeitnehmerüberlassung im Rahmen wirtschaftlicher Tätigkeit, so dass auch konzerninterne Leihe zum Selbstkostenpreis vom AÜG erfasst wird[33]. Gestärkt wurden die Rechte der Leiharbeiter im Einsatzbetrieb durch §13a AÜG mit der Verpflichtung des Entleihers zur Information über freie Arbeitsplätze und §13b AÜG über den gleichberechtigten Zugang zu Gemeinschaftseinrichtungen und –diensten. Die von Art. 6 Abs. 5 der Leiharbeitsrichtlinie geforderten Maßnahmen zur Förderung der Fort- und Weiterbildung der Leiharbeitnehmer sowie zum Zugang zu Kinderbetreuungseinrichtungen blieben leider ungeregelt. Das Problem der konzerninternen Auslagerung auf konzerneigene Verleihunternehmer mit dem Ziel der Kostensenkung wurde eingedämmt durch die die sogenannte Drehtürklausel des §9 Nr. 2 AÜG, wonach die Abweichung vom Gleichbehandlungsgrundsatz durch tarifliche Regelung während der ersten sechs Monate nach dem Wechsel zum Verleihunternehmen ausgeschlossen ist[34].

Darüber hinaus wird ein Bündel von Faktoren wirksam, die die Leiharbeit auf ihre eigentliche Aufgabe, eine Bewältigung von kurzfristigen Personalengpässen zu ermöglichen, zurückführen. Zunächst hat der Gesetzgeber in §1 Abs. 1 Satz 2 AÜG klargestellt, dass Leiharbeit „vorübergehend“ erfolgt. Demgegenüber hat der Gesetzgeber die Möglichkeit der tariflichen Abweichung vom Gleichbehandlungsgrundsatz nicht eingeschränkt oder beseitigt, allerdings wurde der tarifvertraglichen Unterbie-

---

[30] Richtlinie 2008/104/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Leiharbeit, ABl. L 327/9; dazu Boemke, RIW 2009, 177 ff.; Ulber, AuR 2010, 10 ff.; Waas, ZESAR 2009, 207 ff.; Schü-ren/Wank, RdA 2011, 1 ff.

[31] Vgl. bereits Waltermann, NZA 2010, 482, 484.

[32] S. Fn. 13.

[33] Hamann, RdA 2011, 321, 323 f.; vgl. bereits BAG NZA 2011, 791; BAG AP Nr. 98 zu § 14 TzBfG.

[34] Dazu Schuster/Grüneberg, AiB 2012, 81 ff. Europarechtliche Bedenken gegen die Akzeptanz einer solchen Praxis überhaupt bei Ulber, AuR 2010, 412, 414.

tungskonkurrenz durch die Rechtsprechung zur Tariffähigkeit der CGZP ein Riegel vorgeschoben. Schließlich gelang es den DGB-Gewerkschaften, zunächst in der Stahl- und Metallbranche, später auch in den Organisationsbereichen von ver.di und IGBCE, die Leiharbeit auf Seiten der Entleiher zu regulieren. Hierzu im Einzelnen:

Leiharbeit erfolgt nach der neuen Regelung des §1 Abs. 1 Satz 2 AÜG „vorübergehend". Entsprechendes sieht die Richtlinie vor, die konzeptionell davon ausgeht, dass Leiharbeiter vorübergehend im Einsatzbetrieb eingesetzt werden (Art. 1 Abs. 1, 3 Abs. 1 lit. b), was vom deutschen Gesetzgeber aufgegriffen wurde[35]. Das BAG hat dazu klargestellt, dass es sich um ein rechtlich verbindliches Verbot, Leiharbeiter mehr als nur vorübergehend an den Entleiher zu überlassen, handelt[36]. Offen blieb allerdings zunächst, welche Rechtsfolgen sich auf individualrechtlicher Ebene ergeben, wenn die Leiharbeit nicht vorübergehend erfolgt. Von der Verneinung individualrechtlicher Konsequenzen[37], über die Annahme des Vorliegens von Arbeitsvermittlung[38], die Annahme institutionellen Rechtsmissbrauchs, der von einer Verleiherlaubnis nicht gedeckt sei[39], bis hin zur Annahme eines fingierten Arbeitsverhältnisses nach §§9, 10 AÜG[40] wurde alles vertreten. Das BAG hat allerdings inzwischen entschieden, dass bei Vorliegen einer Überlassenserlaubnis des Verleihers ein Arbeitsverhältnis zwischen Leiharbeitnehmer und Entleiher auch bei nicht nur vorübergehender Überlassung nicht entstehen könne, weil es dazu einer gesetzlichen Regelung ermangele[41]. Andererseits hat das Gericht aber anerkannt, dass ein Betriebsrat im Entleiherbetrieb im Falle nicht nur vorübergehender Arbeitnehmerüberlassung ein Zustimmungsverweigerungsrecht nach §99 Abs. 2 Nr. 1 BetrVG habe[42].

Was im Übrigen unter „vorübergehend" zu verstehen ist, ist unklar. Der Gesetzgeber ging offensichtlich davon aus, dass es auf das Verhältnis der Einsatzdauer zur Gesamtdauer des Arbeitsvertrages des konkreten Leiharbeitnehmers ankomme[43]. Möglich ist nach dem Wortlaut aber auch die Deutung, dass ein Arbeitsplatz beim Entleiher nicht dauerhaft mit Leiharbeitnehmern besetzt werden darf[44]. Für die letztge-

---

[35] BT-Drs. 17/4804, S. 8.

[36] BAG DB 2013, 2629.

[37] LAG Berlin-Brandenburg NZA-RR 2013, 527, 531; LAG Düsseldorf, Juris PR-ArbR 44/2013 Anm. 5 (Hamann).

[38] Leuchten, NZA 2011, 608, 609; Bachner, in: Kittner/Zwanziger/Deinert (Hrsg.), Arbeitsrecht, 7. Aufl., Frank-furt/M. 2013, § 112 Rn. 58d.

[39] LAG Berlin-Brandenburg 9.1.2013 – 15 Sa 1635/12.

[40] ArbG Cottbus, AiB 2013, 661.

[41] BAG 10.12.2013 – 9 AZR 51/13.

[42] BAG DB 2013, 2629.

[43] BT-Drs. 17/4804, S. 8.

[44] LAG Berlin-Brandenburg, NZA-RR 2013, 527; a.A. Bauer/Heimann, NJW 2013, 3287, 3288; für

nannte Deutung spricht das Richtlinienkonzept, wonach Leiharbeit als Flexibilitätsinstrument der Unternehmen begriffen wird (vgl. Erwägungsgrund [11]). Klar ist jedenfalls, dass ein Einsatz ohne zeitliche Begrenzung anstelle eines Stammarbeitnehmers keineswegs vorübergehend ist[45]. Es wird Sache der Rechtsprechung sein, ggf. zeitliche Höchstgrenzen zu entwickeln. So wurde vorgeschlagen, in Anlehnung an §14 Abs. 2 TzBfG einen Zwei-Jahreszeitraum zugrunde zu legen[46]. Mit Rücksicht auf das Konzept einer Flexibilisierung mit Blick auf kurzfristige Personalengpässe scheint dies freilich sehr großzügig, richtiger dürfte es insoweit sein, auf wenige Monate abzustellen, maximal sechs Monate[47].

Sollte es der Rechtsprechung gelingen, das Konzept der vorübergehenden Leiharbeit so zu gewährleisten, dass ihr Einsatz nicht mehr durch die Absicht motiviert sein kann, Personalkosten im Wege des Einsatzes von Fremdbeschäftigten zu reduzieren, wird die Frage nach Abweichungsmöglichkeiten vom Gleichbehandlungsgrundsatz deutlich an Relevanz verlieren. Mit dem ersten Arbeitnehmerüberlassungsgesetz aus dem April 2011 hat der Gesetzgeber leider freilich auf weitere Normierungen diesbezüglich verzichtet. Abgeschafft wurde lediglich die vorübergehende Befreiungsmöglichkeit bei Einstellung nach Arbeitslosigkeit, die ohnehin praktisch kaum Bedeutung hatte. Demgegenüber hat der Gesetzgeber die Tarifdispositivität des Gleichbehandlungsgrundsatzes beibehalten. Dazu bezieht er sich in der Gesetzesbegründung auf die Richtigkeitsgewähr des Tarifvertrages[48]. Freilich war eine Richtigkeitsgewähr der Leiharbeitstarifverträge in der Vergangenheit nie gegeben[49]. Denn die in dieser Branche schlecht organisierten DGB-Gewerkschaften waren durch die CGZP-Tarifverträge unter Druck geraten und konnten dem keine eigene nachhaltige Tarifpolitik entgegenhalten. Aber auch den CGZP-Tarifverträgen wohnte keine Richtigkeitsgewähr inne. Dies schon deshalb, weil die CGZP überhaupt nicht tariffähig und tarifzuständig war (dazu sogleich). Ob dieser Rechtszustand mit der Leiharbeitsrichtlinie in Einklang steht, darf bezweifelt werden, denn Art. 5 Abs. 3 der Richtlinie lässt Abweichungen vom Gleichbehandlungsgrundsatz nur „unter Achtung des Gesamtschutzes von Leiharbeitnehmern“ zu[50]. Die Gleichbehandlung als solche steht jedenfalls nicht zur Disposition der Tarifvertragsparteien[51]. Auch ist der von der Richt-

---

eine Kombination aus beidem Zimmer, AuR 2012, 422, 424.

45 BAG DB 2013, 2334.

46 Franken, NZA 2013, 1192, 1194.

47 So wohl Lorenz, in: Däubler/Hjort/Schubert/Wolmerath (Hrsg.), Handkommentar Arbeitsrecht, §1 AÜG Rn. 15; ebenso Deinert, RdA 2014, 65, zu III 2., bei Fn. 120.

48 BT-Drs. 5/4804, S. 9.

49 Waltermann, NZA 2010, 482, 486 f.

50 Vgl. Waltermann, NZA 2010, 482 ff.; Zimmer, NZA 2013, 289 ff.

51 Waltermann, NZA 2010, 482, 485 f.

linie geforderte Gesamtschutz der Leiharbeitnehmer nicht etwa institutionell durch das Tarifvertragssystem gewährleistet, da es eben gerade an der vom Gesetzgeber angenommenen Richtigkeitsgewähr fehlte.

Einen Minimalschutz der Leiharbeitnehmer vor Abweichungen vom Gleichbehandlungsgrundsatz ermöglicht immerhin die Festsetzung von Mindestlöhnen durch die sog. Lohnuntergrenze nach §3a AÜG, die gem. §9 Nr. 2 AÜG durch Tarifvertrag nicht unterschritten werden kann. Freilich gewährleisten die bislang vereinbarten Lohnuntergrenzen[52] nicht den geforderten Gesamtschutz der Leiharbeitnehmer.

Der gesetzliche Konstruktionsfehler, der ein race to the bottom eröffnete, hat freilich eine Korrektur über die Rechtsprechung des BAG erhalten. Danach ist die CGZP eine Tarifgemeinschaft, der aber die Tariffähigkeit als Spitzenorganisation nach §2 Abs. 3 TVG fehlt, weil sie ihre Tariffähigkeit nicht vollständig durch ihre Mitglieder vermittelt bekommt; zudem ist ihre satzungsmäßige Tarifzuständigkeit nicht deckungsgleich mit der Summe der Tarifzuständigkeiten der Mitgliedsgewerkschaften[53]. Damit wurden Abweichungen vom Gleichbehandlungsgrundsatz durch die tarifliche Regelung der CGZP-Tarifverträge ausgeschlossen, denn diese waren mangels tariffähiger Gewerkschaft nichtig. Dasselbe gilt für arbeitsvertragliche Verweisungen auf solche Tarifverträge, denn diese gingen ins Leere[54]. Folge dieser Rechtsprechung war die Erhebung von Nachforderungen im Umfang der jeweiligen Differenz zwischen bisherigem Tarifentgelt und Lohn des Vergleichsarbeitnehmers im Einsatzbetrieb. Die DGB-Rechtschutz GmbH hat rund 1.500 Klagen im Gesamtwert von etwa 5.000.000 € erhoben. Für derartige Nachforderungen hat die Rechtsprechung zwischenzeitlich klargestellt, dass die dreijährige Verjährungsfrist des §195 BGB jeweils mit Fälligkeit des Vergütungsanspruchs begonnen hat, nicht etwa erst mit der Entscheidung des BAG zur Tarifunfähigkeit der CGZP[55]. Überdies können Nachforderungsansprüche vertraglichen Ausschlussfristen zum Opfer fallen. Nicht hingegen kommen die Ausschlussfristen eines unwirksamen Tarifvertrages zum Zuge[56]. Die auf die höheren vertraglichen, auf Gleichbehandlung gestützten Lohnansprüche anfallenden Sozialversicherungsbeiträge, für die auch der Entleiher gem. §28e Abs. 2 Satz 1 SGB IV haftet, unterliegen dagegen einer eigenständigen Verjährungsfrist

---

[52] Bis Oktober 2013 8,19 € (West) bzw. 7,50 € (Ost); ab 01.01.2014 8,50 € (West) bzw. 7,86 € (Ost), ab 01.01.2015 8,80 € (West) bzw. 8,20 € (Ost).

[53] BAG NZA 2011, 289. Dies gilt auch für Satzungsregelungen der CGZP, die der BAG-Entscheidung vorausgingen, vgl. BAG NZA 2012, 623; BAG NZA 2012, 625; BAG DB 2012, 1995; näher Kittner/ Zwanziger/Deinert-Deinert, §8 Rn. 7a. Zu der Konstruktion eines mehrgliedrigen Tarifvertrages vgl. BAG NZA 2013, 680.

[54] BAG NZA 2013, 680.

[55] BAG DB 2013, 1496.

[56] BAG DB 2013, 1496, Rn. 19; BAG NZA 2013, 680, Rn. 35.

nach §25 Abs. 1 Satz 1 SGB IV. Danach greift eine vierjährige Verjährung, im Falle vorsätzlicher Vorenthaltung der Beiträge verlängert sie sich auf 30 Jahre[57]. Die deutsche Rentenversicherung Bund hatte dem gemäß bis Mai 2013 Sozialversicherungsbeiträge und Sonderzuschläge in Höhe von insgesamt mehr als 150 Mio. € nachgefordert[58].

Schließlich war es der IG Metall in der Tarifrunde 2012 der Metallindustrie gelungen, effektiv den Einsatz von Leiharbeitern durch Tarifverträge mit den Entleihern zu regulieren und damit die Leiharbeit auf ihre Funktion als Instrument zur Bewältigung kurzfristiger Personalengpässe zurückzuführen[59]. Wesentliche Elemente sind die Verpflichtung der Entleihunternehmen, nur Leiharbeiter aus tarifgerecht zahlenden Unternehmen einzusetzen, ein Mitbestimmungsrecht des Betriebsrates sowie die Einführung eines Branchenzuschlags nach sechs Wochen Einsatzzeit.

Die bereits nach der aktuellen Rechtslage gegebene Rückführung der Leiharbeit auf ihre Kernfunktion soll nach dem Koalitionsvertrag der Großen Koalition durch die folgenden Maßnahmen fortgeführt werden:

- (tarifdispositive) gesetzliche Höchstüberlassungsdauer von 18 Monaten an einen Entleiher,
- Gleichbehandlung mit Stammbeschäftigten spätestens nach neun Monaten,
- Verbot des Einsatzes von Leiharbeitern als Streikbrecher sowie
- grundsätzliche gesetzliche Klarstellung der Berücksichtigung von Leiharbeitern bei betriebsverfassungsrechtlichen Schwellenwerten[60].

## 8.3 Zunehmender Einsatz von (Schein-)Selbständigkeit

Der Einsatz von Selbstständigen in den Betrieben hatte bereits durch die Konzeption der „Ich-AG“ im Zuge der Hartz-Reformen zu einem Anstieg der Zahl der sogenannten Solo-Selbstständigen von 1,85 Mio. 1998 auf 2,35 Mio. im Jahre 2011 geführt[61]. Nach der allmählichen Eindämmung der Leiharbeit als Parallelbelegschaft in den Betrieben nahm der Einsatz von Werkverträgen mit Drittunternehmen als Alternative zur Beschäftigung von Arbeitnehmern oder Leiharbeitnehmern in der jüngsten Zeit

---

[57] Dazu im Kontext der Nachforderung von Beiträgen, gestützt auf den Gleichbehandlungsanspruch, Deinert, AiB 2012, 255, 258.

[58] Mecke, SozSich 2013, 275.

[59] Siehe IGM direkt 7/2012, S. 3; iwd 22/2012, S. 1 f.; dazu Krause, NZA 2012, 830 ff.; ders. AuR 2012, 55 ff.; ders. KJ 2013, 119, 127 f.; Schumann, AiB 2012, 423 ff.; Überblick zu den Branchenzuschlägen bei Mehnert/Stubbe/Haber, BB 2013, 269 ff.

[60] Deutschlands Zukunft gestalten, Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, S. 49 f.

[61] Nebe, SR 2013, 1, 7.

noch einmal zu[62]. Dabei stellt sich der Einsatz von Solo-Selbstständigen gleichsam als Pendant zum Einsatz von Arbeitnehmern dar, der Einsatz von Arbeitnehmern eines mit Werk- oder Dienstvertrag beauftragten Unternehmens als Pendant zum Einsatz von Leiharbeitnehmern. So ergab eine Umfrage der IG Metall bei den Betriebsräten ihres Organisationsbereichs im Jahre 2011, dass etwa 1/3 der 5.000 Unternehmen Werkverträge einsetzten, wobei 36% der Betriebsräte in diesen Unternehmen davon ausgehen, dass das Instrument auch verwendet werde, um Stammkräfte zu ersetzen. Bei der Schlachtindustrie geht man sogar davon aus, dass etwa 80% der Beschäftigten Arbeitnehmer in Subunternehmen sind. Dabei ist der Einsatz von Selbstständigen bzw. von Fremdfirmenpersonal im Rahmen echter Werk- oder Dienstverträge weder verwerflich, noch ein neues Phänomen. Schon immer haben sich die Unternehmen des Einsatzes von Fremdfirmenpersonal bedient. Neu ist allerdings die Qualität dieses Einsatzes. Im Falle der sogenannten Onsite-Selbstständigkeit erfolgt der Einsatz von Drittpersonal räumlich im Betrieb und funktional eingegliedert in die betriebliche Organisation des Unternehmers. Ein prominentes Beispiel ist BMW in Leipzig, wo mehr als 30% Onsite-Werkvertragsarbeitnehmer im Jahre 2012 im Werk eingesetzt wurden. Fremdbeschäftigte und Stammkräfte sind dann weder nach Arbeitsort noch nach Arbeitszeit und Arbeitsinhalt unterscheidbar.

Der rasante Anstieg des Einsatzes von selbständigen Werk- und Dienstverträgen[63] scheint an sich begrüßenswert, insoweit es sich um eine Arbeitsmarktentlastung handelt, wenn dadurch neue Selbstständigkeit generiert und Arbeit von Beschäftigten der Drittunternehmen nachgefragt wird. Problematisch wird es nur, wenn es sich in Wirklichkeit um Arbeitsverhältnisse oder Leiharbeitsverhältnisse handelt. Die Abgrenzung kann im Einzelfall schwierig sein. Letztlich kommt es darauf an, ob im Verhältnis zum Drittfirmenpersonal arbeitsbezogene Weisungen erteilt werden sollen. In diesem Fall sind auch die arbeitsrechtlichen Rechtsfolgen anzuwenden, wobei nicht die Vertragsbezeichnung durch die Parteien, sondern die Vertragsdurchführung maßgeblich ist[64]. Im Falle verdeckter Arbeitnehmerüberlassung ist die wichtigste Rechtsfolge die Fiktion eines Arbeitsverhältnisses zum Unternehmer des Einsatzbetriebes, sofern der Verleiher keine Verleiherlaubnis hat (§10 Abs. 1 Satz 1 AÜG)[65]. Eine solche Konsequenz wird in der Praxis allerdings häufig dadurch vermieden, dass der vermeintliche Werksvertragspartner vorsorglich eine Arbeitnehmerüberlassungserlaubnis einholt.

---

[62] Vgl. Greiner, NZA 2013, 697 ff.

[63] Vgl. DIW-Wochenbericht 7/2013, S. 17 ff.

[64] BAG NZA-RR 2007, 424, 425; Kittner/Zwanziger/Deinert-Deinert, § 2 Rn. 7 m.w.N.

[65] LAG Baden-Württemberg NZA 2013, 1017; LAG Hamm, 24.7.2013 – 3 Sa 1749/12; vgl. BAG NZA-RR 2012, 455.

Der Einsatz von Fremdfirmenpersonal, der sich in Wirklichkeit als verdecktes Arbeitsverhältnis oder verdeckte Arbeitnehmerüberlassung darstellt, ist rechtspolitisch eine Herausforderung, da auf diese Weise Mindestlöhne unterlaufen werden können. Die Schutznormen des AÜG, insbesondere die leiharbeitsrechtliche Lohnuntergrenze kämen nicht zur Anwendung. Immerhin würde der Arbeitsschutz nach §8 ArbSchG im Falle der Zusammenarbeit mehrerer Arbeitgeber auch in Bezug auf Fremdfirmenbeschäftigte erstreckt. Zudem sieht der BGH die Fürsorgepflicht des §618 BGB als vertragliche Nebenpflicht auch des Vertragspartners bei Werk- und selbständigen Dienstverträgen an[66]. Allerdings wird der Arbeitsschutz in solchen Konstellationen selten realisiert und das Unfallrisiko ist ungleich höher[67]. Weiterer arbeitsrechtlicher Schutz kann Solo-Selbstständigen nur zuteilwerden, wenn sie Arbeitnehmerähnliche sind. Doch ist dies allenfalls ein arbeitsrechtlicher Schutz „light". Effektiver Schutz davor, dass Personalanpassungsmaßnahmen zuerst auf ihre Kosten gehen, bevor die Stammbeschäftigten entlassen werden, besteht nicht. Hinzu kommt, dass die häufig geringen Einnahmen zu ungenügenden Altersrücklagen führen. Berichtet wird etwa, dass knapp 1/3 aller Solo-Selbstständigen unter 1.100,-- € monatlich verdient[68].

Das Abgrenzungsproblem zwischen echten Werk- und Dienstverträgen und Arbeitsverträgen bzw. Arbeitnehmerüberlassungen, das auf theoretischer Ebene relativ einfach nach dem Weisungsrecht zu lösen ist, ist in der Praxis schwer zu bewältigen, da der Unterschied zwischen der Wahrnehmung von Gläubigerrechten im Rahmen eines Dienst- oder Werkvertrages (vgl. § 645 BGB) und arbeitsbezogenen Weisungen des Einsatzarbeitgebers marginal sein kann[69]. Das gilt besonders, wenn eine werkvertragsbezogene Weisung an den Werkvertragsunternehmer keinerlei konkreter arbeitsbezogener Weisung an dessen Beschäftigte mehr bedarf, weil sich eine solche Weisung schon implizit daraus schon ergibt, dass für die organisatorische Umsetzung überhaupt kein Spielraum mehr verbleibt[70]. Aber in einer solchen Konstellation wird aus der Wahrnehmung von Gläubigerrechten gegenüber dem Werkvertragsunternehmer noch keine arbeitsbezogene Weisung an dessen Arbeitnehmer. Ein Arbeitsverhältnis liegt vielmehr nur dann vor, wenn der Auftraggeber (Einsatzarbeitgeber) effektiv Personalhoheit für sich in Anspruch nimmt[71]. Für den einzelnen, davon betroffenen Arbeitnehmer ist der Unterschied häufig noch nicht einmal wahrnehmbar. Wenn die Inanspruchnahme von Gläubigerrechten durch den Einsatzbe-

---

[66] BGH NJW 1958, 710, 711; Däubler, KJ 2013, 133, 137.

[67] Vgl. „Ich muss alle Träume platzen lassen", SZ v. 9.8.2013, S. 31.

[68] Nebe, SR 2013, 1, 7.

[69] Vgl. auch Rieble, ZfA 2013, 137, 150 ff.

[70] Vgl. BAG NZA 1993, 357, 359; a.A. Reiserer, DB 2013, 2026, 2028.

[71] BAG NZA 1993, 357, 359.

trieb aus seiner Sicht im automatischen Nachvollzug eine arbeitsvertragliche Weisung bedeutet, muss für ihn nicht erkennbar sein, ob der Einsatzbetrieb nach der vertraglichen Beziehung zu dem eigenen Arbeitgeber zur Erteilung solcher Weisungen überhaupt berechtigt ist. Das LAG Baden-Württemberg hilft hier mit den Grundsätzen der sekundären Darlegungslast, wonach der Arbeitnehmer zunächst Umstände vorzutragen hat, die seiner Wahrnehmung zugänglich sind und für eine Arbeitnehmerüberlassung sprechen, der Arbeitgeber muss dem dann substantiiert entgegentreten[72]. Nach der Rechtsprechung des BAG ist es ein Indiz für eine arbeitsvertragliche Beziehung, wenn mit der Bestimmung der Leistungen, die der Einsatzbetrieb von seinem Vertragspartner abruft, zugleich über Inhalt, Durchführung, Zeit, Dauer und Ort der Tätigkeit von dessen Beschäftigten mit entschieden wird[73].

Betriebsverfassungsrechtlich stellt sich für den Betriebsrat des Einsatzbetriebes die Frage nach einem Mitbestimmungsrecht bei „Einstellungen“ nach §99 Abs. 1 BetrVG. Denn der Einsatz von Fremdfirmenbeschäftigten (Solo-Selbstständige oder Arbeitnehmer von Vertragspartnern in einer werk- oder dienstvertraglichen Beziehung) kann kurzfristig Arbeitsplätze im Betrieb in Frage stellen und langfristig Druck auf die Arbeitsbedingungen der Kernbelegschaft erzeugen[74]. Hier stellt sich das parallele Problem wie im Individualarbeitsrecht. Nur wenn ein Weisungsrecht des Einsatzunternehmens besteht, kann Arbeitnehmerüberlassung oder ein Arbeitsverhältnis vorliegen. Das BAG hatte dazu 1991 klargestellt, dass die Erteilung von Anweisungen an die Beschäftigten durch den Einsatzunternehmer nicht genüge, sondern das Mitbestimmungsrecht nur dann eingreife, wenn dieser die typischen Entscheidungen über Arbeitseinsatz nach Zeit und Ort zu treffen habe und er die Personalhoheit über diese Personen gewinne. Freilich wird sich die oben referierte Rechtsprechung auf die vorliegende Problematik übertragen lassen, so dass die Mitentscheidung über Inhalt, Durchführung, Zeit, Dauer und Ort der Tätigkeit durch den Abruf von Leistungen des Vertragspartners ein Indiz für eine arbeitsvertragliche Beziehung ist[75]. Das wäre freilich entbehrlich, wenn man sich von vornherein auf den betriebsorganisatorischen Ansatz des BetrVG zurückbesinnen würde, das eine vertragsakzessorische Betrachtung nicht von vornherein fordert. Das Mitbestimmungsrecht des § 99 BetrVG würde danach immer dann eingreifen, wenn der Einsatzbetrieb unabhängig von Weisungsrechten über Ort, Zeit und Art der Tätigkeit sowie Einbindung in den betrieblichen Arbeitsablauf entscheidet[76]. Aber auch ein solcher Ansatz kann Mitbestimmungslücken nicht vollständig vermeiden. Denn häufig ergeben sich solche Befunde erst nach Beobachtung der praktischen Durchführung des Vertrages.

---

[72] LAG Baden-Württemberg, NZA 2013, 1017, 1020; vgl. dazu auch Klebe, AuR 2013, 335.

[73] BAG DB 2013, 2625.

[74] Vgl. für des entsprechende Problem bei der Arbeitnehmerüberlassung Krause, KJ 2013, 119, 122f.

[75] S.o. Fn. 73.

Die Thematik bleibt eine rechtspolitische Baustelle. Ein Gesetzentwurf von Bündnis 90/Die Grünen[77] aus der vergangenen Legislaturperiode zielte auf die Verhinderung verdeckter Arbeitnehmerüberlassung, indem die Arbeitnehmerüberlassung auch bei Vorliegen einer Erlaubnis zu einem fingierten Arbeitsverhältnis führt, wenn die Arbeitnehmerüberlassung nicht von vornherein aufgedeckt ist. Insbesondere die betriebsverfassungsrechtliche Seite greift eine Initiative der SPD-Bundestagsfraktion aus der letzten Legislaturperiode auf[78]. Eine Verbindung dieser Elemente enthält der über den Bundesrat eingebrachte Entwurf eines Gesetzes zur Bekämpfung des Missbrauchs von Werkverträgen und zur Verhinderung der Umgehung von arbeitsrechtlichen Verpflichtungen der Länder Niedersachsen, Baden-Württemberg, Bremen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz[79]. Noch darüber hinaus ging ein ebenfalls aus der letzten Legislaturperiode stammender Entwurf eines Gesetzes zur Verhinderung des Missbrauchs von Werkverträgen der Fraktion Die Linke[80]. Danach sollten in einem Werksvertragsregulierungsgesetz Vermutungstatbestände für ein Arbeitsverhältnis und eine sozialversicherungsrechtliche Beschäftigung einschließlich Generalunternehmerhaftung für Fälle von Scheinwerkverträgen sowie Scheinselbstständigkeit geschaffen werden. Hinter alldem bleibt der Koalitionsvertrag der neuen Großen Koalition zurück: Er setzt auf eine Effektivierung der Kontrollen durch die Finanzkontrolle Schwarzarbeit und eine gesetzliche Festschreibung der Abgrenzungskriterien zwischen Selbständigkeit und abhängiger Arbeit[81]. Die Frage der Beweisbarkeit und das Mitbestimmungsproblem werden hingegen nicht erwähnt.

Ähnlich wie bei der Arbeitnehmerüberlassung gibt es erste Ansätze zur autonomen Regulierung des Einsatzes von Fremdbeschäftigten durch Tarifvertrag mit der Seite der Einsatzunternehmen[82]. Auch bei Daimler und VW wird über eine Regulierung des Werkvertragseinsatzes auf Abnehmerseite diskutiert[83].

---

[76] Karthaus/Klebe, NZA 2013, 417 ff.

[77] BT-Drs. 17/13106.

[78] BT-Drs. 17/13476.

[79] BR-Drs. 687/13; dazu Franken, NZA 2013, 1192 ff.

[80] BT-Drs. 17/12373.

[81] Deutschlands Zukunft gestalten, Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, S. 49.

[82] Siehe etwa für die Papenburger Meyer-Werft Lübke-Schwarz, Mitbestimmung 10/2013, S. 55.

[83] Vgl. „Die Charta vom Lämmerbuckel“, SZ v. 9.10.2013; „Daimler-Betriebsrat führt Debatte um Werkverträge“, FAZ v. 9.10.2013;

## 8.4 (Re-)Organisation in Netzwerkstrukturen – jenseits arbeitsrechtlicher Leitbilder

Seit einigen Jahren kommt es zunehmend in den Unternehmen zur Ausgliederung von Produktions- bzw. Dienstleistungsschritten auf externe Unternehmen, die diese selbständig bearbeiten, diese verstehen sich explizit als Dienstleister[84]. Das Phänomen wird als (Re)Organisation in Netzwerkstrukturen bezeichnet[85]. Das geschieht oftmals durch Erweiterung der Angebotspalette eines Dienstleistungsunternehmens, das zusätzliche Arbeiten im Kundenbetrieb übernimmt[86]. Das Angebot ist oftmals breit aufgestellt und reicht von Arbeitnehmerüberlassung über Vorproduktelieferung hin zur gesamten Übernahme von Produktionsschritten. Der Unterschied zum herkömmlichen Outsourcing ist, dass bei der Reorganisation in Netzwerkstrukturen nicht mehr eine Konzentration auf das Kerngeschäft bewirkt wird, wie etwa bei der Ausgliederung einer Betriebskantine, sondern dass die Ausgliederung bereits im Bereich der eigenen Kernkompetenz erfolgt[87]. Besonders auffällig ist das bei sogenannten Betreibermodellen, wo der Maschinenbauer nicht nur die Anlage herstellt und verkauft, sondern diese auch für den Kunden vor Ort betreibt[88]. Derartige Strukturen, bei denen der Betrieb gleichsam ein Netzwerk unternehmerischer Tätigkeiten verschiedenster Unternehmen darstellt, sind auch keineswegs mehr ein Randphänomen, sondern vielfältig zu beobachten, etwa in der Automobilindustrie, der Bauwirtschaft, der Transportwirtschaft, in der Chemieindustrie und im Einzelhandel[89].

Die Entscheidung für die Organisation des Unternehmens in Netzwerkstrukturen ist der unternehmerischen Entscheidungsfreiheit unterstellt und rechtlich grundsätzlich keiner Einschränkung unterlegen. Für und Wieder richten sich nach betriebswirtschaftlichen Maßstäben.

Gleichwohl werfen Netzwerkstrukturen arbeitsrechtliche Fragestellungen auf. Denn das Arbeitsrecht geht von der Weisungsgebundenheit als entscheidendem Anknüpfungspunkt für das Eingreifen des Schutzrechts zugunsten des arbeitenden Menschen aus. Regelmäßig sind Arbeiten im Rahmen solcher Werk- und Dienstverträge bei Netzwerkstrukturen aber keineswegs dem Einsatzunternehmen weisungsunterworfen, sondern erfolgen vielmehr nach Weisungen des jeweiligen Auftragsnehmers. Gleichwohl ergeben sich Gefahrenpotentiale, vor denen das Arbeitsrecht nicht schützen kann, da es den Vertragsarbeitgeber als Adressaten hat, nicht aber denjenigen,

---

[84] Helfen, Mitb. 10/2013, S. 32.

[85] Helfen, Mitb. 7 + 8/2011, S. 20 ff. Vgl. aber auch bereits Krebber, Unternehmensübergreifende Arbeitsabläufe im Arbeitsrecht, München 2005 (zugl. Trier, Univ., Habil. 2003), S. 46 ff.

[86] Rieble, ZfA 2013, 137, 138.

[87] Ähnlich Greiner, NZA 2013, 697, 698.

[88] Helfen/Nicklich, Industrielle Beziehungen 20 (2013), 142, 143.

[89] Helfen, Mitb. 7 + 8/2011, S. 20, 22.

der die Organisationsherrschaft innehat. Beispielsweise greifen die Grundsätze der beschränkten Arbeitnehmerhaftung[90] nur im Verhältnis zum Vertragsarbeitgeber, während die Haftung im Außenverhältnis – und um ein solches handelt es sich, wenn Arbeitgeber oder andere Arbeitnehmer anderer Unternehmen geschädigt werden – nicht beschränkt ist[91]. Erste Ansätze zu einem arbeitgeberübergreifenden Arbeitsschutz enthalten freilich die §§8 ArbSchG, 11 Abs. 6 AÜG. Anders sieht es wiederum aus beim unfallversicherungsrechtlichen Haftungsprivileg. Während Arbeitnehmer, die einen gemeinsamen Arbeitgeber haben, für Versicherungsfälle ihrer Arbeitskollegen gem. §105 SGB VII von der Haftung befreit sind, gilt für Arbeitnehmer unterschiedlicher Unternehmen, dass die Haftungsbefreiung gem. §106 Abs. 3 SGB VII von der Tätigkeit auf gemeinsamer Betriebsstätte abhängt. Dabei versteht die Rechtsprechung die gemeinsame Betriebsstätte nicht etwa als den gemeinsamen Ort, auf dem Arbeitnehmer unterschiedlicher Unternehmen ihren jeweiligen Vertragspflichten nachgehen. Gefordert wird vielmehr eine wechselbezügliche Ausrichtung der Tätigkeiten, die eine Gefahrengemeinschaft der involvierten Arbeitnehmer begründet[92]. Dementsprechend hatte der BGH beispielsweise eine gemeinsame Betriebsstätte der Beschäftigten des Einsatzbetriebes mit dem Heizungsmonteur, der zur Reparatur der Heizung im Betrieb ist, verneint[93]. Denn diese sind mangels Wechselbezüglichkeit ihrer Tätigkeiten keine Gefahrengemeinschaft. Das lässt sich praktisch auf den gesamten Bereich der Industriedienstleistungen übertragen. Während es bei Stammbeschäftigten nicht auf die Wechselbezüglichkeit ankommt, bedeutet dies, dass die Voraussetzungen der Haftungsbefreiung nach §106 Abs. 3 SBG VII enger ausgestaltet sind, wenn die Betroffenen wie in Netzwerkstrukturen unterschiedliche Arbeitgeber haben[94]. Der BGH sieht durchaus, dass der Schutz des Haftungsprivilegs allein infolge des durch den Arbeitnehmer nicht beeinflussbaren Umstandes entfallen kann, dass der Arbeitgeber sich Dritter im Rahmen seiner betrieblichen Organisation bedient. Diese unterschiedliche Behandlung von der Arbeitnehmern in den verschiedenen Konstellationen sei indes hinzunehmen, weil sie dem Umstand Rechnung trage, dass das Haftungsprivileg innerhalb des Unternehmens auf der Ersetzung der Arbeitgeberhaftung beruhe, während der unternehmensübergreifende Haftungsausschluss allein aus dem Gesichtspunkt der Gefahrengemeinschaft gerechtfertigt sei[95].

---

[90] BAG (GS) AP Nr. 103 zu § 611 BGB Haftung des Arbeitnehmers.

[91] BGHZ 198, 305.

[92] BGH NJW 2005, 288, 289.

[93] BGH NJW 2011, 3296.

[94] BGH NZS 2011, 868.

[95] BGH NZS 2013, 2031, Rn. 19.

Netzwerkstrukturen bringen eine Teilung der Belegschaften mit sich. Was ursprünglich mal als eine Erscheinung klassischer Projektarbeit mit vorübergehendem Charakter anzutreffen war, wird hier zum Dauerzustand[96]. Die Arbeitsbedingungen der Fremdbelegschaften werden in der Regel schlechter sein. Denn sonst würde sich der Einkauf von Fremdleistungen betriebswirtschaftlich nicht rechnen[97]. Das wird beispielsweise deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass der Stundenlohn einer Werkschutzfachkraft zwischen 9,89 € in der Logistik, 13,12 € im Bewachungsgewerbe und 15,46 € in der Metall- und Elektroindustrie liegt. Das Eingreifen unterschiedlicher Branchentarifverträge in Netzwerkstrukturen führt damit zu fühlbaren Unterschieden in den Arbeitsbedingungen der Beschäftigten. Häufig fehlt es auch gänzlich an Tarifstrukturen bei Industriedienstleistern. Die Folge sind weiße Flecken auf der Tariflandkarte[98].

Das stellt erhebliche organisationspolitische Herausforderungen für die Gewerkschaften und gefährdet die Stabilität des Tarifsystems. Mindestlöhne nach dem AEntG sind nicht von ungefähr gerade auf die klassischen Branchen der Industriedienstleister wie Gebäudereinigung, Sicherheitsdienstleistungen und Wäschereidienstleistungen im Objektkundengeschäft (§ 4 AEntG) und Leiharbeit (§ 3a AÜG) zugeschnitten. Das aber kann allenfalls allzu starken Auswüchsen begegnen, die unterschiedlichen Arbeitsbedingungen der Arbeitnehmer in Netzwerkstrukturen jedoch nicht legalisieren. Langfristig ist dies ein tarifpolitisches Feld für Gewerkschaften, etwa durch Abschluss unternehmensbezogener Verbandstarifverträge[99]. Häufig fehlt es aber auch an entsprechenden Verbandsstrukturen auf Arbeitgeberseite[100]. Gelingt es nicht, solche zu etablieren, ist eine möglich Alternative eine Beeinflussung der Arbeitsbedingungen in Netzwerkstrukturen über die Nachfrageseite[101]. Das wiederum erfordert ggf. auch Arbeitskämpfe zu organisieren, die die Bedingungen von Parallelbelegschaften betreffen und an denen kein unmittelbares Eigeninteresse der Beschäftigten des Einsatzbetriebes besteht[102].

Die Fremdbelegschaftsangehörigen werden die unterschiedlichen Arbeitsbedingungen in erster Linie als Gleichbehandlungsproblem begreifen. Aus Sicht der Kernbelegschaft ist der Befund ambivalent. Denn einerseits schaffen Fremdbeschäftigte einen gewissen Puffer beim Arbeitsplatzabbau, denn der Arbeitgeber muss nach richtiger Ansicht nach dem kündigungsschutzrechtlichen ultimaratio-Prinzip vorrangig

---

[96] Helfen/Nicklich, Industrielle Beziehungen 20 (2013), 142, 143.

[97] Vgl. Helfen, Mitb. 10/2013, S. 32.

[98] Helfen, Mitb. 7 + 8/2011, S. 20, 22.

[99] Helfen, Mitb. 10/2013, S. 32, 35.

[100] Helfen, ebd., S. 32, 33.

[101] Helfen, ebd., S. 35.

[102] Zum entsprechenden Problem bei der Leiharbeit vgl. Krause, KJ 2013, 119, 123.

den Abbau externer Arbeitsplätze betreiben[103]. Auf der anderen schaffen solche Parallelbelegschaften unweigerlich Druck auf die Arbeitsbedingungen der Kernbelegschaften durch ihre strukturell ungünstigen Arbeitsbedingungen. Der Mitbestimmungstatbestand des §99 BetrVG versagt an dieser Stelle, da die Fremdbeschäftigten nicht dem Weisungsrecht des Arbeitgebers unterliegen.

## 8.5 Fazit

Das Arbeitsrecht gewährleistet Privatautonomie in dem Sinne, dass keiner gezwungen ist, Arbeitsverträge zu schließen. Arbeitgeber, die sich gegen den Einsatz von Arbeitnehmern entscheiden, machen von ihrer unternehmerischen Entscheidungsfreiheit Gebrauch. Das gilt hingegen dann nicht, wenn weisungsgebundene Arbeit gefordert wird. Das Arbeitsrecht schafft insoweit einen Typenzwang, der eine Abwahl nicht zulässt. Ein „Arbeitsrecht light“ durch alternative Beschäftigungsmodelle ist nicht vorgesehen.

Eine Ausnahme stellt insoweit die Leiharbeit dar. Hier ist es möglich, dass der Einsatzarbeitgeber weisungsgebundene Arbeit in Anspruch nimmt, nicht aber in gleichem Maße an arbeitsrechtliche Vorgaben gebunden ist. Damit das Arbeitsrecht aber nicht insgesamt unter Druck gesetzt wird, darf dies keine Regelbeschäftigung sein, sondern muss sich auf atypische Lagen beschränken. Die Reformen des Arbeitnehmerüberlassungsrechts im Zuge der Agenda 2010 haben insoweit freilich ungewollt ein solches race to the bottom ausgelöst. Ungewollt insofern, als der Gesetzgeber den Gleichbehandlungsgrundsatz vorsah und gerade keine flächendeckend schlechteren Arbeitsbedingungen angestrebt hatte. Die diesbezügliche Fehlentwicklung wurde im Jahre 2011 korrigiert und die Große Koalition strebt ein Fortschreiten auf diesem Wege an.

Vor diesem Hintergrund sind Flexibilisierungen nur innerhalb der eigenen Belegschaft möglich, nicht aber durch Einsatz von Fremdbelegschaften. Wer das möchte, muss auf die Einräumung von Weisungsbefugnissen verzichten. Genau dies geschieht allerdings in Netzwerkstrukturen. Die (Re-)Organisation in solchen Strukturen ist in rechtlicher Hinsicht nicht zu beanstanden, schafft allerdings rechtspolitische

[103] Vgl. Deinert, in: Kittner/Däubler/Zwanziger (Hrsg.), Kündigungsschutzrecht, 8. Aufl., Frankfurt/M. 2011, § 1 KSchG, Rn. 408 ff. Freilich wird bei der Auslagerung ganzer Produktions- oder Dienstleistungsschritte nicht die etwa bei Leiharbeit verbreitete Erscheinung anzutreffen sein, dass Beschäftigte unterschiedlicher Unternehmen auf gleichartigen Arbeitsplätzen tätig sind.

Herausforderungen durch Begründung von Parallelbelegschaften mit unterschiedlichem Schutzniveau im Betrieb. Konzepte zu deren Bewältigung sind derzeit noch kaum zu erkennen[104]. Einstweilen wird dies eine wesentliche Aufgabe der Gewerkschaften sein, um tarifpolitische Leitplanken einzuziehen.

**Abb. 8.1** Prof. Dr. Olaf Deinert (Georg-August-Universität Göttingen) und Prof. Dr. Ralf Pieper (Bergische Universität Wuppertal) bei der Begrüßung der Teilnehmer beim 101. Kolloquium in Wuppertal.

[104] Vgl. aber den Ansatz bei Däubler, KJ 2013, 133 ff., den herkömmlichen Arbeitgeberbegriff in Frage zu stellen.

# 9 Berücksichtigung des Human Factors in der Gefährdungsbeurteilung – eine Herausforderung für jeden Sicherheitsingenieur (HARALD GRÖNER)

**102. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 20. Mai 2014 in Wuppertal**

**Dipl.-Ing. Harald Gröner**
Safety – CoE der RWE Generation SE, Essen / Köln,

**Abb. 9.1** Prof. Dr. Ralf Pieper (Bergische Universität Wuppertal) und Safety Director Harald Gröner (RWE Generation SE, Essen) bei bestem Sommerwetter zum Start des Kolloquiums in Wuppertal (v.l.n.r.).

# 10 Innovative Technologien bei Arbeitsmitteln und Arbeitssystemen im Kontext von Ambient Intelligence und Industrie 4.0 (ARMIN WINDEL & MATTHIAS HARTWIG)

**103. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 3. Juni 2014 in Wuppertal**

**Dir. und Prof. Dr. Armin Windel**
Direktor Forschung und Entwicklung der
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund

**Dipl.-Psych. Matthias Hartwig**
Wiss. Mitarbeiter der Gruppe „Human Factors, Ergonomie“ der
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund

## 10.1 Was bedeutet Ambient Intelligence?

Unter dem Begriff „Ambient Intelligence (AmI)“ werden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten summiert, deren Ziel die Erweiterung der Lebens- und Arbeitsumgebung um sogenannte intelligente Funktionen ist. Dies erfolgt durch die kabellose Vernetzung von Sensoren, Aktoren und Computerprozessoren, so dass Wohlbefinden, Gesundheit und Leistungsfähigkeit im Arbeits- und Privatleben durch die Technologie unterstützt und gefördert werden.

Für die praxisorientierte Forschung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) bestehen besonders hervorzuhebende Merkmale bei AmI

- in der telemetrisch bereit gestellten Information, die den Menschen insbesondere im Arbeitsleben unaufdringlich unterstützen soll und
- in einer vom Zustand des Benutzers und/oder der Arbeitsumgebung (einschließlich der Arbeitsaufgabe) abhängenden, d.h. adaptiven, Bereitstellung der Informationen.

Beide Aspekte der Definition heben die Assistenzfunktion von Ambient Intelligencebasierten Informations- und Kommunikationstechnologien hervor. Die BAuA betont damit den humanzentrierten Ansatz der Technologieentwicklung, bei der sich Produkte und Umgebungen adaptiv und (weitgehend) autonom an Voraussetzungen, Bedürfnisse und Ziele des Nutzers anpassen.

## 10.2 AmI als Forschungsschwerpunkt der BAuA

Seit 2010 gehört das Themenfeld der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien (I&K-Technologien) in der Arbeitsumgebung (AmI) zu den prioritären Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten der BAuA. Sie hat damit den Forschungsbedarf aufgegriffen, der im Zukunftsreport "Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit" des Büros für Technikfolgenabschätzung im Deutschen Bundestag (TAB) für die beiden Schlüsseltechnologien „Bio- und Nanotechnologie“ und „Ambient Intelligence“ aufgezeigt wurde und ihn aus der Perspektive des Arbeitsschutzes und der Arbeitsmedizin weiterentwickelt. Schwerpunkt der Forschung in der BAuA ist die Folgenabschätzungen zu Chancen und Risiken neuer I&K-Technologien in der Arbeitsumgebung sowie ihrer Auswirkungen auf Arbeitssysteme.

## 10.3 AmI, Industrie 4.0 und Cyber-Physical-Systems

AmI lässt sich zudem in den Kontext der Industrie 4.0-Strategie stellen. Der Arbeitskreis der Plattform Industrie 4.0 (http://www.plattform-i40.de/sites/default/files/Abschlussbericht_Industrie4%200_barrierefrei.pdf) versteht hierunter eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.

Als Ausdruck einer neuen Stufe von Organisation und Steuerung der Wertschöpfungskette über den gesamten Lebenszyklus von Produkten wird daher Industrie 4.0 auch als "vierte industrielle Revolution" bezeichnet (vgl. http://www.plattform-i40.de/hintergrund/rueckblick). Ausgangspunkt von Industrie 4.0 in Deutschland ist der Aktionsplan zur Hightech Strategie 2020 der Bundesregierung. Ziel ist es, Deutschland in die Lage zu versetzen, im angegebenen Zeitraum Leitanbieter für sogenannte Cyber-Physical-Systems (CPS) zu werden. Hierunter sind Maschinen und Anlagen mit neuer I&K-Technologie zu verstehen, die miteinander und mit ihrer Umgebung kommunizieren und sich somit selbst dezentral organisieren können. In

diesen technologischen Grundlagen wird die Verbindung zwischen Industrie 4.0 und AmI besonders deutlich.

Die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch intelligente Produkte und Vernetzung bietet aus ökonomischer Sicht die Möglichkeit der individualisierten Produktion (bis zum Extremfall der Losgröße 1) zu den Konditionen eines Massenherstellers. Aus Sicht des Arbeitsschutzes können Entwicklungen im Rahmen von Industrie 4.0 aber auch als multimodale Arbeitsassistenzsysteme eingesetzt werden, die die Qualifikations- und Handlungsspielräume der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erweitern. Durch Adaption an die Leistungsfähigkeit und Leistungsvoraussetzungen des Menschen bieten CPS damit auch Möglichkeiten z.B. der Anpassung an Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten älterer Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer.

## 10.4 Einsatz von AmI-basierten Technologien in der Praxis

Im Consumer-Bereich hat sich in den letzten Jahren ein Forschungsfeld unter dem Begriff „Ambient Assisted Living“ (AAL) etabliert, in dem die Entwicklung von I&K-Technologien und Dienstleistungen für das alltägliche Leben älterer Menschen im Mittelpunkt steht. Aber auch im Arbeitsbereich sind immer mehr praxisorientierte Lösungen anzutreffen, in denen sogenannte intelligente Funktionen die Beschäftigten unterstützen und zu höherer Produktivität beitragen sollen.

So verlassen AmI-basierte Technologien auch in der Arbeitswelt mehr und mehr das Prototypenstadium und halten als serienreife Produkte und Arbeitsmittel Einzug in Unternehmen und Arbeitsprozesse. Menschengerechte Gestaltung der Arbeit ist angesichts der Dynamik dieser technisch-organisatorischen Entwicklung eine ständige und wachsende Herausforderung.

Für den Arbeitsschutz relevante, praxisnahe Szenarien sind z.B. die Wearable IT, durch die der Mensch mittels mobiler Kleinstcomputern und Telematik in die Prozessteuerung und -abläufe eingebunden wird. Ein Beispiel für diese Art von Technologien sind sogenannte Head Mounted Displays (HMD), also kopfgestützte Monitorsysteme, die 2014 im privaten Bereich besonders durch Google Glass mediale Aufmerksamkeit erfuhren. In der Arbeitswelt finden HMDs bereits Einsatz bspw. im Bereich der Logistik, wo es entscheidend ist, Personen situationsspezifische Informationen (wie den Aufenthaltsort eines aktuell benötigten Artikels) ortsungebunden übermitteln und direkt per Lichtsignal anzeigen zu können (Pick-by-Light-Verfahren).

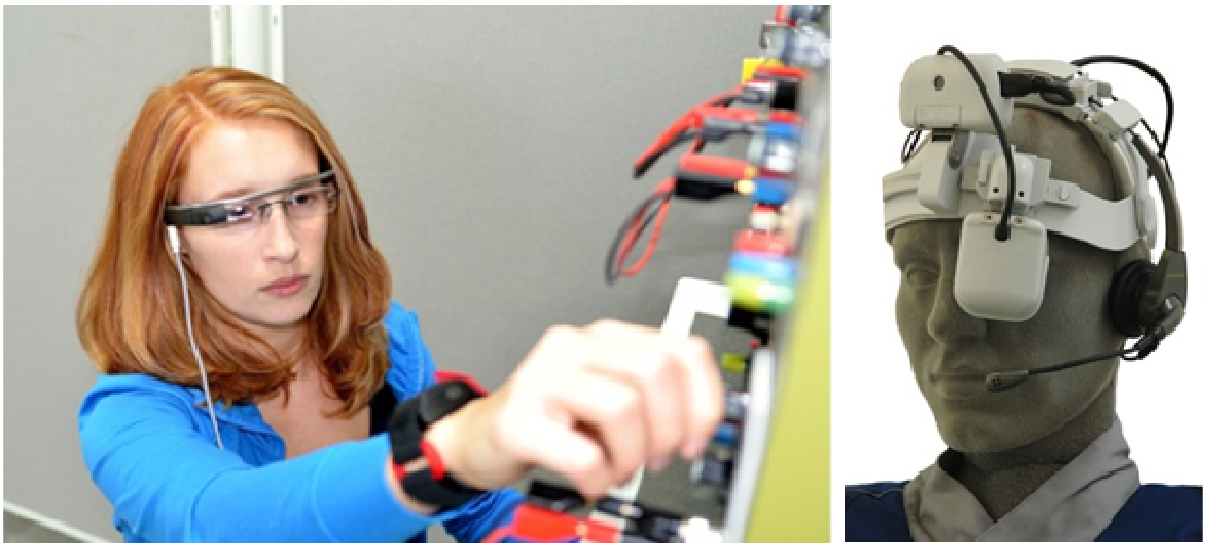


**Abb. 10.1** Einsatz von Google Glass bei einer Wartungsaufgabe (links) und ein industrielles Head-Mounted Display (rechts) - Bildquellen: BAuA

Aus Perspektive der Gestaltung menschengerechter Arbeit können solche Technologien als Assistenzsystem eingesetzt werden, um den arbeitenden Menschen zu unterstützen. Sie können seinen Handlungsspielraum allerdings auch erheblich einschränken und seine Arbeit sehr monoton machen. Das ist nah an der Negativ-Vision, dass Menschen nur noch Resttätigkeiten erledigen, die das technische Arbeitssystem (noch) nicht leisten kann oder die ökonomisch nicht sinnvoll automatisierbar sind. Weiterhin stellen sich Fragen der physischen und psychischen Beanspruchung durch solche Technologien.

Ein weiteres Anwendungsfeld von Cyber-Physical-Systems betrifft die intelligente Fabrik. Aktuell wird in diesem Zusammenhang die sicherheitsrelevante Interaktion zwischen Mensch und Roboter diskutiert. Konventionell trennt man in der Produktion Industrieroboter und Menschen durch Schutzzäune, also physische Barrieren. Aber durch die Etablierung immer ausgereifterer Sensorik und dem Streben nach möglichst transparenten und effizienten Abläufen werden zunehmend kollaborierende Einsatzmöglichkeiten entwickelt: Dabei arbeitet der Mensch direkt neben dem Roboter – ohne trennende Schutzvorrichtung. Sicherheit soll hier gewährleistet werden durch optische und/oder durch Berührungssensoren, so dass ein Anhalten des Roboters im Gefahrfall automatisch durch das System erfolgt, wenn die Gefahr einer Kollision droht. Nicht abschließend geklärt ist, inwieweit solche Technologien auch unter erwartbaren Störungen (bspw. eingeschränkte optische Sensorik durch Staubbelastung) das gleiche Sicherheitsniveau erreichen wie physische Barrieren.

## 10.5 Konsequenzen für die Forschung

Alle im Forschungsschwerpunkt AmI zusammengefassten Projekte der BAuA verfolgen das gemeinsame Ziel, Chancen und Risiken von adaptiven Arbeitsassistenzsystemen (AAS) aus der Perspektive der Arbeitswissenschaft und der Arbeitsmedizin zu erkennen und zu bewerten. Hierunter sind Auswirkungen sowohl auf den Menschen im Arbeitsprozess (Gesundheit und Leistungsfähigkeit) als auch auf das Arbeitssystem (Sicherheit, Produktivität) zu verstehen.

Zusammenfassend sieht die BAuA in AmI und in den Anwendungen im Kontext von Industrie 4.0 einerseits die Chance, innovative Technologien als adaptive Arbeitsassistenzsysteme zu verstehen, die neue Möglichkeiten der Arbeitssystemgestaltung eröffnen. Dies gilt insbesondere für den Bereich der direkten Mensch-Maschine Interaktion. Gleichzeitig werden in den Untersuchungen der BAuA aber auch die Risiken der Anwendung deutlich, die z.B. weniger transparenten Arbeitsabläufen oder der zunehmenden Übertragung von nicht automatisierten Restaufgaben auf den Menschen bestehen. Daher ist es aus Sicht der BAuA notwendig, die Entwicklung und Implementierung neuer Technologien in der Arbeitswelt durch praxisnahe Forschung zu begleiten und damit zu einer menschengerechten Gestaltung auch in diesen Arbeitsfeldern beizutragen.

**Abb. 10.2** Prof. Dr. Ralf Pieper (BUW) mit Direktor und Prof. Dr. Armin Windel und Dipl.-Psych. Matthias Hartwig von der BAuA aus Dortmund beim 103. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquium (v.l.n.r.).

# 11 Herausforderungen der Funktionalen Sicherheit im Automobilbereich (MARCO SCHLUMMER)

**104. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 17. Juni 2014 in Wuppertal**

**Dr.-Ing. Marco Schlummer**
Mitglied der Geschäftsführung des Instituts für Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmanagement GmbH (IQZ), Wuppertal

## 11.1 Einleitung

Elektrischen und elektronischen (E/E-) Systemen in Kraftfahrzeugen kommt eine immer stärker werdende Bedeutung in nahezu jedem Bereich (Motorsteuerung, Aktive Sicherheit, Passive Sicherheit, Fahrwerksabstimmung, Fahrerassistenzsysteme, Bordnetz etc.) zu. Sie tragen auf der einen Seite dazu bei, den Fahrspaß des Fahrers, die Leistung des Fahrzeugs und natürlich die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu erhöhen. Zum anderen sollen durch ihren Einsatz die Kosten, die Emissionen und der Kraftstoffverbrauch reduziert werden. Fast alle Neuerungen in Kraftfahrzeugen sind heutzutage mit elektronischen oder mechatronischen Systemen in Verbindung zu bringen. Dies liegt zum einen daran, dass mit Hilfe von E/E-Systemen neue Fahrzeugfunktionalitäten entwickelt werden können, und zum anderen daran, dass bereits bestehende Funktionen, die bisher überwiegend mechanisch implementiert wurden, effizienter realisiert werden können. Moderne Elektroniksysteme zeichnen sich allerdings zunehmend durch eine sehr hohe Komplexität aus und damit geht einher, dass eine Vielzahl von Informationen zwischen ihnen ausgetauscht wird. Oftmals sind Funktionen sogar über mehrere Steuergeräte verteilt, die intelligent miteinander vernetzt sein müssen. So kann es teilweise zu unübersichtlichen Systemverbünden kommen, bei denen schwer festzustellen ist, wo genau ein Fehler liegt. Oftmals ist es auch so, dass Fahrzeugfunktionen softwarebasiert in bestehende eingebettete Systeme integriert werden, so dass keine zusätzliche Hardware benötigt wird. Je komplexer ein System aber sowohl funktional als auch technisch wird, desto zunehmender scheint auch das Fehler- und Ausfallrisiko zu sein. Ein heutiges Fahrzeug der Premiumklasse verfügt bereits über mehr als 80 Steuergeräte, die über bis zu 10 verschiedene Kommunikationssysteme miteinander korrespondieren müssen. Hinzu kommt, dass gerade in Kraftfahrzeugen die Systeme einer Vielzahl an externen Einflüssen ausgesetzt sind und diesen widerstehen müssen, wie z.B. Feuchtigkeit, Vibrationen, elektromagnetischen Störeinflüssen oder starken Temperatur-

schwankungen. So kommt es zu einer Reihe von Fehlern und Mängeln, die ihren Entstehungsgrund im Komplex der Elektrik/Elektronik haben. Es muss allerdings festgehalten werden, dass es oftmals sehr schwierig ist, die genaue Ausfallursache zu identifizieren. Häufig wird pauschal von Elektronikproblemen gesprochen, obwohl die wahren Gründe nicht bekannt sind. Ungeachtet dessen darf es durch einen Fehler oder Ausfall eines E/E-Systems nicht zu einer Gefährdung von Verkehrsteilnehmern kommen. Aus diesem Grund rückt die „Funktionale Sicherheit“ bei der Fahrzeugentwicklung zur Vermeidung von unakzeptablen Risiken durch mögliches Fehlverhalten von elektronischen Systemen immer stärker in den Vordergrund. Die Funktionale Sicherheit, auch Funktionssicherheit genannt, ist als der Teil der Gesamtsicherheit eines technischen Systems zu verstehen, der von der korrekten und einwandfreien Funktion des sicherheitsbezogenen Systems abhängt. Hierbei wird die Funktionale Sicherheit dem Bereich der Betriebssicherheit (bzw. „Safety“) zugeordnet, welcher potentielle Risiken und Gefahren betrachtet, die von einem System ausgehen können. Im Gegensatz hierzu steht der Bereich Schutz oder Angriffssicherheit (bzw. „Security“), der die Gefahren behandelt, die von außen auf ein System einwirken können (s. hierzu auch nachfolgendende Abbildung 11.1.

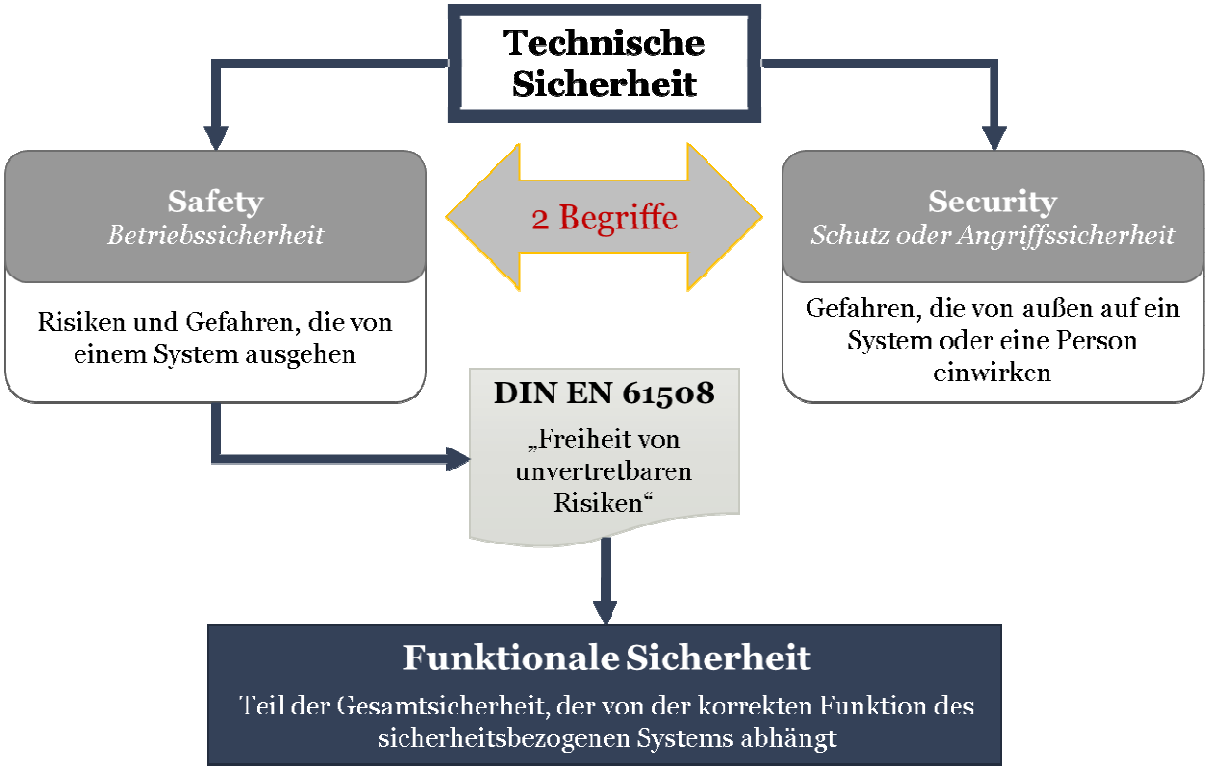



**Abb. 11.1** Kontext der Funktionalen Sicherheit

Hierzu ist anzumerken, dass die scheinbar klare Trennung zwischen den beiden Bereichen immer mehr verwischt und Safety und Security in Zukunft nicht mehr losgelöst voneinander betrachtet werden müssen, da Überschneidungen nicht mehr ausgeschlossen werden können.

## 11.2 Funktionale Sicherheit

Der Funktionalen Sicherheit kam in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten eine immer stärker werdende Bedeutung in allen technischen Bereichen zu. Natürlich haben sich die Hersteller technischer Produkte auch in der Vergangenheit bereits Gedanken zur Sicherheit und den möglichen Auswirkungen ihrer Erzeugnisse gemacht, allerdings kam es erst in den späten 1980er und 1990er Jahren zu den ersten Standardisierungsversuchen, um sicherheits- und zuverlässigkeitstechnische Methoden systematisch in einen Entwicklungsprozess zu implementieren. Als generische Sicherheitsgrundnorm behandelt die DIN EN 61508 [DIN 11] branchenübergreifend (sie hat also Gültigkeit für alle Industriebereiche) den Bereich Funktionale Sicherheit von sicherheitsgerichteten Systemen. Das allgemeine Konzept der Risikominderung ist in Abbildung 11.2 dargestellt. Dabei steht „EUC-Risiko“ für das Risiko, welches für die festgelegten gefährlichen Vorfälle des „equipment under control“, des EUC-Leit- oder Steuerungssystems und zugehöriger menschlicher Faktoren besteht. Die notwendige Risikominderung wird durch eine Kombination aller sicherheitsbezogenen Schutzmerkmale erzielt, um das tolerierbare Risiko zu erreichen.

Eines der vorrangigen Ziele des applikationsunabhängigen Sicherheitsstandards DIN EN 61508 besteht darin, die Ableitung sektorspezifischer Normen zu ermöglichen. Hierdurch sollen die wichtigsten Einflussfaktoren des jeweiligen Anwendungsgebietes vollständig berücksichtigt sowie dessen besonderen Erfordernissen nachgekommen werden. Dies ist in vielen Bereichen bereits geschehen, wie z.B.

- Kerntechnik: DIN EN 61513,
- Prozessindustrie: DIN EN 61511,
- Fertigungsindustrie – Bereich Maschinensicherheit: DIN EN 62061.

Auch für die Automobilindustrie ist ein solches internationales Derivat, die ISO 26262 [ISO 11], erarbeitet worden und seit Ende 2011 veröffentlicht (Band 10 seit Sommer 2012). Sie ist dabei für die Anwendung bei sicherheitsrelevanten E/E-Systemen in serienproduzierten Personenkraftwagen mit einem Gesamtgewicht von bis zu 3.500 kg vorgesehen.

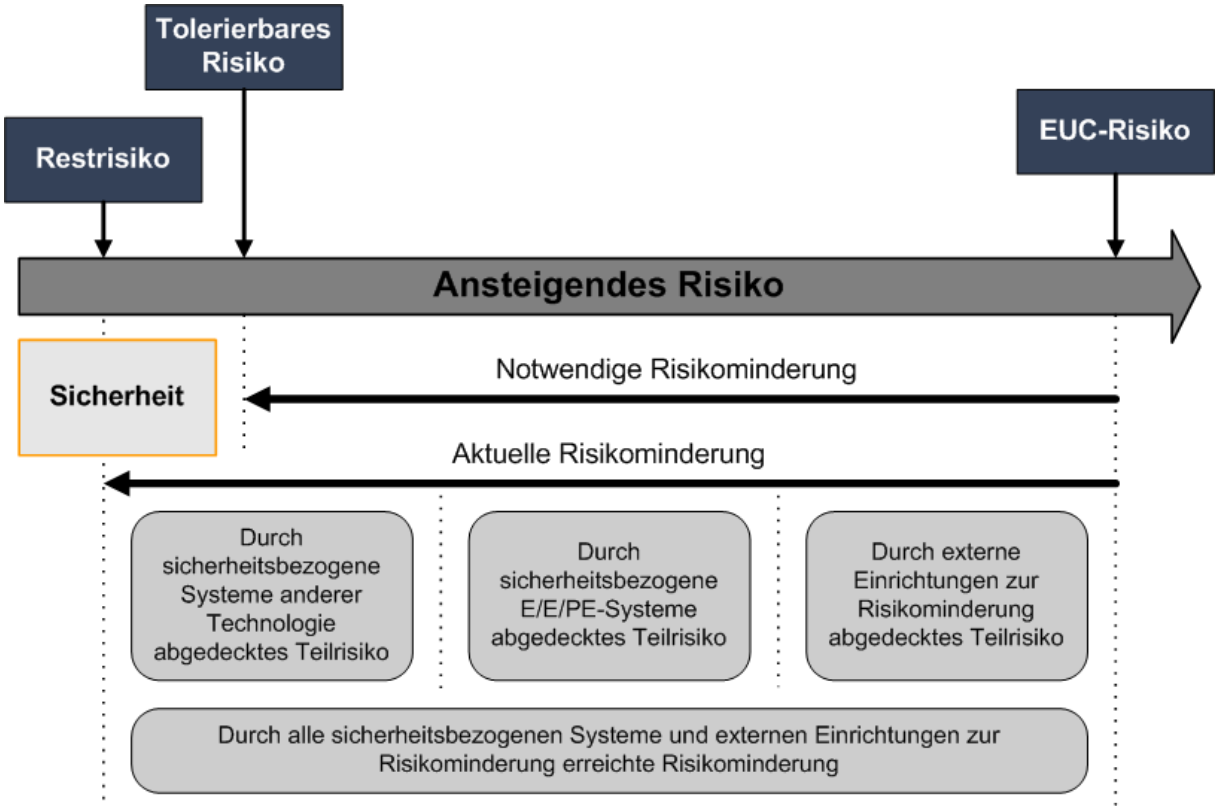



**Abb. 11.2** Allgemeines Konzept der Risikominderung nach DIN EN 61508

## 11.3 Funktionale Sicherheit Automotive

Die ISO 26262 besteht aus insgesamt zehn Bänden, von denen lediglich Band 10 informativen Charakter hat und somit keine normativen Vorgaben enthält. In nachfolgender Abbildung ist die gesamte Struktur des automotiven Normenwerkes vereinfacht dargestellt.

In Abbildung 11.3 ist zu erkennen, dass der Standard auf dem bekannten V-Modell basiert, welches ein Referenzprozessmodell der verschiedenen Phasen der Produktentwicklung ist. Die Nummern in obiger Darstellung stehen für die entsprechenden Bände der Norm. Die schattiert dargestellten „V“s repräsentieren die entsprechenden Querverbindungen zwischen den Teilen 3 bis 7 sowie innerhalb der Bände 5 und 6 der Norm. Diese fünf Phasen umfassen die Kernprozesse des Standards, in denen der eigentliche Produktlebenszyklus behandelt wird. Dieser wird in der ISO 26262 durch einen automotiven Sicherheitslebenszyklus (siehe Abbildung 11.4) in verschiedene Phasen von der Produktentwicklung auf System-, Hardware- und Softwareebene bis hin zur Produktion, Betrieb und Außerbetriebnahme aufgeteilt und strukturiert. Dadurch soll sichergestellt werden, dass diejenigen Tätigkeiten auf sys-

tematische Art und Weise erfasst werden, die notwendig sind, um die Funktionale Sicherheit von sicherheitsbezogenen E/E-Systemen zu gewährleisten. In Band 8 werden neben den unterstützenden Prozessen (Konfigurations- & Anforderungsmanagement) auch Anforderungen an die Dokumentation oder den Betriebsbewährtheitsnachweis beschrieben. Band 9 beinhaltet Angaben zu speziellen sicherheitsorientierten Methoden (z.B. ASIL-Dekomposition, Analyse abhängiger Ausfälle). Alle innerhalb der Normenbände verwendeten Begriffe werden in Band 1 definiert.

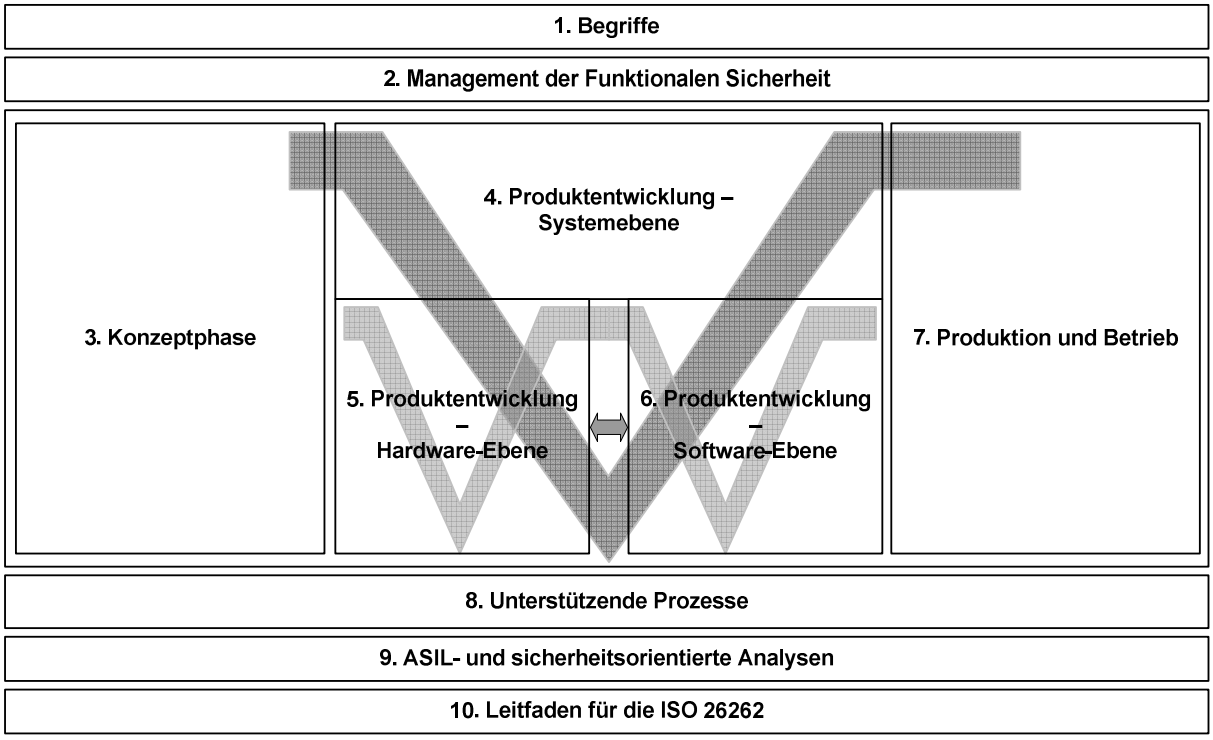



**Abb. 11.3** Struktur der ISO 26262 (vereinfacht)

Der in Abbildung 11.4 dargestellte automotive Sicherheitslebenszyklus lässt sich grob in die drei Kernphasen einen automotiven Produktlebenszyklus einteilen.

Die Konzeptphase endet mit der Erstellung des Funktionalen Sicherheitskonzepts, woraus während der Produktentwicklung schlussendlich Anforderungen sowohl an das System generell, an die Hardware als auch an die Software spezifiziert werden müssen.

Die letzte Kernphase startet nach der Serienfreigabe und beinhaltet u.a. Anforderungen an die Produktion, den Betrieb und die Außerbetriebnahme.

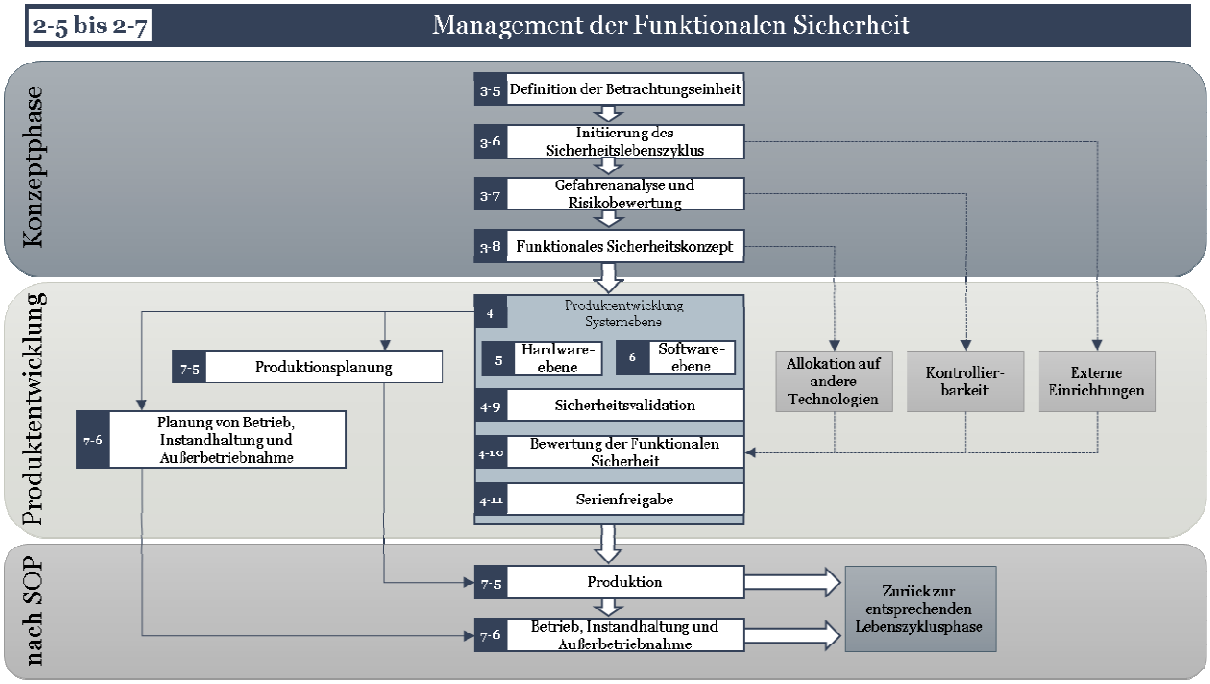



**Abb. 11.4** Automotiver Sicherheitslebenszyklus nach ISO 26262

## 11.4 Kerninhalte der ISO 26262

Das „Management der Funktionalen Sicherheit“ umfasst u.a. Anforderungen an die Organisation (z.B. Einführung einer Sicherheitskultur in das Unternehmen, ein gelebtes Qualitätsmanagement gemäß ISO/TS 16949 oder ISO 9001), das Projektmanagement über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg (dies betrifft die erforderlichen Rollen und Verantwortlichkeiten sowie die Planung und Koordination der notwendigen Sicherheitsaktivitäten) und Absicherungsmaßnahmen zum Nachweis der Normenkonformität, wie Reviews, das Audit und das Assessment der Funktionalen Sicherheit.

Ein elementarer Schritt des Sicherheitslebenszyklus ist die Durchführung einer Gefahrenanalyse und Risikobewertung (G+R), oft auch schlicht als Risikoanalyse bezeichnet. Die G+R ist deswegen so wichtig, da auf den darin erzielten Ergebnissen und Erkenntnissen alle weiteren sicherheitsbezogenen Aktivitäten basieren. Im Rahmen der Risikoanalyse werden unter Berücksichtigung von Betriebs-(Fahr-)situationen Gefährdungen des betrachteten E/E-System im Sinne von Fehlfunktionen betrachtet, wobei die Ursachen der Fehler nicht weiter analysiert werden. Für das Abblendlicht (AL) können z.B. die Fehlfunktionen AL schaltet auf Anforderung nicht ein oder aus, AL schaltet ungewollt ein oder aus, AL flackert, AL leuchtet zu stark oder zu schwach als Beispiele angeführt werden. Die identifizierten Gefährdungssituationen werden anschließend hinsichtlich ihres Risikos bewertet. Das Risiko wird

dabei als eine Funktion der Auftretenshäufigkeit eines gefährlichen Ereignisses, der Fähigkeit der Abwehr eines spezifischen Schadens oder einer Gefahr durch rechtzeitige Reaktionen der involvierten Personen und des potentiellen Schweregrades des resultierenden Schadens oder der Gefahr definiert. Dieser Ansatz basiert auf der allgemeinen Risikodefinition, wonach das Risiko als Kombination aus der Auftretenswahrscheinlichkeit einer gefährlichen Situation und der Schwere ihrer Auswirkung beschrieben wird. Der automotive Ansatz verwendet hierfür die drei Risikoparameter S (für Severity) für die Einstufung des Schadensausmaßes, C (für Controllability) für die Einstufung der Beherrschbarkeit und E (für Exposure) für die Einstufung der Wahrscheinlichkeit der Exposition. Jedem Parameter werden dabei verschiedene Einstufungen zugeordnet, die eine Festlegung erleichtern soll, um den Charakter einer Gefährdungssituation zu beschreiben. Die Schadensschwere wird so zum Beispiel in die Stufen S0 (keine Verletzungen; nur Materialschaden), S1 (leichte bis mäßige Verletzungen), S2 (schwere bis lebensgefährliche Verletzungen – Überleben wahrscheinlich) und S3 (lebensgefährliche Verletzungen – Überleben ungewiss) eingeordnet. Der Risikoparameter C der Kontrollierbarkeit wird über die Stufen C0 (allgemein beherrschbar), C1 (einfach beherrschbar – z.B. das Anfahren mit blockierter Lenkung) und C2 (normal beherrschbar) bis C3 (schwer oder nicht beherrschbar – vollständiges Bremsversagen) klassifiziert. Die Exposition in der Gefährdungssituation wird mit Hilfe der Einstufungen E0 (unvorstellbar), E1 (sehr geringe Wahrscheinlichkeit), E2 (geringe Wahrscheinlichkeit), E3 (mittlere Wahrscheinlichkeit) bis E4 (hohe Wahrscheinlichkeit) klassifiziert.

| | | C1 | C2 | C3 |
|---|---|---|---|---|
| S1 | E1 | QM | QM | QM |
| | E2 | QM | QM | QM |
| | E3 | QM | QM | A |
| | E4 | QM | A | B |
| S2 | E1 | QM | QM | QM |
| | E2 | QM | QM | A |
| | E3 | QM | A | B |
| | E4 | A | B | C |
| S3 | E1 | QM | QM | A |
| | E2 | QM | A | B |
| | E3 | A | B | C |
| | E4 | B | C | D |

**Abb. 11.5** ASIL-Matrix

In einfachen Worten werden mit den Risikoparametern folgende Fragen betrachtet: Was kann in einer Situation passieren? Wie können die Verkehrsteilnehmer auf die Gefahr reagieren? Wie oft ist jemand überhaupt in der entsprechenden Situation?

Sind alle Parameter eingestuft worden, erfolgt die Festlegung der erforderlichen Risikominderung über die Ermittlung des automotiven Sicherheitsintegritätslevels (ASIL). Der ASIL ergibt sich aus der Kombination der drei Risikoparameter anhand einer Risikomatrix. Der ASIL ist als eine von vier Klassen (A, B, C und D) zur Spezifizierung der notwendigen Sicherheitsanforderungen des Systems zu verstehen, um ein akzeptables Risiko zu erreichen. Ein ASIL A stellt hierbei die niedrigste und ein ASIL D die höchste Einstufung dar. Die ASIL-Klassifizierung ist folglich das Ergebnis eines analytischen Vorgehens, um potentielle Risiken einer sicherheitsrelevanten Fahrzeugfunktion zu bewerten. Die Zusammenhänge zwischen der ASIL-Einstufung und der Risikoreduzierung werden in Abbildung 11.5 verdeutlicht.

Die ASIL-Matrix in obiger Darstellung ist wie folgt zu interpretieren: Die Parametereinstufungen *E3* (mittlere Expositionswahrscheinlichkeit) *C2* (normale Beherrschbarkeit) und *S2* (schwere bis lebensgefährliche Verletzungen) ergeben beispielsweise einen ASIL A. In Abbildung 11.5 sind die zuvor erwähnten Einstufungen S0, C0 und E0 im Übrigen nicht dargestellt, da eine hiermit eingestufte Situation keine ASIL-Anforderung erhält.

Eine höhere ASIL-Einstufung geht einher mit entsprechend anspruchsvolleren bzw. effektiveren Maßnahmen. QM steht für Qualitätsmanagement und bedeutet, dass keine besonderen Maßnahmen zur Risikoreduzierung im Sinne der ISO 26262 erforderlich sind, sondern die Schritte der Standardentwicklung im Automobilbereich (z.B. ISO/TS 16949) als ausreichend angesehen werden. Die Zusammenhänge zwischen der ASIL-Einstufung und der Risikoreduzierung werden in Abbildung 11.6 verdeutlicht.

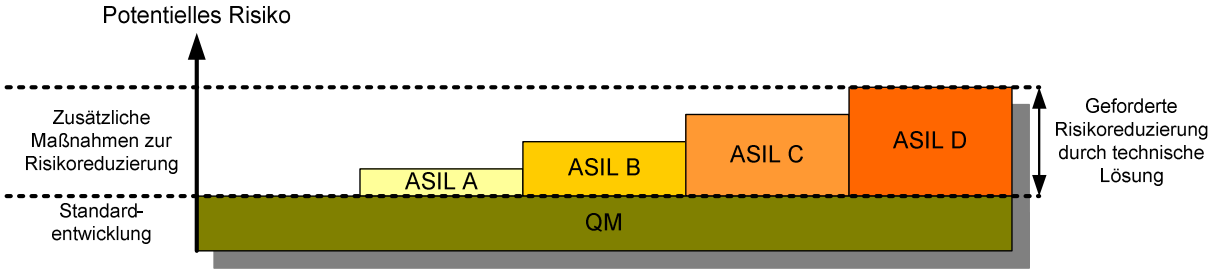



**Abb. 11.6** Zusammenhang ASIL und Risikoreduzierung nach [DOL 08]

Für jede Gefährdung, die in der G+R betrachtet wurde, wird in einem weiteren Schritt ein Sicherheitsziel bestimmt. Ein Sicherheitsziel wird auf Fahrzeugebene definiert, weswegen diese Aufgabe nur vom OEM vorgenommen werden kann, der auch die G+R durchführt. Diese Sicherheitsziele werden im anschließenden Funktionalen Sicherheitskonzept (FSK) benötigt, um die funktionalen Sicherheitsanforderungen abzuleiten. Ein Sicherheitsziel stellt somit die Top-Level-Sicherheitsanforderung dar. Hierbei kann sowohl ein Sicherheitsziel mehreren Gefährdungen zugeordnet sein als auch mehrere Sicherheitsziele einer Gefährdung. Die Sicherheitsanforderungen werden im Anschluss an das FSK während des Technischen Sicherheitskonzepts in technische Sicherheitsanforderungen überführt, die dann wiederum in entsprechenden Hard- und/oder Softwareblöcken umgesetzt werden. Vereinfacht gesagt beschreibt das **funktionale Sicherheitskonzept WAS** getan werden muss, um die Sicherheitsziele zu erreichen und das **technische Sicherheitskonzept** erläutert, **WIE** dies technisch umgesetzt werden muss.

In Abhängigkeit der über die G+R ermittelten ASIL-Einstufung stellt die Automobilnorm ISO 26262 anschließend Anforderungen an die unterschiedlichen Phasen des Sicherheitslebenszyklus (z.B. an die System-, Hardware- und Softwareentwicklung sowie die Produktion), welche die Verantwortlichen in der Automobilindustrie zu beachten haben. Die ASIL-Einstufungen bestimmen folglich, welche Schritte in der Entwicklung durchlaufen werden müssen und welche Anforderungen an das E/E-System zu stellen sind, um eine entsprechende Absicherung des Systems zu gewährleisten. Zu diesen Anforderungen zählen unter anderem:

- die Durchführung von induktiven und deduktiven Sicherheitsanalysen (wie z.B. FMEA und Fehlerbaumanalyse) auf Ebene des Systemdesigns,
- der Nachweis über so genannte Hardware-Metriken, dass die Hardware-Architektur in Bezug auf die Behandlung von Einfach- (Single Point Fault Metric, SPFM) und latenten Mehrfachfehlern (Latent Point Fault Metric, LFM) hinreichend effektiv ist,
- Maßnahmen gegen systematische Ausfälle (sowohl Hard- als auch Software),
- den Nachweis, dass das verbleibende Risiko einer Verletzung eines Sicherheitsziels (Top-Level-Sicherheitsanforderung) aufgrund zufälliger Hardware-Ausfälle hinreichend niedrig ist,
- die Anwendung spezifischer Methoden im Rahmen der Softwareentwicklung,
- die Erstellung von Fertigungs- und Produktionslenkungsplänen,
- die Spezifizierung und Umsetzung eines Feldbeobachtungsprozesses und
- Anforderungen an den Nachweis der Betriebsbewährtheit (s. hierzu auch [SCH 12]).

## 11.5 Zusammenfassung

Das grundlegende Konzept der ISO 26262 besteht in einem qualitativen und quantitativen Vorgehen zur Risikoreduzierung. Auf der einen Seite soll durch meist qualitative Maßnahmen eine Fehlervermeidung erreicht werden. Quantitative Maßnahmen zu Fehlerkontrolle sollen dem Nachweis dienen, dass die Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls in einem akzeptablen Bereich liegt. Da Ausfälle nie ganz ausgeschlossen werden können (eine 100%ige Sicherheit gibt es bekanntlich nicht), muss alles dafür getan werden, dass sie so weit wie möglich vermieden bzw. dass ihre Auswirkungen bestmöglich kontrolliert werden.

Der Nachweis, dass das betrachtete System funktional sicher ist, wird über so genannte Arbeitsprodukte erbracht, die für die unterschiedlichen Aktivitäten in den einzelnen Phasen des Sicherheitslebenszyklus erstellt werden müssen. Darin enthalten sind die Ergebnisse der durchgeführten Maßnahmen. Zu diesen Arbeitsprodukten zählen beispielsweise der Sicherheitsplan, die Definition der Betrachtungseinheit, die G+R, das funktionale und das technische Sicherheitskonzept, Integrations- und Testpläne sowie Validierungs- und Verifizierungspläne, um nur einige zu nennen.

Viele Anforderungen des Normenwerks beinhalten keine konkreten Angaben der einzusetzenden Technik; es werden vielmehr Beispiele geboten, die somit Platz für einen gewissen Interpretationsspielraum bieten. Welche konkrete Methode letztendlich für die Umsetzung gewählt wird, bleibt den Verantwortlichen überlassen, was zu Schwierigkeiten führen kann. Insbesondere im Software-Teil der ISO 26262 sind umfangreiche Tabellenwerke mit den einzusetzenden Maßnahmen und Techniken im Rahmen der Softwareentwicklung zu finden. Oft muss aus den Tabellen eine angemessene Kombination an Techniken gewählt werden, die den ASIL-abhängigen Anforderungen genügt. Hierfür bedarf es eines gesunden Erfahrungsschatzes. Die Freiräume sind nach [KRI 11] aber durchaus so gewollt, da die Norm Lösungsvorschläge aufzeigen und wenig konkret vorschreiben will, um die Innovationsfähigkeit und Wettbewerbsdifferenzierung nicht zu behindern. Nichtsdestotrotz wünschen sich viele Anwender in der Praxis konkretere Angaben und Hinweise, wie einzelne Anforderungen umgesetzt werden sollen.

Dem Automobilstandard mangelt es an einigen Stellen allerdings auch an klaren Definitionen und Erläuterungen, so beispielsweise hinsichtlich der erwähnten Hardware-Metriken, bei denen klare Definitionen und Abgrenzungen bei den zu verwendenden Größen fehlen. Weiterhin werden Grenzwerte für zufällige Hardwareausfälle vorgegeben. Der entsprechende Parameter wird jedoch nicht eindeutig definiert. Auch dem automotiven Betriebsbewährtheitsnachweis, bei dessen Vorgehensweise bereits einige Schwächen nachgewiesen sind, mangelt es darüber hinaus an einheitlichen Definitionen.

Muss in einem Unternehmen die ISO 26262 neu eingeführt werden, ergibt sich umgehend die Frage nach dem aufkommenden Aufwand, um normenkonform zu sein. Diese sehr wichtige Frage kann jedoch nicht pauschal beantwortet werden. Es hängt stark davon ab, wie die Prozesse in dem jeweiligen Unternehmen bereits aufgestellt sind. In der Regel wird es oft so sein, dass eine Reihe der ISO-Anforderungen bereits umgesetzt werden und auch eine Vielzahl der ISO-Arbeitsprodukte schon im Unternehmen vorliegen, so dass zum Beispiel noch einige zusätzliche Methoden implementiert, zusätzliche Dokumente erstellt sowie Bestätigungsmaßnahmen und Tests ein- und durchgeführt werden müssen. Weiterhin kann die Einführung der ISO 26262 aufgrund der erweiterten bzw. zusätzlichen Rollen auch Änderungen in der Organisation mit sich bringen, die aber von bestehenden Rollen übernommen werden können. Experteneinschätzungen gehen davon aus, dass der Entwicklungsaufwand um ca. 3% bis 10% ansteigen wird [elp 01]. Es ist aber davon auszugehen, dass der Mehraufwand nach einem initialen Anstieg, in dem neue Dinge implementiert und Prozesse angepasst werden müssen, über die Jahre hinweg wieder abnehmen wird.

Die ISO 26262 ist nicht als Norm für die Herstellung konkreter sicherheitsrelevanter Produkte zu verstehen. Sie beschreibt vielmehr die Prozesse, deren korrekte Einhaltung, Durchführung und Dokumentation die Risiken von E/E-Systemen im Automobil in der Art reduzieren soll, so dass keine nicht hinnehmbaren Risiken verbleiben. Bei den von der Norm vorgesehenen Prozessen bedarf es natürlich einer Verknüpfung in die Prozesse des Qualitätsmanagements für die Produktrealisierung.

## 11.6 Literatur

[DIN 11] DIN EN 61508: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme, 2011-02.

[DOL 08] Dold, A.: Implementation of Requirements From ISO 26262 in the Development of E/E Components and Systems – Challenges & Approach. Automotive Electronics and Electrical Systems Forum 2008, Stuttgart, 2008.

[elp 01] Webcast-URL: www.elektronikpraxis.vogel.de/die-norm-iso-26262-fuer-automotive-kommt!-v-12632-12439.

[ISO 11] ISO 26262: Road vehicles – Functional safety, 2011-11.

[KRI 11] Kriso, S.; Hamann, R.: Die ISO 26262 ist veröffentlicht – Konsequenzen für OEMs und Zulieferer. VDI-Berichte 2132, Elektronik im Kraftfahrzeug, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2011.

[SCH 12] Schlummer, M.: Beitrag zur Entwicklung einer alternativen Vorgehensweise für eine Proven-in-Use-Argumentation in der Automobilindustrie, Bergische Universität Wuppertal, Dissertation, 2012.

**Abb. 11.7** Dr. Marco Schlummer (IQZ, Wuppertal) mit Produktsicherheitsexperte Lutz Gathmann aus Düsseldorf im Nachgespräch (v.l.n.r.).

# 12 Nanotechnologie – Ein Beispiel für erfolgreiche Technologiefolgenabschätzung? (ROLF PACKROFF)

**105. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 7. Juli 2014 in Wuppertal**

**Dr. Rolf Packroff**
Wissenschaftlicher Leiter des Fachbereich 4
„Gefahrstoffe und Biologische Arbeitsstoffe“ der
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund

## 12.1 Die Ausgangssituation vor 10 Jahren

Seit Mitte des letzten Jahrzehnts wird die Nanotechnologie, u.a. im Rahmen der Hightech-Strategie 2020 für Deutschland, als Schlüssel für die Industrieproduktion von Morgen gesehen[1]. Obwohl einige Verfahren, wie z.B. bei der Herstellung von Katalysatoren, schon seit Jahrzehnten genutzt werden, bietet die Nanotechnologie eine Vielzahl neuer Techniken für einen sehr gezielten Aufbau von Werkstoffen mit spezifischen Materialeigenschaften. Diese werden als Nanomaterialien bezeichnet und weisen Strukturen mit Dimensionen unter 100 Nanometer (= 0.0001 mm) auf. Nanomaterialien bieten Chancen für eine nachhaltige Entwicklung im Sinne von Umwelt-, Arbeits- und Verbraucherschutz. Hierzu zählen u.a. die Einsparung von Rohstoffen und Energie durch Miniaturisierung, Gewichtsreduktion und Funktionsoptimierung und die Verbesserung der Reinigungsleistung von Filtersystemen für Abluft und Abwasser. Hinzu kommen Anwendungen in der Medizin, der Schutz vor UV-Strahlung und biozide Anwendungen, die perspektivisch zu einem verbesserten Schutz der Gesundheit beitragen.

Die Nanotechnologie nutzt Erkenntnisse aus der Quantenphysik und -chemie. Atome an der Oberfläche eines Festkörpers weisen andere Energiezustände auf, als die im Innern des Materials liegenden. Wenn die Oberfläche eines Werkstoffes vergrößert wird, nimmt der Einfluss der Oberflächenatome auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Materials zu. Dies führt z.B. dazu, dass sich die Farbe des Materials ändert. So ist mikroskaliges Gold gelblich glänzend, während die Nanoform rot ist. Die wussten schon frühe Glaskünstler bei der Schaffung farbiger Kirchenfens-

[1] http://www.bmbf.de/pub/hts_2020.pdf

ter zu nutzen. Nanomaterialien sind also chemische Stoffe, die gezielt mit großen Oberflächen hergestellt und ggf. durch Beschichtungen oder chemische Reaktionen modifiziert werden. Sie können andere Materialeigenschaften aufweisen als die zugehörigen Basischemikalien („bulk materials“) mit gleicher chemischer Zusammensetzung.

Die Welt der Nanomaterialien ist komplex (Abb. 12.1). Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, im Rahmen von Herstellungsprozessen eine Oberflächenvergrößerung mit dem Ziel nanoskaliger Eigenschaften zu erreichen. Die gezielte Herstellung voneinander isolierter Nanopartikel mit Durchmessern unter 100 Nanometern ist hierbei eher die Ausnahme, die meisten kommerziellen Nanomaterialien sind Agglomerate oder Aggregate von solchen "Primärpartikeln" im Mikrometerbereich. Darüber hinaus kommt, aufgrund ihrer Eigenschaften zur Verstärkung der Zugfestigkeit von Werkstoffen, ggf. auch verbunden mit einer elektrischen Leitfähigkeit, den faserförmigen Nanomaterialien eine besondere Bedeutung zu.

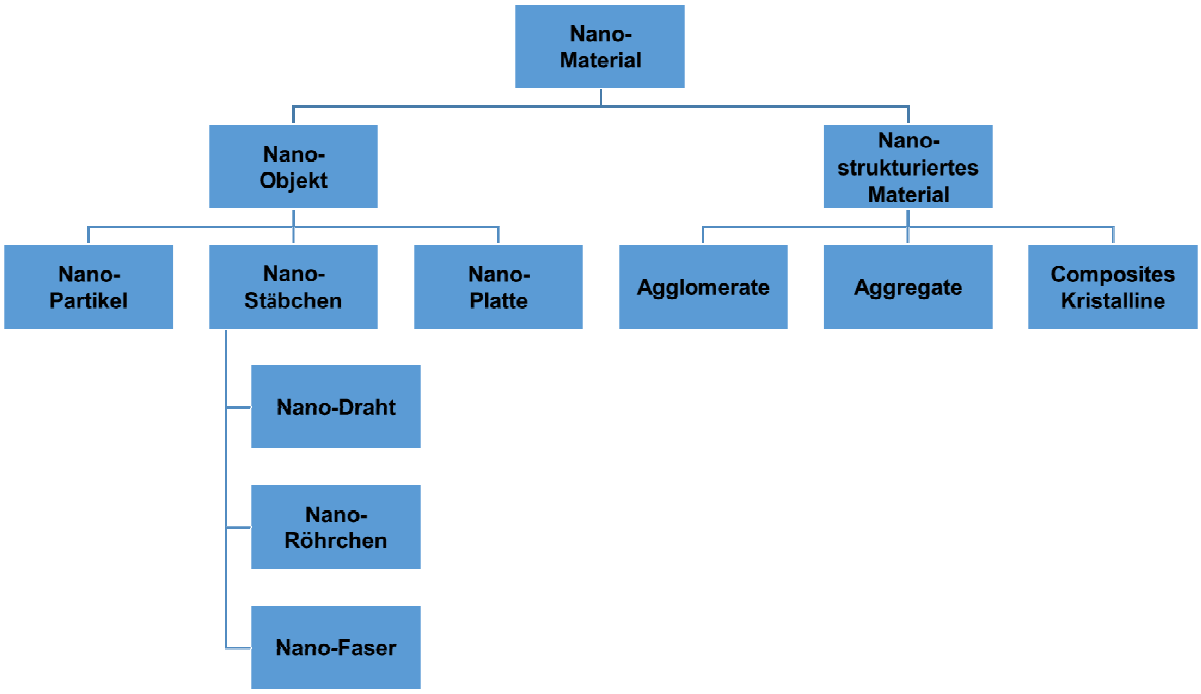



**Abb. 12.1** Nanomaterialien können sehr unterschiedliche Strukturen (Morphologien) aufweisen.

Die Nanotechnologie war, wie viele andere neue Technologien auch, von Beginn an mit Besorgnis verbunden. Diese fokussierte sich auf Nanomaterialien, die ein wichtiges Produkt nanotechnologischer Prozesse sind. Die Hauptthesen der Besorgnis waren:

- Nanomaterialien sind sehr klein und können vom Körper leicht aufgenommen und sich im Organismus besser verteilen als größere Partikel.
- Neuartige technische Eigenschaften sind mit neuartigen Gesundheitsgefahren verbunden.
- Nanomaterialien sind Krebs erzeugend wie Asbest.

Die zuständigen Ressortforschungseinrichtungen des Bundes (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Umweltbundesamt (UBA)) haben 2007 eine gemeinsame Forschungsstrategie aufgestellt, die den Bedarf an Risikoforschung aus Sicht des Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes beschreibt[2]. Dies hat im Bereich des Arbeitsschutzes eine besondere Bedeutung, da die in der Entwicklung und Produktion von Nanomaterialien beschäftigten Personen als erste mit den Auswirkungen der neuen Technologie konfrontiert sind. Auch der ebenfalls 2007 erschienene Zukunftsreport "Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit" des Büros für Technikfolgenabschätzung im Deutschen Bundestag identifizierte die Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie und skizzierte Fragestellungen für eine notwendige Risiko- und Sicherheitsforschung[3].

Die BAuA verfolgt das Thema „Nanomaterialien am Arbeitsplatz“ seit 2005 als eigenständigen programmatischen Schwerpunkt. Die Forschungsaktivitäten profitieren in erheblichem Maße von früheren Projekten, die die Kanzerogenität von lungengängien, biopersistenten Fasern und granulären Stäuben, die Übertragbarkeit tierexperimenteller Ergebnisse auf den Menschen und chronische Erkrankungen der Atemwege durch Stäube am Arbeitsplatz zum Gegenstand hatten.

## 12.2 Wo stehen wir 2014?

Die Besorgnis zur Sicherheit von Nanomaterialien hat einen weltweiten Boom in der Risiko- und Sicherheitsforschung ausgelöst. In Deutschland haben die Ressortforschung des Bundes, die Projektförderung durch das Bundesforschungsministerium (BMBF) und die Forschungsrahmenprogramme der EU die notwendige inter- und transdiszipläre Vernetzung unterstützt, um die rasanten technischen Entwicklungen mit vorhandenem Wissen zur Risikobewertung von chemischen Stoffen zu verknüpfen, offene Forschungsfragen zu formulieren und gemeinsam zu bearbeiten. Für die gemeinsame Forschungsstrategie von BAuA, BfR, UBA liegt die erste Bilanz zum

---

[2] http://www.baua.de/nn_47716/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Forschungsstrategie.pdf

[3] http://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab113.pdf

Stand von über 80 Forschungsprojekten vor. Inzwischen sind auch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) und die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in das Programm eingebunden. Fortschritte lassen sich unter anderem bei der Entwicklung von Mess- und Testverfahren, der Ermittlung von Belastungen für Mensch und Umwelt sowie bei der Bewertung von Risiken verbuchen.

Mit Blick auf die Fragen des Arbeitsschutzes hat die BAuA seit 2005 eine Reihe von FuE-Vorhaben zu den Risiken und zur sicheren Handhabung von Nanomaterialien durchgeführt. Nachfolgend sind die Ergebnisse der bereits abgeschlossenen Vorhaben und die derzeit bearbeiteten Forschungsfragen skizziert[4].

**Materialcharakterisierung**

Aus der Sicht des Informationsbedarfes für den Arbeitsschutz sind die in der REACH-Verordnung aufgeführten Methoden zur Ermittlung der physikalisch-chemischen Eigenschaften für Registrierung von Stoffen mit geringen Anpassungen für Nanomaterialien anwendbar (F 2261[5]).

**Exposition**

Mit modifizierten Messmethoden zur Erfassung von Fein- und Ultrafeinstäube ist auch die Messung von aus Nanomaterialien freigesetzten Partikeln in der Luft am Arbeitsplatz möglich. Ein neues Verfahren zur Probenahme im Atembereich wurde entwickelt (F 2217), eine neue Messstrategie berücksichtigt die Hintergrundbelastungen mit ultrafeinen Partikeln aus der Umgebung. In Arbeitsplatzproben dominieren mikroskalige Agglomerate und Aggregate, nanoskalige Partikel sind eher selten. Bislang wurde keine signifikante Erhöhung der Partikelkonzentrationen bei den Feldmessungen an Arbeitsplätzen gefunden (F 2157). Unternehmen, die Nanomaterialien herstellen und verwenden, haben häufig keine Informationen zur Exposition ihrer Beschäftigten (F 2271).

Das Verstaubungsverhalten ist ein wichtiges Kriterium zur Bewertung einer möglichen Belastung von Mensch und Umwelt im Lebenszyklus von Nanomaterialien. Mit dem neu entwickelten BAuA-Shaker-Verfahren können das Verstaubungsverhalten und die Gestalt von freigesetzten Partikeln aus Materialproben charakterisiert werden (F 1946, CarboSafe). Viele Nanomaterialien zeigen im Shaker-Test nur eine geringe

---

4 Weitere Informationen unter www.baua.de/nanotechnologie

5 Unter der Projektbezeichnung können auf den Internetseiten der BAuA (www.baua.de) weitere Informationen abgerufen werden.

Tendenz zur Verstaubung (F 2269, nanoGEM). Das Staubungsverhalten von Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT) hat eine große Streubreite, die Gestalt der Partikel ist vielfältig. Bei einigen Proben kommerzieller CNT wurden asbestähnliche Fasern beobachtet (F 1946, CarboSafe; F 2284, CarboLifeCycle). Für das Shaker-Verfahren wird ein Normungs-Verfahren angestrebt.

Aktuelle Forschungsfragen: Kann für Routinemessungen die Auswertung der Probenträger unter dem Rasterelektronenmikroskop (teil-) automatisiert werden (F 2272)? Welche personengetragene Mess- und Sammelgerätegeräte sind für die Erfassung luftgetragener Nanopartikel am Arbeitsplatz am besten geeignet (F 2337, nanoIndEx)? Wie kann das Shaker-Verfahren zur Charakterisierung des Staubungsverhaltens von innovativen Materialien unter REACH etabliert werden (F 2325, NANoREG)?

**Gefährdungspotenzial (Wirkung)**

Die systematische Suche nach Wirkprinzipien für die toxikologische Charakterisierung soll eine Gruppenbildung ermöglichen und aufwändige Einzeltestungen durch die Hersteller vermeiden. Die gesundheitlichen Wirkungen von Nanomaterialien lassen durch bekannte Wirkprinzipien beschreiben (F 2269). Die Forschungsaktivitäten konzentrierten sich auf die Gruppe der GBS-Nanomaterialien (GBS = granuläre biobeständige Stäube), die keine über die toxischen Wirkungen inerter Partikel hinausgehenden spezifischen Wirkungen aufweisen. Für ausgewählte GBS-Nanomaterialien konnte in vivo eine genotoxische Wirkung bestätigt werden (F 2135). Hingegen wurde in vivo keine signifikante Deagglomeration im Lungenmilieu und eine sehr geringe systemische Verfügbarkeit beobachtet (F 2133). Bei GBS sind die Unterschiede in der Wirkstärke (Entzündung, Kanzerogenität) von mikro- und nanoskaligen Materialien des gleichen Stoffes gering (F 2273). Die Modifizierung der Oberflächeneigenschaften von Nano-Titandioxid hat nur einen geringen Einfluss auf die toxische Wirkung eingeatmeter Partikel in der Lunge (F 2246).

In-vitro Methoden haben häufig nur eine geringe Sensitivität zur Identifizierung kanzerogener Wirkungen von biobeständigen Partikeln (F 2043). Der BAuA Cyto-TP, bei dem luftgetragene Partikel auf Lungenzellen abgeschieden werden, soll zukünftig vor Ort ein Erstscreening der zelltoxischen Eigenschaften von innovativen Materialien ermöglichen (F 2248, NANODE-VICE).

Aktuelle Forschungsfragen: Welche Methoden eignen sich zur Ermittlung der Biobeständigkeit von GBS (F 2336)? Welche gesundheitlichen Langzeiteffekte können GBS-Nanopartikel nach Einatmen verursachen (F 2325, NANoREG)?

## Risikobewertung, -management, -kommunikation

In den Regelungen zur Chemikaliensicherheit müssen Schutzlücken für Nanomaterialien identifiziert und – konsistent mit anderen chemischen Stoffen – geschlossen werden. Nur wenige, bereits recht gut untersuchte Nanomaterialien werden derzeit in Deutschland im industriellen Maßstab hergestellt und verwendet. Die Mehrzahl der Unternehmen in Deutschland wendet bereits besondere Arbeitsschutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit Nanomaterialien an (F 2271). Mit Control-Banding-Ansätzen, z.B. dem Einfachen Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe (EMKG) der BAuA[6], ist ein praxisgerechter Einstieg in die Gefährdungsbeurteilung von Tätigkeiten mit Nanomaterialien möglich (F 2269, nanoGEM).

**Auszug aus dem Forschungs- und Entwicklungsprogramm 2014 - 2017[7] der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin**

*Nanomaterialien und innovative Werkstoffe*

Die Ergebnisse aus der bisherigen Sicherheitsforschung zeigen, dass einige Nanomaterialien am Arbeitsplatz lungengängige Partikel und Fasern freisetzen, die zu Gefährdungen der Gesundheit führen können. Staubungsverhalten, Morphologie und Biobeständigkeit haben sich als relevante Kriterien zur Bewertung möglicher Risiken im Lebenszyklus von Nanomaterialien herausgestellt, sind jedoch in den Prüf- und Informationsanforderungen zur europäischen Chemikaliensicherheit bislang nur unzureichend berücksichtigt. Zudem ist ein mögliches Risiko für die Beschäftigten durch das Einatmen kritischer Partikel nicht auf Nanomaterialien beschränkt, da auch chemische Stoffe, die nicht unter die EU-Definition von Nanomaterialien fallen, zu vergleichbaren Gefährdungen führen können. Dies betrifft auch die im europäischen Forschungsrahmenprogramm „Horizont 2020“ erstmalig geförderten innovativen Materialien.

Die Forschung und Entwicklung zur Sicherheit von Nanomaterialien soll fortgeführt und auf andere innovative Werkstoffe ausgeweitet werden, mit dem Ziel, wissenschaftliche Beiträge für die Weiterentwicklung der Prüf- und Informationsanforderungen unter REACH und die Beratung von Start-up-Unternehmen zu leisten. Für granuläre mikro- und nanoskalige Partikel werden Methoden zur Bestimmung der Biobeständigkeit entwickelt und die Langzeitwirkung in der Lunge und anderen Organen erforscht. Die Shaker-Methode zur Bestimmung des Staubungsverhaltens soll entwicklungsseitig für regulatorische Zwecke anwendbar gemacht und die Auswertung elektronenmikroskopischer Aufnahmen durch computergestützte Bilderkennung beschleunigt werden. Ein weiteres Entwicklungsfeld ist das mobile Screening von freigesetzten Partikeln auf zelltoxische Eigenschaften, das zukünftig Hinweise auf die Notwendigkeit weiterer toxikologischer Tests bei der Entwicklung neuer Materialien und Werkstoffe liefern soll. Speziell für den Arbeitsschutz in Forschungseinrichtungen und Start-up-Unternehmen werden auf der Basis von Feldstudien praktische Hilfestellungen erarbeitet. Auch weiterhin sollen die Aktivitäten in Drittmittelprojekte mit deutschen und internationalen Kooperationspartnern eingebunden werden. Die 2008 begonnene gemeinsame Forschungsstrategie der deutschen Bundesoberbehörden zur Sicherheit von Nanomaterialien für Mensch und Umwelt wird fortgeführt.

Aktuelle Forschungsfragen: Müssen unter REACH die Informations- und Prüfforderungen zum Staubungsverhalten und zur Ermittlung der Biobeständigkeit von Partikeln und Fasern ausgebaut werden (F 2273)? Lässt sich aus den vorliegenden wis-

[6] Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe, www.baua.de/emkg

[7] http://www.baua.de/de/Publikationen/Broschueren/Infomaterial/I28.html

senschaftlichen Erkenntnissen eine europäische Leitlinie für den Arbeitsschutz in Forschungseinrichtungen und Start-ups ableiten? Mindern die vorgeschlagenen Maßnahmen für Forschung und Pilotproduktion die inhalative Exposition in ausreichendem Maße? Wie kann durch Trainingsmaterialien und Beratung die Aufmerksamkeit für Fragen des Arbeitsschutzes in Forschungseinrichtungen und Start-ups verbessert werden (F 2268, NanoValid)? Lassen sich zur Vereinfachung der Registrierung unter REACH Morphologiegruppen ableiten (F 2325, NANoREG)?

**Erkenntnisse zur Sicherheit von Nanomaterialien**

Die Vielzahl von Forschungsergebnissen in den letzten Jahren erlaubt es, vor dem Hintergrund der o.g. Besorgnis einen aktuellen Stand der Erkenntnisse zur Sicherheit von Nanomaterialien zu formulieren:

- Die Gefahreneigenschaften des Grundstoffes ("bulk material") sind auch bei den Nanoformen zu berücksichtigen. Die Freisetzung biobeständiger Partikel kann zu Atemwegserkrankungen führen, wenn sie aufgrund ihrer Größe (i.d.R. unter wenigen Mikrometern) in die Lungenbläschen (Alveolen) gelangen können.
- Es sind noch keine neuartigen Wirkungen aufgefallen, die ausschließlich synthetische Nanomaterialien betreffen. Auch (innovative) Werkstoffe mit Strukturen über 100 nm, staubende Produkte sowie natürliche oder prozessbedingte Fein- und Ultrafeinstäube (z.B. aus Verbrennungsprozessen) können zu vergleichbaren Gesundheitsgefährdungen führen. Der Einfluss von unspezifischen Oberflächenbeschichtungen (Hydrophilierung bzw. -phobierung) auf die Toxizität von Nanomaterialien scheint nach ersten Untersuchungen nicht von hoher Relevanz zu sein.
- Die Tendenz zur Verstaubung ist bei etlichen Nanomaterialien gering. Einige Nanomaterialien, insbesondere faserförmige, weisen jedoch ein ungünstiges Staubungsverhalten auf.
- Die Mehrzahl der Nanopartikel treten nicht als isolierte Nanoobjekte auf, sondern agglomerieren oder aggregieren oft unmittelbar nach der Synthese zu größeren mikroskaligen Einheiten, die im Regelfall auch bei Freisetzung nicht wieder in die Primärpartikel zerfallen. Untersuchungen an Titandioxid haben gezeigt, das auch beim eingeatmeten Partikel in der Lunge kein wesentlicher Zerfall zu beobachten ist.
- Bei einigen Formen von Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT), die Partikel aus rigiden Fasern (WHO-Fasern) freisetzen können, könnte eine mit Asbest vergleichbare Gefährdung von Beschäftigten vorliegen.

## 12.3 Schlussfolgerungen für die Rechts- und Regelsetzung

Die Geschichte des Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes ist geprägt von späten - wie im Fall von Asbest häufig zu späten - Reaktionen auf frühe Hinweise zu negativen Folgen einer Einführung und Anwendung neuer Technologien oder Agenzien[8]. Mit der Mitteilung zur Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips[9] hat die Europäische Union im Jahr 2000 ein wichtiges Zeichen für ein staatliches Handeln gesetzt, wenn die Wissenschaft zwar eine qualifizierte Risikovermutung ausspricht, sie aber noch nicht durch entsprechende Studien untermauern oder sogar quantifizieren kann.

### Arbeitsschutzrecht

Die für Nanomaterialien erkannten Risiken für Gesundheit und Sicherheit von Beschäftigten betreffen auch andere seit langem bekannte Gefahrstoffe, z.B. Produkte, die lungengängige, biobeständige Partikel freisetzen oder Prozesse (u.a. Verbrennung, Schweißen), die Fein- und Ultrafeinstäube freisetzen. Die Gefahrstoffverordnung beschreibt daher bereits alle notwendigen Schutzmaßnahmen, um den erkannten Risiken durch Nanomaterialien am Arbeitsplatz adäquat zu begegnen. Diese finden sich insbesondere im Anhang I Nr. 2 "Partikelförmige Gefahrstoffe", aber auch im § 6 Abs. 12, der bei nicht geprüften Gefahrstoffen die vorläufige Unterstellung toxischer Eigenschaften, z.B. akute Toxizität und Verdacht auf Mutagenität, bei der Gefährdungsbeurteilung vorsieht. Beide Regelungen sind in der europäischen Agenzienrichtlinie (98/24/EG) allerdings noch nicht explizit verankert.

Bereits 2008 hat die BAuA gemeinsam mit dem Verband der chemischen Industrie (VCI) eine Empfehlung zur Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien veröffentlicht. Diese wurde 2012 aktualisiert. Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) hat auf dieser Grundlage 2013 mit der Bekanntmachung BekGS 527[10] die praktische Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben durch Konkretisierung für synthetische Nanomaterialien unterstützt. Darüber hinaus wurde im November der Arbeitsplatzgrenzwert für granuläre, biobeständige Stäube (GBS) als Massenkonzentration neu festgelegt (1.25 mg/m³ bei einer Dichte von 2.5). Die explizite Ausweitung auf nanoskalige Partikel ist noch in der Beratung, die BekGS 527 empfiehlt einen Wert von 0.5 mg/m³ als Orientierung. Die BAuA engagiert sich für die internationale Verbreitung dieser Arbeitsschutzstandards. Sie arbeitet an einer praktischen Leitlinie

[8] http://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22

[9] http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2000/com2000_0001de01.pdf

[10] http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/Bekanntmachung-527.html

mit einem Unterstützungspaket für Forschungseinrichtungen und Start-ups in der EU (www.nanovalid.eu) und leistet Beiträge zu einer geplanten evidenzbasierten Leitlinie zum Arbeitsschutz mit Nanomaterialien der Weltgesundheitsorganisation (WHO).

**Chemikaliensicherheit**

Die BAuA hat gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) und dem Umweltbundesamt (UBA) ein Hintergrundpapier[11] und einen Vorschlag zur Ergänzung der Anhänge der Europäischen Chemikalienverordnung REACH zur Diskussion in der EU gestellt. Gegenstand sind ergänzende Prüf- und Informationsanforderungen für die Registrierung von Nanomaterialien unter REACH.

Die Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung gefährlicher Stoffe und Gemische (CLP-Verordnung) und die REACH-Verordnung sind die Säulen für die Generierung und Kommunikation risikorelevanter Informationen in der Lieferkette. Im Rahmen der Sicherheitsforschung zu Nanomaterialien wurden viele Erkenntnisse gewonnen, die auf deutliche Schwächen dieser Regelungen im Hinblick auf Gefährdungen durch Freisetzung und Einatmen lungengängiger Partikel hinweisen. Diese sind aber nach wie vor die Hauptursache für berufsbedingte Erkrankungen in der EU! Im Arbeitsschutzrecht ist bei Tätigkeiten freigesetzter Staub grundsätzlich als Gefahrstoff zu behandeln und muss in die Gefährdungsbeurteilung einfließen. Bei der Registrierung unter REACH hingegen muss ein Stoffhersteller oder -importeur keine Belastungsabschätzung und kein Chemikaliensicherheitsbericht erstellen, wenn der Staub nicht explizit als gefährlich eingestuft ist. Dies ist z.B. bei Titandioxid der Fall, das von den meisten Herstellern als nicht gefährlich eingestuft wird. Die gerade beschlossene Grenzwertsetzung des AGS für GBS (s.o.) fordert jedoch Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz, die vergleichbar mit anderen Gefahrstoffen sind. Hier ergibt sich eine Informationslücke, wenn der Arbeitgeber die im Sicherheitsdatenblatt beschriebenen Angaben aus der Registrierung für die Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz nutzt und über das Staubungsverhalten und die damit verknüpften Risiken nichts erfährt.

Als Bewertungsstelle Arbeitsschutz hat Fachbereich 4 der BAuA folgende Thesen zur Ergänzung von REACH aufgestellt:

1. Nanoskalige Materialien bieten neue technologische Möglichkeiten, können aber aufgrund ihrer physikalischen Form im Vergleich zu nicht nanoskaligen Modifikationen der jeweils gleichen Stoffe, veränderte toxikologische und physikalisch-chemische Eigenschaften haben. Daher sollten Nanomaterialien im Rahmen der

[11] http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nanomaterialien-reach

REACH-Registrierung zusätzlich auf solche Eigenschaften untersucht werden. Wenn erforderlich, sollten im Rahmen der Stoffsicherheitsbewertung geeignete Prüfungen und Maßnahmen vorgeschlagen werden.

2. Basierend auf bisherigen Erfahrungen in der Sicherheitsforschung gilt es, eine zu große Anzahl aufwändiger Pflicht-Prüfungen ohne konkreten Wirkverdacht zu vermeiden.
3. Eine Anpassung der REACH-Anhänge mit dem Zweck, für Nanomaterialien zusätzliche Tests zu fordern, soll möglichst dicht an Standardanforderungen für die Registrierung von Stoffen angepasst werden, um eine Ungleichbehandlung zu anderen Neustoffen (z.B. innovativen Werkstoffen außerhalb der Nanodefinition) zu vermeiden.
4. Alveolengängige Stäube sind, unabhängig von ihren chemischen Eigenschaften, gesundheitsgefährdend, wenn sie biobeständig sind. "Nanostäube" sind eine Untermenge der alveolengängigen Stäube und weisen in Art und Ausprägung (ggf. mit etwas erhöhter Wirkstärke) vergleichbare Gesundheitsgefährdungen auf. Besondere Gefahren können von faserförmigen biobeständigen alveolengängigen Stäuben ausgehen, wenn die Fasern eine Länge von 5 Mikrometer überschreiten ("WHO-Fasern")
5. Beim Vorliegen von staubungsfähigen Materialien sollte die Biopersistenz bewertet werden. Als erster orientierender Prüfparameter kann die Wasserlöslichkeit herangezogen werden, die bereits in den Grundprüfungen vorgesehen ist.
6. Zusätzliche Prüfungen müssen des Weiteren zur Entscheidung geeignet sein, ob alveolengängige Stäube und möglicherweise auch Nanopartikel vorliegen und freigesetzt werden können. Eine Prüfmethode zur Erstinformation ist durch die bereits im Anhang VII vorgesehene Granulometrie gegeben. Neu in den Anhang aufzunehmen wäre eine systematische Prüfung des Staubungsverhaltens von Feststoffen, die bislang nur in den REACH-Leitlinien vorgeschlagen wird.
7. Die granulometrische Prüfung ermöglicht Rückschlüsse auf das Vorliegen eines alveolengängigen Anteils im Material. Die Bestimmung des Staubungsverhaltens gibt darüber hinaus Auskunft über eine mögliche Freisetzung alveolengängiger Stäube. Die Untersuchung führt zu einer Staubklasse, die im Sicherheitsdatenblatt an gewerbliche Abnehmer des Stoffes übermittelt werden kann und eine zentrale Information für die Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz liefert.

8. Für biopersistente Stäube können im Rahmen der Stoffsicherheitsbewertung stoff-spezifische Grenzwerte (DNEL[12])abgeleitet werden und als Basis für Expositionsszenarien verwendet werden. Hierbei kann der vom Ausschuss für Gefahrstoffe beschlossene Arbeitsplatzgrenzwert für granuläre biobeständige Stäube (GBS) als Ausgangswert verwendet werden. Dies kommt bei der Registristrierung von Stoffen aber derzeit nicht zum Tragen, da die gesundheitsgefährdenden Eigenschaften von GBS-Stäuben derzeit durch die Einstufungskriterien von CLP/GHS nicht erfasst sind und somit unter REACH keine Verpflichtung zur Expositionsabschätzung und zur Erstellung eines Chemikaliensicherheitsberichtes auslösen.
9. Weitere Prüfungen sind bei entsprechendem Produktionsvolumen dann sinnvoll, wenn alveolengängige Stäube / Nanomaterialien vorliegen und keine Informationen vorliegen, um den jeweiligen Stoff sicher der Gruppe der GBS zuzuordnen oder wenn es sich um (starre) Fasern handelt. Bei der Zuordnung zu den GBS können Daten der Bulkmaterialien verwendet werden.
10. Wenn sich im Laufe der Zeit bei registrierten Stoffen, zusätzliche Anwendungen in der Nanotechnologie entwickeln oder an Bedeutung gewinnen, oder wenn sich Hinweise auf unerwartete Risiken zeigen, sollten diese Stoffe mit Vorrang in die Stoffbewertung unter REACH aufgenommen werden. In diesem Verfahren besteht die Möglichkeit, von Registranten (neue) Prüfungen bzw. Informationen zu fordern, die über den in REACh Standardumfang hinausgehen.

Mit der REACH-Verordnung soll ab 2018 ein einheitlicher Rahmen für sicherheitsrelevante Informationen zu den in der EU vermarkteten chemischen Stoffen geschaffen werden. Damit soll die bisherige Ungleichbehandlung von alten und neu entwickelten Stoffen beseitigt werden. Höhere und nicht durch eine spezifische Risikovermutung begründete Prüfforderungen für Neustoffe hatten sich in einem Erfahrungszeitraum von mehr als 20 Jahren als Hemmschuh für die Innovation in Europa erwiesen. Die Berücksichtigung von Nanomaterialien unter REACH muss daher gewährleisten, dass

- bereits erkannte Risiken von Nanomaterialien wie vergleichbare Risiken von Materialien außerhalb der Nanodefinition behandelt werden,
- für zukünftige Erkenntnisse zu Wirkungen, die spezifisch an die Nanoskaligkeit gebunden sind, ein wirksamer und risikobezogener Regulationsrahmen entsteht,

[12] DNEL – Derived no-effect level (http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-DNEL-Datenbank/Was-sind-DNELs/index.jsp)

- jedoch vermieden wird, dass Nanomaterialien pauschal mit erhöhten Prüf- und Informationsanforderungen stigmatisiert werden, die nicht zur Abklärung einer spezifischen Risikovermutung geeignet sind.

Die BAuA entwickelt derzeit eine Prüf- und Informationsstrategie, die für alle Feststoffe, einschließlich Nanomaterialien gilt und die wesentlichen Erkenntnisse der Partikeltoxikologie berücksichtigt.

## 12.4 Verbesserung der Risikokommunikation

Die Bundesregierung hat sich von Beginn an erfolgreich für die Versachlichung der Risikodiskussion eingesetzt, die den wissenschaftlichen Erkenntnisstand mit den Anliegen der Zivilgesellschaft für eine sichere Gestaltung neuer Technologien verknüpft (Nanokommission, Nanodialoge, Sonderausstellungen, Forschungsförderung, usw.). Trotzdem finden sich in der Arbeitsschutzpraxis noch immer zwei Extreme wieder. Einerseits werden nach wie vor alle Nanomaterialien ohne Differenzierung als Gefahrstoffe mit hohem Risikopotenzial bewertet. Hierzu tragen sicherlich falsche Vorstellungen von Nanomaterialien ("ultrakleine, isolierte Partikel, die aufgrund ihrer Kleinheit alle Barrieren im Körper überwinden können"), ein falsches Verständnis der Quantenchemie ("Nanomaterialien machen im Körper Quanteneffekte, chemische Stoffe und Gemische chemische Reaktionen") sowie wissenschaftliche Veröffentlichungen und Medienberichte bei, die Risiken undifferenziert ("Nanomaterialien sind wie Asbest") oder fehlerhaft darstellen. Andererseits lässt sich, z.B. in Forschungseinrichtungen und Start-up-Unternehmen, immer wieder das weitgehende Ignorieren von Gefährdungen durch biobeständige Stäube und eine zu geringe Achtsamkeit gegenüber den erheblichen Gesundheitsrisiken durch das Einatmen biobeständiger Stäube beobachten. 2013 wurden bei den Unfallversicherungsträgern in Deutschland fast 16.000 Fälle von berufsbedingten Erkrankungen der Atemwege, der Lungen, des Rippenfells und des Bauchfells zur Anzeige gebracht[13].

Die BAuA setzt sich daher dafür ein,

- in KMU, insbesondere in Start-ups und Forschungseinrichtungen, die Achtsamkeit für die Gesundheitsgefährdungen durch Stäube zu stärken, z.B. über Kampagnen.
- das Potenzial von Control-Banding-Ansätzen[14], z.B. dem EMKG6, zur Risiko- und Maßnahmenkommunikation in der Lieferkette und am Arbeitsplatz zu nutzen,

[13] http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Statistiken/Suga/Suga.html

[14] Control Banding umfasst qualitative oder nach Größenordnungen gestufte (halbquantitative) Instrumente für Risiko-bewertung und -management am Arbeitsplatz, die auf die Bedürfnisse von KMU zugeschnitten sind.

- praxisgerechte Hilfestellungen für den sicheren Umgang mit Nanomaterialien und anderen innovativen Werkstoffen entwickeln und verbreiten.

## 12.5 Weiterentwicklung der Sicherheitsforschung

Die systematische öffentliche Förderung der Risiko- und Sicherheitsforschung zu Nanomaterialien hat den Kenntnisstand zur Toxizität von Partikeln inzwischen deutlich erweitert. Trotzdem weisen viele Forschungsprojekte so erhebliche Mängel auf, dass sie für Zwecke der Regulation und Kommunikation nur eingeschränkt oder gar nicht verwendbar sind. Ursachen sind u. a.

- die unzureichende morphologische und chemische Charakterisierung untersuchter Nanomaterialien,
- fehlende Vergleiche mit nicht-nanoskaligen Materialien der gleichen chemischen Zusammensetzung,
- unzureichende Berücksichtigung von bestehenden Erkenntnissen aus der Partikel- und Fasertoxikologie,
- fehlende Vergleiche nicht standardisierter *in-vitro* Tests mit anerkannten *in-vivo* Methoden,
- fehlerhafte Schlussfolgerungen für die Rechts- und Regelsetzung.

Risiko- und Sicherheitsforschung basiert derzeit fast ausschließlich auf Projektförderung. Dieses verhindert eine Kontinuität in der Begleitung von Innovationsprozessen, weil über befristete Personalstellen kein ausreichender Wissenspool aufgebaut und erhalten werden kann. Bei den Nanomaterialien gibt es teilweise Mehrfachförderungen für vergleichbare Fragestellungen. Darüber hinaus ist zu beobachten, das häufig auch "das Rad neu erfunden wird", weil Ergebnisse aus der früheren Risikoforschung zu Fein-, Ultrafein- und Faserstäuben nicht wahrgenommen werden.

Eine Risiko- und Sicherheitsforschung, die mit den kaum vorhersehbaren Innovationsentwicklungen mithalten kann, braucht daher eine bessere Ausstattung mit unbefristeten Stellen für Wissenschaftler und Laborpersonal. Ein einfaches Modell könnte **"10 = 5 + 5"** lauten: Bei öffentlicher Förderung von Innovationen werden **10 % für die Risiko- und Sicherheitsforschung vorgesehen, davon 5 % als Projektförderungen und 5 % für eine technische und personelle Ausstattung von Institutionen, die eine „Antennenfunktion“ an der Schnittstelle von Wissenschaft und Zivilgesellschaft übernehmen**. Hierzu zählen sicherlich die Ressortforschungseinrichtungen des Bundes, zu denen auch die BAuA gehört.

Nur über ein ausreichendes Maß an Kontinuität können Forschungsergebnisse zusammengeführt und in Adressaten gerechte Kommunikation oder ggf. Regulation überführt werden. Innovationsförderung und Sicherheitsforschung müssen enger verzahnt werden. Das "Nanotechnology Field Team" der US-Arbeitsschutzbehörde NIOSH, das Start-up-Unternehmen vor Ort in Sicherheitsfragen berät, ist ein gutes Beispiel hierfür.

**Abb. 12.2** Prof. Dr. Eberhard Schmidt von der Bergischen Universität Wuppertal im Gespräch mit Dr. Rolf Packroff von der BAuA aus Dortmund (v.l.n.r.).

# 13 Abbildungsverzeichnis

**Abb. 1.1** Arbeitsweise Industriedesigner / Regelkreis Fachkraft für Arbeitssicherheit ..... **10**

**Abb. 1.2** QM 10er Kostenregel ..... **11**

**Abb. 1.3** Geräte alt ..... **13**

**Abb. 1.4** M3 und Zusammenbauanleitung ..... **14**

**Abb. 1.5** Beispiele ..... **16**

**Abb. 1.6** Original / Plagiate ..... **16**

**Abb. 1.7** Katalog 1976 ..... **18**

**Abb. 1.8** RAPEX 1 ..... **19**

**Abb. 1.9** RAPEX 2 ..... **20**

**Abb. 1.10** Messekatalog Frankfurt ..... **21**

**Abb. 1.11** Staatl. gepr. Techn. Lutz Gathmann und Prof. Dr. Ralf Pieper (v.l.n.r.) zum Start der Kolloquiumsreihe im Wintersemester 2013/2014. ..... **23**

**Abb. 2.1** Klassifizierung radioaktiver Abfälle ..... **26**

**Abb. 2.2** Entsorgungsanlagen in Deutschland (Quelle Öko-Institut e.V.) ..... **29**

**Abb. 2.3** Konzept der Endlagerung (Quelle: Öko-Institut e.V.) ..... **33**

**Abb. 2.4** Vorkommen potentieller Wirtsgesteinsformationen in Deutschland (Quelle: Öko-Institut e.V.) ..... **35**

**Abb. 2.5** Standorte der deutschen Endlagerdiskussion seit 1964 ..... **38**

**Abb. 2.6** Ablaufschema und Beteiligte nach Standortauswahlgesetz (Quelle: Öko-Institut e.V.) ..... **44**

**Abb. 2.7** Dipl.-Ing. (FH) Julia Mareike Neles (Öko-Institut e.V., Darmstadt) und Prof. Dr. Ralf Pieper (Bergische Universität Wuppertal) zu Beginn des 96. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquiums in Wuppertal (v.l.n.r.). ..... **48**

**Abb. 3.1** Diskutiertes Risikokonzept für Beanspruchungen bei Kollisionen. ..... **56**

**Abb. 3.2** Übersicht über eine Auswahl von Forschungsprojekten zu biomechanischen Anforderungen. ..... **57**

**Abb. 3.3** Physikalisches Messkonzept vom IFA (der Kontakt des Roboters erfolgt von rechts auf den Druckmesssensor). ..... **60**

**Abb. 3.4** Messdaten bei einer Kollision (links: Kraftverlauf; rechts: Druckverteilung). ..... **60**

**Abb. 3.5** Dr. Björn Ostermann (IFA, Sankt Augustin), Dr. Michael Huelke (IFA, Sankt Augustin), Prof. Dr.-Ing. Ralf Breede (FH Köln) und eine Studentin der Abteilung Sicherheitstechnik (v.l.n.r.) beim fachlichen Austausch im Anschluss des 97. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquiums am 14. Januar 2014 im Institut ASER e.V. in Wuppertal. ..... **64**

**Abb. 4.1** Prof. Dr. Ralf Pieper (Bergische Universität Wuppertal) und Prof. Dr. Nico Dragano von der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (v.l.n.r.) zum Start des 98. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquiums. ..... **65**

**Abb. 5.1** Prinzipielle Kategorien der Verfahren zur Erfassung und Bewertung physischer Belastungen am Arbeitsplatz und potenzielle Nutzergruppen [5] ..... **70**

**Abb. 5.2** Anwendung des CUELA-Messsystems (inkl. Erfassung von Schulter-Arm-Hand-Bewegungen) bei Schweißnahtvorbereitung mit einem konventionellen Winkelschleifer (a, links) und mit dem ergonomisch umgestalteten Bandschleifer (b, rechts) ..... **71**

**Abb. 5.3** Ergebnisse der Körperhaltungsanalyse des konventionellen Winkelschleifers im Vergleich zum ergonomischen Bandschleifer ..... **72**

**Abb. 5.4** Heben und Umsetzen von Gepäckstücken mit Hilfe von Vakuumhebehilfen in der Gepäckzentrale eines Flughafens ..... **74**

**Abb. 5.5** Beispiel eines dynamischen Büroarbeitsplatzes ..... **77**

**Abb. 5.6** Prof. Dr. Rolf Ellegast vom Institut für Arbeitsschutz der DGUV in Sankt Augustin zusammen mit Prof. Dr. Ralf Pieper von der Bergischen Universität Wuppertal (v.l.n.r.) nach der Abendveranstaltung in Wuppertal. ..... **84**

**Abb. 6.1** Dipl.-Ing. Helmut Ehnes (BG RCI) skizzierte die Anforderungen, die sich durch den Demografischen Wandel den Unternehmen stellen. ..... **85**

**Abb. 6.2** Stehempfang (oben) und Abschlussdiskussion (unten) beim Jubiläumskolloquium zum Thema des Betrieblichen Gesundheitsmanagement und der Fachkräftesicherung. ..... **85**

**Abb. 7.1** Demografie-Handlungsprogramm der Continental AG. ..... **90**

**Abb. 7.2** Meilensteine der BAB/BDS-Entwicklung seit den 1970-iger Jahren. ..... **92**

**Abb. 7.3** Siebenstufiges BAB/BDS-Bewertungsprofil. Die Balkendiagramme zeigen die Arbeitsbelastungen eines Arbeitsvorgangs oder Arbeitssystems von Bewertungsstufe 1 (sehr gering belastend) bis Bewertungsstufe 7 (Überbelastung sehr wahrscheinlich). ..... **94**

**Abb. 7.4** Arbeitssysteme können auf Divisionsebene, auf Werksebene, auf Abteilungsebene oder auf Kostenstellenebene sortiert und gelistet werden, so dass beispielsweise der prozentuale Anteil der altersstabilen, bedingt altersstabilen und nicht altersstabilen Arbeitssystemen ausgewiesen werden kann. ..... **95**

**Abb. 7.5** Teilnehmerinnen und Teilnehmer der 3. Ergonomie-Netzwerk-Jahreskonferenz der Continental AG am 10.-11. März 2015 in Berlin. ..... **96**

**Abb. 7.6** Prämierung der Wettbewerbssiegerteams durch Personalvorstand und Arbeitsdirektorin Dr. Ariane Reinhart (2.v.r.) beim 3. Ergonomie-Netzwerk-Kongress am 10. März 2015 in Berlin. ..... **97**

**Abb. 7.7** **Links:** Bewegen eines Werkstückträgers unter dem Mikroskop auf einer Gleitfläche (Hartlaminat). **Rechts:** Verminderung der Reibungskräfte durch Verwendung einer Kugelplatte mit engster Teilung. ..... **98**

**Abb. 7.8** **Links:** Manuelles Heben der Klein-Ladungs-Träger bzw. Klein-Last-Träger (KLT). **Rechts:** Einsatz eines Hebegerätes mit Greifern für unterschiedliche Anwendungen. ..... **99**

**Abb. 7.9** **Links:** Manuelles Bebändern von Paletten in schlechter, stark vorgebeugter Körperhaltung, teilweise auch im Knien. **Rechts:** Unterstützung der Tätigkeit mit einer Bebänderungsmaschine. ..... **100**

**Abb. 7.10** **Links:** Situation vor der Durchführung der Gestaltungsmaßnahmen, manuelles Ziehen und Schieben der Gewerbekassette. **Rechts:** Optimierung des Transports von Gewerbekassetten durch die Unterstützung einer akkuangetriebenen Ziehhilfe von Movexx®. ..... **101**

**Abb. 7.11** Senior Vice President CSH Dr. Peter Dolfen stellte am 9. April 2014 bei der Jubiläumsveranstaltung in Wuppertal das Demografie-Programm der Continental AG zur Fachkräftesicherung vor. ..... **105**

**Abb. 7.12** Teil des Plenums beim 100. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquium auf dem Campus Freudenberg der Bergischen Universität. ..... **105**

**Abb. 8.1** Prof. Dr. Olaf Deinert (Georg-August-Universität Göttingen) und Prof. Dr. Ralf Pieper (Bergische Universität Wuppertal) bei der Begrüßung der Teilnehmer beim 101. Kolloquium in Wuppertal. ..... **124**

**Abb. 9.1** Prof. Dr. Ralf Pieper (Bergische Universität Wuppertal) und Safety Director Harald Gröner (RWE Generation SE, Essen) bei bestem Sommerwetter zum Start des Kolloquiums in Wuppertal (v.l.n.r.). ..... **125**

**Abb. 10.1** Einsatz von Google Glass bei einer Wartungsaufgabe (links) und ein industrielles Head-Mounted Display (rechts) - Bildquellen: BAuA ..... **129**

**Abb. 10.2** Prof. Dr. Ralf Pieper (BUW) mit Direktor und Prof. Dr. Armin Windel und Dipl.-Psych. Matthias Hartwig von der BAuA aus Dortmund beim 103. Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquium (v.l.n.r.). ..... **130**

**Abb. 11.1** Kontext der Funktionalen Sicherheit ..... **132**

**Abb. 11.2** Allgemeines Konzept der Risikominderung nach DIN EN 61508 ..... **134**

**Abb. 11.3** Struktur der ISO 26262 (vereinfacht) ..... **135**

**Abb. 11.4** Automotiver Sicherheitslebenszyklus nach ISO 26262 ..... **136**

**Abb. 11.5** ASIL-Matrix ..... **137**

**Abb. 11.6** Zusammenhang ASIL und Risikoreduzierung nach [DOL 08] ..... **138**

**Abb. 11.7** Dr. Marco Schlummer (IQZ, Wuppertal) mit Produktsicherheitsexperte Lutz Gathmann aus Düsseldorf im Nachgespräch (v.l.n.r.). ..... **142**

**Abb. 12.1** Nanomaterialien können sehr unterschiedliche Strukturen (Morphologien) aufweisen. ..... **144**

**Abb. 12.2** Prof. Dr. Eberhard Schmidt von der Bergischen Universität Wuppertal im Gespräch mit Dr. Rolf Packroff von der BAuA aus Dortmund (v.l.n.r.). ..... **156**

# 14 Tabellenverzeichnis

**Tab. 2.1** Vergleich von Wirtsgesteinen (Beispiele)
(Quelle: Öko-Institut e.V. nach BGR) ..... **34**

**Tab. 2.2** Zeitlicher Ablauf gemäß StandAG
(Quelle: Öko-Institut e.V. nach StandAG) ..... **43**

# 15 Autoren- und Herausgeberverzeichnis

**Prof. Dr. Olaf Deinert**
Georg-August-Universität Göttingen,
Fachgebiet Bürgerliches Recht, Arbeits- und Sozialrecht, Göttingen

**Dr. Peter Dolfen**
Continental AG, Hannover

**Prof. Dr. Nico Dragano**
Universitätsklinikum Düsseldorf,
Institut für Medizinische Soziologie, Düsseldorf

**Dipl.-Ing. Helmut Ehnes**
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Heidelberg

**Dr. rer. nat. Rolf Ellegast**
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),
Stankt Augustin

**Staatl. gepr. Techn., Graveurmeister Lutz Gathmann**
Lutz Gathmann Design, Produktsicherheit, Arbeitssicherheit und
Gesundheitsschutz in Kreativberufen, Düsseldorf

**Dipl.-Ing. Harald Gröner**
Safety – CoE der RWE Generation SE, Essen / Köln

**Dipl.-Psych. Matthias Hartwig**
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA),
Gruppe 2.3 Human Factors, Ergonomie, Dortmund

**Dr. rer. biol. hum., Dipl.-Ing. Michael Huelke**
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),
Stankt Augustin

**Dr.-Ing. André Klußmann**
Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER), Wuppertal

**Dipl.-Ing. Karl-Heinz Lang**
Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER), Wuppertal

**Dipl.-Ing. (FH) Julia Mareike Neles**
Öko-Institut e.V., Institutsbereich Nukleartechnik & Anlagensicherheit, Darmstadt

**Dr. Rolf Packroff**
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Fachbereich 4 Gefahrstoffe und biologische Arbeitsstoffe, Dortmund

**apl. Prof., Dr. rer. pol. Ralf Pieper**
Bergische Universität Wuppertal, Abteilung Sicherheitstechnik, Fachgebiet Sicherheitstechnik / Sicherheits- und Qualitätsrecht, Wuppertal

**Dr.-Ing. Marco Schlummer**
Institut für Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmanagement GmbH (IQZ), Wuppertal

**Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Wendt**
Continental AG, Hannover

**Dir. und Prof. Dr. Armin Windel**
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Direktor Forschung und Entwicklung, Dortmund

# 16 Verzeichnis der Forschungsberichte

SCHAFFELD, W.; LANG, K.-H.; GEBHARDT, HJ.:

**Hitzearbeit in der Aluminiumindustrie**

Forschungsbericht - Nr. 1, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2001

GEBHARDT, HJ.; LANG, K.-H.:

**Beurteilung der Belastungen durch manuelle Handhabung von Lasten beim Einlegen von Prospekten in der Zeitungsproduktion**

Forschungsbericht - Nr. 2, Institut ASER e.V., Wuppertal, August 2001

LANG, K.-H.; SCHRAMM, H.:

**Hitzearbeit in der Papierindustrie**

Forschungsbericht - Nr. 3, Institut ASER e.V., Wuppertal, Dezember 2001

ECHTERHOFF, W.; KRAFT, C.:

**Sicherungssysteme an Gewässern - Analyse verhaltenswissenschaftlicher Bedingungen von Unfällen externer Personen**

Forschungsbericht - Nr. 4, Institut ASER e.V., Wuppertal, März 2002

SASSMANNSHAUSEN, A.; LANG, K.-H.:

**Evaluation des Umsetzungsstandes der sicherheitstechnischen und arbeitsmedizinischen Betreuung in den deutschen Niederlassungen eines internationalen Logistikunternehmens**

Forschungsbericht - Nr. 5, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juli 2003

SEILER, K.; RODOULI, F.; LANG, K.-H.; MÜLLER, B.H.:

**Untersuchungsergebnisse zur Reflektion beteiligter Netzwerkpartner am Kooperationsnetzwerk „Gesünder Arbeiten mit System“ der rheinisch-bergischen Region**

Forschungsbericht - Nr. 6, Institut ASER e.V., Wuppertal, November 2003

TASCHBACH, T.; LANG, K.-H.; MÜLLER, B.H.:

**Ergonomische Gestaltung von Maschinen: Berücksichtigung von europäischen Normen bei der Konstruktion von Maschinen**

Forschungsbericht - Nr. 7, Institut ASER e.V., Wuppertal, Dezember 2003

RODOULI, F.:

**Commitment und Motivation von Informationsgebern in einem virtuellen Informations-Netzwerk zum Arbeitsschutz**

Forschungsbericht - Nr. 8, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2004

SASSMANNSHAUSEN, A.; RODOULI, F.; LANG, K.-H.; TIELSCH, R.; SEILER, K.:

**Orientierende Bestandsaufnahme zur Beteiligung von Unternehmen an Kooperationsnetzwerken mit dem Schwerpunkt 'Betriebliche Gesundheitsförderung'**

Forschungsbericht - Nr. 9, Institut ASER e.V., Wuppertal, Mai 2004

LANG, K.-H.:

**Stand von Good-Practice-Datenbanken zur Arbeitsgestaltung in Deutschland**

Forschungsbericht - Nr. 10, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2004

LANG, K.-H.; SCHÄFER, A.; SCHAUERTE, N.; SPIELMANN, T.:

**Good-Practice-Projekt der Gemeinschaftsinitiative Gesünder Arbeiten (G2P GiGA) - Machbarkeitsstudie**

Forschungsbericht - Nr. 11, Institut ASER e.V., Wuppertal, Februar 2005

LANG, K.-H.; LANGHOFF, T.:

**Arbeitsschutzberatung als Teil einer neuen Qualität der Unternehmensgründung**

Forschungsbericht - Nr. 12, Institut ASER e.V., Wuppertal, März 2005

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):

**Sicherheitsrechtliches Kolloquium 2004 – 2005 (Band 1)**

Forschungsbericht - Nr. 13, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2006

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):

**Sicherheitsrechtliches Kolloquium 2005 – 2006 (Band 2)**

Forschungsbericht - Nr. 14, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2007

LANG, K.-H., SAßMANNSHAUSEN, A., SCHÄFER, A., NOLTING, K.:

**Abschlussbericht zum Pilotprojekt REACH-Net – Langfassung –**

Forschungsbericht - Nr. 15, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juli 2007

LANG, K.-H., SAßMANNSHAUSEN, A., SCHÄFER, A., NOLTING, K.:
**Abschlussbericht zum Pilotprojekt REACH-Net – Kurzfassung –**
Forschungsbericht - Nr. 16, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2007

LANG, K.-H., DEILMANN, M., NOVER, H.:
**Zusammenfassung und Fortschreibung der Ergebnisse zum Pilotprojekt REACH-Net**
Forschungsbericht - Nr. 17, Institut ASER e.V., Wuppertal, November 2007

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):
**Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2006 – 2007 (Band 3)**
Forschungsbericht - Nr. 18, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2008

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):
**Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2007 – 2008 (Band 4)**
Forschungsbericht - Nr. 19, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2009

KLUSSMANN, A.:
**Ermittlung und Bewertung von Ansatzpunkten zur Prävention von Kniegelenksarthrosen im Arbeitsleben**
Forschungsbericht - Nr. 20, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2009

MÜHLEMEYER, C., GEBHARDT, HJ., LANG, K.-H.:
**Entwicklung einer Einstufungshilfe zur Beurteilung von sonstigen Umgebungseinflüssen für die Anwendung im Rahmen des ERA-TV BW**
Forschungsbericht - Nr. 21, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2009

ROSKOPF, N.:
**Kontinuierliche Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz als Herausforderung und Chance für Fremdfirmen in Unternehmen der Rheinischen Braunkohlenindustrie**
Forschungsbericht - Nr. 22, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2010

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):
**Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2008 – 2009 (Band 5)**
Forschungsbericht - Nr. 23, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2010

MÜHLEMEYER, CH., K.-H. LANG, A. KLUßMANN, HJ. GEBHARDT
**Ermittlung von Erholzeiten bei typischen Arbeitssystemen in der Metall- und Elektroindustrie**
Forschungsbericht - Nr. 24, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2010

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):
**Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2009 – 2010 (Band 6)**
Forschungsbericht - Nr. 25, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2011

LEVCHUK, I., A. KLUßMANN, K.-H. LANG, HJ. GEBHARDT
**Verfahren der Usability-Evaluation – Methoden und Instrumente zur Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von Produkten**
Forschungsbericht - Nr. 26, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2011

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):
**Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2010 – 2011 (Band 7)**
Forschungsbericht - Nr. 27, Institut ASER e.V., Wuppertal, März 2012

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):
**Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2011 – 2012 (Band 8)**
Forschungsbericht - Nr. 28, Institut ASER e.V., Wuppertal, Mai 2013

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):
**Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2012 – 2013 (Band 9)**
Forschungsbericht - Nr. 29, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2014

PIEPER, R., LANG, K.-H. (Hrsg.):
**Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2013 – 2014 (Band 10)**
Forschungsbericht - Nr. 30, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2015

**Herausgeber:**
*apl. Prof., Dr. rer. pol. Ralf Pieper*, Leiter des Fachgebiets Sicherheitstechnik / Sicherheits- und Qualitätsrecht in der Abteilung Sicherheitstechnik der Bergischen Universität &
*Dipl.-Ing. Karl-Heinz Lang*, Geschäftsführer beim Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER)

Das Sicherheitswissenschaftliche Kolloquium beschäftigt sich mit den sich im Wandel befindlichen Rahmenbedingungen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit sowie der Qualität der Arbeit und der Qualität von Waren und Dienstleistungen. Zur Diskussion werden Konzepte, Methoden und Instrumente der Sicherheitswissenschaft und des Qualitätsmanagements gestellt. Dies umfasst den Bereich der arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse und Regeln der Technik, den Stand der Technik sowie den Stand von Wissenschaft und Technik. Einbezogen werden Fragen der betrieblichen und überbetrieblichen Sicherheits- und Gesundheitsorganisation sowie das Compliance.
Das Sicherheitswissenschaftliche Kolloquium richtet sich insbesondere an alle im Bergischen Land und im Land Nordrhein-Westfalen, die an Fragestellungen und Lösungsansätzen der Sicherheitswissenschaften und des Qualitätsmanagements interessiert sind.

**www.suqr.uni-wuppertal.de**
**www.institut-aser.de**

**ISBN 978-3-936841-27-5**