



# Entwicklung eines Bewertungsansatzes für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerweherschutzbekleidung

T. Bleyer

T. Bleyer

# **Entwicklung eines Bewertungsansatzes für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrschutzkleidung**

Dortmund/Berlin/Dresden 2015

Diese Veröffentlichung entspricht der Dissertation „Entwicklung eines Bewertungsansatzes für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrschutzkleidung“.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

D 17

Autor: Dr.-Ing. Tobias Bleyer  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelfoto: Uwe Völkner  
Fotoagentur FOX, Lindlar/Köln

Umschlaggestaltung: Stephan Imhof  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herstellung: Bonifatius GmbH, Paderborn

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund  
Telefon 0231 9071-0  
Fax 0231 9071-2454  
[info-zentrum@buaa.bund.de](mailto:info-zentrum@buaa.bund.de)  
[www.buaa.de](http://www.buaa.de)

Berlin:  
Nöldnerstr. 40 – 42, 10317 Berlin  
Telefon 030 51548-0  
Fax 030 51548-4170

Dresden:  
Fabricestr. 8, 01099 Dresden  
Telefon 0351 5639-50  
Fax 0351 5639-5210

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



[www.buaa.de/dok/6678362](http://www.buaa.de/dok/6678362)

ISBN 978-3-88261-151-9

# Entwicklung eines Bewertungsansatzes für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrschutzkleidung

Vom Fachbereich Maschinenbau  
an der Technischen Universität Darmstadt

zur Erlangung

des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. M.Sc. Tobias Bleyer**

aus Schwerte

Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder
Tag der Einreichung:	26.11.2014
Tag der mündlichen Prüfung:	18.02.2015

Darmstadt 2014

D17

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Kurzreferat</b>	<b>6</b>
<b>Abstract</b>	<b>7</b>
<b>Vorwort</b>	<b>8</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1 Motivation	10
1.2 Zielstellung	12
1.3 Struktur	13
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>15</b>
2.1 Begriffsbestimmung	15
2.1.1 Definition	15
2.1.2 Merkmale	16
2.2 Einordnung in das Arbeitssystem	19
2.3 Bedeutung im Arbeitskontext	21
2.3.1 Produktgruppen	21
2.3.2 Rechtlicher Rahmen	24
2.3.3 Stakeholder	26
2.4 Methoden und Maße zur Bestimmung der Gebrauchstauglichkeit	29
2.4.1 Vorgehensweisen	30
2.4.2 Bewertungsmaße	34
2.5 Defizite	35
<b>3 Empirische Studie für die Bewertung von Feuerwehrschutzkleidung</b>	<b>37</b>
3.1 Ausgangslage	37
3.1.1 Nutzungskontext	38
3.1.2 Anforderungsanalyse	41
3.2 Versuchsdesign Gebrauchstauglichkeit	50
3.2.1 Parcours	51
3.2.2 Befragungen	57
3.2.3 Schnittstellenbeweglichkeit	59
3.2.4 Bewegungseinschränkungen	59
3.2.5 Inspektion	62
3.3 Versuchsdesign Mikroklima	62
3.3.1 Klimatische Belastung	63
3.3.2 Messungen	64
3.3.3 Klimaempfinden	66
3.3.4 Versuchsdurchführung	67
3.4 Variablensystematik	68
3.4.1 Allgemeines	68
3.4.2 Mikroklima	72
<b>4 Bewertungsergebnisse</b>	<b>74</b>
4.1 Zellbesetzung	74
4.2 Nutzerurteile – subjektive Bewertungen	75

4.2.1	Taschen	76
4.2.2	Knie	77
4.2.3	Schulter-Arm	78
4.2.4	Polsterung	80
4.2.5	Verschlusssysteme	80
4.2.6	Diverse Einzelkategorien	81
4.2.7	Übersicht	82
4.3	Klima – objektive Kenngrößen	84
4.3.1	Hautoberflächentemperatur	84
4.3.2	Belastete Körperteile	86
4.3.3	Zwischenschichtenfeuchte	89
4.3.4	Befinden im Klima	91
4.4	Schnittstellenbeweglichkeit – objektive Kenngrößen	95
4.4.1	Überblick	96
4.4.2	Aufgaben und Schnittstellen bezogene Auswertung	97
4.5	Bewegungseinschränkungen – semiobjektive Kenngrößen	100
4.6	Interpretation	103
<b>5</b>	<b>Entwicklung eines Bewertungsansatzes</b>	<b>107</b>
5.1	Rohdatenreduzierung	108
5.1.1	Ausschlusskriterien	110
5.1.2	Mathematische Methoden	110
5.1.3	Card-Sorting	113
5.1.4	Delphi-Befragung	117
5.2	Expertengewichtung	141
5.3	Datengruppen	143
5.3.1	Beweglichkeit	145
5.3.2	Schnittstellenbeweglichkeit	147
5.3.3	Mikroklima	148
5.3.4	Klimaempfinden	151
5.4	Bewertungskennzahlen	152
5.5	Integratives Bewertungsmaß	153
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>155</b>
6.1	Gebrauchstauglichkeitstest	155
6.2	Modellbildung	156
6.3	Praxistauglichkeit	159
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>161</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>163</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>173</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>175</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>177</b>
	<b>Anhang</b>	<b>178</b>

# Entwicklung eines Bewertungsansatzes für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrschtzkleidung

## Kurzreferat

Für Feuerwehreinsatzkräfte ist Persönliche Schutzausrüstung mit hoher Schutzleistung, hohem Tragekomfort und langen Einsatzzeiten von besonderer Bedeutung. Die Anforderungen, die aus dem Einsatzalltag der Feuerwehr resultieren, sind kontinuierlich gestiegen. Gleichzeitig hat der Funktionsumfang von Feuerwehrschtzkleidung zugenommen, so dass auch deren Bewertung zunehmend komplexer wird. Während die sicherheitstechnische Prüfung von Feuerwehrschtzkleidung umfassend durch die Anforderungen der Regelwerke sichergestellt ist, fehlt ein ganzheitlicher, kontextbezogener Bewertungsansatz für die Gebrauchstauglichkeit. Umso praxisnah wie möglich zu sein, sollte eine umfassende Bewertung im Nutzungskontext mit allen Facetten (z. B. weitere genutzte Ausrüstungsgegenstände) erfolgen, um schließlich die Auswahl von Gestaltungsvarianten zu vereinfachen.

Die vorliegende Dissertation hat daher die Entwicklung eines Bewertungsansatzes für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrschtzkleidung zum Ziel, der geeignete Bewertungsmethoden und -kennzahlen beinhaltet. Der Bewertungsansatz soll Anforderungen des Nutzungskontextes, Praxiserfahrungen von Nutzern und Fachkenntnisse von Experten gleichermaßen berücksichtigen, um die Übertragbarkeit des vorgeschlagenen Ansatzes sicherzustellen. In einer empirischen Studie werden zunächst in Benutzertests mit 50 Teilnehmern Kennwerte zur Produktbewertung, z. B. Nutzerurteile, Beweglichkeits- und Klimaempfinden, an fünf Schutzbekleidungsstypen generiert. Aufbauend auf den umfangreichen, detaillierten Bewertungen der Schutzbekleidung und ihrer Komponenten wird ein mehrstufiges Vorgehen zur Datenreduktion und Herleitung von Bewertungskennzahlen entwickelt. Durch die systematische Einbindung von Experten und Nutzern werden mit Hilfe eines Card-Sortings und einer Delphi-Befragung wesentliche Sachverhalte für die Entwicklung des Bewertungsansatzes und die Ableitung von Gewichtungsfaktoren für einzelne Datenruppen der Produktbewertung bzw. Produkteigenschaften abgeleitet.

Der vorgeschlagene Ansatz wird als geeignete Systematik für die Entwicklung und Auswahl gebrauchstauglicher Schutzbekleidung angesehen. Hierbei können auch die hergeleiteten Bewertungskennzahlen unterstützen und im Zusammenwirken mit der sicherheitstechnischen Prüfung einen erheblichen Mehrwert für den Einsatz von Feuerwehrschtzkleidung darstellen. Auch wenn der entwickelte Bewertungsansatz aufgrund seiner Komplexität keinen Produktschnelltest darstellen kann, zeichnet er sich insbesondere durch die intensive Beteiligung von Nutzern und Experten aus. Er kann daher grundsätzlich als geeignete Methode für die Produktbewertung angesehen werden.

## Schlagwörter:

Feuerwehrschtzkleidung, Gebrauchstauglichkeit, Produktergonomie, Bewertung, Produkttest, Beschaffung

# Development of an evaluation approach for the usability of firefighters' protective clothing

## Abstract

It is particularly important for firefighters to have Personal Protective Equipment with high protection performance, high wearing comfort and long usage times. The requirements resulting from everyday use have increased continually. At the same time, the range of features of firefighters' protective clothing has expanded, making its evaluation more complex. Whereas the requirements of the legislative framework comprehensively ensure the technical safety testing of firefighters' protective clothing, there is no integrated, contextual approach to evaluating its usability. In order to be as practically relevant as possible, a comprehensive evaluation should take place within the context of use, taking account of all relevant aspects (e.g. other pieces of equipment that are used), in order to ultimately simplify the selection of design variants.

The aim of this dissertation was therefore to develop an approach to evaluating the usability of firefighters' protective clothing that would include suitable evaluation methods and metrics. To ensure its transferability, the proposed evaluation approach must take account of the context of use, users' practical experience and experts' specialist knowledge in equal measures. To begin with, product-evaluation parameters are generated in user tests on five models of protective clothing in an empirical study with 50 participants; these parameters include, for example, user ratings, climatic sensation and sensation of mobility. Based on the comprehensive, detailed evaluations of the protective clothing and its components, a multi-stage procedure is developed for data reduction and for deriving evaluation metrics. By systematically involving experts and users, it was possible to use a card sorting process and a Delphi survey to derive key issues for the development of the evaluation approach and the derivation of weighting factors for individual product characteristics or data groups of the product review.

The proposed approach is considered to be a suitable system for developing and selecting protective clothing that is fit for purpose. The derived evaluation metrics can assist this process and, in conjunction with a technical safety check, provide significant added value for the use of firefighters' protective clothing. Even if the developed evaluation approach cannot, because of its complexity, constitute a quick product test, it distinguishes itself in particular through the intensive participation by users and experts. In principle, therefore, it can be viewed as a suitable method for product evaluation.

## Key words:

firefighters' protective clothing, usability, product ergonomics, evaluation, product test, procurement



## Vorwort

Es ist geschafft und ich möchte mich bei allen bedanken, die mich bei diesem Forschungsprojekt und der Erstellung meiner Dissertation begleitet, unterstützt, gefördert, motiviert, inspiriert, ertragen, getriezt oder gepiesackt haben!

Ich danke meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder, Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt, für die Betreuung meiner Promotion und dieser Dissertationsschrift. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder, Inhaber der Professur für Arbeitswissenschaft des Instituts für Technische Logistik und Arbeitssysteme der TU Dresden, für seine Unterstützung als Zweitberichterstat-ter.

Meiner Dienststelle, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund, danke ich für die Gelegenheit, dieses Forschungsprojekt zu leiten und darüber promovieren zu können.

Meinem Freund und Kollegen Dr. Armin Windel danke ich auf das Herzlichste für seine wertvollen Ratschläge, die mir sowohl fachlich als auch menschlich stets eine große Hilfe sind.

Ganz besonders möchte ich mich auch bei meinem Projektteam – allen voran Uli Hold und Marie Pendzich – bedanken! Ebenso bedanke ich mich bei allen Probandinnen und Probanden. Die gemeinsame Arbeit mit ihnen, die mich so tatkräftigt unterstützt haben und denen ich viele vergnügliche Momente verdanke, hat dieses Projekt zu etwas Besonderem gemacht.

Der größte Dank gebührt meiner Familie, insbesondere meiner Ehefrau Martina ter Jung für ihre zahlreichen Anregungen, die gemeinsamen wissenschaftlichen Diskussionen und ihr unermüdliches Motivieren sowie auch meinen Eltern Marianne (†) und Paul Bleyer.

Ein abschließender Dank geht an Peter Lustig für seinen unvergesslichen und beeindruckenden Besuch bei der Bärstädter Feuerwehr im April 1986.

# 1 Einleitung

Einsatzkräfte der Feuerwehr tragen ein hohes Risiko, wenn sie sich den Gefahren des Einsatzalltags aussetzen: Wärme, Schadstoff belastete Atmosphären, mechanische Einwirkungen, fließender Straßenverkehr usw. Die unterschiedlichsten Einsatzszenarien (z. B. Technische Hilfeleistung, Brandeinsätze in Gebäuden oder im Freien) stellen zum Teil hohe Anforderungen an die Qualifikation und die körperliche Leistungsfähigkeit von Einsatzkräften (VON HEIMBURG, 2006). Darüber hinaus verschiebt die Weiterentwicklung der Persönlichen Schutzausrüstungen (BREIN, 2010) und auch die Optimierung der Einsatztaktiken (PULM, 2002) die Einsatzgrenzen. Diesem stetigen Wechselspiel, dem Wandel der Feuerwehrarbeit und den gestiegenen Anforderungen an Persönliche Schutzausrüstung (PSA) stellen sich die Entwickler von Feuerwehrschrutzkleidung mit neuen Materialien, Bekleidungskonzepten und Funktionen (PENDZICH, 2012). Vor diesem Hintergrund sind Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, z. B. die Förderaktivitäten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung für die zivile Sicherheit (Landmarke, LUMITEX, SAFE, SensePro-Cloth usw.) zu verstehen, deren Ziel es ist, funktionale Materialien zu entwickeln, z. B. Filtersysteme, elektrolumineszierende Textilien, und neue interaktive Technologien in Schutzbekleidung zu integrieren, z. B. Indoor-Ortungssysteme, Vital- und Umweltsensorik. Das einst einfache Produkt Feuerwehrschrutzkleidung wird durch seine neuen aktiven und passiven Funktionen an Komplexität zunehmen.

DE VRIES (2000, S. 41) stellt treffend fest: „Es bleibt wie es ist: Brandbekämpfung ist anstrengende Handarbeit ...“. Auch wenn er sich auf die Belastungen durch Ausrüstungsgegenstände zur Brandbekämpfung bezieht, müssen Einsatzkräfte für eine größtmögliche Einsatzfähigkeit und im Sinne des Arbeitsschutzes mit einer Schutzbekleidung ausgestattet werden, die sie im besten Fall vor allen denkbaren Gefahren und beliebigen Kombinationen schützt und zeitgleich die Belastungen minimiert. Die Nutzer dieser optimalen Schutzausrüstung erwarten eine hohe Schutzleistung bei gleichzeitig hohem Tragekomfort und langen Einsatzzeiten. Denn trotz höchster körperlicher Belastungen muss die Bekleidung zweifelsohne nutzerfreundlich konzipiert sein, z. B. leicht und atmungsaktiv, während Schadstoffe vom Eintritt in das Anzuginnere abgehalten werden. Der Einsatzwert dieser neuen Feuerwehrschrutzkleidungen steigt in der Regel und die Einsatzgrenzen verschieben sich, aber in welchem Maß die Anforderungen der Nutzer erfüllt werden, lässt sich trotz technischem Regelwerk (z. B. DIN EN 469) und zahlreicher Nutzertests (z. B. WEZEL (2007), THORNS (2009), VORWALDER (2009), WILKE (2010), KELLER (2010)) nur schwer in Gänze erfassen und beurteilen. Insbesondere wenn es an der Zeit ist, eine solche Schutzbekleidung vielleicht sogar durch ein neues Modell zu ersetzen (STANKE, 2010), fällt die Auswahl des richtigen Produktes immer schwerer.

Die Komplexität von Feuerwehrschrutzkleidung nimmt stetig zu, insbesondere wenn diese in Zukunft mit ihren Nutzern interagieren wird, wie aktuelle Entwicklungen intelligenter Schutzbekleidung (HERTLEER, 2013) beziehungsweise einzelner Schutzausrüstungskomponenten (SCHMUNTZSCH, 2014) zeigen. Nahezu täglich werden neu gestaltete Schutzbekleidungen vorgestellt und auf Wunsch der Nutzer werden individuelle Variationen angeboten; die Nutzungsmöglichkeiten werden umfangreicher und der Funktionsumfang wächst. Potentielle Nutzer messen den Wert eines Produktes häufig an der Vielfalt und der Anzahl möglicher Funktionen und deren theoretischer Leistungsfähigkeit, nicht jedoch am tatsächlichen Nutzen beziehungsweise an ihrer

Gebrauchstauglichkeit. Auch an der Arbeitswelt wird diese Entwicklung nicht vorübergehen, wie das Beispiel Feuerwehrschrutzkleidung zeigt. Gleichzeitig werden auch professionelle Einkäufer immer häufiger mit der Frage konfrontiert, für welchen Zweck das Produkt eingesetzt werden soll. Hinter der einfachen Frage (deren Beantwortung oftmals nicht leicht fällt) verbirgt sich die Erkenntnis, dass die Zufriedenheit des Nutzers mit einem Produkt weniger vom Umfang der verfügbaren Funktionen abhängt, sondern insbesondere davon, ob der Nutzer sich über die Anforderungen, die er an das Produkt stellt, im Klaren ist oder nicht. Ist dies gegeben, kann in einem zweiten Schritt die Passung mit den infrage kommenden Produkten geprüft und bewertet werden.

Die zunehmende Komplexität von Feuerwehrschrutzkleidung und Einsatzalltag erschwert gleichsam die Auswahl geeigneter Produkte, denn auch Bewertung und Testung der Gebrauchstauglichkeit werden im selben Umfang komplexer.

## 1.1 Motivation

Immer wichtiger wird es, Nutzungsanforderungen benennen zu können, Leistungen und Produkte zu vergleichen und gezielt sowie sicher zu entscheiden bzw. auszuwählen. Diese Perspektive auf Produkte und ihre Bewertung wird mit dem Konstrukt Gebrauchstauglichkeit, das den Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit darstellt, umschrieben. Für die Entscheidungsfindung ist eine Bewertung der Gebrauchstauglichkeit anhand von Tests unerlässlich, wie beispielsweise KIRAKOWSKI (2005, S. 18) feststellt: „Never use the results of statistical testing as an oracle that must be obeyed; use the results as a guide to decision making“. Er betont jedoch zugleich, dass letztlich nur von Bedeutung ist, welche Schlüsse der Entscheidungsträger aus den Erkenntnissen der Produkttests zieht.

KIRAKOWSKI (2005) bietet einen Einblick in die Vielfalt der Maße zur Beschreibung der Gebrauchstauglichkeit, respektive Effektivität, Effizienz und Nutzerzufriedenheit. Er spricht von „base and synthetic metrics“. Sie alle lassen zahlreiche Rechenoperationen und statistische Interpretationen zu. Das Ziel sollte jedoch sein, beispielsweise einen Index, d. h. ein einzelnes Bewertungsmaß, zu generieren, mit dem sich im Auswahlprozess schneller und überblicksartig die beste Alternative ausfindig machen lässt: „Based on the collected measures, the evaluators attempt to conclude that a certain alternative is better ...“ (KIM 2008, S. 333).

Für die realitätsnahe Produktprüfung von Feuerwehrschrutzkleidung unter den Bedingungen eines Einsatzes, ist es jedoch entscheidend, dass neben Experten, die regelmäßig und professionell Gebrauchstauglichkeit evaluieren, Entscheidungsträger wie beispielsweise Einkäufer in die Lage versetzt werden, die notwendigen Entscheidungen für oder gegen eine Produktalternative treffen zu können. Die Beschaffung respektive Auswahl stellt eine Herausforderung für den Nutzer und den professionellen Einkäufer dar. Die Notwendigkeit bei diesen zunehmend komplexen Entscheidungsprozessen Hilfestellung einzufordern, verdeutlicht beispielsweise die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in ihrem Forschungs- und Entwicklungsprogramm 2010-2013: „Die Gestaltung sicherer und gesundheitsgerechter Produkte und deren sachgerechte Auswahl für einen betrieblichen Anwendungszweck bilden die Säulen produktbezogener Prävention. Im Vergleich zu klassischen Leistungsdaten spielen Kriterien der sicheren, gesundheitsgerechten und

gebrauchstauglichen Gestaltung von Produkten im Beschaffungsprozess von Unternehmen eine nach wie vor geringe Rolle.“ (BAuA 2011, S. 42). Im Gegensatz zum Entwickler, der im Designprozess Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit nehmen kann, sollte der Einkäufer ein einzelnes oder wenige objektive Kennzahlen zur Priorisierung zu Rate ziehen können, doch häufig fehlen diese Maße. Sie werden entweder beim parallelen Einsatz unterschiedlicher Evaluationsmethoden nicht unmittelbar generiert oder liegen für einzelne Produktkomponenten nicht vor, wie KIM (2008, S. 333) feststellt: „...most evaluation methods do not directly provide usability information that accounts for the level of usability“. Im ungünstigsten Fall sind sowohl diese Einzelbewertungen, wie auch die Gesamtbewertung eines Produktes nicht schlüssig. Betrachtet man das technische Regelwerk zur Feuerwehrsutzhleidung (DIN EN 469 o. ä.), ist festzustellen, dass zwar grundlegende Bewertungskriterien benannt werden, diese aber als solitäre Maße nur einzelne, meist sicherheitstechnische Aspekte, nicht aber die Gesamtheit des Produktes abbilden. Der in dieser Arbeit hergeleitete Bewertungsansatz und zugehörige Bewertungskennzahlen für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrsutzhleidung sind daher als Vorschlag zur Vereinfachung und Unterstützung bei Entscheidungen zur Beschaffung von Arbeitsmitteln oder anderen Produkten zu verstehen.

Um jedoch die Gebrauchstauglichkeit bewerten zu können, müssen die Elemente des konkreten Nutzungskontextes identifiziert, beschrieben und in ihren Strukturen verstanden werden. Nur so können bewertbare Anforderungen abgeleitet werden. NIELSEN (1993) richtet die in diesem Zusammenhang entscheidenden Fragen zunächst an den Kreis der Entwickler, doch auch Nutzer und Einkäufer sollten in die Lage versetzt werden, diese in einem für sie nützlichen Rahmen umsetzen zu können: „Have you ever seen one of the people who will be users of your current project? Have you talked to such a user? Have you visited the users' work environment and observed what their tasks are, how they approach these tasks, and what pragmatic circumstances they have to cope with“ (NIELSEN 1993, S. 1). Nur das tiefere Verständnis der Nutzungsanforderungen, dies gilt für alle Arten von Produkten, kann als Basis für erfolgreich gestaltete und genutzte Produkte und Arbeitsmittel gesehen werden. Für NIELSEN (1993) besteht darüber hinaus kein Zweifel, dass der Anwender seine Ziele, Eigenschaften und Motive selbst am besten kennt. Die bestmögliche Akzeptanz eines Produktes kann folglich nur durch die Partizipation der zukünftigen Nutzer im Entwicklungsprozess sichergestellt werden. Im privaten Kontext werden Produkttests von einer Vielzahl professioneller Einrichtungen, Institutionen, Fachzeitschriften und Experten umfassend betrieben, um am Markt befindliche Produkte auswählen zu können. Unterhaltungselektronik und Mobilfunk sind viel beachtete Bereiche, in denen Produkte neben Gebrauchstauglichkeitstests regelmäßig Leistungstests unterzogen werden. Dies ist auf Grund der deutlich erkennbaren Interaktion zwischen Mensch und Produkt (Maschine) naheliegend.

Im allgemeinen Arbeitskontext und im speziellen Bereich der Persönlichen Schutzausrüstungen werden Gebrauchstauglichkeitstests weit weniger häufig auf Basis dieser Erkenntnisse praktiziert. Um die bestehenden Methoden und Verfahren zur Produktbewertung in der betrieblichen Praxis zu etablieren, besteht die Herausforderung darin, diese für die Anwendung durch Entscheidungsträger und Nutzer zu optimieren und gebrauchstauglich zu gestalten (DESHMUKH, 2006). Es existieren zahlreiche Berichte, z. B. SCHNEIDER (2004), WEZEL (2007), THORNS (2009), VORWALDER (2009), WILKE (2010), KELLER (2010), über Testreihen von Feuerwehren, die eine

Beschaffung neuer Schutzkleidung, meist größeren Umfangs, planen. Zwar sind Parallelen in den Testkriterien zu erkennen (z. B. grundlegende Einhaltung von technischen Regeln, Abfrage von Ausstattungsmerkmalen, Bewertung des Bewegungskomforts in Trageversuchen, Versuche zur Pflege und Instandhaltung). Eine Vereinheitlichung dieser zum Teil umfangreichen und dennoch pragmatischen Untersuchungen im Feld fand bisher jedoch nicht statt. Lediglich für typische Kenngrößen des Mikroklimas (z. B. Wärmedurchgang, Temperatur- und Feuchteverhalten in der Schutzkleidung) existieren standardisierte Verfahren für Laborprüfungen, z. B. MECHEELS (1998) und UMBACH (1991). Im internationalen Kontext finden sich zahlreiche Studien, die in der Regel physiologische Einzelaspekte isoliert aufgreifen, z. B. BARR (2010), der die thermische Belastung beim Tragen von Schutzkleidung im Zusammenhang mit Erholung betrachtet. COCA (2010) bewertet die Beweglichkeit bei typischen Arbeits- und Bewegungsaufgaben und beschreibt gleichzeitig das weite Feld der Testung von Schutzausrüstung. COCA (2010, S. 640) stellt treffend fest: „Currently, standard test practices exist mostly for individual items (gloves, helmets and footwear; i.e., Stull, 1992) or whole systems when evaluating materials (i.e., EN469) or physiological loads (i.e., American Society for Testing and Materials, 2007).“

Während die Prüfung der Schutzleistung bereits umfassend durch die sicherheitstechnischen Anforderungen der Regelwerke und die zugehörigen Prüfverfahren gewährleistet wird, verdeutlichen die genannten Studien mit den dort meist einzeln bewerteten Aspekten, dass ein ganzheitlicher, kontextbezogener Bewertungsansatz für Feuerwehrsutzkleidung fehlt. Die vollständige Gebrauchstauglichkeitsbewertung im vorgesehenen Nutzungskontext (mit allen Facetten, z. B. weitere genutzte Ausrüstungsgegenstände) ist bisher nicht sichergestellt. Erst mit Berücksichtigung des gesamten Nutzungskontextes kann jedoch gewährleistet werden, dass eine Einsatzkraft in sicherer Schutzausrüstung ihrer Arbeitsaufgabe – ohne Beeinträchtigungen durch eine möglicherweise nicht gebrauchstaugliche Schutzkleidung – effizient, effektiv und zufriedenstellend nachkommen kann. Im Zusammenwirken mit der sicherheitstechnischen Prüfung stellt die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit daher einen erheblichen Mehrwert für den Einsatz von Feuerwehrsutzkleidung dar.

## 1.2 Zielstellung

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, einen Bewertungsansatz für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrsutzkleidung herzuleiten und die Komplexität der Bewertung darzustellen. Die Bereitstellung der Methodik zur Zusammenfassung einzelner Bewertungskennzahlen – z. B. als objektive Gesamtbewertung – bildet ein weiteres Ziel; eine praxisnahe Bewertung wird ermöglicht, die die Auswahl von Gestaltungsvarianten vereinfacht. Der zu entwickelnde Bewertungsansatz soll neben den Anforderungen des Nutzungskontextes die Praxiserfahrungen von Nutzern und die Fachkenntnisse von Experten gleichermaßen berücksichtigen und abbilden.

Eine empirische Studie bildet die Grundlage, um die komplexen Prüf- und Bewertungsprozesse für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrsutzkleidung darzustellen. Bei dieser Art von Schutzkleidung handelt es sich um ein sehr komplexes Produkt, das technisch nicht überfrachtet ist, aber gleichzeitig ein gutes Verständnis seines Nutzungskontextes, d. h. des Umfeldes in dem es angewendet wird, erforderlich macht. Daraus resultiert eine aufwendige Versuchskonzeption und das Praxis-

beispiel lässt umfangreiche Bewertungsergebnisse sowie eine umfassende Datenbasis für eine strukturierte Produktbewertung erwarten.

Wesentlich für das Erreichen der Ziele ist die umfassende Abbildung des Nutzungskontextes unter reproduzierbaren Bedingungen und die Generierung von Kennwerten, anhand derer das Ausmaß der Gebrauchstauglichkeit erfasst werden kann. Es wird eine Mischung aus objektiven Messgrößen und subjektiven Nutzerbewertungen erwartet, die sukzessive zusammen geführt werden muss. Isoliert und deskriptiv darstellbare Daten müssen hinsichtlich ihrer Eignung für den Bewertungsansatz und ihrer Bedeutung für die Praxistauglichkeit untersucht werden. Angenommen wird, dass Gewichtungen sowohl in möglichen übergeordneten Kategorien als auch innerhalb feinerer Strukturen der unterschiedlichsten Datengruppen vorgenommen werden können. Ein weiteres Teilziel besteht daher darin, neben Zeitreihen, z. B. aus Klimaversuchen, statische und dynamische Größen aus Arbeits- und Bewegungsaufgaben sowie Einzelbewertungen von Produktkomponenten sinnvoll zu reduzieren und zusammenzuführen. Aus diesem Grund müssen sowohl allgemeine Methoden zur Datenstrukturierung als auch statistische Methoden auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft und bewertet werden. Die Datenreduzierung soll bis zum Vorliegen einer handhabbaren Anzahl von Kennwerten fortgeführt werden.

Weil mathematische Operationen ohne Berücksichtigung sachlicher Verknüpfungen nicht zwangsläufig eine sinnvolle Zusammenführung der Ergebnisse erwarten lassen, wird unter Berücksichtigung des nutzerzentrierten Ansatzes der Gebrauchstauglichkeit eine Delphi-Befragung der Stakeholdergruppen durchgeführt. Ziel dieser Befragung ist es, aus Experteneinschätzungen ein Ranking zu entwickeln, auf dessen Basis Faktoren zur Gewichtung einzelner Kennwerte und Datengruppen bestimmt werden können.

### **1.3 Struktur**

Zunächst wird der Stand der Technik hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit von Arbeitsmitteln und insbesondere von Feuerwehrschrutzkleidung charakterisiert. Es wird diskutiert, wie die Erkenntnisse der Ergonomie und der Gebrauchstauglichkeit in der Praxis Anwendung finden. Es werden Hintergründe zur Testung von Produkten und die Bedeutung sowie die Umsetzung des Nutzungskontextes in Laborversuchen beleuchtet und beispielsweise auf ein sogenanntes Ergonomiekompndium (ADLER, 2010) Bezug genommen.

Die Vorgehensweise für eine umfassende und praxisbezogene Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung von Feuerwehrschrutzkleidung, z. B. für die Auswahl einer geeigneten Gestaltungsvariante oder eines bestimmten Typs, wird im dritten Kapitel, einer empirischen Laborstudie, dargelegt. Am Beispiel werden die komplexe Abbildung des Nutzungskontextes und die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit diskutiert. Hierzu werden typische Messmethoden und mögliche Kenngrößen beschrieben. Diese lassen sich beispielsweise in Grob- und Unterkategorien aufteilen, innerhalb derer sich wiederum eine Vielzahl von Details benennen lässt, anhand derer sich beispielsweise die Ausführbarkeit, das Beweglichkeitsempfinden oder die Zufriedenheit mit einzelnen Komponenten innerhalb des Nutzungskontextes beschreiben lassen. Die erzielten Versuchsergebnisse werden in Kapitel 4 dargestellt.

Die Frage, ob ein umfassender Bewertungsansatz die zahlreichen Facetten der Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrschutzkleidung mittels unterschiedlicher Kennzahlen erfassen kann und welche Methoden und Verfahren zur Anwendung kommen können, ist Gegenstand des fünften Kapitels. Es werden die Entwicklungsschritte von den Rohdaten der Benutzertests hin zur Gewichtung und möglichen Verrechnung vorgestellt. Hierzu werden die Eignung für die Modellbildung, die Qualität der Einzelgrößen, determinierende Einflüsse und Möglichkeiten der Transformation diskutiert. Vorbereitend für eine Übersichtsbewertung werden beispielsweise objektive Messgrößen – soweit möglich und sinnvoll – zu Datengruppen zusammengefasst bzw. geeignete Daten transformiert und die Bildung von Bewertungskennzahlen und eines integrativen Bewertungsmaßes diskutiert. Des Weiteren wird die Delphi-Studie und deren Ergebnisse vorgestellt, die unter anderem zum Ziel hat, Klarheit über die Bedeutung einzelner Datengruppen der Produktbewertung bzw. Produkteigenschaften zu schaffen.

Neben der Modellbewertung und der Modellgüte wird in Kapitel 6 die Wirksamkeit von Gebrauchstauglichkeitstests bei der Prototypenentwicklung diskutiert. Hierzu werden Bewertungskennzahlen für die untersuchten Schutzkleidungen und deren Komponenten gebildet und verglichen. Die Praxistauglichkeit des entwickelten Bewertungsansatzes wird ebenfalls bewertet. Kapitel 7 bietet einen Ausblick auf mögliches Entwicklungspotenzial und die Übertragbarkeit des Bewertungsansatzes auf weitere Arbeitsmittel und Produkte.

## 2 Stand der Technik

Für die Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung, ein typisches Produkt im Arbeitskontext, sind neben Kenntnissen der Produktsicherheit und der Materialbeschaffenheit ein detailliertes Verständnis der Produktergonomie respektive der Gebrauchstauglichkeit erforderlich. Im Rahmen dieser Arbeit steht die Entwicklung eines geeigneten Bewertungsansatzes für Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrschutzkleidung im Vordergrund. Die Gebrauchstauglichkeit oder Usability wird in DIN EN ISO 9241 Teil 11 (1999) als „... das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen“ beschrieben. Soll dieses Ausmaß bewertet werden, sind Kenntnisse über die Analyse und Bedeutung des Nutzungskontextes, der Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit erforderlich.

Dieses Kapitel bietet einen Einblick in die theoretischen Hintergründe und ordnet das Konzept der Gebrauchstauglichkeit in den Arbeitskontext ein. Zunächst werden hierzu die Rolle der Gebrauchstauglichkeit im Arbeitssystem sowie die genannten Begriffe erläutert. Es folgt eine Einordnung in den rechtlichen Rahmen und eine Vorstellung der Personengruppen, die entweder auf die Gebrauchstauglichkeit im Arbeitskontext Einfluss nehmen und mittelbar oder unmittelbar Berührungspunkte besitzen oder von einer hohen Gebrauchstauglichkeit eines Arbeitsmittels profitieren. Vor der abschließenden Darstellung der Defizite des Standes der Technik werden beispielhaft Verfahren und im Überblick Vorgehensweisen bei der Produktbewertung und -prüfung vorgestellt.

### 2.1 Begriffsbestimmung

In der Arbeitsgestaltung spielen die Begriffe Gebrauchstauglichkeit und Ergonomie respektive Produktergonomie eine wichtige Rolle, sie werden häufig synonym verwendet. Im Folgenden wird das Begriffsfeld näher erläutert. Einzelne Aspekte lassen eine Abgrenzung zu, doch im Rahmen der Produktbewertung sind die Übergänge meist fließend.

#### 2.1.1 Definition

Die Ergonomie ist eine „... wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen menschlichen und anderen Elementen eines Systems befasst (...) mit dem Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren“ (DIN EN ISO 6385, 2004). Während Ergonomie alle Elemente eines Arbeitssystems einschließt, umfasst Produktergonomie vorwiegend die gegenständlichen Elemente und die Kriterien ihrer menschengerechten Gestaltung. Dagegen beschreibt die Gebrauchstauglichkeit „... das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen“ (DIN EN ISO 9241-11, 1999). Insofern handelt es sich bei der Gebrauchstauglichkeit in der Regel um eine Produkteigenschaft. WANDKE (2005) legt den Schwerpunkt auf die Nutzungssituation „Usability ist ein Qualitätsmerkmal einer Produkt-Nutzungssituation, nicht eines Produkts. Usability hat drei Aspekte: Effektivität, Effizienz, Zufriedenstellung“. Es wird deutlich, dass Ergonomie und Gebrauchstauglich-



keit mit ihren menschenzentrierten Konzepten den gleichen Ursprung besitzen, sich durch ihren Anwendungsbezug und die Ausweitung auf ein konkretes System jedoch unterscheiden lassen. „Usability muss zwei Faktoren berücksichtigen: 1. Allgemeingültige kognitive, sensorische und motorische Fähigkeiten und Grenzen von Menschen 2. Berücksichtigung der konkreten Zielgruppe, der Aufgaben, der Situation und der Systemeigenschaften.“ (WANDKE, 2005).

Die Gebrauchstauglichkeit eines Produktes muss für wechselnde Anwendungsszenarien und abweichende Nutzungskontexte präzise und wiederholt neu beschrieben werden. Ergonomische Eigenschaften von Produkten mit grundlegenden Kontextanforderungen (z. B. Mikroklima in Feuerwehrsutzhkleidung) können jedoch zunächst unabhängig betrachtet werden. Variationen des Nutzungskontextes wirken sich auf die Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit aus, wohingegen die Bewertung grundlegender ergonomischer und sicherheitstechnischer Merkmale, z. B. Wärmedurchgang oder das Nichtvorhandensein von scharfen Kanten an einer Feuerwehrsutzhkleidung (prEN 469, 2013), in der Regel erhalten bleiben. Für die Prüfung einer Schutzkleidung hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit bedeutet dies, dass sie, über den Nachweis der Einhaltung der grundlegenden Merkmale hinaus, stets an den aktuellen Nutzungskontext anzupassen ist.

Im Rahmen dieser Arbeit zeichnen sich die Prüfungen maßgeblich durch die Zentrierung auf den Nutzungskontext aus. Bei den Untersuchungen der empirischen Studie dieser Arbeit handelt es sich folglich überwiegend um die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit. Diese ist darüber hinaus immer dann von besonderer Bedeutung, wenn Effizienz und Effektivität sowie die Zufriedenstellung der Nutzer bei der Erledigung einer Arbeitsaufgabe im Vordergrund stehen. Die Gewichtungen dieser und weiterer Faktoren können variieren und sollten in jedem Fall auf Basis eines Nutzungskontextes individuell bestimmt werden.

### 2.1.2 Merkmale

Die folgenden Begriffe sind im Themenfeld Gebrauchstauglichkeit von besonderer Bedeutung und sind u. a. in DIN EN ISO 9241 Teil 11 (1999) beschrieben. Sie bilden die Grundlage für die Entwicklung und Bewertung von Produkten und Arbeitsmitteln und lassen sich auch auf Feuerwehrsutzhkleidung anwenden.

- Nutzungskontext:

Der Nutzungskontext umfasst die Nutzer, die Ziele, die Aufgaben, die Ausrüstung sowie die psychische und soziale Umgebung, in der ein Produkt genutzt wird. Er bildet die Basis, um Nutzungsanforderungen für die Gestaltung abzuleiten und schließlich die Gebrauchstauglichkeit eines Produktes zu bewerten.

- Effektivität:

Die Effektivität beschreibt die Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der Nutzer ein bestimmtes Ziel mit einem Produkt bzw. Arbeitsmittel erreichen.

- Effizienz:

Effizienz gibt den eingesetzten Aufwand im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit wieder, mit dem Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen. In der Regel wird der Zeitaufwand als Referenzgröße betrachtet.

- Zufriedenheit:

Zufriedenheit umfasst Freiheit von Beeinträchtigungen und positive Einstellungen gegenüber der Nutzung des Produktes. Bei Feuerwehrschutzkleidung wird anstelle der Zufriedenheit häufig und synonym der Begriff Tragekomfort Verwendung finden. Dieser ist als produktspezifische Interpretation von Zufriedenheit für den vorliegenden Nutzungskontext zu verstehen.

Neben diesen grundlegenden Aspekten der Gebrauchstauglichkeit spielen die Dialogprinzipien eine wichtige Rolle, die in DIN EN ISO 9241 Teil 110 (2008) definiert und im Leitfaden Usability der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS), vormals DATech, für die Herleitung von Kontextszenarien konkretisiert wurden:

- Aufgabenangemessenheit

„Ein interaktives System ist aufgabenangemessen, wenn es den Benutzer unterstützt, seine Arbeitsaufgabe zu erledigen.“

- Selbstbeschreibungsfähigkeit

„Ein Dialog ist in dem Maße selbstbeschreibungsfähig, in dem für den Benutzer zu jeder Zeit offensichtlich ist ... wie diese ausgeführt werden können.“

- Steuerbarkeit

„Ein Dialog ist steuerbar, wenn der Benutzer in der Lage ist, den Dialogablauf zu starten sowie seine Richtung und Geschwindigkeit zu beeinflussen ...“

- Erwartungskonformität

„Ein Dialog ist erwartungskonform, wenn er den aus dem Nutzungskontext heraus vorhersehbaren Benutzerbelangen sowie allgemein anerkannten Konventionen entspricht.“

- Fehlertoleranz

„Ein Dialog ist fehlertolerant, wenn das beabsichtigte Arbeitsergebnis trotz erkennbar fehlerhafter Eingaben ... erreicht werden kann.“

- Individualisierbarkeit


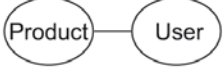
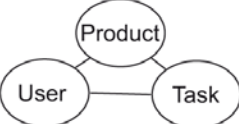
„Ein Dialog ist individualisierbar, wenn Benutzer die Mensch-System-Interaktion ... ändern können, um diese an ihre individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse anzupassen.“

- Lernförderlichkeit

„Ein Dialog ist lernförderlich, wenn er den Benutzer beim Erlernen der Nutzung des interaktiven Systems unterstützt und anleitet.“

Diese Prinzipien sind geeignet, um die Gestaltung eines interaktiven Produktes (z. B. Kommunikationstechnik) im Entwicklungsprozess systematisch zu konkretisieren und bei der Auswahl und Beschaffung die Eignung für den vorgesehenen Nutzungskontext zu bewerten (s. Kapitel 3.1.1). Obwohl die Definitionen primär einen Dialog zwischen Mensch und Software bzw. interaktiven Systemen charakterisieren, kann der Begriff der Interaktion, z. B. im Sinne der DIN EN ISO 9241 Teil 210 (2011), auf Hardware übertragen werden (ausführlich in ADLER, 2010): essenziell ist das Vorhandensein einer Schnittstelle zwischen Nutzer und gegenständlichem Arbeitsmittel. Für Feuerwehrschutzkleidung kann demnach vorausgesetzt werden, dass eine Bewertung auch anhand der Dialogprinzipien sinnvoll vorgenommen werden kann.

Abweichend vom technischen Regelwerk nimmt HAN (2008) an, dass sich die Gebrauchstauglichkeit an weit mehr Dimensionen bzw. Prinzipien als den zuvor genannten bestimmen lässt. Er identifiziert und definiert insgesamt 18 Dimensionen (Abb. 2.1), die er je nach zu betrachtender Beziehung zwischen Produkt, Nutzer und Aufgabe in drei Gruppen einteilt: Produkt, Produkt–Nutzer und Produkt–Nutzer–Aufgabe. Dieser Einteilung weist er weitere sechs Klassen zu (Product Feature, User Control, User Support, Flexibility, Cognitive Support und Overall Performance) und geht davon aus, dass alle Einzeldimensionen jeweils nur einer Klasse zugehörig sind.

<p>P group</p> 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Product Feature</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplicity</li> <li>• Consistency</li> <li>• Modelessness</li> </ul>		
<p>PU group</p> 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">User Control</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Locus of control</li> <li>• Directness</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">User Support</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Feedback</li> <li>• Helpfulness</li> <li>• Forgiveness</li> <li>• Error Prevention</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Flexibility</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptability</li> <li>• Accessibility</li> </ul>
<p>PUT group</p> 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Cognitive Support</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Learnability</li> <li>• Memorability</li> <li>• Familiarity</li> <li>• Predictability</li> <li>• Informativeness</li> </ul>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Overall Performance</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Effectiveness</li> <li>• Efficiency</li> </ul>

**Abb. 2.1** Dimensionen der Gebrauchstauglichkeit (KIM 2008, S. 337)

Betrachtet man Feuerwehrschrutzkleidung sind sowohl die zuvor genannten Dialogprinzipien als auch die Dimensionen nach HAN (2008) nicht lückenlos und unmittelbar anwendbar; sie sind oftmals nicht auf Anhieb erkennbar. Dennoch gilt, dass sich mit ihrer Hilfe alle Komponenten mit Nutzerinteraktion, folglich auch Stellteile, Griffe, aber auch Bedienungsanleitungen, beschreiben und bewerten lassen. Sie sind stets von Bedeutung, wenn Schnittstellen zwischen Mensch und Arbeitsmittel existieren, faktisch immer, wie auch das Fallbeispiel zeigen wird. Den einzelnen Prinzipien kann – je nach Produkt – unterschiedliche Bedeutung beigemessen werden. Beispielsweise können Größenanpassungen von Schutzkleidung als Anforderung zur Individualisierbarkeit gedeutet werden und die Forderung nach Aufgabenangemessenheit lässt sich anhand der Einbindung der Arbeitsaufgabe in ein Arbeitssystem (s. Abschnitt 2.2) auf jedes beliebige Arbeitsmittel übertragen. Als Drittes sei die Selbstbeschreibungsfähigkeit genannt: Zwar setzt die Nutzung eines Produktes Kenntnisse zu seiner Bedienung voraus, dennoch ist es erstrebenswert, dass sowohl Software als auch gegenständliche Arbeitsmittel und insbesondere Feuerwehrschrutzkleidung ohne komplexe Anleitungen jederzeit genutzt werden können.

Es ist unbestritten, dass Interaktion nicht ausschließlich auf komplexe Mensch-Arbeitsmittel-Systeme beschränkt ist, sondern sie findet auch bei der Nutzung einfacher und gegenständlicher Arbeitsmittel statt. Jedoch ist davon auszugehen, dass die Gewichtung im Rahmen der Bewertung eines Gesamtproduktes variieren wird

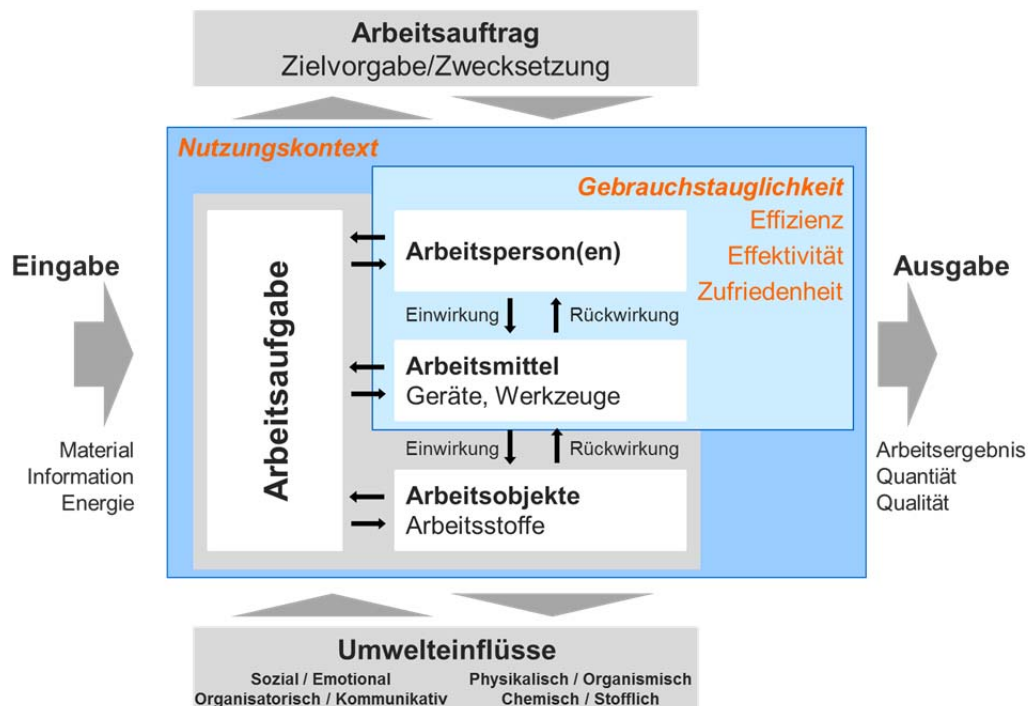
und von der Bedeutung der jeweiligen Schnittstelle für das Gesamtsystem, aber auch vom Nutzungskontext abhängt.

## 2.2 Einordnung in das Arbeitssystem

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrschrutzkleidung. Um die besondere Bedeutung der Gebrauchstauglichkeit im Arbeitskontext zu verdeutlichen, ist ihre Einordnung in das Arbeitssystem und das Gefüge seiner Elemente notwendig.

DIN EN ISO 6385 (2004) definiert ein Arbeitssystem als „System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen.“ Die wesentlichen Elemente sind in Abb. 2.2 dargestellt: Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung, Arbeitsmittel und Arbeitsperson. Letztere wird im Kontext von Gebrauchstauglichkeit vorzugsweise als Nutzer oder Benutzer bezeichnet; es handelt sich um Personen, „die innerhalb des Arbeitssystems eine oder mehrere Arbeitsaufgaben“ (DIN EN ISO 6385, 2004) ausführen. Die Arbeitspersonen stehen in unmittelbarer Interaktion mit ihren Arbeitsmitteln, d. h. mit Werkzeugen – es kann sich um Hardware oder Software handeln – Maschinen, Fahrzeugen, Einrichtungen und andere benutzte Komponenten, folglich auch Feuerwehrschrutzkleidung. Die Arbeitsumgebung umfasst alle physikalischen, chemischen, biologischen, organisatorischen, sozialen und kulturellen Faktoren im Umfeld des Benutzers. Die „Kombination und räumliche Anordnung der Arbeitsmittel innerhalb der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben erforderlichen Bedingungen“ (DIN EN ISO 6385, 2004) beschreibt zusammengefasst den Arbeitsplatz. Das vierte Element, die Arbeitsaufgabe, umfasst schließlich alle erforderlichen Aktivitäten der Arbeitsperson bzw. des Nutzers zur Erfüllung eines vorgesehenen Arbeitsergebnisses. In dieses System hinein gelangen z. B. Informationen, Materialien und Energie, um schließlich als Arbeitsergebnis oder Produkte und neue sowie veränderte Informationen den Prozess verlassen zu können.

Die Summe der vier Elemente Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung, Arbeitsmittel und Benutzer wird, wie oben definiert, auch als Nutzungskontext bezeichnet. Der Interaktion der Arbeitsperson mit ihrem Arbeitsmittel in diesem Nutzungskontext kommt eine besondere Bedeutung zu: Weil durch das Ausmaß der Effizienz, Effektivität und Nutzerzufriedenheit dieser Interaktion die Gebrauchstauglichkeit bestimmt wird, muss sie als Grundbestandteil eines Arbeitssystems und dessen Bewertung angesehen werden. Auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht spielt Gebrauchstauglichkeit eine nicht unerhebliche Rolle (HEINSEN, 2003), denn Usability-Maßnahmen können z. B. zur Senkung von Kosten oder zur Steigerung von Umsätzen und Gewinnen beitragen. Um dies nachzuweisen, können Effizienz und Effektivität des Gesamtprozesses anhand der Quantität und Qualität der erzeugten Produkte und Leistungen oder der Schutz- und Unterstützungsleistung einer Feuerwehrschrutzkleidung gemessen werden. Aber auch die aus der Gesamtheit der Wechselwirkungen entstehenden Anforderungen an die Arbeitsperson – die Arbeitsbelastung – müssen erfasst und beurteilt werden, wie es beispielsweise Arbeitsschutzgesetz und Betriebssicherheitsverordnung vorsehen.



**Abb. 2.2** Arbeitssystem und Gebrauchstauglichkeit (nach SCHLICK, 2010)

Die Elemente des Arbeitssystems (Abb. 2.2) fügen sich in eine Abfolge, deren räumliches und zeitliches Zusammenwirken unter anderem durch die Arbeitsaufgabe bestimmt wird (Arbeitsablauf) und in einer korrekten Bewertung eines Arbeitsmittels unweigerlich Berücksichtigung finden muss. Das kontinuierliche Wechselspiel im Arbeitssystem, das sich in der Realität, z. B. bei der Nutzung von Feuerwehrschrutzkleidung in einem Brandeinsatz, komplexer als in der schematischen Darstellung nach SCHLICK (2010) erweisen wird, wird maßgeblich von der Mensch-Arbeitsmittel-Interaktion bestimmt. Kommt es zu Störungen im Dialog zwischen Arbeitsperson (Nutzer) und Arbeitsmittel, werden folglich zunächst Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit, d. h. die Gebrauchstauglichkeit, nachteilig beeinflusst, so dass die Interaktionen im Arbeitssystem gestört werden. Dies wiederum kann sich schlussendlich auf der Ausgabeseite des Arbeitsprozesses auswirken. Aus wirtschaftlicher Sicht ist mit Minderungen der Quantität und Qualität der Produkte und Leistungen zu rechnen oder die Leistung einer Schutzkleidung ist nicht ausreichend und hemmt sogar den Arbeitsablauf, wenn es beispielsweise zum Abbruch der Brandbekämpfungsmaßnahmen in Folge von Hitzestress durch ungeeignete Feuerwehrschrutzkleidung kommt.

Eines der Ziele von Arbeitsgestaltung besteht daher darin, Arbeitssysteme so zu optimieren, dass nur erwünschte Belastungen und folglich vertretbare Beanspruchungen auftreten, z. B. hinsichtlich psychischer Belastungen (vgl. DIN EN ISO 10075, 2000). Dies kann in der Art geschehen, dass das Arbeitssystem an die Nutzer angepasst wird und bei der Entwicklung neuartiger Arbeitssysteme und Arbeitsmittel die Fähigkeiten, Fertigkeiten, Erwartungen und Erfahrungen der späteren Nutzer berücksichtigt werden.

## 2.3 Bedeutung im Arbeitskontext

Betrachtet man die Rolle der Gebrauchstauglichkeit im Arbeitssystem, ist es wichtig, für eine optimale Interaktion zwischen Nutzern und Arbeitsmitteln Sorge zu tragen. Aus diesem Grund sollten gebrauchstaugliche Arbeitsmittel bereitgestellt werden, die dies leisten können. Hierzu ist es erforderlich, dass objektive Bewertungen der Gebrauchstauglichkeit im Arbeitssystem respektive im Nutzungskontext vorgenommen und miteinander verglichen werden können. Diese Bewertungen können zahlreiche Interessengruppen adressieren sowie unterschiedliche Bedürfnisse bedienen. Folglich variiert die Bedeutung der Gebrauchstauglichkeit im Arbeitskontext sowohl hinsichtlich der verwendeten Arbeitsmittel, des rechtlichen Rahmens als auch in den einzelnen Interessengruppen.

### 2.3.1 Produktgruppen

Der folgende exemplarische Überblick verdeutlicht, welche Produkte in der Regel mit dem Begriff Gebrauchstauglichkeit in Verbindung gebracht werden. Darüber hinaus werden zentrale Fragen für den Arbeitsschutz beantwortet werden: An welchen Produktgruppen werden in der Regel Testungen vorgenommen? Wie hat sich die Situation insbesondere im Arbeitsschutz entwickelt?

Produkte lassen sich in unterschiedliche Gruppen einteilen, z. B. nach ihren Nutzern, Komplexität, Ausprägung der Interaktion oder nach den Verordnungen zum Produktsicherheitsgesetz (ProdSV). Nicht alle diese Produktgruppen werden seit jeher systematischen Gebrauchstauglichkeitstests unterzogen. In diesem Zusammenhang sind Software und Medizinprodukte von Bedeutung, da deren Testung aus unterschiedlichen Gründen bereits seit langem etabliert ist. Entsprechend gut und umfassend sind das Wissen und die Praxiserfahrungen bei Testung und Bewertung der im Folgenden beispielhaft genannten Produktgruppen und einiger prominenter Vertreter im Vergleich zu Schutzkleidung.

#### 2.3.1.1 Software und Konsumerprodukte

Software ist der bekannteste und traditionellste Vertreter für die Gebrauchstauglichkeitstestung (NIELSEN, 1993). Mit DATech-Prüfhandbuch und DIN EN ISO 9241 Teil 11 (2011) haben sich bereits früh systematische Testmethoden etabliert, die bis heute Bestand haben und deren Logik zunehmend auf gegenständliche Produkte übertragen wird. Dialogprinzipien, Anforderungsanalyse, Nutzungskontext und Anwendungsszenarien sind die Grundlagen der Softwareergonomie bzw. Software-Usability. Mit dem Begriff Usability wird meist unmittelbar die Gestaltung von Software assoziiert.

Bekanntere Vertreter für Konsumerprodukte sind Geräte der Unterhaltungsindustrie (KIM, 2003; BUTTERS, 1998), Mobilfunk oder auch IT-Produkte (HEINSEN, 2003). Deren Gebrauchstauglichkeit wird überwiegend an Performance, d. h. der Leistungsfähigkeit, der Ausstattung und der Anzahl der Funktionen gemessen. Die Vielzahl der Produkte und die schnellen Entwicklungszyklen lassen nur Schnelltests unter Vernachlässigung der Komplexität des Nutzungskontextes erwarten.

### 2.3.1.2 Medizintechnik

Betrachtet man den Nutzungskontext von Medizintechnik, umfasst die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr nur die drei klassischen Kriterien (Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit der Nutzer). Sie lässt sich viel weiter fassen, denn im Fokus stehen nicht nur die Anwender der jeweiligen Produkte, sondern stets auch Patienten. Damit verfügen Medizinprodukte, wie BACKHAUS (2004, 2010) beschreibt, über zwei Schnittstellen zum Menschen. Durch die Anbindung an Patienten zeichnen sie sich durch Besonderheiten aus, die die Gebrauchstauglichkeit maßgeblich beeinflussen können: z. B. hohe Informations- und Datenmengen, enge Vernetzung und Interaktion (zwischen Nutzer, Patient und Gerät), intransparente und eigendynamische Strukturen. Gebrauchstaugliche Medizinprodukte, die sich vor allem durch Fehlertoleranz und Sicherheit in der Bedienung auszeichnen müssen, gewährleisten in der Regel unmittelbar die Sicherheit der Patienten. Entsprechend sensibler sind Bewertungs- und Testmethoden ausgelegt. BACKHAUS (2004, S. 1) fordert folgerichtig, dass sich „die Analyse und Bewertung der Gebrauchstauglichkeit am Behandlungsprozess des Patienten“ ausrichten muss.

In der Zulassung von Medizintechnik wird eine hohe medizinisch-technische Sicherheit der Arbeitsmittel erwartet, deren Nachweis beispielsweise im Medizinproduktegesetz gefordert wird. BACKHAUS (2004) stellt fest, dass sich die ergonomische beziehungsweise benutzerorientierte Produktgestaltung (Gebrauchstauglichkeit) und die systematische Bewertung auf grundlegende systemergonomische Aspekte beschränken. BACKHAUS (2004) entwickelte die PROMEDIKS Methodik, um diese Lücke in der funktionalen Prozessanalyse, der Bewertung und der Ergebnisdarstellung zu schließen. Um der Komplexität der Nutzung von Medizintechnik gerecht zu werden, fasst er mit dem Gebrauchstauglichkeitswert deskriptiv die Prozessrelevanz und die Usability zu einem Maß zusammen. Den Schwerpunkt dieser Form der integrativen Bewertung bildet eine Kombination aus funktionaler Prozessunterstützung und technischer Produktbewertung.

Überwiegend aus Sicht der Produktergonomie und unter Berücksichtigung einzelner Aspekte des Nutzungskontextes haben sich HÖLSCHER und LAURIG (2008) einer Vielzahl unterschiedlicher Medizinprodukte mit dem Ziel gewidmet, Prinziplösungen zur Gestaltung der Benutzer-Produkt-Schnittstelle aufzuzeigen. Sie gehen ebenfalls auf Fragen der Sicherheit der Patienten ein. Darüber hinaus entwickeln sie ein Prüfschema bzw. einen Prüfkatalog, der den Grundlagen der Gebrauchstauglichkeit folgend zunächst die Arbeitsaufgabe und den Nutzungskontext evaluiert und schließlich die Bewertung des Arbeitsmittels anhand zahlreicher Schlüsselfragen ermöglicht. Neben den klassischen Kriterien zur ergonomischen Gestaltung von Anzeigen, Steuerteilen, Körperhaltungen, Körperkräften usw. werden auch Faktoren des Nutzungskontextes (z. B. Nutzergruppen, Arbeitsumgebung) sowie die Informationsverarbeitung und -darbietung in die Bewertung einbezogen.

### 2.3.1.3 Schutzkleidung und Persönliche Schutzausrüstung

Als klassisches Produkt des Arbeitsschutzes ist die Persönliche Schutzausrüstung (PSA) zu nennen. In der Regel beschränken sich die früheren Untersuchungen von PSA bzw. Schutzkleidung auf die Schutzleistung und/oder klimaphysiologische Untersuchungen (z. B. HETTINGER, 1984). Schutzstufen jeglicher Art werden entsprechend klassifiziert, so dass die Leistungsfähigkeit einzelner Produkte nachweisbar

und anhand von Schutzklassen vergleichbar wird. Die klimaphysiologische Leistungsfähigkeit wird in der Regel mittels physikalischer Kenngrößen (z. B. Wasserdampfdurchgangswiderstand, Wärmeübergangszahl) bestimmt oder durch den Vergleich von Feuchte- oder Temperaturverläufen in Versuchen ermittelt.

HETTINGER (1984) legt beispielsweise den Schwerpunkt seiner Untersuchung der „Belastung und Beanspruchung durch das Tragen persönlicher Schutzausrüstung“ auf physikalische, textiltechnische und physiologische Fragestellungen. Die subjektive Beurteilung der Bekleidung findet in sehr geringem Umfang statt und beschränkt sich überwiegend auf klimatisches Befinden. Der Tragekomfort im oben definierten Sinne der Gebrauchstauglichkeit wird wenig berücksichtigt, dagegen werden die Nutzer nur global nach Sicherheit und Beeinträchtigung befragt, ohne in der Untersuchung einzelne Komponenten der Schutzkleidung, z. B. die Schwachstellen, unter Berücksichtigung eines differenzierten Anwendungsszenarios aufzuzeigen und bewerten zu können.

SONA (2014) befasst sich in seiner Studie explizit mit der Beweglichkeit in Feuerwehrschutzkleidung. Er gründet seine Untersuchung auf den bisher stark eingeschränkten Rahmen für die Testung aus Sicht der Regelwerke: „there are several international standards for evaluating firefighters' PPE, but these standards are merely assigned to the heat, flame, and water resistant properties of PPE (CEN TC 162, 2002; EN 469, 2005; ISO 11613, 1999)“ (S. 1019). Auf Basis des festgestellten Defizites legt er daher den Schwerpunkt seiner Aktivitäten auf die Entwicklung einer Standardmethode zur Erfassung der Bewegungseinschränkungen. Neben SONA (2014) zeigt auch LUOA (2012) am Beispiel Feuerwehrschutzkleidung, welche Bedeutung die Beweglichkeit für den Tragekomfort hat. Dennoch bleibt auch sie bei einer isolierten Betrachtung eines Einzelaspektes.

GRIEFHAHN (2001) untersucht Wärme- und Feuchteempfinden in ballistischen Westen. Neben den thermophysiologischen Beanspruchungen nennt sie „die Bewegungsfreiheit sowie das subjektiv empfundene Gewicht der Weste“ (S. 7) als Qualitätskriterien und betrachtet im Gegensatz zu SONA (2014) bereits zwei Aspekte als Kennzeichen des Tragekomforts. In ihrem Abschlussbericht beschreibt GRIEFHAHN (2001) zwei Kontextszenarien (Streifenfahrt und Streifengang) in denen neben klimaphysiologischen Messungen die Probanden insbesondere Einschätzungen von sehr gut bis sehr schlecht vornehmen. Eine unmittelbare oder gewichtete Verrechnung bzw. Zusammenfassung der fünf Kennwerte (Wärmeentwicklung, Feuchteentwicklung, Tragekomfort, Westen-Gewicht und Bewegungsfreiheit) erfolgt nicht, die Gesamtbewertung bleibt überwiegend deskriptiv. Dagegen untersuchte GRIEFHAHN (1999) Schutzkleidung der Feuerwehr nach DIN EN 469 noch ausschließlich anhand physiologischer Beanspruchungen. So auch HOLMÉR (2006), der die Bewertung seiner Untersuchungsobjekte (vier Varianten von Feuerwehrschutzkleidung) auf die Messung von Feuchte- und Wärmeverhalten reduziert.

In einigen technischen Regelwerken wird das Thema Gebrauchstauglichkeit bereits aufgegriffen, indem Kontextszenarien zur Produktprüfung und Mindestanforderungen, z. B. hinsichtlich Beweglichkeit, benannt werden. DIN EN 943-2 (2002) „Schutzkleidung gegen flüssige und gasförmige Chemikalien“ sieht u. a. eine „Praktische Leistungsprüfung“ vor. Ein Maß zur Quantifizierung der Leistung bleibt sie allerdings schuldig; gleiches gilt für DIN EN 469 (2007) „Schutzkleidung für die Feuerwehr“. Während Ausgabe 2007 noch relativ unkonkret hinsichtlich einer Prüfung über Klima



und Schutzleistung hinausgeht: „Die Beurteilung der Ergonomie der in dieser Europäischen Norm behandelten Kleidung sollte durch eine praktische Leistungsprüfung erfolgen. Geeignete Prüfungen hinsichtlich dieser Anforderungen wurden im internationalen Rahmen noch nicht für allgemein gültig erklärt, im Anhang D ist jedoch eine Anleitung angeführt“, wird im Entwurf (prEN 496, 2013) erstmals empfohlen, physiologische Belastungen in Kontextszenarien (Anlegen, Kriechen, Schlauch aufrollen, Stufen steigen usw.) durch Probanden einschätzen zu lassen.

Die BGI/GUV-I 8675 (Juli 2008) „Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung auf der Basis einer Gefährdungsbeurteilung für Einsätze bei deutschen Feuerwehren“ bietet Hilfestellung bei der grundsätzlichen Auswahl geeigneter Schutzkleidung für einzelne Nutzungsszenarien, die sie anhand von Gefährdungsbeurteilungen klassifiziert. Für den Auswahlprozess bestimmter PSA verweist sie schließlich u. a. auf „Marktanalysen, spezifische Analyse, Prüfungsergebnis von Produkten, Differenzierung von Schutzstufen, Testverfahren und Zertifikate, Kompatibilitätsanalysen, Auswertung von Einsatz- und Übungsberichten, Nutzungserfahrung aus anderen artverwandten Arbeitsbereichen“ als Entscheidungshilfen und erwartet implizit, dass z. B. Hilfen zur Verfügung stehen.

Es wird deutlich, dass Produkttestungen je nach Produktgruppe unterschiedlich praktiziert werden und sich die Zielsetzungen und Grundlagen unterscheiden. Nicht zuletzt wird vor allem die Partizipation der Nutzer erschwert, wenn es sich um heterogene Nutzergruppen (KÖNIG, 2012) oder einen sehr heterogenen, schwierigen Nutzungskontext (z. B. Arbeitsbedingungen, Arbeitsumfeld, Arbeitsaufgaben) wie bei Feuerwehrschutzkleidung handelt. Die einzelnen Ansätze zur Einbindung der Gebrauchstauglichkeit sind erkennbar, aber ungleich stark ausgeprägt. Der Überblick über die Literatur zeigt, dass sich zahlreiche Institutionen und Forschungseinrichtungen in Einzelstudien der Bewertung meist einzelner Kriterien widmen, nicht jedoch den systematischen Vergleich anhand einer praxisnahen Gesamtbewertung vornehmen. Zudem handelt es sich häufig um Fallstudien mit kleinen Stichproben und der Betrachtung isolierter Faktoren.

### **2.3.2 Rechtlicher Rahmen**

Aus rechtlicher Sicht ergänzen sich im Arbeitskontext Beschaffenheit und Benutzung von Produkten, wie Abb. 2.3 verdeutlicht. Der rechtliche Rahmen wird durch die Artikel 114 und 153 des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) geregelt. Sie bilden den Grundstein für die Trennung in Produktbeschaffenheit und Benutzung, mit der aus arbeitswissenschaftlicher Sicht unmittelbar die Gebrauchstauglichkeit verbunden ist. Sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene werden beide Stränge in Richtlinien und Gesetzen weiter untersetzt. National werden diese nochmals durch Verordnungen konkretisiert. Für Feuerwehrschutzkleidung sind insbesondere die Richtlinien für das Bereitstellen und Benutzen von persönlicher Schutzausrüstung von Bedeutung. Im Folgenden werden exemplarisch einige Regelwerke hinsichtlich der Einbindung der Gebrauchstauglichkeit im Arbeitskontext dargestellt.



**Abb. 2.3** Rechtlicher Rahmen des Arbeitsschutzes, Beispiel PSA

Auf der Seite der Hersteller regelt die PSA-Richtlinie (89/686/EWG) sowohl die Bedingungen für das Bereitstellen als auch die grundlegenden Sicherheitsanforderungen, die Persönliche Schutzausrüstung erfüllen muss. Sie sieht verbindliche Regelungen in Bezug auf die Gestaltungsziele von Produkten und somit auch von Arbeitsmitteln vor. Als Hauptziele sind selbstverständlich Sicherheit und Schutz der Gesundheit der Benutzer zu nennen. Dies soll beispielsweise durch Unschädlichkeit, den Einsatz geeigneter Ausgangswerkstoffe und die Vermeidung von „Störungen“ erreicht werden. Darüber hinaus werden „ergonomische Anforderungen“ beschrieben, so beispielsweise dass „der Benutzer unter den bestimmungsgemäßen und vorhersehbaren Einsatzbedingungen die mit Risiken verbundene Tätigkeit normal ausüben kann“. Deutlicher wird im Absatz 1.3 Bezug zur Gebrauchstauglichkeit genommen, indem Anforderungen an die „Bequemlichkeit und Effizienz“ gestellt werden, aber auch die Prinzipien der Dialoggestaltung in Form von Individualisierbarkeit („Anpassung der PSA an die Gestalt des Benutzers“) definiert werden. Auch Aspekte des Nutzungskontextes finden Eingang in die Richtlinie, z. B. durch die Berücksichtigung anderer Elemente des Arbeitssystems wie die Kompatibilität von PSA (Abs. 1.3.3) und Gefährdungen Dritter (Abs. 1.2.1.3). Die Gebrauchstauglichkeit und ihre Elemente werden für die Bereitstellung von PSA nicht immer explizit genannt, sind aber deutlich erkennbar implementiert. Gleiches gilt für Richtlinie 89/656/EWG, die sich unmittelbar der Benutzung widmet und hierzu auch die Bewertung vorsieht, wobei sie ausschließlich auf die Schutzleistung Bezug nimmt.

Das untergesetzliche Regelwerk, z. B. die Berufgenossenschaftliche Regel (BGR) 195 (2007), kennt auf Seiten der Produktnutzer unmittelbar den Begriff der Gebrauchstauglichkeit und sieht entsprechende Prüfungen vor, lässt jedoch Details zu Art, Umfang und Methodik offen: „Der Unternehmer oder sein Beauftragter haben die Schutzkleidung entsprechend den Einsatzbedingungen und den betrieblichen Verhältnissen in regelmäßigen Zeitabständen auf ihre Gebrauchstauglichkeit prüfen zu

lassen.“ Relativ ausführlich haben sich die Feuerwehrunfallkassen der Analyse des Nutzungskontextes der Feuerwehr gewidmet. In ihrer BGI/GUV-I 8675 (Juli 2008) „Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung auf der Basis einer Gefährdungsbeurteilung für Einsätze bei deutschen Feuerwehren“ werden dieser Nutzungskontext und die abgeleiteten Anwendungsszenarien im Detail aufgeschlüsselt. Die Erkenntnisse münden als Entscheidungs- und Handlungshilfen unmittelbar in Hinweise zur Auswahl, zur Bewertung der grundsätzlichen Eignung und zur Beschreibung von Anforderungen an einzelne Schutzkleidungstypen. Weiterhin finden sich Hinweise zur Durchführung von Trageversuchen und ein Katalog, der stichpunktartig Prüfungsaspekte und Prüfverfahren aufzählt, um Beschaffungsentscheidungen zu unterstützen. Der Begriff der Gebrauchstauglichkeit findet in dem hier genannten Kontext nicht explizit Verwendung, dennoch haben sich die Unfallkassen in ihrem Regelwerk für die Gefährdungsbeurteilung sehr ausgiebig mit der Thematik auseinandergesetzt und vermitteln ein umfassendes Bild über die Möglichkeiten, wie Regelwerke im Arbeitskontext Gebrauchstauglichkeit aufgreifen können.

Aspekte der Gebrauchstauglichkeit lassen sich auf beiden Seiten des rechtlichen Rahmens des Arbeitsschutzes finden, sowohl für Hersteller als auch für Arbeitgeber. Die Hersteller müssen Sorge dafür tragen, dass sichere, gesundheitsgerechte und gebrauchstaugliche Arbeitsmittel auf dem Markt bereitgestellt werden. Auf der anderen Seite befinden sich die Arbeitgeber, die den betrieblichen Arbeitsschutz sicherstellen müssen, z. B. indem sie gebrauchstaugliche Arbeitsmittel auswählen. Neben den Herstellern sind die Konstrukteure und Designer zu finden, die die Umsetzung der Gebrauchstauglichkeit auf Grundlage der Regelwerke und des Standes der Technik sicherstellen müssen. Auf Seiten der Arbeitgeber gilt für die Nutzer ein eigener gesetzlicher Rahmen, der ebenfalls die Gebrauchstauglichkeit ihrer Arbeitsmittel sichern soll. Dagegen bleiben in allen Fällen Fragen zur Methodik, d. h. wie die Gebrauchstauglichkeit praxisnah zu ermitteln und zu bewerten ist, offen.

### **2.3.3 Stakeholder**

Bereits der rechtliche Rahmen verdeutlicht, dass das Bereitstellen und Benutzen von Arbeitsmitteln, aber auch die Gebrauchstauglichkeit dieser für einen großen Personenkreis im Arbeitskontext von Interesse beziehungsweise von Bedeutung sind. Dieser Kreis soll in der vorliegenden Arbeit an der Entwicklung des Bewertungsansatzes beteiligt werden (vgl. Abschnitt 5). Um den Nutzen von gebrauchstauglichen Arbeitsmitteln und die Sinnhaftigkeit der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit zu konkretisieren, werden diese Interessengruppen – die Stakeholder – im Folgenden kurz skizziert.

Das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering definiert den Stakeholder beispielsweise als „... eine Einzelperson, eine Gruppe von Personen oder eine Organisation, die Anteil oder Interesse an dem Software System und demnach den Produkt-Anforderungen haben. Sie können einerseits durch das Ergebnis einer Aktivität während des Entwicklungsprozesses positiv oder auch negativ beeinflusst werden, oder aber auch selbst dazu in der Lage sein, Entwicklungsaktivitäten positiv wie negativ zu beeinflussen.“ (IESE, 2013). Wendet man diese Definition auf den Bereich der Arbeitsmittel beziehungsweise Feuerweherschutzbekleidung an, sind drei wesentliche Stakeholder-Gruppen zu identifizieren. Diese lassen sich unter anderem aus dem Werdegang des Produktes, d. h. aus den Phasen des Produktlebenszyklus, ableiten. Ihnen können entsprechend unterschiedliche Rollen zugewiesen werden:

Hersteller und Entwickler, Beschaffer und Nutzer sowie Produkttester. Der Umgang mit der Gebrauchstauglichkeit von Produkten und der Nutzen für einzelne dieser Gruppen unterscheiden sich deutlich. Dies gilt insbesondere für die Durchführung und Bewertung von Produkttests.

CAPRA (2006) stellt im Rahmen ihrer Untersuchung zu Evaluator-Effekten bei Usabilitytests fest, dass die Stakeholder unterschiedlicher Meinung darüber sind, welche Informationen des Bewertungsprozesses für Sie von Interesse sind. Der gewünschte Umfang und die Darstellungsform variieren ebenso. Im Folgenden wird daher aufgezeigt, wer die Nutzer/Stakeholder von gebrauchstauglichen Produkten und Produktbewertungen sind und welche Interessen sie verfolgen. Sie können nach Einflussgrad und Bedeutung für die Entwicklungsaktivitäten respektive den Bewertungsprozess unterschieden werden:

- **Primäre Stakeholder:** Hauptinteraktion mit dem Produkt
- **Sekundäre Stakeholder:** nicht Key- oder Primäre Stakeholder, aber Interesse an dem Produkt oder eine vermittelnde Rolle bei den Entwicklungsaktivitäten,
- **Key-Stakeholder:** entscheidender Einfluss bei der Produktdefinition oder aber sehr bedeutend für den Erfolg der Entwicklungsaktivitäten.

Über die in den nächsten Abschnitten aufgezählten Stakeholdergruppen hinaus sind Weitere an der Entwicklung eines Bewertungsansatzes und an der Bewertung eines Produktes zu beteiligen. All diese Personen verfügen über Expertisen, die jeweils in einer besonderen Verbindung zum Produkt, zum Nutzungskontext oder zur Testung und Bewertung von Produkten stehen. Mit wechselnden Produkten und veränderten Nutzungskontexten sind daher Experten stets neu auszuwählen. Dies kommt auch im Rahmen dieser Arbeit zum Tragen, wenn es im Fallbeispiel darum geht, den Nutzungskontext für Feuerwehrsckleidung zu evaluieren oder einen Bewertungsansatz (z. B. Gewichtung und Bewertung einzelner Komponentengruppen) zu entwickeln.

### 2.3.3.1 Hersteller und Entwickler

Die Hersteller und Entwickler stehen in der Regel am Anfang des Produktlebenszyklus und legen den Grundstein für ein Produkt, dessen technisch-gestalterische Entwicklung und das Maß seiner Gebrauchstauglichkeit. Sie sind folglich eine der bedeutendsten Stakeholdergruppen. Unter optimalen Bedingungen stehen sie im engen Kontakt zu den Nutzern und Beschaffern, d. h. zum Markt, um über deren Bedürfnisse und Produkthanforderungen unterrichtet zu sein.

Der Entwickler hat als Key-Stakeholder einen großen Einfluss auf die Produktgestaltung und ist, wie zuvor bereits dargestellt, für die Gestaltung sicherer, gesundheitsgerechter sowie gebrauchstauglicher Produkte verantwortlich. Daher muss er sich bereits in der Phase der grundlegenden Entwicklung mit den Nutzungs- und Nutzeranforderungen an das Produkt vertraut machen und ist auf Urteile und Bewertungsergebnisse, z. B. von Prototypen, angewiesen, die sowohl Gestaltungsdetails und Komponenten, als auch das nahezu fertig gestellte Gesamtprodukt umfassen (z. B. zur Dokumentation oder Markteinführung). Für den Hersteller ist es vor allem aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll, Produkte regelmäßig Gebrauchstauglichkeitstests zu unterziehen. Ein Bewertungsansatz mit geeigneten Kennwerten kann an dieser Stel-

le den Bewertungs- und Optimierungsprozess unterstützen, vor allem wenn es sich überwiegend um Bewertungen handelt, die einen Überblick bieten sollen, z. B. auch von bereits auf dem Markt befindlichen Produkten.

Für den Bereich der Feuerwehrschtzkleidung zählen neben den eigentlichen Konfektionären auch Zulieferer, z. B. für Reißverschlüsse, Klimamembranen und Textilien, zu dieser Stakeholdergruppe.

### 2.3.3.2 Nutzer und Beschaffer

Außer den zuvor genannten für die Hersteller und Entwickler interessanten Phasen des Produktlebenszyklus, kann die vierte und wichtigste Phase identifiziert werden: die Nutzung. Dieser Phase lassen sich die Entscheidungsträger am Markt, Beschaffer oder Einkäufer, sowie die größte Stakeholdergruppe, die Nutzer, zuordnen. Sie sind gemäß der rechtlichen Einordnung durch den Arbeitgeber vertreten, d. h. sie alle repräsentieren die Seite der Arbeitsmittelbenutzung. Dem Nutzer kommt die wichtigste Rolle zu, wie auch KÖNIG (2012) bemerkt: „Das Analysieren der Eigenschaften und Bedürfnisse der zukünftigen Nutzergruppe ist dabei ein wesentliches Prinzip: „After all, a user-centred approach to design is meaningless without knowing who the users are!“ (Jordan, 1998a, S. 39). Durch diese Sichtweise wird der Nutzer mehr als ein Versuchsobjekt, nämlich ein zentraler Bestandteil und ein unverzichtbarer Partner im Designprozess (Peschke, 1987; vgl. auch DIN EN ISO 6385, 2004).“

Im Rahmen von Auswahl und Beschaffung sind Produktbewertungen für diese Stakeholder von großer Bedeutung. Sie entscheiden auf Basis selbst durchgeführter Begutachtungen oder orientieren sich an Testurteilen Dritter. Durch ihre Entscheidungen sind sie in der Lage Einfluss auf den Markt und die Verbreitung von Produkten zu nehmen sowie deren Qualität zu beeinflussen. Sie verfügen nicht zwangsläufig über Erfahrungen in der systematischen Bewertung der Gebrauchstauglichkeit.

Insbesondere die Nutzer, z. B. Einsatzkräfte bei Feuerwehren, sind als primäre Stakeholder auf ein hohes Maß an Gebrauchstauglichkeit und auf eine valide Produktbewertung angewiesen, denn die Hauptinteraktion mit dem Produkt liegt auf ihrer Seite. Insbesondere Feuerwehrkräfte werden während eines Einsatzes einer Vielzahl von Gefahren (z. B. Wärme, Feuchte, Schadstoffe, mechanische Gefahren) unterschiedlicher Qualität und Quantität ausgesetzt. Die Schutzkleidung muss gegen all diese Einwirkungen – auch in Kombination – bestmöglichen Schutz bieten und darf gleichzeitig bei der Ausführung der Arbeitsaufgabe nicht störend wirken.

Im günstigsten Fall sind daher die Nutzer bereits in die Grundlagenermittlung und die Produktentwicklung eingebunden. Dort können sie durch detaillierte Schilderung des Nutzungskontextes (Beschreibung und Nennung der Nutzer, Arbeitsaufgabe und Arbeitsumgebung, Hilfsmitteln usw.) gemeinsam mit dem Entwickler im Rahmen einer Anforderungsanalyse Nutzungsanforderungen generieren oder mit einem Produkttester Kriterien für die Produktbewertung systematisieren. Durch ihre besonderen Kenntnisse und ausgewiesenen Erfahrungen erlangen sie einen Expertenstatus. Die Beteiligung der Nutzer an Produkttests ist wünschenswert, um die Gebrauchstauglichkeit eines Arbeitsmittels sicherzustellen und die Akzeptanz zu erhöhen.

### 2.3.3.3 Produkttester

Die dritte Stakeholdergruppe kann an allen zuvor genannten Phasen der Produkttestung (zur Grundlagenermittlung, zur Prototypentestung und zur Bewertung der Produkte am Markt) beteiligt werden. Sie kann sowohl externen Kreisen, z. B. einer Konformitätsbewertungsstelle für Schutzkleidung entstammen, als auch einer der anderen Gruppen (Hersteller, Nutzer etc.) angehören. Die Produkttester haben als Bindeglied zwischen der Nutzungs- und Entwicklungsebene weniger direkten Einfluss auf die Produktgestaltung. Dennoch besteht ein Interesse an dem Produkt und sie nehmen eine vermittelnde Rolle bei den Entwicklungsaktivitäten ein (sekundäre Stakeholder). Eine rechtliche Grundlage für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit oder Anforderungen an ihre Qualifikation existiert nicht. Anders gestaltet sich dies bei sicherheitstechnischen Fragestellungen, z. B. im Rahmen von Konformitätsbewertungen oder allgemeiner Prüfungen der Sicherheit, aus: BGG/GUV-G 902 "Prüf- und Zertifizierungsordnung der Prüf- und Zertifizierungsstellen im DGUV Test".

Für die bestmögliche Durchführung von Tests verfügen sie über genaue Kenntnisse des Nutzungskontextes. Die Produkttester stehen im Idealfall im intensiven Austausch mit den anvisierten Nutzern, binden diese in Produkttests ein und sind in der Lage, Anforderungsanalysen systematisch herzuleiten. Die Produkttester sind des Weiteren mit den technischen Regeln vertraut und können daraus mess- und nachprüfbar Anforderungskriterien ableiten. Sie kennen das Produkt und dessen vorgesehenen Einsatzbereich, in dem sie Produkttests durchführen. Sie bilden den Nutzungskontext möglichst realitätsnah unter Laborbedingungen ab oder testen unmittelbar im realen Feld, um das Produkt schließlich in der Summe oder einzelne seiner Komponenten bewerten zu können.

## **2.4 Methoden und Maße zur Bestimmung der Gebrauchstauglichkeit**

Grundsätzlich lassen sich zwei Arten von Produkttests zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit unterscheiden, die beide auf die Entwicklung respektive die Optimierung eines Produktes ausgerichtet sind. KIRAKOWSKI (2005) und ELLER (2009) sprechen von formativer und summativer Evaluation. Die formative Evaluation, ELLER bezeichnet sie als „flexible, wenig komplizierte Form der Bewertung von Ergebnissen“, umfasst die Bewertung von Produkttests im Rahmen des Entwicklungsprozesses zur unmittelbaren Optimierung einzelner Produktdetails. KIRAKOWSKI (2005), der sich insbesondere mit Bewertungsmaßen für die Gebrauchstauglichkeit befasst hat, sieht dagegen die summative Evaluation als wichtigstes Instrument an, um interessierte Kreise, d. h. die Stakeholder, darüber zu informieren, wie gebrauchstauglich das betrachtete Produkt eingestuft wird. Diese summative Form der Produkttestung sollte immer dann eingesetzt werden, wenn das Produkt einen Entwicklungsstand erreicht hat, an dem sich der Fortschritt der Gebrauchstauglichkeit des Produktes nachweisen lässt. KIRAKOWSKI (2005) sieht die formative Evaluation als Teil der kleinschrittigen Aktivitäten im Entwicklungsprozess (z. B. für Rückmeldungen zu einzelnen Produktkomponenten an das Entwicklerteam). Ein dezidierter Bericht über die Ergebnisse der summativen Evaluation sollte daher in den unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus eingefordert wer-

den. KIRAKOWSKI (2005) benennt explizit drei Stufen der Produkttestung und -bewertung, vergleichbar mit der zuvor beschriebenen Zuordnung der Stakeholder:

1. in einem frühen Entwicklungsstadium, das eine Interaktion zwecks Benchmarking ermöglicht (sowohl formative als auch summative Produkttestung),
2. vor Markteintritt, um das Produkt am Markt zu platzieren und Dokumentationen und Service vorzubereiten,
3. nach Markteintritt, zur Evaluation des Nutzens und des Erfolges, aber vor allem zwecks Identifikation von Verbesserungspotenzial.

In all diesen Phasen sind Produktbewertungen angezeigt, auch wenn sich die Hauptzielrichtung in Abhängigkeit vom Entwicklungsstand wandelt: Der Entwicklungsprozess wird unterstützt, das Produkt wird optimiert und aus unternehmerischer Sicht am Markt evaluiert: „Summative evaluation at all three stages may also provide information that will cost-justify work done on usability“ (KIRAKOWSKI 2005, S. 521). Auch NIELSEN (1993) hält die kontinuierliche Einbindung der Prinzipien der Gebrauchstauglichkeit in allen Phasen des Produktlebenszyklus für unerlässlich. Dies gilt aus seiner Sicht insbesondere für die frühen Entwicklungsphasen, noch bevor es zur Konstruktion erster Mensch-Produkt-Schnittstellen kommt: „Rather, usability engineering is a set of activities that ideally take place throughout the lifecycle of the product, with significant happening at the early stages before the user interface has even been designed.“ (NIELSEN 1993, S. 71).

### 2.4.1 Vorgehensweisen

Am Markt haben sich zahlreiche Einrichtungen etabliert, die es sich zur Aufgabe gemacht haben, Produkte und Arbeitsmittel zu testen, um deren Gebrauchstauglichkeit zu bewerten. Diese Produkttester und Prüfinstitutionen greifen auf etablierte oder selbst entwickelte Bewertungsverfahren zurück. Nicht jede der genannten Einrichtungen bietet ihrer Zielgruppe jedoch Bewertungskennzahlen oder einzelne Bewertungsmaße an.

Die beispielhafte Sammlung aktiver Prüfinstitutionen verdeutlicht die Heterogenität der Vorgehensweisen in der Bewertungspraxis. Sie zeigt, welche Produktgruppen im Fokus stehen und welche Stakeholder üblicherweise angesprochen werden.

#### 2.4.1.1 Stiftung Warentest

Als Verbraucherorganisation mit u. a. staatlichem Auftrag prüft und vergleicht Stiftung Warentest eine Vielzahl unterschiedlichster Produkte, überwiegend Verbraucherprodukte, die zum Teil auch im Arbeitskontext zum Einsatz kommen. Im Jahr 2012 wurden 40.878 Produkte (STIFTUNG WARENTEST, 2012) untersucht, beispielsweise Heimwerkergeräte, Gartenzubehör, Digitalkameras, Computer, Lebensmittel und auch Dienstleistungen. Es werden umfangreiche Tests einzelner Produktgruppen oder Teilprüfungen durchgeführt, um Einzelurteile für spezielle Produkteigenschaften zu erzielen. Die Qualitätsurteile werden anhand der Noten „Sehr gut“, „Gut“, „Befriedigend“, „Ausreichend“ und „Mangelhaft“ dargestellt. Den Produktbewertungen liegen Vergleiche von objektivierbaren Merkmalen des Nutzwertes, des Gebrauchswertes und der Umweltverträglichkeit zugrunde. Stiftung Warentest gibt an „mit wissenschaftlichen Methoden in unabhängigen Instituten“ (2013) Produkte testen zu lassen.

Die Testkriterien werden durch die Stiftung unabhängig, produktbezogen festgelegt und durch den „Fachbeirat Verbraucherschützer“, unabhängige Experten und Anbietervertreter, beraten. Produktprüfungen werden als Aufträge an geeignete Institutionen vergeben. Zu jedem Produkt können Interessierte die Prüfkriterien und deren Gewichtung in einem Gesamturteil einsehen. In interaktiven Testurteilen, die online zur Verfügung gestellt werden, besteht weiterhin die Möglichkeit eigene, individuelle Gewichtungen, unabhängig von den standardmäßig vorliegenden Einschätzungen der Experten, vorzunehmen. Dies ermöglicht es auf Variationen des Nutzungskontextes und der Nutzeranforderungen einzugehen.

Die Produkttestung findet meist unmittelbar nach der Markteinführung statt. Als Stakeholder lassen sich daher überwiegend die Nutzer und Beschaffer und erst in zweiter Linie Entwickler und Hersteller identifizieren. Berührungspunkte zum Arbeitskontext sind in der Hauptsache in der Testung von „Migrationsprodukten“ (d. h. Produkte des privaten Kontextes, die für gewerbliche Zwecke genutzt werden) zu finden.

#### 2.4.1.2 TÜV Rheinland

Der TÜV Rheinland bietet Prüfungen für zahlreiche Produktgruppen an und vergibt je nach Prüfgegenstand entsprechende Prüfzeichen (z. B. GS-Zeichen, Schadstoffgeprüft). Diese sprechen insbesondere Nutzer und Beschaffer an und zeigen unmittelbar, welche Aspekte am konkreten Produkt geprüft wurden. Die zu Grunde gelegten Prüfungen können sicherheitstechnische Aspekte, ergonomische Fragestellungen, Qualitätseigenschaften oder die Analyse auf Schadstoffe umfassen. Einige der Prüfzeichen sehen darüber hinaus eine gesonderte Bewertung der Gebrauchseigenschaften und der Gebrauchstauglichkeit vor (z. B. LGA-tested, GS-Zeichen, Ergonomie). Die Prüfzeichen zeigen die grundsätzliche Konformität zu den entsprechenden Prüfgrundsätzen an und gelten so lange die jeweiligen Produkte nicht verändert werden.

Die zu prüfenden Produktgruppen reichen von Haushaltsgeräten, IT-Geräten, Möbeln, Medizinprodukten bis hin zu Schuhen oder Kleidung. Darüber hinaus werden technische Arbeitsmittel, z. B. Spezialwerkzeuge, Hebezeuge und Kettensägen, untersucht und bewertet. Die Prüfgrundsätze legen beispielsweise sicherheitstechnische Anforderungen unterschiedlicher nationaler, europäischer und internationaler Richtlinien zu Grunde. Darüber hinaus werden für Bereiche wie Gebrauchstauglichkeit eigene Prüfstandards entwickelt.

#### 2.4.1.3 Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik

Das Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF) beschränkt sich mit seinen Produktprüfungen auf den Bereich der Forsttechnik, mit dem Ziel der „Verbesserung der Forsttechnik und der Arbeitsbedingungen im Wald unter besonderer Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit, Ergonomie und Umweltverträglichkeit.“ (KWF Internetseiten). Angeboten werden „Entscheidungshilfen durch Prüfung und Erprobung von Forsttechnik für die Forstpraxis“. Durch die Beschränkung der Produktpalette ist ein eindeutiger Bezug zum Arbeitsumfeld gegeben: Neben Forstmaschinen werden Geräte, Werkzeuge und persönliche Schutzausrüstungen untersucht und bewertet. KWF (2008) verwendet synonym zur Gebrauchstauglichkeit den Begriff „Gebrauchswert“. In den zugehörigen technischen Messungen, forstlichen Einsatzprüfungen und Praxisumfragen werden entsprechend Trage- und Bedienkomfort be-



stimmt. Neben Entscheidungshilfen zur Beschaffung in Form von drei unterschiedlichen Prüfzeichen, sogenannte „KWF-Gebrauchswertprüfzeichen“, bietet das Kuratorium ausführliche Prüfberichte und „Beurteilung kurz gefasst“ an. Ausgehend von den Leistungsdaten eines Prüfobjektes können im Anschluss einer Prüfung, d. h. entgegen der Logik der Gebrauchstauglichkeit, geeignete Einsatzbereiche und Einsatzschwerpunkte (KWF 2008, S. 4), respektive ein neugefasster Nutzungskontext, vorgeschlagen werden. Als Unterstützung des Entwicklungsprozesses sind die sogenannten „Auflagen für notwendige Verbesserungen“ zu verstehen. Die Benotungen erfolgen mittels fünfstufiger Skala (++ = sehr gut; + = gut; o = befriedigend; - = ausreichend; - - = mangelhaft) und fließen gleichgewichtet in die zusammenfassende Gesamtbenotung ein. Angaben für einzelne Prüfkategorien zur jeweiligen Produktgruppe, z. B. Trageeigenschaften, Haltbarkeit, Ausstattung und Pflege für Arbeitsanzüge ergänzen den Prüfbericht. Die Prüfungen werden durch Fachausschüsse beraten und auf diese Weise abschließend qualitätsgesichert.

Das KWF besetzt mit seinen Produktprüfungen neben den Bereichen Auswahl und Beschaffung auch den Konstruktionsbereich. Es bietet den drei Stakeholdergruppen Entscheidungshilfen für alle Stufen der Produkttestung und -bewertung.

#### 2.4.1.4 Hohenstein Institute

Die Hohenstein Institute bieten beispielsweise Produkttests für Kleidung (auch Schutzkleidung) als „gezielte Unterstützung bei der Vermarktung von Bekleidung“ (2013, S. 1) an. Sie bestimmen im Wesentlichen quantitativ den Tragekomfort als Maß für die Wechselwirkung zwischen Nutzer, Klima und der Kleidung. „Die Bewertung des Tragekomforts von Bekleidung beruht dabei auf zwei zentralen Einflussgrößen – ihren thermophysiologicalen Eigenschaften sowie den hautsensorischen Merkmalen.“ (HOHENSTEIN INSTITUTE, 2013, S. 1). Es werden folglich ergonomische respektive klimaphysiologische Fragestellungen, aber auch Fragen des Tragekomforts in Abhängigkeit von Schnitt und Materialeinsatz bearbeitet, d. h. in Anlehnung an die Prinzipien der Gebrauchstauglichkeit. In derselben Pressemitteilung verweisen sie auf eine eigens entwickelte Tragekomfortnote, die mit variabler Berechnungsgrundlage (Abhängigkeit von Produkthanforderung und Kleidungstyp) „auf anschauliche Weise die Messergebnisse der Labortests zum Ausdruck“ bringt. Mit Hilfe dieses Bewertungsmaßes, das auf das deutsche Schulnotensystem zurückgreift, können der Markt, respektive Beschaffer und Nutzer unmittelbar Entscheidungen treffen. Es steht eine leicht verständliche und gut interpretierbare Produktbewertung zur Verfügung, die zumindest einen Ausschnitt der Gebrauchstauglichkeit widerspiegeln kann.

Mit ihren Bewertungen richten sich die Institute überwiegend an Hersteller und Entwickler aus der Textilbranche und bedienen sowohl das große Feld der Verbraucherprodukte (z. B. Sportbekleidung) als auch den Arbeitskontext (z. B. Schutzkleidung).

#### 2.4.1.5 Forschungseinrichtungen

Die drei Forschungs- und Prüfinstitutionen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) und das National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) haben sich beispielsweise auf Untersuchungen von Fragen der Gebrauchstauglichkeit und Ergonomie – per Definition – im Arbeitskontext spezialisiert.

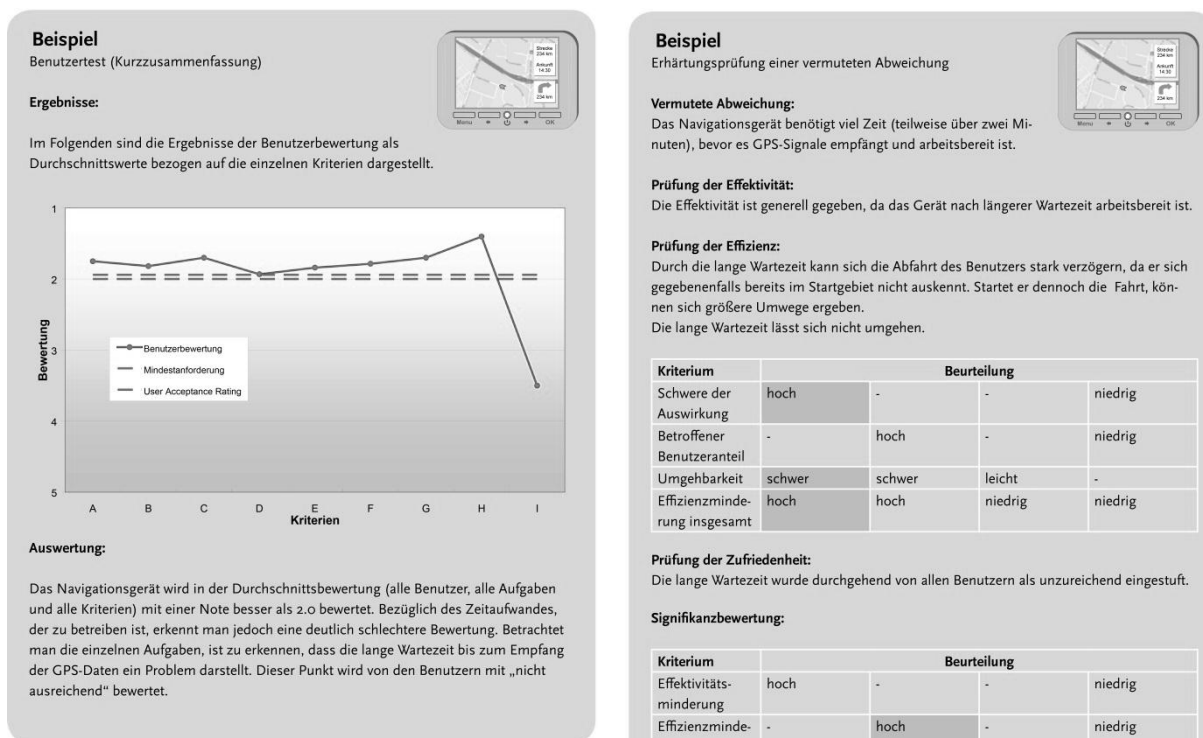
Die BAuA führt gelegentlich Testungen der Gebrauchstauglichkeit für Arbeitsmittel durch. BLEYER et al. untersuchten z. B. Hebe- und Tragehilfen im Rettungsdienst, Schaufeln und Bedientheken (2004, 2005, 2007). Ebenfalls im Auftrag der BAuA wurden Medizinprodukte unterschiedlicher Art (wie in Kapitel 2.3.1 dargestellt) hinsichtlich ihrer ergonomischen Produktgestaltung bewertet. WIESOLLEK (2008) nahm Bewertungen in sechs Kategorien vor: Not-Warnsignale, Anordnung von Anzeigen, Zeichen, Schrift und Piktogramme, Bildschirm, Anzeigen und Stellteile und Allgemeine Anzeigengestaltung. Um eine Bewertung durchzuführen, wurden die Kategorien mittels Paarvergleich gewichtet und zu einer Kennzahl verrechnet. Mit der Veröffentlichung des gemeinsam mit dem TÜV Rheinland Product Service (TRPS) entwickelten „Ergonomiekompandium – Anwendung Ergonomischer Regeln und Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von Produkten“ (ADLER, 2010) schlägt die BAuA einen anderen Weg der Produktbewertung ein. Anstelle der Produktergonomie rückt die Gebrauchstauglichkeit mit der intensiven Betrachtung des Nutzungskontextes, der Effizienz, Effektivität und Zufriedenstellung der Nutzer in den Vordergrund. Dabei orientiert sie sich mit ihrer Bewertungsmethode an den Prinzipien der Dialoggestaltung. Eine Gesamtbewertung kennt sie bisher nicht. Meist liegen umfangreiche Forschungsberichte in deskriptiver Form vor, die sich an Hersteller und Entwickler unterschiedlicher Arbeitsmittel richten. In der Regel werden Schwachstellen und Optimierungspotenzial aufgezeigt.

Das IFA, Forschungs- und Prüfinstitut der gesetzlichen Unfallversicherungsträger, prüft und zertifiziert in erster Linie die Sicherheit von Arbeitsmitteln jeglicher Art, z. B. Flurförderzeuge, Hebebühnen, Stetigförderer, Schutzeinrichtungen an Maschinen oder persönliche Schutzausrüstung. Es werden neben der Funktionssicherheit und Schutzleistung auch physikalische Faktoren wie Lärm, Vibrationen oder heiße Oberflächen geprüft. Das IFA vergibt das DGUV Test-Zeichen für sicherheitsrelevante Bauteile und Baugruppen, wenn sie den geltenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen entsprechen. Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit und die Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen an sicherheitsrelevanten Arbeitsmitteln nutzt das IFA beispielsweise Methoden der Virtuellen Realität oder das Messsystem CUE-LA (Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems).

Für das NIOSH stellt BARKER (2005, S. 57) in seinem Bericht fest, dass Testmethoden fehlen: „Performance criteria specific to the ergonomic and comfort performance of first responder gear need to be developed in concert with testing protocols.“ Im Gegensatz zur Ergonomie und Performanz, in diesem Zusammenhang vergleichbar mit Gebrauchstauglichkeit, listet er in seinem Forschungsbericht jedoch eine Vielzahl von Prüf- und Bewertungsverfahren für Schutzkleidung z. B. hinsichtlich Wärme, chemischen und biologischen Einwirkungen, Heat-Stress oder mechanische Belastungen auf. Dass gute Schutzkleidung mehr umfasst als Schutzleistung und klimaphysiologische Leitungsfähigkeit beschreibt WILLIS (2006, S.70): Er erwartet von gebrauchstauglicher Schutzausrüstung auch, dass sie hinsichtlich logistischer Fragestellungen zu optimieren ist: „Research into equipment function and usability could spawn technological solutions to integration and compatibility problems that ease logistical constraint.“ Er weitet den Nutzungskontext auf die Wartung aus und fordert einen Qualitätsnachweis: „...testing required for effective PPE use and maintenance.“ (WILLIS 2006, S. 9).

## 2.4.2 Bewertungsmaße

Wie zu erkennen ist, existieren unterschiedliche Bewertungsmaße. Jeder prüfenden Stelle bleibt die Wahl der Prüfprozeduren, der Kennzahlen und Maßstäbe sowie der Ergebnisdarstellung selbst überlassen. KIRAWOKSI (2005) plädiert zwar für die summative Evaluation, überlässt jedoch die Bewertung weitgehend dem Produkttester: „In addition, use plenty of common sense to not get bogged down in formalities and details and to not be misled by quick fixes.“ (S. 551, 2005).



**Abb. 2.4** Zusammenfassung Benutzertest und Signifikanzbewertung (ADLER 2010, S. 197f)

Die Vergleichbarkeit von Bewertungen gestaltet sich aufwendig und ist meist nur eingeschränkt möglich. Dies gilt insbesondere für deskriptive Produktbewertungen, die eine schnelle Auswertung und Entscheidung beeinträchtigen. ADLER (2010) schlagen in ihrem Ergonomiekompandium einen anderen Weg der Beurteilung vor (Kapitel 2.4.1.5). Ziel ist es, für die Beurteilung der Produkte Abweichungen von einem festgelegten Optimum für Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit anhand ihrer Bedeutsamkeit zu bewerten. Hierzu werden die Schwere der Beeinträchtigung und die Anzahl von Benutzern, die eine Beeinträchtigung empfinden, eingestuft. Das Ergebnis der Bewertung bleibt jedoch überwiegend deskriptiv, wenn auch durch eine grafische Darstellung und einen Kurzbericht (Abb. 2.4) übersichtlich. Eine Aufsummierung und Gesamtbewertung fehlt ebenfalls.

So wie KIRAKOWSKI (2005) erkennen auch BACKHAUS (2004) und HAN (2008) die Notwendigkeit zur Entwicklung eines einzelnen Maßes, das die vereinfachte Beschreibung der Gebrauchstauglichkeit eines Produktes ermöglicht. Während sich BACKHAUS (2004), wie im Abschnitt 2.3.1.2 beschrieben, ausschließlich auf den Bereich der Medizintechnik beschränkt, entwickelt HAN (2008) seine Methodik für

den Bereich der Unterhaltungselektronik (Fallbeispiel Videorekorder) mit dem Ziel „estimating the level of usability in a quantitative and objective manner“ (KIM 2008, S. 333). In Kapitel 2.1.2 wurde bereits die zugrunde liegende Differenzierung in einzelne Dimensionen der Gebrauchstauglichkeit dargestellt. Die Entwickler unterscheiden für die Produktbewertung zwischen individuellen Indices, die die Einzeldimensionen der Gebrauchstauglichkeit repräsentieren, und einem integrierten Index, der das Niveau über alle Dimensionen kombiniert darstellt. Entsprechend der Dimensionssystematik variieren im Rahmen der Produktbewertung Usability-Maße und korrespondierende Bewertungsmethoden. Grundlage ihrer Klassifizierung ist es, abhängig von den Zielen der Produkttestung (z. B. in Abhängigkeit von der jeweiligen Entwicklungsphase) oder dem gewünschten Auswertungsumfang gezielt und zur Effizienzsteigerung geeignete Methoden („check-type, count-type, performance-type, and rating-type“) auswählen zu können. Für die Identifikation der zu bewertenden Maße empfehlen sie z. B. Fokusgruppen, Expertenbefragungen oder Kundenanfragen zu nutzen. Die Gewichtung der einzelnen Maße je Dimension können ihrer Meinung nach auf Faktorenanalysen, Strukturgleichungsmodelle und ebenfalls Expertenbefragungen basieren. Ziel ist es stets, dimensionslose Maße zu ermitteln. Dies gelingt ihnen, indem sie in jeder einzelnen Testkategorie die Ergebnisse der Benutzertests in Relation zur Nutzung durch einen Experten setzen. Obwohl die Methodik noch weitere Testungen erforderlich macht, ist HAN (2008) der Meinung, dass es gelungen ist, ein einfaches Modell bereitzustellen, das durch die Kombination einer relativ kleinen Anzahl von Gebrauchstauglichkeitskennzahlen die Benutzerprioritäten für die Produktgestaltung abbilden kann.

## 2.5 Defizite

In der Regel umfassen Produktbewertungen im Arbeitskontext die Leistung oder ergonomische Anforderungen, beispielsweise das Mikroklima in einer Feuerwehrschutzkleidung und deren Schutzleistung. Meist wird beides durch das technische Regelwerk genauestens hinsichtlich Zielwerten und Prüfmethode vorgegeben. Dennoch geschehen diese Bewertungen häufig ohne detaillierte oder ausreichende Berücksichtigung bzw. Abbildung des Nutzungskontextes und beschränken sich zudem auf einen kleinen Ausschnitt, der sich vergleichsweise einfach abbilden lässt. Das zugehörige Regelwerk behandelt den Begriff Gebrauchstauglichkeit und die zugehörigen Aspekte wie Nutzungsanforderungen und Nutzungskontext bisher nur am Rande.

Teilaspekte werden durch Produkttests überwiegend isoliert untersucht und zusammenfassende sowie übergreifende Bewertungskennzahlen fehlen. Sie sind meist nur im Verbraucherbereich etabliert. Systematisch bewertet spielt die Gebrauchstauglichkeit bei gegenständlichen Arbeitsmitteln und Feuerwehrschutzkleidung nur eine untergeordnete Rolle. Explizit genannt wird sie nur im Zusammenhang mit dem Einsatz von Software. Die Produktauswahl im Arbeitskontext basiert häufig auf Erfahrungswerten Einzelner und den Nutzern oder Beschaffern stehen meist keine standardisierten Instrumente für eine orientierende oder zusammenfassende Bewertung der Gebrauchstauglichkeit zur Verfügung. Der sehr eingeschränkte Methodenrahmen erfordert daher die Entwicklung praxistauglicher Hilfen (d. h. Bewertungsansätzen) nicht nur für die Testung sondern insbesondere auch für die Generierung von Bewertungskennzahlen.

Für Schutzkleidung stellt HAVENITHA (2004) eine Testbatterie zusammen, die eine umfassende Bewertung der Ergonomie ermöglichen soll. Er postuliert erweiterte Testmethoden unter Berücksichtigung des Nutzungskontextes und geht über die Anforderungen des technischen Regelwerks (Material, Flammenschutz, etc.) hinaus. Ferner benennt er für die Bewertung Szenarien und empfiehlt vergleichende Tests und ein Ranking. Er beschränkt sich jedoch auf Probandentest für Wärme, Feuchte, physische Belastung, Wasserdichtigkeit, Bewegungsfreiheit; für die Gebrauchstauglichkeit empfiehlt er eine Expertenbewertung. HAVENITHA (2004) erkennt die Problematik der Zusammenführung und schließt zugleich eine Zusammenführung auf Grund möglicher abweichender Nutzungskontexte kategorisch aus; als Lösung empfiehlt er stets eine tabellarische Aufbereitung der Testergebnisse: „it is difficult to integrate results for a single test as suits may differ on various aspects for which the order good–bad is not the same. Integrating all test’s results is even more complicated as there the weighting of the different test into a final judgement is highly critical. The latter, giving one final judgement, is in practice seldom possible. Only if clothing for a very specific situation is tested, the weighting may be feasible” (HAVENITHA 2004, S. 16).

Defizite sind weniger bei den Testmethoden zu suchen, als in einem praxisnahen übergreifenden Bewertungsansatz, der die unterschiedlichsten Ergebnisse der Vielzahl von alleinstehenden zum Teil unabhängigen Gebrauchstauglichkeitstests zusammenführt. Zwar liefern Usability-Evaluationen in Abhängigkeit der Stichprobengröße (beteiligte Nutzer, Nutzergruppen) einen guten Überblick über das Optimierungspotenzial eines Produktes, für den Beschaffungsprozess ist die Führung von Mängellisten jedoch unvorteilhaft. Für den Auswahl- und Entscheidungsprozess im Arbeitskontext sind Bewertungsansätze erforderlich, die dem Entscheidungsträger einen – optimal schnellen – Vergleich über einzelne Produkte ermöglichen. Kennzahlen für die explizite Bewertung der Gebrauchstauglichkeit im Arbeitskontext respektive für Produkte des Arbeitsschutzes, z. B. PSA, existieren bisher nicht. Die Maßzahlen scheinen oftmals nach dem Empfinden der Produkttester oder Präferenzen der Nutzer zusammengefasst worden zu sein: Eine Expertenvalidierung zur Gewichtung von Nutzungsanforderungen an Feuerwehrsutzkleidung, die eine der Leistungen dieser Arbeit darstellen wird, wurde bislang nicht systematisch vorgenommen.

### **3 Empirische Studie für die Bewertung von Feuerwehrschutzkleidung**

Für die Entwicklung eines Bewertungsansatzes für die Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrschutzkleidung ist zunächst eine entsprechende praxisnahe empirische Studie vorgesehen. Sie wird insbesondere die Aspekte Aufgabenanalyse, Nutzungskontext, Produkttestung und Produktbewertung am Beispiel der Entwicklung des neuen Schutzkleidungstyps SAFE (Semipermeabler Schutzanzug Für Einsatzkräfte) aufgreifen. Planung, Durchführung und Auswertung einer solchen konkreten Produktbewertung werden im Folgenden dargestellt und diskutiert.

Die Entwicklung von SAFE wurde im Themenfeld „Integrierte Schutzsysteme für Rettungs- und Sicherheitskräfte“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter Trägerschaft des VDI Technologiezentrums gefördert. Im Rahmen der Produktentwicklung wurden drei Anzugprototypen (im Folgenden SAFE-Anzüge genannt) konfektioniert. Diese Anzüge sollten sich in einigen Konstruktionsdetails nutzungskontextabhängig unterscheiden, um einen optimalen Einsatz und Schutz für die jeweiligen Szenarien und Nutzer sicherzustellen. Parallel zur Entwicklung des Schutzanzuges und seiner Einzelkomponenten wurden die Schutzwirkung, Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit optimiert und in unterschiedlichen Labor- und Feldversuchen getestet. Um die Qualität und die Akzeptanz der neuen Schutzbekleidung sicherzustellen, wurden die zukünftigen Nutzer an der Gestaltung und Prüfung der Schutzanzüge beteiligt. Die Schutzleistung wurde unabhängig von den Überlegungen dieser Arbeit untersucht.

Die Labortestung der genannten Prototypen und zweier herkömmlicher Anzüge als Referenz bildet die Basis für die Entwicklung des Bewertungsansatzes. In den folgenden Abschnitten werden die Versuchsplanung (Prüfobjekte, Zusammensetzung der Stichproben, Versuchsdesign sowie eingesetzte Messtechnik) und diejenigen Faktoren, die unmittelbar der Gebrauchstauglichkeit und Ergonomie der Feuerwehrschutzkleidung zuzuordnen sind (Nutzungskontext, Produkthanforderungen usw.), erläutert.

#### **3.1 Ausgangslage**

Unter Zugrundelegung des Standes von Wissenschaft und Technik sollte die Einhaltung grundlegender ergonomischer Anforderungen an die neue Schutzkleidung nachgewiesen werden: Gewicht des Schutzanzuges, physiologische Eigenschaften usw. Des Weiteren sollten im Rahmen der Gebrauchstauglichkeit Anforderungen bewertet werden, von denen erwartet wurde, dass sie insbesondere die Nutzerakzeptanz sowie die generelle und auch spezielle Eignung im jeweiligen Nutzungskontext beeinflussen, z. B. Beweglichkeit, Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität usw.

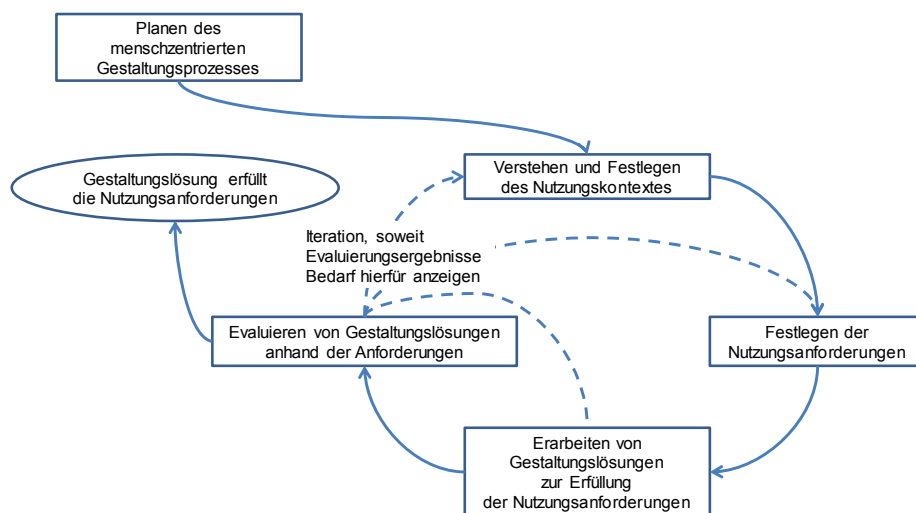
Für diese Form der Produktbewertung und -optimierung wurden zwei Versuchsdesigns eingeplant: Das Versuchsdesign „Mikroklima“ sollte einen Vergleichstest mit 50 Probanden dreier Alters- und Körpergewichtsklassen sowie einer Laufbandergometrie in zwei verschiedenen Klimaten umfassen. Das zweite Versuchsdesign sollte eine

Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der jeweiligen Prüfobjekte ermöglichen und beispielsweise eine Beurteilung hinsichtlich der Bewegungsbereiche der Extremitäten vorsehen. Es wurde entschieden mit dem bereits genannten BAuA-Ergonomiekompandium die zu beurteilenden Schutzanzüge auf Erfüllung unterschiedlichster Anforderungen d. h. auf ihre Gebrauchstauglichkeit hin zu prüfen. Befragungen zu Wohlbefinden und Tragekomfort sollten die Probandenversuche ergänzen. Für alle Untersuchungsschritte sollten auf der Grundlage des bestimmungsgemäßen Gebrauchs einsatztypische Arbeits- und Bewegungsaufgaben unter Laborbedingungen abgebildet werden.

### 3.1.1 Nutzungskontext

Im Rahmen der Gebrauchstauglichkeitsbewertung ist das Verständnis des Nutzungskontextes und der resultierenden Produkthanforderungen von besonderer Bedeutung. Als Grundlage der Versuchsplanungen untersucht PENDZICH (2009) in ihrer Arbeit diese Aspekte der Produktbewertung. Um den Nutzungskontext für Feuerwehrschutzkleidung möglichst umfassend beschreiben zu können, führt sie zunächst orientierende, semistrukturierte Interviews, die sich an den Leitfragen des DATech Prüfhandbuches (DATech, 2006) zur Erfassung von Aufgaben und Tätigkeiten anlehnten (Tab. 3.1). Das Hauptziel der Interviews bestand darin, anhand der Alltagsschilderungen typischer Nutzer, d. h. Mitarbeiter von Feuerwehren, Klarheit bzgl. nachfolgender Aspekte zu erlangen, die schließlich in Laborprüfungen umgesetzt werden sollten:

- Einsatzszenarien, Arbeitsaufgaben, Bewegungsabläufe
- Trageeigenschaften derzeitiger Einsatzkleidung
- Optimierungs- bzw. Änderungsvorschläge
- Probleme, die sich aus unterschiedlichen Faktoren ergeben.



**Abb. 3.1** Wechselseitige Abhängigkeit menschzentrierter Gestaltungsaktivitäten (DIN EN ISO 9241-210, 2011)

Der Evaluation des Nutzungskontextes liegen die in DIN EN ISO 9241 Teil 210 (2011) beschriebenen Abhängigkeiten der Gestaltungsaktivitäten zu Grunde (siehe Abb. 3.1). Es spielt keine Rolle, dass es sich im vorliegenden Fall um Aktivitäten zur Bewertung eines Produktes handelt und nicht um die grundlegende Analyse für ei-

nen anschließenden Gestaltungsprozess. Ausgangspunkt ist in beiden Prozessen die Festlegung von Nutzungsanforderungen und die Prüfung, ob eine Gestaltungslösung diese erfüllt.

**Tab. 3.1** Leitfragen für Interviews mit Einsatzkräften (PENDZICH, 2009)

Abschnitt im Szenario	Leitfragen
Einleitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Welches sind typische Tätigkeiten der Feuerwehr, welche Schutzkleidung tragen Sie dabei?</li> <li>- Zu welchen dieser Tätigkeiten muss Schutzkleidung getragen werden?</li> <li>- Wie ist die Vorgehensweise bei dieser Tätigkeit?</li> <li>- Gab es einen Einsatz, bei dem die Schutzkleidung besonders stark belastet wurde?</li> </ul>
Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Welche Hilfsmittel sind bei jedem Einsatz erforderlich?</li> <li>- Welche speziellen Hilfsmittel / Geräte / PSA / Arbeitsmittel kommen noch zum Einsatz?</li> </ul>
Normale Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Welche ist die häufigste Bewegung, welche ist die unangenehmste Bewegung in Bezug auf die Schutzkleidung?</li> <li>- Welche Arbeitsschritte sind durchzuführen, in Bezug auf An-/Auszieh-Prozeduren?</li> <li>- Welcher von diesen Schritten ist der Aufwendigste oder Schwierigste?</li> <li>- Bemerkte man, wenn etwas nicht richtig sitzt?</li> <li>- Welche, sind Ihrer Meinung nach, die am stärksten strapazierten Teile des Schutzanzuges?</li> <li>- Gibt es Probleme zwischen dem Schutzanzug und den restlichen Ausrüstungsteilen?</li> </ul>
Besonderheiten bei der Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ist es möglich, die Schutzkleidung in einem bestimmten Rahmen an die eigenen Bedürfnisse anzupassen?</li> </ul>
Organisatorische Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wie lange wird die Schutzkleidung im Schnitt getragen? (Arbeitstag / Produktlebenszyklus?)</li> <li>- Wie viele verschiedene Sätze Schutzkleidung besitzen Sie? Und wie oft werden diese gereinigt?</li> </ul>
Sonstige Bemerkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Welche Stressfaktoren gibt es und wie wird mit ihnen umgegangen?</li> <li>- Wird die Kommunikation durch die Schutzkleidung beeinträchtigt?</li> <li>- Welches Wetter beeinflusst den Tragekomfort der Schutzkleidung am meisten?</li> <li>- Was für Verbesserungsvorschläge, Wünsche für zukünftige Einsatzkleidung haben Sie?</li> </ul>



Es konnten Angehörige von Berufs- und Freiwilligen Feuerwehren als repräsentative Nutzer befragt werden. Diese Nutzergruppe trägt regelmäßig Feuerwehrschutzkleidung, wie sie in der Fallstudie bewertet werden soll. Insbesondere Mitarbeiter der Berufsfeuerwehren sind auf Grund der Teilnahme an zahlreichen Brand- und Hilfeleistungseinsätzen sehr erfahren im Umgang mit Schutzkleidung und verfügen über ein fundiertes Wissen und klar umrissene Anforderungen an Einsatzkleidung. PENDZICH bezeichnet diese Nutzer daher auch als „Experten“. Ihre Stichprobe umfasste zur detaillierten Informationsgewinnung sowohl Führungskräfte, „oft Einsatzleiter mit organisatorischen Aufgaben und keinem direkten Brandkontakt, und Mitglieder der Angriffstrupps“ (PENDZICH 2009, S. 21). Es gelingt auf diese Weise unterschiedliche Facetten des Nutzungskontextes zu beleuchten, um schließlich ein ausgewogenes Anforderungsbild zu zeichnen. Die Expertenbefragungen ergaben ein umfassendes Bild sowohl typischer Nutzer, als auch markanter „Arbeitsschritte“ und Einsatzszenarien sowie kritischer Kleidungskomponenten, die im Rahmen von Nutzertests besonders zu beobachten sind. Im Folgenden stichpunktartig einige Schwerpunkte und Erkenntnisse der Interviews:

- Problematik schnelles Ankleiden
- Kompatibilitätsprobleme zwischen Ausrüstungsgegenständen
- Dimensionierung und Erreichbarkeit von Taschen
- Greifen mit Feuerwehrhandschuh
- Tragen des Feuerwehr-Sicherheitsgurtes
- Abnutzungserscheinungen der Einsatzkleidung an Knien und Unterarmen
- Unangenehme Bewegungsformen z. B. Seitenkriechgang oder Kriechen
- Fehlende Schutzpolster
- Sitz der Schutzkleidung
- Fehlende oder ungeeignete Fixierungsmöglichkeiten, z. B. Hosenträger
- Bewegungseinschränkungen durch Daumenschlaufen
- usw.

Aus Literatur und Interviews zeichnet PENDZICH (2009, S. 44) ein genaueres Bild des typischen Nutzers: „Der typische Benutzer von Feuerwehrschutzkleidung ist männlich, ca. 40 Jahre alt und Mitglied im Angriffstrupp. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Im Jahr 2007 waren beispielsweise bei der Feuerwehr in Hamburg 17 % der Einsatzkräfte zwischen 50 und 59 Jahren alt, 41 % zwischen 40 und 49 Jahren alt, 29 % zwischen 30 und 39 Jahren alt und nur 11,8 % zwischen 20 und 29 Jahren alt. Jeder zweite Feuerwehrmann ist bereits über 40 Jahre alt (Tempel, 2008). Die Frauenquote ist mit 6,5 % (Wikipedia, 2009) bei der Feuerwehr sehr gering. Im Jahr 2006 sind der größte Teil der 1.101.000 Aktiven (Feuerwehr-Jahrbuch 2008) im Feuerwehrdienst Männer. Die klassischste und zugleich gefährlichste Aufgabe der Feuerwehr ist die Brandbekämpfung. Üblicherweise wird das Löschen von Bränden aller Art durch den Angriffstrupp durchgeführt. Da dieser sich am nächsten am Brandherd bewegt, ist er zugleich auch ein Atemschutztrupp und muss dementsprechend qualifiziert sein.“ Das Feuerwehr Jahrbuch 2011 bestätigt das Bild der Nutzergruppe Feuerwehrmann/-frau: In den über 25.000 deutschen Feuerwehren (Freiwillige, Berufs- und Werkfeuerwehren) waren im Jahr 2009 rund 1,3 Mio. Feuerwehrmänner tätig, rund 43.000 davon hauptberufliche Aktive.

Aus dem Nutzungskontext leitet PENDZICH (2009) zwei wesentliche Szenarien bzw. Extremsituationen ab, in denen Feuerwehrschutzkleidung Verwendung findet und die es in Nutzertests umzusetzen gilt:

1. Brände und Explosionen sind das klassische Aufgabengebiet der Feuerwehren und führen zu maximalen Beanspruchungen von Personen und Material. Im Jahr 2009 rückten die Feuerwehren in Deutschland zu 185.295 Einsätzen dieser Kategorie aus (Feuerwehr Jahrbuch 2009).
2. Technische Hilfeleistung umfasst „Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren für Leben, Gesundheit und Sachen, die aus Explosionen, Überschwemmungen, Unfällen und ähnlichen Ereignissen entstehen“ (FwDV 13/1) und ist zweithäufigste Einsatzursache (51,33 % aller Einsätze, Feuerwehr Jahrbuch 2009).

Neben dem typischen Nutzer (Alter, anthropologische Kennwerte, Funktion im Einsatz usw.) und seinen Einsatzaufgaben (Rettung, Brandbekämpfung, Bergung, Erkundung, Dekontamination usw.) sind im Nutzungskontext zeitgleich genutzte persönliche Schutzausrüstungen (Helm, Handschuhe, Schutzschuhe, Atemschutzgerät usw.) definiert. Auch Ausrüstungsgegenstände (Messgeräte, Werkzeuge usw.), die zur Bearbeitung der gestellten Arbeitsaufgaben benötigt werden, sind ebenso von Bedeutung wie die Einsatzumgebung (Schadstoffe, klimatische Bedingungen, Feuer, räumliche Verhältnisse usw.).

### **3.1.2 Anforderungsanalyse**

PENDZICH (2009) leitet aus den Kenntnissen über den Nutzungskontext zunächst Aufgabenerfordernisse und schließlich Nutzungsanforderungen, einzelne Produktkomponenten respektive -anforderungen für Feuerwehrschutzkleidung ab. Ihre Systematik entnimmt sie dem BAuA-Ergonomiekompandium (ADLER, 2008). Für die ausgewählte Schutzkleidung wird erst auf diesem Wege die Komplexität der Produktnutzung deutlich. Die Ergebnisse des komplexen Analyseprozesses unterstreichen das Erfordernis einer strukturierten Vorgehensweise auch innerhalb der Produkttestung wie sie im Folgenden vorgestellt wird.

Eine Übersicht dieser Nutzungsanforderungen findet sich im Anhang 1. Diese sind nicht nur als konkrete Gestaltungslösungen für die Konfektionierung von SAFE zu verstehen, sondern auch als Beschreibung bewertbarer Komponentenanforderungen, um im Nutzungskontext Aufgaben erfüllen zu können. Neben Vorschlägen für die noch zu entwickelnden Prototypen bildet eine andere Gruppe von Anforderungen den „Stand der Technik“ ab (z. B. DIN EN 469 oder BWB-TL 8415-0283) und ermöglicht die objektive Produktbewertung.

#### **3.1.2.1 Nutzergruppe**

Die Analyse des Nutzungskontextes sowie die Anforderungsanalyse an die Prüfobjekte stellt innerhalb der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit die Basis für die Auswahl von Testpersonen respektive Probanden und die Nutzung der Prüfobjekte dar. Neben den einzelnen Prüfobjekten wird im Folgenden zunächst die Stichprobensammensetzung erläutert.

Die typischen Nutzer werden in der Produkttestung durch Probanden repräsentiert, die dem spezifizierten Nutzungskontext entsprechen. AKBAR-KHANZADEH (1995)

betont in seiner Untersuchung von persönlicher Schutzausrüstung die Bedeutung von Nutzern bzw. Beschäftigten insbesondere bei der Bewertung von Akzeptanz und Komfort: „Yet the optimum level of comfort in wearing PPE can only be achieved through ergonomic design and field research. The comfort and fit of PPE can be considerably improved when employees actively participate in the selection and testing of PPE“ (S. 197). Bestätigt wird diese Auffassung durch SONA (2014) in seiner Studie zur Beweglichkeitsbewertung von Schutzkleidung. Er setzt den Einsatz von erfahrenen Probanden, hier aus dem Bereich der Feuerwehr, voraus: „...firefighters are more reliable than non-firefighters in testing of PPE with current test methods“ (S. 1019) und weiter „to recruit non-firefighters as participant group for the present test method is not advisable.“ Seine Studien zeigen schließlich, dass unter dieser Voraussetzung zuverlässigere Messergebnisse zu erwarten sind: „... the firefighter group is more used to working with PPE and had more significant differences for each test on most measurements. Therefore, more significant results should be obtained by studying firefighters as a standard participant group“ (S. 1027). Für diese empirische Studie wurden folglich Personen mit entsprechenden Kenntnissen und Erfahrungshintergrund aus dem Tätigkeitsfeld der Feuerwehr ausgewählt.

Von umliegenden Berufs-, Werk und Freiwilligen Feuerwehren konnten daraufhin Versuchsteilnehmer angeworben werden, von denen angenommen wurde, dass sie auf Grund ihres „Expertenwissens“ und eigener umfangreicher praktischer Erfahrungen bestens als Probanden geeignet seien. Insbesondere für das Versuchsdesign Mikroklima wurde zudem eine körperliche und gesundheitliche Eignung vorausgesetzt, um die ausgewählten Personen bedenkenlos für die geplanten Belastungsversuche (Abschnitt 3.3.1) einsetzen zu können. Die Nachweise erfolgten anhand einer arbeitsmedizinischen Untersuchung nach berufsgenossenschaftlichem Grundsatz 26 Teil 3 (Atemschutz), die alle Teilnehmer tätigkeitsbedingt im Vorfeld bereits vorlegen konnten. Als weitere Voraussetzung zur Teilnahme wurde das Einverständnis aller Teilnehmer nach schriftlicher und persönlicher Aufklärung über Ziel und Ablauf der Versuche eingeholt. Es sollten gesunde Erwachsene ausgewählt werden, deren Einwilligungsfähigkeit vorausgesetzt wurde. Als gesunde Probanden galten Personen, die keine Kriterien gemäß G 26/3 aufwiesen, z. B. Gleichgewichtsstörungen, Erkrankungen der Atemorgane, veränderte Vitalkapazität. Alle Ausschlusskriterien wurden im Einvernehmen mit den Probanden ermittelt und geprüft.

Grundlegende statistische Gütekriterien, Anzahl der Zellen/Klassen und Mindestzellbesetzung, bestimmten maßgeblich den im Folgenden dargestellten Versuchsumfang, d. h. die Anzahl der erforderlichen Probanden. KANIS (2011) weist ausdrücklich darauf hin, dass es zahlreiche beeinflussende Mechanismen gibt, so dass hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit eines Produktes angenommen werden, dass bereits 45 Benutzer durchschnittlich mehr als 99,6 % der Gebrauchstauglichkeitsprobleme identifizieren (nach FAULKNER in ADLER, 2006). Das Hauptziel bestand darin, durch gezielte Auswahl die gesamte Bandbreite möglicher Nutzer abzudecken. Es wurde daher entschieden, drei Altersklassen (18 bis 30 Jahre, 30 bis 50 Jahre und über 50 Jahre) – auf Grund abnehmender Leistungsfähigkeit im Alter und abnehmender Beweglichkeit (GRAIL, 2008) – sowie je drei Gewichtsklassen (bis 63,5 kg, bis 79 kg, bis 100 kg) – auf Grund eines unterschiedlichen Stoffwechselgeschehens und abnehmender Beweglichkeit (OCHSMANN 2012) – zu untersuchen. Auf Grund zu geringer Aussagekraft im Vergleich zu den Gewichtsklassen wurde der Body-Mass-Index (BMI) als Auswahlkriterium abgelehnt (HILLEBRECHT, 2011). Zur

Vermeidung von Verzerrungen und zur Einhaltung der statistischen Güte wurden daher je möglicher Zelle fünf Probanden vorgesehen, um mit mindestens 45 Probanden die Gebrauchstauglichkeit bewerten zu können.

Die Resonanz auf eine Probandensuche war sehr gut und unterstrich das hohe Interesse der Nutzergruppe an der Partizipation. Die Zusammensetzung des möglichen Kollektivs erforderte Anpassungen des Auswahlschemas. Insbesondere in der anvisierten Altersklasse über 50 Jahre war eine ausreichende Zellbesetzung in keiner der Gewichtsklassen möglich; nur sieben Nutzer über 50 Jahre. Diese konnten ebenfalls nicht wie zunächst vorgesehen besetzt werden, so dass sie in der Folge angepasst wurden. Eine Zelle weiblicher Probanden, ohne Alters- und Gewichtsklassen kam hinzu. Nach diesen Modifikationen wurden die Versuche mit folgender Zellbesetzung umgesetzt. Somit kann auch die erwartete Aussagekraft der Benutzertests als sehr hoch eingeschätzt werden.

**Tab. 3.2** Zellbesetzung

Männer				Frauen
	bis 30 Jahre	30 bis 40 Jahre	über 40 Jahre	5
bis 80 kg	5	5	5	
80 bis 90 kg	5	5	5	
über 90 kg	5	5	5	

Auf Basis der oben genannten grundsätzlichen Auswahlkriterien und Zelldefinitionen konnten aus über 170 interessierten Feuerwehrfrauen und -männern die Probandinnen und Probanden für die Stichprobe ausgewählt werden:

- 50 Probanden
  - davon 45 Feuerwehrmänner und 5 Feuerwehrfrauen
  - davon 43 hauptberufliche, 7 freiwillige Feuerwehrmitarbeiter

Die Probanden erhielten für ihre Teilnahme eine Aufwandsentschädigung.

### 3.1.2.2 Untersuchungsobjekte

Als Untersuchungsobjekte standen fünf Schutzanzugstypen zur Verfügung (Abb. 3.2). Zwei standardisierte Anzüge, die seit langem im evaluierten Nutzungskontext zum Einsatz kommen, wurden als Referenzanzüge ausgewählt. Die Auswahl wurde auf die drei noch zu entwickelnden Schutzkleidungstypen SAFE abgestimmt, um ausreichend Vergleichsmöglichkeiten zu bieten: Sowohl ein- und zweiteilige Anzüge als auch permeable und semipermeable Anzüge. Von besonderer Bedeutung ist, dass die neu zu entwickelnde Schutzkleidung ein breiter gefächertes Tätigkeitsfeld zulassen sollte als die herkömmliche Feuerwehrschutzkleidung.



**Abb. 3.2** Untersuchungsobjekte

Alle Untersuchungsobjekte sollten grundlegende Anforderungen des Nutzungskontextes erfüllen; einen Überblick bietet die folgende Auflistung (Tab. 3.3):

**Tab. 3.3** Funktionsgruppen der Prüfobjekte (PENDZICH, 2009)

Komponente	Funktion
Größeneinstellungen	Schutzkleidung an Körpermaße anpassen
Fixierungen	Schutzkleidung am Benutzer fixieren und Verrutschen verhindern
Schutz	Benutzer vor physikalischen, chemischen Gefahren während des Einsatzes schützen
Tragekomfort	Benutzer in seiner Bewegungsfreiheit unterstützen
Rettung	zur Rettung dienen und nur in Notfallsituationen benutzt werden
Wahrnehmbarkeit	visuelle Schutzfunktionen bieten
Transport	zum Transport dienen und es ermöglichen, Gegenstände an der Schutzkleidung zu befestigen
Wartung und Pflege	den Benutzer bei der Wartung und bei der Pflege, wie beim Waschen, unterstützen
Sonstiges	Komponenten, die nicht einer der oben stehenden Gruppen zugeordnet werden konnten

### 3.1.2.2.1 Feuerwehrsutzhleidung

Als erstes Referenzobjekt wurde eine Feuerwehrsutzhleidung ausgewählt. Diese sollte aus einer Jacke-Hose-Kombination bestehen, die als Vergleichsobjekt für einen zweiteiligen Prototypen sowie den Nutzungskontext Brandschutz geeignet ist. Die Vergleichbarkeit sollte sowohl für die ergonomischen Belange (z. B. Mikroklima) als auch für Belange der Gebrauchstauglichkeit (z. B. Taschen, Verschlüsse usw.)

gelten, siehe hierzu auch Abschnitt 3.1.2 (Anforderungsanalyse). Beide Kleidungsstücke sollten dem Stand der Technik entsprechen und typischer Weise bei der Nutzergruppe Feuerwehr bekannt und im täglichen Einsatz befindlich sein. Um die technischen Standards abzubilden, wurde ausschließlich Kleidung eingesetzt, die der DIN EN 469, Schutzkleidung für die Feuerwehr, bzw. der HUPF (Herstellungs- und Prüfbeschreibung für eine universelle Feuerwehr-Schutzbekleidung) entsprach. Insbesondere aufgrund seiner Permeabilität eignete sich dieser Kleidungsstyp als Referenzobjekt. Die gewählte Material- und Schichtkombination (eingearbeitete Klimamembran) wird als semipermeabel bezeichnet und ermöglicht den Feuchte- und Luftdurchtritt, nicht aber den Transport von Wasser.

Beide oben genannten Normen stellen konkrete Anforderungen an die Werkstoffe des Obermaterials, der Nässe Sperre, der Isolationsunterlage, des Innenfutters und der Adaptionselemente sicher. Weiterhin sind Leistungsanforderungen an die verwendeten Materialien bezüglich der thermischen Eigenschaften sowie der Warn- und Reflexausstattung und Qualitätskriterien für das konfektionierte Endprodukt definiert. Nach HuPF werden z. B. folgende Leistungsmerkmale überprüft:

- Thermischer und mechanischer Schutz
- Nässe- und Windschutz
- Durchdringungsschutz vor Chemikalien
- Atmungsaktivität

Als Komponenten, die Auswirkungen im Sinne der Gebrauchstauglichkeit dieser Arbeit und somit in Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen von Bedeutung sein werden, sind die folgenden zu nennen. Sie sind in Teilen ebenfalls in den genannten technischen Regelwerken beschrieben, zum Beispiel:

- Retroreflektierende Ausstattung
- Taschen und Taschenpatten
- Panikreiß- und andere Verschlüsse
- Daumenschlaufen
- Größenanpassung
- Konfektionierung

Details zu den typischen Komponenten der Feuerwehrsutzbekleidung finden sich im Anhang 2 und 3. Dieses Referenzmodell wurde in Abstimmung mit den ausgewählten Probanden in der jeweils passenden Konfektionsgröße für die Versuchsdurchführung gestellt. Um die Vergleichbarkeit der Anzüge hinsichtlich Beweglichkeit und Isolation des Kopfes zu gewährleisten, wurde die Schutzkleidung mit einer Flammschutzhaube (DIN EN 13911 - Feuerschutzhauben - 2004) getragen.

#### 3.1.2.2.2 ABC-Schutzkleidung

Die ausgewählte Schutzkleidung kommt als sogenanntes „Overgarment“ bei Katastrophenschutzeinheiten oder als „PersLeicht“ oder „Persönliche ABC-Schutzbekleidung“ bei der Bundeswehr zum Einsatz (BACHMANN, 2008). Die Anzüge sind nahezu baugleich und unterscheiden sich in nur wenigen Details (z. B. Farbe des Obermaterials). Die technischen Lieferbedingungen „Leichte ABC-Schutzbekleidung“ (TL 8415-0283) des Bundesamtes für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB) bzw. die technische Beschreibung (TB) „Overgarment“ der Zentralstelle

für Zivilschutz enthalten sowohl ergonomische Anforderungen als auch Anforderungen an die Konfektionierung und die gebrauchstaugliche Ausstattung.

Die ABC-Schutzkleidung bietet insbesondere Schutz gegen Gefahrstoffe, zum Teil auch gegen biologische und radioaktive Stoffe. Sie verfügt über ein Aktivkohlelaminat, das als Schwebstofffilter fungiert. Anders als die zuvor genannte Feuerwehrschutzkleidung handelt es sich beim zweiten Referenzobjekt um einen einteiligen Schutzanzug, der über keine Membran verfügt und daher vollständig permeabel, d. h. luft- und flüssigkeitsdurchlässig, ist. Diese offene Gestaltung ermöglicht lange Tragezeiten, bietet jedoch keinen Schutz im Nutzungskontext Brandschutz. Ein besonderes Merkmal der ABC-Schutzkleidung ist die Ausstattung mit einer Kapuze, die mit dem Anzug eine untrennbare Einheit bildet. Der Einsatz einer separaten Kopfhülle ist nicht erforderlich, so dass ein nahezu abgeschlossenes System entsteht und sich die Dichtlinien auf Hände, Beine und Kopf bzw. Maskenanschluss beschränkt. Das ausgewählte Referenzmodell verfügt zudem über eine integrierte Rettungsschleufe.

### 3.1.2.2.3 SAFE-Prototypen

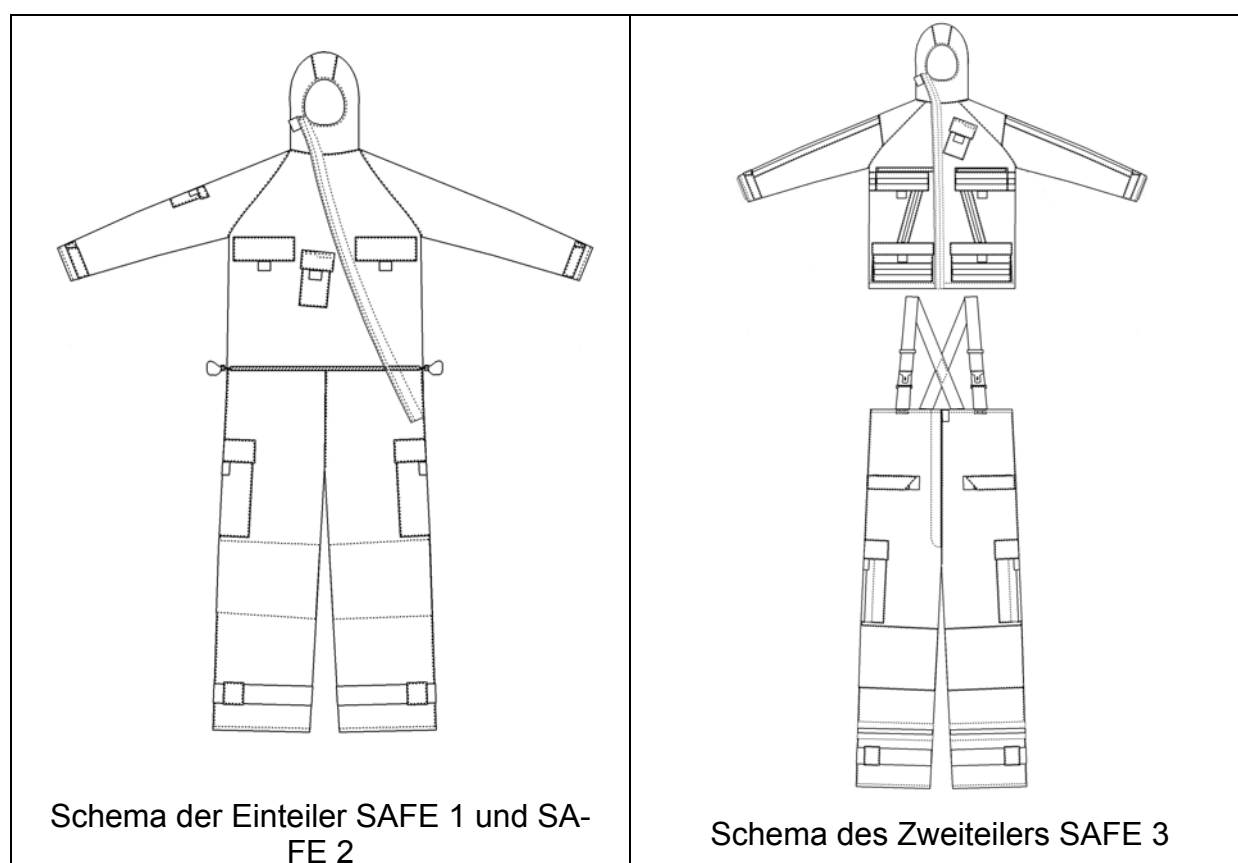
Mit den beiden Referenzanzügen sollten drei SAFE-Anzüge verglichen werden, deren Konzeption in enger Zusammenarbeit mit Vertretern der Nutzergruppen entwickelt wurde (Tab. 3.4). Abb. 3.3 zeigt die wichtigsten Konfektionsunterschiede sowie den unterschiedlichen Lagenaufbau der drei Prototypen.

**Tab. 3.4** Konzeption der Anzüge SAFE 1 bis 3

	<b>SAFE 1 (ABC)</b>	<b>SAFE 2 (Feuerwehr 1)</b>	<b>SAFE 3 (Feuerwehr 2)</b>
<b>Schutzstufe nach EN 469</b>	Stufe 0 (keine Einhaltung DIN EN 469)	Stufe 1 mit Einschränkungen	Stufe 2 ohne Einschränkungen
<b>Form</b>	Einteiler	Einteiler	Zweiteiler
<b>Oberstoff</b>		Aramid	Aramid
<b>Filtersystem</b>	SAFE-Adsorber	SAFE-Adsorber	ABC-Membrane
<b>Brandschutzausrüstung</b>	flammhemmend ohne Isolations-schicht	flammhemmend mit Isolations-schicht	flammhemmend mit Isolations-schicht
<b>Wasserdichtheit</b>	wasserabweisend	wasserabweisend	wasserdicht (DIN EN 469 ohne Einschränkungen)
<b>Handschuhe</b>	Butylhandschuhe	ABC-Brandschutz	ABC-Brandschutz
<b>Permeabilität</b>	permeabel	permeabel	semi-/impermeabel

	<b>SAFE 1 (ABC)</b>	<b>SAFE 2 (Feuerwehr 1)</b>	<b>SAFE 3 (Feuerwehr 2)</b>
<b>Einsatzszenario</b>	ABC-Lagen (Dekon, Dekon P, MANV, Messen), sonst wie BBK	Feuerwehr/ABC-Einheiten: Brandbekämpfung außen, TH, ABC-Lagen (Dekon, Dekon P, MANV, Messen), sonst wie BBK Rettungsdienst: ABC-Lagen (Dekon P, MANV)	Feuerwehr: Brandbekämpfung innen, sonst wie Feuerwehr 1

Die Anzüge SAFE 1 bis 3 orientieren sich an den vorgestellten Referenzanzügen und kombinieren die Anforderungen in unterschiedlicher Weise und in Abhängigkeit dreier Einsatzszenarien bzw. des Nutzungskontextes. Hinsichtlich der Trageeigenschaften, insbesondere des Mikroklimas, der Schnittführung, aber auch der Ausgestaltung einzelner Komponenten, z. B. einer speziellen Rettungsschleufe, sind diese Anzüge als eine Weiterentwicklung zu verstehen. Dies gilt besonders für die Filtersysteme.

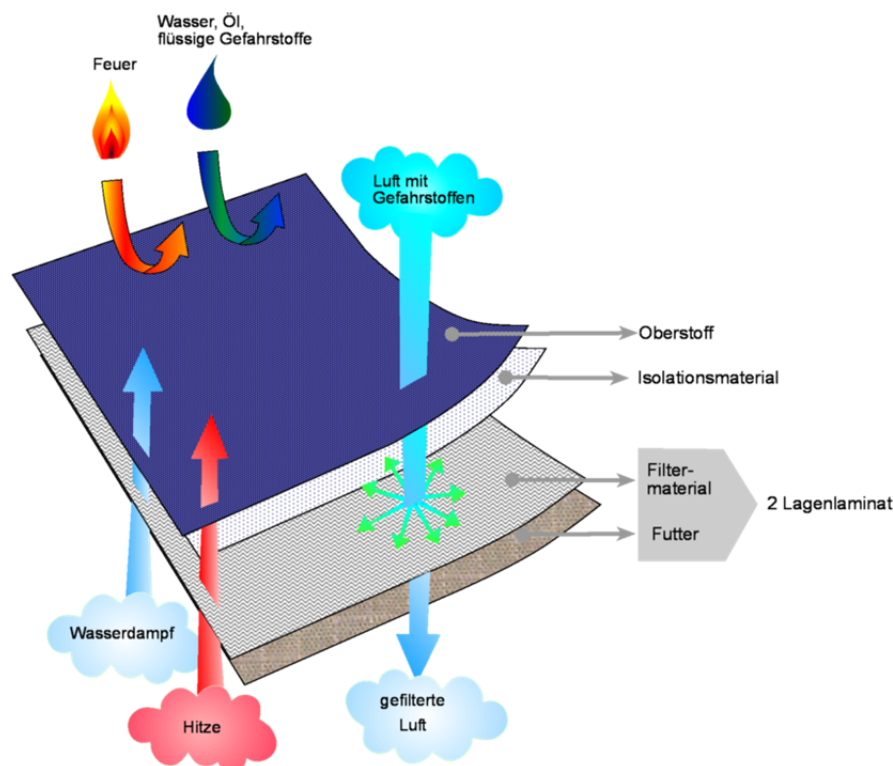


**Abb. 3.3** Schematische Darstellung SAFE 1 bis SAFE 3 (BRÄUNING, 2012)

Bei den Anzügen 1 und 2 handelt es sich jeweils um Einteiler, die sich an der Schnittführung des ABC-Schutzanzuges orientieren und in diesem Referenzmodell ihre Entsprechung finden. Als Filterlaminate werden jeweils ein neuentwickelter Adsorber ein-



gesetzt. Ziel der einteiligen Konstruktion ist es, eine möglichst kurze Dichtlinie ohne schwer kontrollierbare Zuluftöffnungen (z. B. Übergang Jacke zu Hose) zu schaffen. Aus diesem Grund lassen sich Ärmelbündchen und Hosenbeine mittels besonderer Verschlüsse eng anlegen oder verfügen über zusätzliche Innenbündchen. Weiterhin ist eine fest angesetzte Kapuze für einen dichten Abschluss zum Atemanschluss (Atemschutzmaske) vorgesehen.



**Abb. 3.4** Schematischer Lagenaufbau SAFE 2 (BRÄUNING, 2012)

Anzug SAFE 2 unterscheidet sich von Anzug 1 durch einen erweiterten Nutzungskontext. Sowohl der Oberstoff als auch das darunter liegende Abstandsgewirk soll sicherstellen, dass dieser Anzug im Rahmen einer Brandbekämpfung höheren Umgebungstemperaturen widerstehen kann und die umgebende Wärme nicht in das Anzuginnere dringt (Abb. 3.4). Aufgrund fehlender Barrieren (Membranen oder geeignete Oberstoffe oder deren Funktionalisierungen) gegen eindringende Flüssigkeiten, z. B. Löschwasser, kann dieser Anzug nicht innerhalb eines Gebäudes eingesetzt werden und erfüllt somit nicht die DIN EN 469 für Feuerwehrsutzbekleidung zur Innenbrandbekämpfung. Das zugrunde liegende Szenario ist „zwischen“ Feuerwehr- und ABC-Schutzkleidung anzusiedeln.

Der Prototyp SAFE 3 ist wie auch die Feuerwehrsutzbekleidung nach DIN EN 469 für den Brandeinsatz innerhalb von Gebäuden konzipiert. Dies zeigt sich in der Ausstattung mit einer Membran, die zum Erreichen der Anforderungen des Regelwerkes (Wassersäule 6 Meter) zurzeit technisch nicht anders zu erzielen ist. Aus diesem Grund muss dieser Anzug nicht als permeabel, sondern als semipermeabel bezeichnet werden. Der Prototyp ist nicht nur wegen der Zweiteiligkeit sondern auch hinsichtlich des zu erwartenden Mikroklimas im Anzuginnern und einzelner spezieller Komponenten mit dem Referenzobjekt Feuerwehrsutzbekleidung zu vergleichen.

### 3.1.2.2.4 Sonstige Ausrüstung

Neben den zentralen Prüfobjekten sind weitere Ausrüstungsgegenstände zu nennen, die im Rahmen der Versuchsdurchführung Verwendung fanden. Diese wurden keiner Bewertung unterzogen, sondern waren ausschließlich für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der Anzüge hinsichtlich einzelner Fragestellungen zur Kombination oder Kompatibilität von Bedeutung. Zu nennen sind:

- Atemanschluss (z. B. Vollmaske nach DIN EN 136),
- Atemschutzgerät/Pressluftatmer (PA),
- Feuerweherschutzhelm,
- Feuerweherschutzhandschuhe,
- Feuerwehrstiefel (DIN EN 15090),
- Feuerschutzhauben (DIN EN 13911).

Soweit möglich wurde für die Versuchsdurchführung eine Standardisierung der Ausrüstungsgegenstände vorgenommen, d. h. es wurden Feuerweherschutzhäuben, Schutzhandschuhe und Atemschutzmasken zur Verfügung gestellt. Die Benutzung probandeneigener Feuerwehrstiefel und Schutzhelme wurde aus organisatorischen und hygienischen Gründen bevorzugt, so dass nur bedingt eine einheitliche Bewertung sichergestellt werden konnte. Dennoch bot dies die Möglichkeit, die Schnittstellen der Prototypen auf die Kombinierbarkeit mit marktüblicher PSA zu optimieren.

### 3.1.2.2.5 Bekleidungskonzept

Um insbesondere mit dem Versuchsdesign Mikroklima vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurde ein Bekleidungskonzept festgeschrieben, das sich am Nutzungskontext orientierte und auf den Erkenntnissen der durchgeführten Expertenbefragungen basierte. Es sieht drei Bekleidungsschichten vor. Diese umfassten neben den einzelnen Prüfobjekten auch die dazugehörige Unterbekleidung. Schicht I besteht aus der Unterbekleidung, d. h. Socken und Unterwäsche. Die zweite Schicht beschreibt „leichte Oberbekleidung“, d. h. Bundhose, T-Shirt und im Klimaversuch ein Sweatshirt. Die gewählte Kleidung variiert je nach Klima (1 = Normalklima im Versuchsparcours, 2 = warmes Klima, 3 = kaltes Klima; Details im Kapitel 3.3.1 Klimatische Belastung). Bekleidungsschicht III wird durch das jeweilige Prüfobjekt, die Schutzkleidung SAFE bzw. die Referenzanzüge bestimmt. Des Weiteren umfasst die dritte Schicht die erweiterte Persönliche Schutzausrüstung (PSA), bestehend aus Schutzhandschuhen, Sicherheitsschuhen und ggf. Flammenschutzhaube. Bis auf Socken, Schutzstiefel und -helm wurden alle Ausrüstungsgegenstände und Kleidungsstücke gestellt. Die folgende Auflistung gibt die wichtigsten Details zur jeweiligen Bekleidungsschicht wieder:

**Tab. 3.5** Systematik der Bekleidungsschichten

<b>Schicht I: Unterbekleidung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterhose kurz, Baumwolle</li> <li>• Unterhemd, Büstenhalter (nur Probandinnen)</li> <li>• Socken, halblang, Baumwolle oder Funktionsfaser (je nach Proband)</li> </ul>
<b>Schicht II: Oberbekleidung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bundhose, HuPF Teil 2, Baumwolle</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• T-Shirt kurz, Baumwolle (Klima 1, 3)</li> <li>• Sweatshirt, Baumwolle (Klima 2)</li> </ul>
<b>Schicht IIIa: Feuerwehrschutzkleidung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überjacke EN 469/HuPF Teil 1 (NRW)</li> <li>• Überhose EN 469/HuPF Teil 4 Typ A (NRW)</li> <li>• Flamschutzhaube, schulterlang, zweilagig</li> <li>• Feuerwehr-Schutzhandschuhe, ohne Membran und lange Stulpe</li> <li>• Feuerwehr-Schutzstiefel (diverse Modelle, je nach Proband)</li> </ul>
<b>Schicht IIIb: ABC-Schutzkleidung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ABC-Schutzanzug (Overgarment, BBK)</li> <li>• Feuerwehr-Schutzhandschuhe, ohne Membran und lange Stulpe</li> <li>• Feuerwehr-Schutzstiefel (diverse Modelle, je nach Proband)</li> </ul>
<b>Schicht IIIc: SAFE 1</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einteiliger Schutzanzug SAFE 1 (ABC-Einsatz)</li> <li>• ABC-Schutzhandschuhe (Butylkautschuk), Unterhandschuh (Baumwolle)</li> <li>• Feuerwehr-Schutzstiefel (diverse Modelle, je nach Proband)</li> </ul>
<b>Schicht IIId: SAFE 2</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einteiliger Schutzanzug SAFE 2 (ABC-Einsatz/Außenbrandbekämpfung)</li> <li>• Feuerwehr-Mehrzweck-Schutzhandschuhe, mit Membran und kurze Stulpe</li> <li>• Feuerwehr-Schutzstiefel (diverse Modelle, je nach Proband)</li> </ul>
<b>Schicht IIIe: SAFE 3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zweiteiliger Schutzanzug SAFE 3 (ABC-Einsatz/Innenbrandbekämpfung)</li> <li>• Feuerwehr-Mehrzweck-Schutzhandschuhe, mit Membran und kurze Stulpe</li> <li>• Feuerwehr-Schutzstiefel (diverse Modelle, je nach Proband)</li> </ul>

### 3.2 Versuchsdesign Gebrauchstauglichkeit

Um bei der Prüfung der Schutzanzüge valide Ergebnisse zu erhalten und eine realistische Nutzung der Schutzkleidung unter Laborbedingungen zu gewährleisten, wurde ein strukturiertes, mehrschrittiges Versuchs- und Prüfdesign auf Basis von Nutzungskontext und Produkthanforderungen erarbeitet. Je nach Nutzungsanforderung sind Messungen an Probanden oder Benutzertests sowohl in einem Bewegungsparcours als auch im Klima erforderlich. Ziel aller Prüfschritte ist die Aufdeckung gestalterischer Schwachstellen, die die Gebrauchstauglichkeit negativ beeinflussen. Für die Datenerhebung finden verschiedene Werkzeuge Anwendung. Es werden Videoaufzeichnungen, Fragebögen, Interviews, Messungen und direkte Beobachtungen genutzt, um das subjektive Empfinden der Probanden auf der einen und objektive Daten (z. B. Bewegungsumfang) auf der anderen Seite zu dokumentieren.

Auf diese Weise entstanden die Versuchsdesigns „Gebrauchstauglichkeit“ und „Mikroklima“, deren Bausteine im Folgenden vorgestellt werden, beginnend beim Versuchsparcours und dem dort eingesetzten Fragebogen. Im Abschnitt 3.2.4 werden die eingesetzten Methoden zur Erfassung von Reich- und Greifweiten beschrieben. Da an die Dichtlinien von ABC-Schutzkleidung hohe Anforderungen gestellt werden, wird die Erfassungsmethodik für diese Schnittstellenbewegungen ebenfalls dargestellt. Wie zuvor dargelegt, konnten Produkthanforderungen identifiziert werden,

deren Erfüllung mit einer objektiven Inspektion, d. h. anhand einer Checkliste, nachgewiesen werden können. Diese wird abschließend vorgestellt.

### 3.2.1 Parcours

Das Versuchsdesign Gebrauchstauglichkeit umfasst als zentralen Baustein einen Versuchsparcours, um den alltäglichen Gebrauch der Schutzkleidung im Nutzungskontext unter Laborbedingungen beobachtbar zu machen. Er bildet den Rahmen, in dem weitere Bewertungsinstrumente zum Einsatz kommen, um den Tragekomfort und die Zufriedenheit der Nutzer zu bewerten. PENDZICH (2009) kommt in ihrer Analyse des Nutzungskontextes zu der Erkenntnis, dass einer der Aspekte zur Beurteilung von Schutzkleidung die Einschränkungen des Bewegungsumfanges bei den typischen Arbeits- und Bewegungsaufgaben sind. Ziel des Parcours ist es, genau diese abzubilden bzw. Probanden diese zwecks Meinungsbildung „durchlaufen“ zu lassen. Er teilt sich daher in drei Blöcke, nämlich In- bzw. Außerbetriebnahme (in Analogie zur Mensch-Maschine-Interaktion), Bewegungen (vorwiegend ohne unmittelbare Messung, als Bewertung dynamischer Zustände) sowie die Referenzkörperhaltungen (mit Messung, als Bewertung statischer Zustände, d. h. Körperhaltungen).

**Tab. 3.6** Stationen im Versuchsparcours

Station	Bewegungsaufgabe und Messung	Ziel der Datenauswertung
1. Personenbezogene Messungen	Messung von Körpergewicht, Körperhöhe, Armreichweite und Schritthöhe	Beschreibung der Stichprobe
2. Reich-/ Greifweiten	Erfassung der maximalen Armwinkel mit gestreckten Armen, Ellenbogen angewinkelt und Reichweite beidhändig nach oben jeweils mit leichter Kleidung (Schicht II) und Schutzanzügen (Schicht III)	Ermittlung der Bewegungseinschränkungen
3. Schutzkleidung an-/ablegen	Erfassung der Ausführbarkeit beim An- und Ablegen (z. B. Panikreißverschluss) der Schutzkleidung sowie Fahrzeugsituation zum Anlegen von Pressluftatmer und Atemschutzmaske	Kombination von Ausrüstungsgegenständen, Sitz der Schutzkleidung, Funktion von Verschlüssen und Einstellmöglichkeiten
4. Referenzlagen/ statische Haltungen	Erfassung der Schnittstellenverschiebung an Arm-Handschuh, Jackensaum-Hose und Hosensaum-Stiefel in Ruhe und beim Knienwinkeln, Ober-	Bewertung von Schnittstellenverschiebung, Tragekomfort und Bewegungseinschränkungen

Station	Bewegungsaufgabe und Messung	Ziel der Datenauswertung
	körperbeugen, -drehen, -drehbeugen, Hocken und Arme über Kopfhalten	
5. Fortbewegung	Erfassung der Schrittlänge sowie der Schnittstellenverschiebung und des Tragekomforts (z. B. Hose) beim Gehen, Laufen, Seitenkriechgang	Bewertung von Schnittstellenverschiebung, Tragekomfort und Bewegungseinschränkungen
6. Kriechen	Erfassung der Schnittstellenverschiebung, des Tragekomforts (z. B. Knie) und der Ausführbarkeit beim Kriechen auf allen Vieren unter Hindernissen	Bewertung von Schnittstellenverschiebung, Tragekomfort und Bewegungseinschränkungen, Schwerpunkt Polsterungen
7. Übersteigen	Erfassung der Schnittstellenverschiebung, des Tragekomforts (z. B. Knie und Schritt) und der Ausführbarkeit beim Übersteigen zweier schritthoher Hindernisse	Bewertung von Schnittstellenverschiebung, Tragekomfort und Bewegungseinschränkungen, Schwerpunkt Hosenbeine
8. Beugen/ Strecken	Erfassung der Schnittstellenverschiebung, des Tragekomforts (z. B. Schulter und Arme) beim Aufnehmen und Hochheben eines Gewichtes	Bewertung von Schnittstellenverschiebung und Tragekomfort, Schwerpunkt Ober- und Ärmel
9. Leitersteigen/ Leiterübersteigen	Erfassung des Tragekomforts (z. B. Arme und Schritt) und der Ausführbarkeit beim Leitersteigen und Über- bzw. Absteigen am Leiterende	Bewertung von Tragekomfort, Schwerpunkt Ärmel und Schritt
10. Schaufeln	Erfassung des Tragekomforts (z. B. Oberkörperdrehung) und der Ausführbarkeit beim Arbeiten mit einer Schaufel	Bewertung von Tragekomfort, Schwerpunkt Zusammenspiel Ober- und Unterbekleidung
11. Rettungsschlaufe	Erfassung der Ausführbarkeit beim Einsatz einer Rettungsschlaufe	Bewertung der Erreichbarkeit von Verschlüssen und Griffen

Der Versuchsparcours umfasst elf Stationen mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen und Messungen, für die etwa ein bis eineinhalb Stunden Bearbeitungszeit benötigt wurden. Die Untersuchungen fanden im Normalklima statt. Die Probanden trugen

je nach Station die bereits im Bekleidungskonzept (Abschnitt 3.1.2.2.5) genannten Kleidungsstücke. Einen ersten Überblick bietet Tab. 3.6. Weitere Details zur Planung und Umsetzung des Parcours finden sich im Anhang 4, der insbesondere Aufschluss über den Beitrag der einzelnen Stationen zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit leistet. Die Stationen 1 und 2 umfassen anthropometrische Messungen sowie Messungen der Reich- und Greifweiten. Diese werden gesondert im Abschnitt 3.2.4 beschrieben.

Station 3 dient der Beobachtung der Probanden beim An- und Ablegen der Schutzkleidung sowie weiterer Ausrüstungsgegenstände wie Flammenschutzhaube, Handschuhe, Pressluftatmer (PA) und Atemschutzmaske. Das Anlegen der Schutzanzüge erfolgt im Stehen: Die Probanden stellen zunächst ein sogenanntes Stiefelpaket (s. Nutzungskontext) – Hosenbeine der Einsatzhose für den schnellen Einstieg über die Stiefelschäfte gestülpt – und steigen dann zeitgleich in Überhose und Stiefel ein. Anschließend werden Hose und Jacke bzw. bei einteiligen Anzügen der restliche Anzug angelegt, ggf. Größenanpassungen (Hosenträger, Taillentunnel, Bundzug Arm-/Beinverschlüsse usw.) vorgenommen und der Anzug wird ordnungsgemäß verschlossen. Abschließend werden die Probanden aufgefordert Helm und Handschuhe anzulegen. Um die weiteren Ausrüstungsgegenstände anzulegen (s. Abschnitt 3.1.1) wird eine zweite Situation aus dem Nutzungskontext, nämlich Anlegen eines PA und einer Atemschutzmaske im Fahrzeug sitzend, abgebildet. Station 3 wird abschließend erneut genutzt, um die Kleidung abzulegen, d. h. um in erster Linie den Einsatz des Panikreißverschlusses zum schnellen Auskleiden zu testen.

Statische Haltungen sowie die Ausgangssituation an den Schnittstellen werden in Station 4 des Parcours erfasst. Dort erfolgt zunächst die Ermittlung der Referenzlagen an allen Kleidungsübergängen, d. h. die Erfassung aller Marker in Ruhelage: Arm-Handschuh, Jackensaum-Hose und Hosensaum-Stiefel. Weitere Einzelheiten hierzu sowie zur Vorgehensweise (Markierung der Kleidungsstücke, Beobachtungspunkte usw.) finden sich in Kapitel 3.2.3 (Schnittstellenbeweglichkeit). Insgesamt werden sieben Körperhaltungen zur Beurteilung sowohl der Schnittstellen als auch der subjektiven Einschätzung des Tragekomforts eingenommen. Alle Haltungen werden jeweils um 90° versetzt (von vier Seiten) für die anschließende Bildanalyse aufgezeichnet, um die jeweiligen relevanten Schnittstellen z. B. wegen Verdeckung oder unklarer Konstellation mit Sicherheit auswerten zu können. Parallel werden die Probanden zum Tragekomfort, z. B. zum Bewegungsempfinden, befragt (s. Kapitel 3.2.2 Befragungen). Begonnen wird in der Referenzlage, d. h. mit aufrechtem Stehen (Oberkörper gerade, Beine gestreckt, Arme in Normalstellung links und rechts vom Körper), alle Schnittstellen sind relevant. Im Folgenden wird zunächst ein Knie angehoben, beobachtet wird vorwiegend die Schnittstelle Hose-Stiefel. Im zweiten Schritt wird der Oberkörper gebeugt und beide Hände Richtung Boden gestreckt (wichtigste Schnittstellen Jacke-Hose und Handschuhe-Jacke). Die Haltungen drei und vier (Oberkörper drehen mit Armen in Normalstellung und Oberkörper drehen und beugen mit Armen in Richtung Boden gestreckt) sehen die Beobachtung der Schnittstellen Hose-Stiefel und Jacke-Hose vor. Daraufhin werden die Probanden aufgefordert sich hinzuhocken sowie zum Abschluss den Körper und die Arme nach oben zu strecken. In diesen Positionen werden jeweils die Übergänge Jacke-Hose und Handschuhe-Jacke beobachtet. Die Befragung sieht beispielsweise beim Hocken vor, Spannungen im Bereich der Knie oder Druckstellen im Bereich der Kniekehlen abzufragen.

Die folgende Station 5 hat den Bereich Fortbewegung zum Thema. Ziel ist es den Tragekomfort zu bewerten und wiederum die einzelnen Schnittstellen genauestens zu inspizieren. Neben dem Gehen und Laufen sind die Probanden aufgefordert, den sogenannten Seitenkriechgang (s. Nutzungskontext) auf einer Strecke von ca. 15 m auszuführen. Beobachtet werden beim Gehen/Laufen ausschließlich die Hosenbeine und der Übergang Hose-Stiefel, beim Seitenkriechgang zusätzlich der Übergang Jacke-Hose. Alle Bewegungen werden zur besseren Auswertung per Video und mit Einzelbildern aufgezeichnet, um möglichst alle Extremsituationen erfassen zu können. Hierzu fährt ein Kamerawagen parallel zur Strecke und erfasst die Bewegungen und den Probanden jeweils von vorne und von hinten.

Dasselbe Prinzip (Kameraverfolgung) kommt in Station 6 „Kriechen“ zum Einsatz. Um insbesondere den Komfort von Polsterungen an Knien und Ellbogen bewerten zu können, bewegen sich die Probanden in dieser Station auf allen Vieren kriechend unter mehreren Hindernissen (Durchgangshöhe ca. 85 cm, Kriechlänge ca. 10 m) hindurch. Alle Schnittstellen werden beobachtet.

An der siebten Station müssen die Versuchsteilnehmer in ein Feld (ca. 80x80 cm) ein- bzw. aussteigen, das von zwei höhenverstellbaren Hindernissen (Böcke) eingegrenzt wird. Die Bewegung auf engem Raum wird simuliert und die Hindernishöhe auf die individuelle Schritthöhe der Probanden eingestellt. Neben den Schnittstellen an Hose, Jacke und Stiefeln wird besonderes Augenmerk auf die Beweglichkeit im Schritt sowie an den Knien gelegt. Das Hindernis wird zweimal durchlaufen. Die Probanden werden sowohl von vorn als auch von hinten gefilmt und alle Situationen werden fotografisch dokumentiert.

Station 8 bildet wie schon Station 4 das Beugen und Strecken ab. In diesem Fall muss jedoch ein schwerer Gegenstand bewegt werden. Zunächst ist dieser am Boden mit gebeugtem Oberkörper und gestreckten Beinen aufzunehmen. Danach muss er möglichst weit oben, auf den Fußspitzen stehend, abgelegt werden, so dass der Körper maximal gestreckt wird. Abschließend wird der Gegenstand in der Höhe aufgenommen und erneut am Boden abgesetzt. Die Bewegungsabläufe werden im Detail sowohl im Bereich der Schnittstelle Handschuh-Ärmel, als auch am Übergang Jacke-Hose per Video und Foto dokumentiert; Tragekomfort und Ausführbarkeit werden per Fragebogen ermittelt.

Leitersteigen und das anschließende Übersteigen, z. B. in ein Gebäude, sind Teil des Nutzungskontextes und werden daher in Station 9 im Laborversuch abgebildet und beobachtet (die Durchführung erfolgt gemäß FwDV 10 (Tragbare Leitern), mit zusätzlicher Sicherung der Leiter. Für den Versuchsaufbau wurde eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt, so dass die Probanden ohne Absturzsicherungen arbeiten konnten, um Bewegungseinschränkungen zu vermeiden). Zunächst sind etwa 6 Höhenmeter (dies entspricht dem 1. Obergeschoss der Versuchshalle) über eine Leiter zu ersteigen, bevor die Versuchsteilnehmer am oberen Leiterende die Leiter verlassen müssen. Die Probanden kehren auf demselben Weg in das Erdgeschoss zurück. Das Leitersteigen nach oben und unten sowie das Übersteigen werden per Video- und Fotodokumentation verfolgt. Die Kameras sind jeweils von unten auf die Leiter und beim Übersteigen seitlich auf den Probanden gerichtet. Betrachtet werden insbesondere die Reichweite und Bewegungseinschränkungen der Arme sowie der Beine (beim Übersteigen insbesondere im Schritt). Als wichtige Schnittstellen sind Jacke-Hose und Hose-Stiefel identifiziert worden.

Für die zehnte Beobachtungsstation wird ein vorhandener Versuchsstand ausgewählt, der zur Testung von Schaufeln dient und nun zur Bewertung der Ausführbarkeit und des Tragekomforts (Drehung des Oberkörpers) Verwendung findet. Das Zusammenspiel von Schutzkleidung und darunter liegender Bekleidungsschicht sowie die Beweglichkeit von Jacke und Hose (bei zweiteiligen Testanzügen) wird durch die Probanden bewertet. Des Weiteren wird die Schnittstelle Jacke-Hose und Hand-schuh-Jacke beobachtet.

An Station 11 steht eine Rettungspuppe zur Verfügung, die mit persönlicher Schutzkleidung (Schutzanzug ABC-Schutzanzug bzw. SAFE 2, Helm, Atemschutzmaske und Pressluftatmer) ausgestattet ist. Dieser abschließenden Station liegt als Szenario ein verunfallter Feuerwehrangehöriger, Atemschutzgeräteträger zu Grunde, der von einer zweiten Person, hier dem jeweiligen Versuchsteilnehmer, mittels der im jeweiligen Schutzanzug verbauten Rettungsschleufe bewegt werden muss. Ziel ist es, eine Bewertung der Rettungsschleufe vorzunehmen, d. h. die Erreichbarkeit, die Handhabung des Verschlusssystems sowie die Gestaltung der Griffschlaufen.

Die Probanden durchlaufen nun erneut den Parcours, jedoch werden zuvor an Station 3 weitere Ausrüstungsgegenstände aufgenommen und ein Pressluftatmer sowie eine Atemschutzmaske angelegt. Ziel ist es, insbesondere das Zusammenspiel von Schutzkleidung und Atemschutzausrüstung – hier Tragekomfort – sowie den Transport von diversen Materialien (zusätzliche Schutzhandschuhe, Rettungsmesser, Handsprechfunkgerät, Prüfpumpe) und dem Anlegen von PA, Atemschutzmaske und Kapuze, d. h. die Aufgabenangemessenheit und Ausführbarkeit, zu bewerten. Der Schwerpunkt der Beobachtungen und Befragungen liegt, neben der Aufdeckung von Druckstellen durch unzureichende Polsterungen an den Schnittstellen zum Atemschutzgerät, auch auf dem Verschlusssystem der Kapuze (Reißverschluss, Dichtline usw.) und dem Befüllen der unterschiedlichen Taschen an der jeweiligen Schutzkleidung (Verschlüsse, Anordnung, Erreichbarkeit, Taschengröße usw.). Diese finden sich in unterschiedlichen Bereichen, z. B. seitlich am Oberschenkel/Bein, Oberkörper/Jacke oder Brust. Nach dem zweiten Parcoursdurchlauf werden an Station 1 zunächst die transportierten Gegenstände mit Handschuhen aus den Taschen entfernt, um auch unter diesen erschwerten Bedingungen die Ausführbarkeit bewerten zu können. Abschließend legen die Probanden den Pressluftatmer ab und müssen erneut mit Handschuhen den sogenannten Panikreißverschluss betätigen, um auch die Schutzkleidung ablegen zu können.

**Tab. 3.7** Versuchsverlauf nach Stationen im Parcours

<b>Referenzgrößen ohne Schutzkleidung</b>	
1) Körpermaße	Station 1
2) Kopfdrehung	
3) Kopfneigung seitwärts	
4) Kopfneigung vorwärts/rückwärts	
5) Armreichweiten	
<b>Parcours 1. Durchlauf</b>	
1) Stiefelpaket stellen	Station 2
2) Schutzkleidung anlegen (außer PA)	



3) Referenzgrößen mit Schutzkleidung	Station 1
a. Kopfdrehung	
b. Kopfneigung seitwärts	
c. Kopfneigung vorwärts/rückwärts	
d. Armreichweiten	
e. Markierungen Referenzlagen	
4) Referenzlagen	Station 3
a. Arme-Handschuhe, Jackensaum-Hose	
b. Hosensaum-Stiefel	
5) Statische Haltungen	
a. Knie anwinkeln	
b. Oberkörper vorbeugen	
c. Oberkörper drehen	
d. Oberkörper drehen und beugen	
e. Hocken	
f. Arme über Kopf halten	
6) Gehen	Station 5
7) Laufen	
8) Seitenkriechgang	
9) Kriechen	Station 6
10) Übersteigen	Station 7
11) Beugen	Station 8
12) Strecken	
13) Drehen	Station 9
14) Leitersteigen	Station 10
15) Leiterübersteigen	
<b>Parcours 2. Durchlauf</b>	
1) Maske und PA anlegen	Station 3
2) Referenzgrößen mit Schutzkleidung und PA	Station 1
a. Kopfdrehung	
b. Kopfneigung seitwärts	
c. Kopfneigung vorwärts/rückwärts	
d. Armreichweiten	
e. Markierungen Referenzlage	
3) Taschen befüllen (ohne Schutzhandschuhe)	Station 3
4) Seitenkriechgang	Station 5
5) Kriechen	
6) Leitersteigen	Station 10
7) Leiterübersteigen	

<b>Komponentenbewertung</b>	
1) Zugänglichkeit Taschen (mit PA)	Station 1
2) Taschen ausleeren (mit Schutzhandschuhen)	
3) Reißverschluss/Panikreißverschluss öffnen	
4) Kapuze anlegen (Maske/Helm)	
5) Rettungsschleufe einsetzen	Station 11

**orientieren**  
aum-Hose - Hosensaum-Stiefel

**indschuh**  
um-Hose  
um-Stiefel

**r vorbeugen** – Oberkörper drehen – Oberkörper drehen und beugen – Hocken – Arme über Kopf halten

**ser Kniehöhe**

**ichtung Boden**

**ichtung Boden**

**ille Hose-Stiefel,**

**Stiefel**

- Gesäß, Oberchenkel seitlich
- Kamerawagen am Schaftende
- sieben Sprossen, bis oberes Leisten
- Blickrichtung von schräg hinten

**2.11 Drehen/Schaukeln**

- Schrittstiefe Jacke-Hose, Jacke-Handschuh
- Markierung Gesäß, Oberchenkel seitlich, Hand, Außenseite
- Kamerawagen beim Überlagern
- Fotoausschnitt Knie bis Kopf
- Videoausschnitt Knie bis Kopf
- Blickrichtung von schräg hinten

**2.12 Beugen/Strecken**

<p><b>Beugen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Schrittstiefe Jacke-Handschuh</li> <li>•Markierung Hand-Außenseite</li> <li>•Kamerawagen im Bereich Strahlenwand</li> <li>•Fotoausschnitt Gesäß, Rücken</li> <li>•Videoausschnitt Gesäß, Rücken</li> <li>•Blickrichtung schräg auf Gesäß und Rücken</li> </ul>	<p><b>Strecken</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Schrittstiefe Jacke-Handschuh</li> <li>•Markierung Hand-Außenseite</li> <li>•Kamerawagen im Bereich Strahlenwand</li> <li>•Foto: 4 Sprossen, VP gestreckt</li> <li>•Video: 4 Sprossen, VP gestreckt</li> <li>•Blickrichtung über Rücken und Schulter</li> </ul>
---	--

**3. Parcours II**

**3.1 Maske anlegen**

**3.2 Dortmunder Würfel – Referenzgrößen mit PSA und Maske**  
Kopfdrehung - Kopfreigung seitwärts - Kopfreigung vorwärts/rückwärts - Armreichweiten

**3.3 PA anlegen**

- Blickrichtung von vorne
- Kamerawagen

**3.4 Seitenkriechgang (siehe 2.7)**

**3.5 Kriechen (siehe 2.8)**

**Markerpositionen**

**Abb. 3.5** Ausschnitt des Versuchsablaufs und Markerpositionen (s. Anhang 4)

Für die gesamte Versuchsdurchführung liegt ein Leitfaden/Szenenbuch vor (Abb. 3.5 und Anhang 4), in dem die Arbeits- und Bewegungsaufgaben, die Haltung beteiligter und nicht beteiligter Körperteile chronologisch fixiert werden. Zudem wird der jeweilige Beobachtungsschwerpunkt, d. h. Blickrichtung und Wahl des Bildausschnittes für die Video- und Fotodokumentation, vorgegeben. Das Drehbuch sichert die Qualität der Versuchsdurchführung und garantiert die Einhaltung der Reihenfolge der einzelnen Versuchsstationen (s. Tab. 3.7). Dem Szenenbuch ist zu entnehmen, dass Teile des Parcours mehrfach durchlaufen werden, um Vergleiche zwischen unterschiedlichen Nutzungsszenarien zu ermöglichen. Die Tabelle bietet eine Übersicht, welche Aufgaben mit den jeweiligen Ausrüstungsgegenständen bearbeitet werden.

### 3.2.2 Befragungen

Alle Arbeits- und Bewegungsaufgaben des oben beschriebenen Parcours werden mittels semiobjektiver Befragung begleitet und dokumentiert; die Versuchsteilnehmer sind zudem aufgefordert, durch „Lautes Denken“ Tragekomfort und Ausführbarkeit der Aufgaben zu kommentieren und jeden Gedanken hierzu wiederzugeben. Jede Versuchsreihe schließt mit einer zusammenfassenden Abschlussbewertung durch die Probanden, d. h. mit einem Fragebogen zum jeweiligen Schutzanzug, ab.

Ziel der Befragungen ist es, die nicht objektiv messbaren Produkteigenschaften – in erster Linie den Tragekomfort – zu bewerten. Struktur und Inhalt der Befragung orientieren sich daher an der Anforderungsanalyse und den Produkthanforderungen die PENDZICH (2009) beschreibt. Alle Fragen haben zum Ziel, Aussagen über Tragekomfort, Bewegungseinschränkungen, Aufgabenangemessenheit und vor allem die Ausführbarkeit zu treffen. Die Befragung gliedert sich daher in 19 Rubriken mit insgesamt 49 Items. Nach Durchführung jeder Arbeits- und Bewegungsaufgabe werden die Probanden befragt, um z. B. Aspekte beim Anlegen der Schutzkleidung, den Referenzkörperhaltungen (s. Tab. 3.7 und Abb. 3.5) sowie allen Bewegungsformen (Gehen, Laufen, Seitenkriechgang usw.) und einzelnen Komponenten (Taschen, Kombinierbarkeit mit anderen Ausrüstungsgegenständen, Rettungsschlaufe, Schutzpolster, Verschlüsse usw.) zu erfassen. Als Antwortdimension wird die Intensität erfasst, z. B. „Wie gut ist die Beweglichkeit des Kopfes?“ und in Anlehnung an ROHRMANN (1978) eine fünfteilige Skala gewählt. Den Probanden wird zudem die synonyme Benennung mit äquidistanten Schulnoten vorgestellt und ermöglicht: sehr gut (Note 1) – ziemlich gut (Note 2) – gut (Note 3) – weniger gut (Note 4) – schlecht (Note 5). Die Probanden werden weiterhin aufgefordert zu acht unterschiedlichen Zeitpunkten, d. h. in der Regel zusammenfassend nach vergleichbaren Bewegungsaufgaben (Gehen + Laufen, Kriechen + Seitenkriechgang usw.) mit der bereits erwähnten Skalierung, Bewegungseinschränkungen an Hals, Schulter, Armen, Rücken und Beinen zu klassifizieren.

Das „Laute Denken“ (Thinking Aloud), ist eine Methode des Usability-Engineering, die während der Produktnutzung zum Einsatz kommt und einen Einblick in Gedanken der Nutzer ermöglichen soll. Auf diese Weise lassen sich in der Studie Erschwernisse im Umgang mit der Schutzkleidung verbalisieren und aufzeigen, welche Anzugkomponenten und Bewegungsaufgaben Probleme verursachen. Die Versuchsteilnehmer werden daher vor Versuchsbeginn, d. h. im Rahmen der Instruktionsphase, und während der Aufgabenbearbeitung zum lauten Denken ermutigt, um es der Versuchsleitung noch während der Versuchsdurchführung zu ermöglichen z. B. Produktmängel, Konstruktionsvorschläge oder nicht im Fragebogen berücksichtigte Fragestellungen aufzugreifen und zu protokollieren. Insbesondere kritische Äußerungen sind erwünscht und lassen sich – wie auch die Bewertungen im Fragebogen – unmittelbar konkreten Situationen im Versuchsverlauf zuordnen. Die Ergebnisse von Thinking Aloud fließen nicht in die objektivierte Produktbewertung ein.

Der Fragebogen zur Abschlussbewertung bildete den Endpunkt jedes Versuchsparcours und beinhaltet drei Items. Die Probanden sind aufgefordert mit dem bereits bekannten Bewertungssystem für den getesteten Schutzanzug eine Gesamtnote zu vergeben („Wie gut gefällt Ihnen der Anzug?“). Des Weiteren sollen einzelne Teile der Schutzkleidung bzw. Anzugkomponenten mit einer Benotung belegt werden. Hierfür steht eine schematische Darstellung des jeweiligen Prüfobjektes zu Verfügung, in der auch Druck und/oder Scheuerstellen kenntlich gemacht werden sollen, die im Verlauf des Versuches aufgetreten sind.

Für die Bildung eines Gesamturteils lassen sich die Methoden und die versuchsbegleitende Bewertung der Schutzkleidung und ihrer Komponenten in drei Stufen gliedern: Beurteilung der Ausführbarkeit (Befragung/Interview/Lautes Denken), Gesamturteil für den Anzug (Fragebogen) und Einzelurteile für Anzugkomponenten (Fragebogen). Diese Gliederung wird für den Bewertungsansatz, die Bildung von Bewertungskennzahlen und auch im Rahmen einer Experteneinschätzung von Be-

deutung sein (Kapitel 5.1.4). Der vollständige Fragebogen und der Interviewleitfaden – Fassung für die Referenzanzüge – finden sich in Anhang 5 und 6.

### 3.2.3 Schnittstellenbeweglichkeit

In Folge von Bewegungen verschieben sich in der Regel Kleidungsstücke gegeneinander. Insbesondere an Kleidungsöffnungen an Ärmeln, Hosenbeinen sowie Jackensaum kann dies beobachtet werden. Im Falle von ABC-Schutzkleidung ist dies von besonderer Bedeutung, da ungewollte Öffnungen den Eintritt von Schadgasen in die Kleidung begünstigen und die Schutzwirkung negativ beeinflussen. Der Konstrukteur ist daher bestrebt, den Luftaustausch über diese natürlichen Öffnungen zu vermeiden und ihn ausschließlich über die flächigen Filtersysteme zuzulassen. Aus diesem Grund kommen unterschiedliche Lösungen zum Einsatz, die mittels Gummizügen, Klettverschlüssen und mehrlagigen, ineinander verschachtelten Konstruktionen (Oberstoff mit Klettverschluss, innen liegendes Bündchen mit Gummizug und dazwischen Handschuhstulpen) den Dichtsitz sicherstellen und die Bewegung an der Öffnung verhindern bzw. aufgrund der Verschachtelung die Überlappung sichern. Für die Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung ist es daher von Bedeutung, nachzuweisen, ob eine Verschiebung inkl. „Rückbewegung“ an diesen Schnittstellen stattfindet, diese ggf. zu quantifizieren und schließlich daraufhin zu bewerten, und ob dadurch Tragekomfort, Greif- und Reichweiten oder gar die Ausführbarkeit eingeschränkt ist.

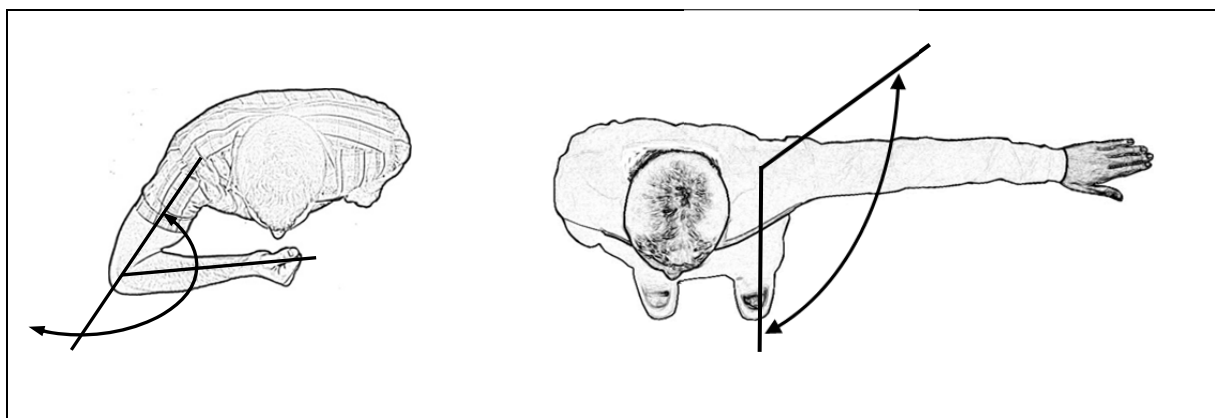
Wie oben bereits beschrieben (Abb. 3.5 und Tab. 3.6) werden insbesondere die folgenden Schnittstellen beobachtet und bewertet: Jackensaum und Hose (nur bei zweiteiligen Anzügen), Handschuh und Ärmelabschluss sowie Hosensaum und Stiefel. Die Beobachtung erfolgt bei allen Arbeits- und Bewegungsaufgaben und wird per Video und Fotos dokumentiert. An den genannten Schnittstellen ist schwarz-weiß-kariertes Klebeband fixiert (Kantenlänge der Karos 1 cm). Mittels eines Markers wird die Ruhelage gut sichtbar gekennzeichnet. Vor Aufnahme der Arbeits- und Bewegungsaufgaben werden alle Markerlagen fotografisch dokumentiert. Alle Schnittstellen werden mit mindestens zwei Markern versehen, um auch bei wechselnden Perspektiven im Versuchsparcours stets die relevanten Schnittstellen auswerten zu können. Alle Kamerapositionen sind ebenfalls dahingehend optimiert. Des Weiteren werden Bewegungsläufe mehrfach ausgeführt, um die Erfassung zu sichern. Die Dokumentation der Referenzlagen an Station 3 erfolgt daher von vier Seiten (linke und rechte sowie Körpervorder- und Rückseite).

### 3.2.4 Bewegungseinschränkungen

Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Schutzkleidung können neben den oben dargestellten, überwiegend subjektiven Größen auch objektive Messungen zu Grunde gelegt werden, anhand derer sich Aussagen über Tragekomfort und Ausführbarkeit treffen lassen. Diese bilden insbesondere die Basis für die Bewertung der Bewegungseinschränkungen und in der Folge für die Produktbewertung. Die erfassten Daten können aber auch für die weitere Klassifizierung der Probanden sowie die Konfektionierung der oben genannten Prototypen herangezogen werden. Daher werden die folgenden anthropometrischen Daten erhoben: Körpergewicht, Körperhöhe, Schritthöhe, Reichweite linker und rechter Arm nach vorne, Kniehöhe (stehend, angewinkelt), Kopfumfang, Armlänge, Brustumfang, Beinlänge und Hüftumfang. Die

Erhebung orientiert sich an DIN EN 33402 und erfolgt vor der ersten Versuchsdurchführung. Der vollständige Erhebungsbogen findet sich in Anhang 7.

Wie PENDZICH (2009) beschreibt, ist die Beweglichkeit von Kopf, Armen und Beinen für den definierten Nutzungskontext von besonderer Bedeutung. Um die Bewegungseinschränkungen durch die Schutzkleidung zu quantifizieren, sind die Arm- und Kopfbeweglichkeit sowie die mögliche Kniehöhe als die die Gebrauchstauglichkeit beeinflussenden Größen bestimmt worden. Das Versuchsdesign sieht vor, die Armbeweglichkeit unter Zuhilfenahme der Reichweite mit beiden Armen nach oben, mit linkem und rechtem Arm nach hinten und zur Seite sowie des Ellbogenwinkels zu konkretisieren. Die Beweglichkeit des Kopfes wird erfasst durch den horizontalen Drehwinkel zur linken bzw. rechten Seite, der seitlichen Kopfneigung zur linken und rechten Schulter (Blick ist horizontal nach vorne gerichtet) sowie der vertikalen Kopfneigung nach oben (Kopf in Richtung Nacken geneigt) und nach unten (Kopf in Richtung Brust geneigt). Entsprechende Details finden sich in Abb. 3.6.



**Abb. 3.6** Relevante Bewegungseinschränkungen der Arme

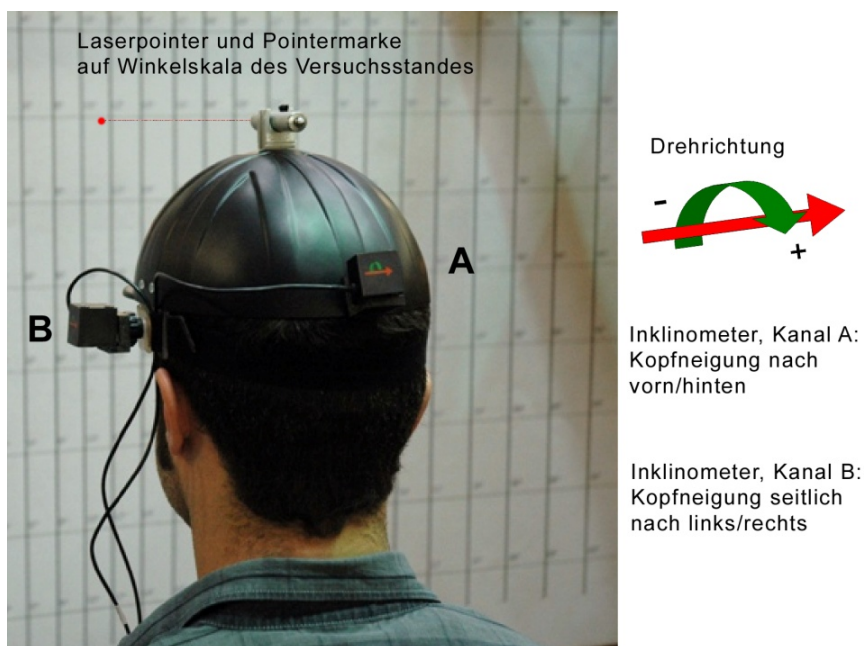
Teile der Messungen erfolgen in einem Versuchsstand (Abb. 3.7) und werden per Videotechnik aufgezeichnet (Sony DCR-TRV950E). Es werden der Bewegungsumfang bzw. Bewegungseinschränkungen der Probanden mit und ohne Schutzkleidung sowohl direkt in digitaler (sensorgestützt), analoger (Ablesen von Skalen) als auch in indirekter (Bildauswertung) Form erfasst. Zunächst werden die relevanten Bewegungen in leichter Bekleidung (Schicht I + II) ausgeführt und der Bewegungsumfang als Referenz bestimmt (s. Versuchsplan in Tab. 3.7). Erst danach werden diese Bewegungsmuster in den Schutzanzügen vermessen. Während der Messung stehen die Probanden dicht, d. h. mit Fußspitzen und Oberkörper, vor einem Anschlag, so dass sichergestellt ist, dass vergleichbare Positionen eingenommen werden und insbesondere nur die relevanten Körperteile bewegt werden. So wird beispielsweise ausgeschlossen, dass bei der Messung der Reichweiten nach hinten oder während der Kopfdrehung der Oberkörper der Bewegung folgt und Maximalwerte verfälscht werden. Für die Erfassung der einzelnen Größen kommen die folgenden Methoden zur Anwendung.

Die Bestimmung der maximalen Armwinkel und -reichweiten erfolgt manuell (s. Abb. 3.6). Hierzu wird mittels Bildbearbeitungssoftware eine Auswertung von Einzelbildern – mit Darstellung der Extremstellungen – im Anschluss an die Versuche durchgeführt. Die Genauigkeit der Vermessung ist insbesondere vom Auswertenden sowie der Bildqualität abhängig. (Details hierzu finden sich in Abschnitt 4.5, Resultate).



**Abb. 3.7** Versuchsstand Bewegungsumfang

Bereits während der Versuchsdurchführung wird mit einem Laser und einer Winkelskala auf der Innenseite des Versuchsstandes der maximale Drehwinkel des Kopfes nach links und rechts mit Blickrichtung horizontal abgelesen. Die Genauigkeit der Ablesung beträgt  $\pm 1^\circ$ . Für die Kopfneigung steht ein Messhelm zur Verfügung, an dem zwei elektronische Inklinometer (TEAergo) die Neigung nach vorne und hinten bzw. zu den Seiten erfassen. Die Messdaten werden von einem Messrechner in Echtzeit, synchron per Video aufgezeichnet und mit der Software CAPTIV (TEAergo) ausgewertet. Die Genauigkeit beträgt  $1^\circ$  bzw.  $2^\circ$  für die Messbereiche  $< 15^\circ$  bzw.  $> 15^\circ$ , der Messbereich umfasst  $\pm 90^\circ$  (s. Abb. 3.8).



**Abb. 3.8** Messung der Kopfneigung und -drehung

Für die Ermittlung der Reichweite nach oben (beidhändig) umfassen die Probanden einen Metallstab. Sie stehen dabei seitlich neben einer Messlatte und strecken beide Arme parallel mit dem Stab weit über den Kopf; beide Füße stehen eben auf dem Boden (die Sohlenstärke wird ggf. in Abzug gebracht). Die Messgenauigkeit beträgt ca. 0,5 cm. Die Kniehöhe wird auf einem Bein stehend ermittelt. Die Messung besitzt ebenfalls eine Genauigkeit von ca. 0,5 cm und erfolgt mittels eines anthropometrischen Messwerkzeuges. Gemessen wird an der Oberkante der Kniescheibe.

Die Probanden werden durch jede auszuführende Bewegung Schritt für Schritt geleitet und instruiert, diese langsam, soweit es Körper und Kleidung zulassen, bis zur maximal bequem erreichbaren Stellung einzunehmen. Ausführliche Beschreibungen zur Auswertung der einzelnen Messgrößen sind im Kapitel 4.5 zu finden.

### **3.2.5 Inspektion**

Neben der Einbindung der Probanden findet eine Expertenbewertung in Form einer Inspektion statt. Hierbei werden die rein objektiven Anforderungen an die Schutzkleidung und weitere beobachtbare Merkmale registriert und durch Prüfer auf Vorhanden- oder Nichtvorhandensein überprüft. Der Nachweis muss objektiv möglich sein und umfasst insbesondere die Beschaffenheit einzelner Komponenten beispielsweise Größe, Form, Farbe usw. oder textiltechnische Größen, die jedoch bereits im Entwicklungsprozess erfüllt werden sollten und auf die daher nicht eingegangen wird. Einige der Nutzungsanforderungen, die sich aus dem Nutzungskontext ableiten lassen, sind Eigenschaften, die nur durch Benutzer, d. h. Probanden im Nutzertest, bewertet werden können. Diese Nutzungsanforderungen fließen in den bereits vorgestellten Benutzertest ein, speziell die Befragungen im Versuchsparcours.

Hilfsmittel und Grundlage für die Inspektion bildet eine aus den Nutzungsanforderungen abgeleitete Checkliste. PENDZICH (2009) stellt die Vorgehensweise zur Erstellung einer geeigneten Checkliste vor, die die Produktspezifikationen der Regelwerke zusammenführt und Anforderungen aus dem Nutzungskontext aufgreift. PENDZICH unterscheidet neun Funktionsgruppen (Tab. 3.3), deren Bewertung sie zum einen für eine Inspektion vorsieht, zum anderen aber auch der Bewertung durch Nutzer, respektive Probandenbefragung im Nutzertest (Anhänge 3, 5 und 6), vorschlägt, sowie als Teil des Entwicklungsprozesses (textiltechnische Größen) voraussetzt.

Die Ergebnisse der Inspektion finden im Bewertungsansatz keine Berücksichtigung und fließen daher nicht in die Bewertungskennzahlen ein; sie finden sich vollständig in der Untersuchung von PENDZICH (2009).

## **3.3 Versuchsdesign Mikroklima**

Es ist zu bemerken, dass für einige Probleme in der Arbeitswelt die Schutzziele einer Schutzkleidung den ergonomischen Anforderungen an eine Arbeitsbekleidung widersprechen. So muss in einem Brandeinsatz die Schutzkleidung Wärme und Wasser abhalten können, gleichzeitig sind gute Wärmeabgabe und schneller Feuchtetransport an die Umgebung und eine gute Beweglichkeit in der Kleidung wünschenswert. Für Feuerwehrschtutzkleidung bedeutet dies beispielsweise, dass deren Schutz vor Flammen nur durch eine entsprechende Wärmeisolation ermöglicht werden kann. Dagegen soll ABC-Schutzkleidung Luftaustausch und Schutz gegen eindringende

gasförmige Stoffe sicherstellen. Neben den Aspekten der Gebrauchstauglichkeit (Aufgabenangemessenheit, Ausführbarkeit usw.) tragen daher auch zahlreiche physiologische – klassische ergonomische Kenngrößen – zum Tragekomfort von Schutzkleidung bei, insbesondere von Brand- und ABC-Schutzkleidung. Diese inter- und intraindividuellen Größen können stark variieren und beeinflussen in erheblichem Maße die Nutzerzufriedenheit und den Tragekomfort. Es handelt sich überwiegend um subjektiv messbare physiologische Werte, aber auch um das objektive Klimaempfinden.

Es ist festzustellen, dass zur Bewertung von Schutzkleidung zahlreiche Instrumente zur Verfügung stehen, die sowohl objektiv z. B. mittels „thermal manikins“ durchgeführt werden können, oder aber wie in dieser Untersuchung zur Gewährleistung der statistischen Güte und der Qualität auf einem Versuchsdesign, d. h. einer Simulationsstudie mit entsprechendem Probandenkollektiv, basiert. Im Rahmen der Versuche zur „Mikroklima“ werden zahlreiche Messungen an den Probanden vorgenommen. Neben Klimadaten der Umgebung (Lufttemperatur und relative Luftfeuchte im Versuchsraum) werden insbesondere die für die ergonomische Bewertung relevanten physiologischen Werte erfasst: Hautoberflächentemperatur sowie Zwischenschichtenfeuchte. Des Weiteren werden Körperkerntemperatur und Herzschlagfrequenz als Abbruchkriterien überwacht. Sämtliche Messungen erfolgen kontinuierlich vor und während der Belastung im Klima. Die klimatischen Umgebungsbedingungen orientieren sich soweit möglich am Nutzungskontext, während die Belastung mittels Laufbandergometrie simuliert wird.

### 3.3.1 Klimatische Belastung

Das Versuchsdesign „Mikroklima“ umfasst zwei klimatische Belastungen je zu untersuchender Schutzkleidung: Ein warmes Klima und ein kaltes Klima. Die Zielwerte im Versuchsraum liegen beim warmen Klima bei  $T_{\text{Luft}} = +50\text{ °C}$  und einer relativen Luftfeuchte von konstant 50 % rF. Das zweite Klima (kalt) sieht eine Lufttemperatur im Versuchsraum von  $T_{\text{Luft}} = -5\text{ °C}$  und einer relativen Luftfeuchte von ebenfalls konstant 50 % rF vor. Die Belastungsuntersuchung wird in einer YORK Klimakammer 97 (Hitze-kammer) (Tab. 3.8) durchgeführt. Die Probanden werden währenddessen durch leichte Bewegung (Gehen) auf einem Laufbandergometer (Woodway PPS 55 med) belastet. Die Versuchsteilnehmer gehen 24 Minuten mit einer Geschwindigkeit von 2,5 km/h bei einer Steigung von 2 % im jeweiligen Klima. Das Bekleidungskonzept (Abschnitt 3.1.2.2.5) sieht entsprechende Kleidung für Klima 2 und 3 vor. Neben der Schutzkleidung sind die Probanden mit einem Atemanschluss (z. B. Vollmaske nach DIN EN 136), Feuerwehrschielhelm, Feuerwehrschielhandschuhen, Feuerwehrschielstiefeln (DIN EN 15090) und ggf. Feuerschutzhaube (DIN EN 13911) ausgestattet.

Der Trageversuch mit Belastung im jeweiligen Klima ist für eine Dauer von 24 Minuten vorgesehen und orientiert sich an der ungefähren (belastungsabhängigen) Einsatzdauer bzw. dem Luftvorrat eines Pressluftatmers.

**Tab. 3.8** Arbeitsbereiche Klimakammer

Arbeitsbereiche	
Temperaturarbeitsbereich	-10...+80°C
Klimaarbeitsbereich	+5°C...+80°C



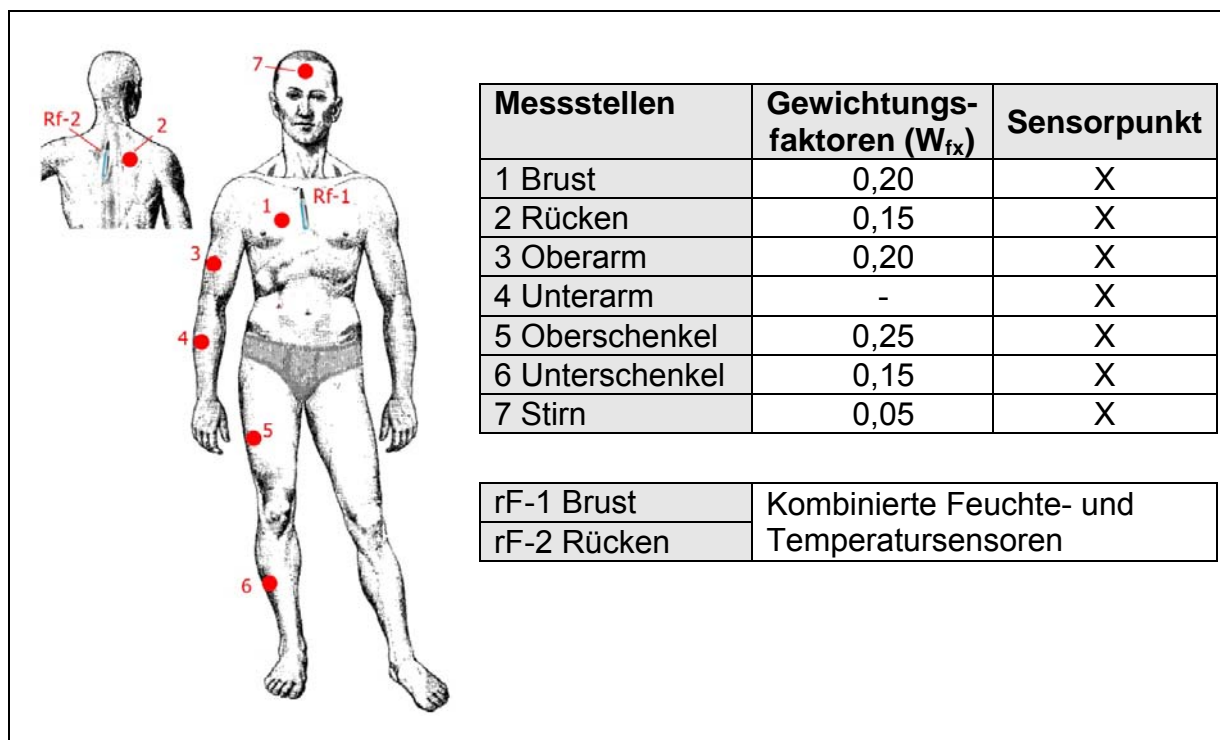
Arbeitsbereiche	
Taupunktarbeitsbereich	-20°C...+78°C
Feuchtarbeitsbereich	10%...90% relative Feuchte
Toleranzen	Temperatur ± 0,5°C Taupunkt ± 0,5°C relative Feuchte ± 3%

An dieser Stelle folgen einige Anmerkungen zur Wahl des Szenarios und Einschätzung der Versuchsbedingungen. Wie die obige Auflistung der Ausrüstungsgegenstände bzw. das Bekleidungskonzept zeigt, wird auf das Tragen bzw. den aktiven Einsatz eines Pressluftatmers verzichtet, um Messungen im Bereich des Rückens nicht durch ein dicht anliegendes Tragegestell (Druckstellen) zu erschweren. Die Minderbelastung durch das Eigengewicht des PA wird (vermutlich) dadurch kompensiert, dass die Versuchsteilnehmer besonders im warmen Klima die sehr feuchte, warme Umgebungsluft unmittelbar einatmen und in der Folge mit einer höheren Belastung zu rechnen ist. Die verminderte Luftzirkulation, die durch Begurtung und Tragegestell des PA im Anzuginneren zu erwarten ist, wird vernachlässigt, da auch der Einsatz ohne PA, jedoch mit Atemanschluss und Filter Teil des Nutzungskontextes sein kann (insbesondere bei Langzeiteinsätzen mit ABC-Schutzkleidung). Das gewählte Szenario bildet bewusst nur bedingt den Nutzungskontext ab, da es sich ausschließlich um eine Laboruntersuchung handelt, in der die Nutzer zwangsläufig nicht ihre Belastungsgrenzen erreichen bzw. überschreiten dürfen, um verwertbare Messergebnisse zu erzielen. Weiterhin ist anzumerken, dass reine textiltechnische Produktprüfungen dieser Untersuchung vorangegangen sind, die die generelle Eignung der Kleidung bereits belegt haben (s. technische Spezifikationen), und Feldversuche unter realeren Bedingungen folgen, die jedoch mit weniger messtechnischem Aufwand den Tragekomfort in einer Heißbrandausbildungsanlage zur weiteren Bewertung beitragen sollen.

Die maximalen Belastungsparameter (Abbruchkriterien) wurden mit der Ethikkommission des Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo) abgestimmt. Als Grenzen wurden eine maximale Körperkerntemperatur von 38,5 °C und eine Herzschlagfrequenz von höchstens 200 Schläge/min abzüglich Lebensalter sowie eine kontinuierliche Überwachung festgelegt. Für die Probanden besteht die Möglichkeit, die Untersuchung jederzeit auf eigenen Wunsch abzubrechen.

### 3.3.2 Messungen

Für die spätere Bewertung und den Vergleich der Schutzkleidungstypen werden im Wesentlichen Hautoberflächentemperaturen sowie die Zwischenschichtenfeuchte an den Probanden bzw. in den jeweiligen Testobjekten herangezogen. Für die Messungen wurden die in Abb. 3.9 aufgelisteten Messstellen ausgewählt. Die Messpunkte 1 bis 7 umfassen Temperatursensoren zur Erfassung der Hautoberflächentemperatur. An den Messpunkten Rf-1 und Rf-2 kommen kombinierte Feuchte- und Temperatursensoren zur Ermittlung der Zwischenschichtenfeuchte zum Einsatz. Eine Auflistung der verwendeten Sensoren und Sensorkennwerte findet sich in Tab. 3.9. Für die spätere Ermittlung der mittleren Hautoberflächentemperatur nach GEBHARDT (2007) sind insgesamt sechs der sieben gesetzten Messpunkte relevant. Die Verrechnung erfolgt gemäß  $T_{\text{gew}} = \sum (T_x * W_{\text{fx}})$ .



**Abb. 3.9** Messstellen und Gewichtungsfaktoren der mittleren Hauttemperatur

Neben den oben genannten Messungen werden insbesondere Körperkerntemperatur und Herzschlagfrequenz, beide als Abbruchkriterien für die Sicherstellung der Gesundheit der Probanden, überwacht. Als „Umweltgrößen“ werden synchron zur Messung die Lufttemperatur sowie die relative Luftfeuchte in 1 Meter Höhe neben dem Probanden im Versuchsraum erfasst. Entsprechend der jeweiligen Messaufgabe wurden geeignete und bewährte Sensortypen ausgewählt. Die Wesentlichen sind im Folgenden mit den wichtigsten Eckdaten benannt. Die Platzierung kann auch Abb. 3.9 entnommen werden; alle Sensoren werden in ihrer Position fixiert; die Fixierung wird nach Versuchsende kontrolliert.

**Tab. 3.9** Messpunkte und eingesetzte Sensortypen mit Kennwerten

<b>Hautoberflächentemperatur (HT)</b>
<u>Messpunkte</u> 6(7)-fach; Stirn, Brust, Rücken, Oberarm, Unterarm, Oberschenkel, Unterschenkel
<u>Messgenauigkeit</u> $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ im Bereich $-1$ bis $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ im Bereich $25$ bis $45 \text{ }^\circ\text{C}$
<u>Sensortyp</u> Yellow Springs, YSI 409
<b>Zwischenschichtenfeuchte (RF) und Raumklima</b>
<u>Messpunkte</u> 2-fach, inkl. Lufttemperatur an der Messstelle; Brust, Rücken 1-fach; Raumklima Klimakammer

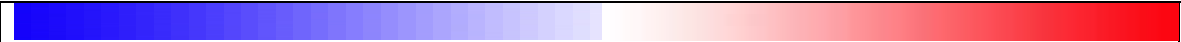
<u>Messgenauigkeit</u> $\pm 3 \%$ rF im Bereich 0 bis 90 % rF, $\pm 5 \%$ rF im Bereich 90 bis 98 % rF
<u>Temperaturabhängigkeit</u> bei 50 °C: $\pm 1 \%$ rF, bei -5 °C: $\pm 1,1 \%$ rF
<u>Sensortyp</u> Vaisalla, HMP50
<b>Körperkerntemperatur (RT)</b>
<u>Messpunkt</u> Rektum
<u>Messgenauigkeit</u> $\pm 0,2 \text{ °C}$ im Bereich -1 bis 60 °C, $\pm 0,1 \text{ °C}$ im Bereich 25 bis 45 °C
<u>Sensortyp</u> Yellow Springs, YSI 401

Jeder Versuch beginnt mit einer Referenzmessung: Eine Minute im Normalklima, d. h. ohne klimatische Belastung. Die Messdauer im Klima beträgt wie zuvor beschrieben 24 Minuten, so dass insgesamt Messwerte über einen Zeitraum bis zu 25 Minuten erhoben werden. Alle Messungen erfolgen kontinuierlich mit einer Abtastrate von ca. 18 Sekunden. Die Synchronisierung aller im Rahmen eines Klimaversuches aufgezeichneten Daten übernimmt ein Messrechner, auf dem zur Versuchsüberwachung zudem alle Messwerte für die Versuchsleitung in Echtzeit wiedergegeben werden. Verwendet wird die Software DASYLAB. Die Abtastrate für die Herzschlagfrequenz erfolgt entsprechend der Herzschlagfrequenz, d. h. bei jedem Herzschlag wird der Messwert übertragen. Die Abtastrate für Messgrößen des Mikroklimas und der Körperkerntemperatur beträgt jeweils 15 Sekunden.


### 3.3.3 Klimaempfinden

Neben objektiven physiologischen Größen wird zur Beurteilung von Klimabelastungen die subjektiv von den Probanden erlebte Wärme bzw. Kälte erfasst. Während der Belastungsversuche steht den Probanden ein elektronisches Anzeigegerät für das Klimaempfinden zur Verfügung, das mit dem Messrechner verbunden ist. Es werden sowohl für Versuche in Wärme als auch in Kälte sechsstufige Skalierungen gewählt, die auf der Skala von FANGER (1979 in MÜLLER-ARNECKE, 1999) basieren (Tab. 3.10). Zu Beginn der Versuche wird jeweils die Stufe 1 (neutral) gewählt. Die Probanden werden aufgefordert während und zum Ende der Belastung das Klimaempfinden und dessen Änderungen anzuzeigen. Die Abfrage erfolgt kontinuierlich – Zeitintervalle werden durch die Probanden bestimmt – und umfasst das Klimaempfinden über den gesamten Körper, ohne Körperteile zu unterscheiden. Um diesen „Fehler“ zu eliminieren werden die Probanden aufgefordert, die jeweiligen Änderungen zu kommentieren bzw. auf Nachfrage der Versuchsleitung detaillierte Angaben zu machen. Die Abtastrate für die Befindlichkeit im Klima beträgt 0,5 Sekunden, gespeichert wird alle 15 Sekunden. Angaben zur Auswertung über den Versuchsverlauf und die Verknüpfung zu weiteren physiologischen Daten finden sich im Abschnitt 3.4.2.


**Tab. 3.10** Skalen zum Klimaempfinden

Klima allgemein (FANGER, 1979 in MÜLLER-ARNECKE, 1999)						
						
kalt	kühl	etwas	neutral	etwas	warm	heiß
-3	-2	-1	0	1	2	3

Wärme in der Fallstudie (Klima 2, T <sub>Luft</sub> = +50 °C)					
					
leicht kalt	neutral	warm	heiß	sehr heiß	extrem heiß
0	1	2	3	4	5

Kälte in der Fallstudie (Klima 3, T <sub>Luft</sub> = -5 °C)					
					
leicht warm	neutral	kühl	kalt	sehr kalt	extrem kalt
0	1	2	3	4	5

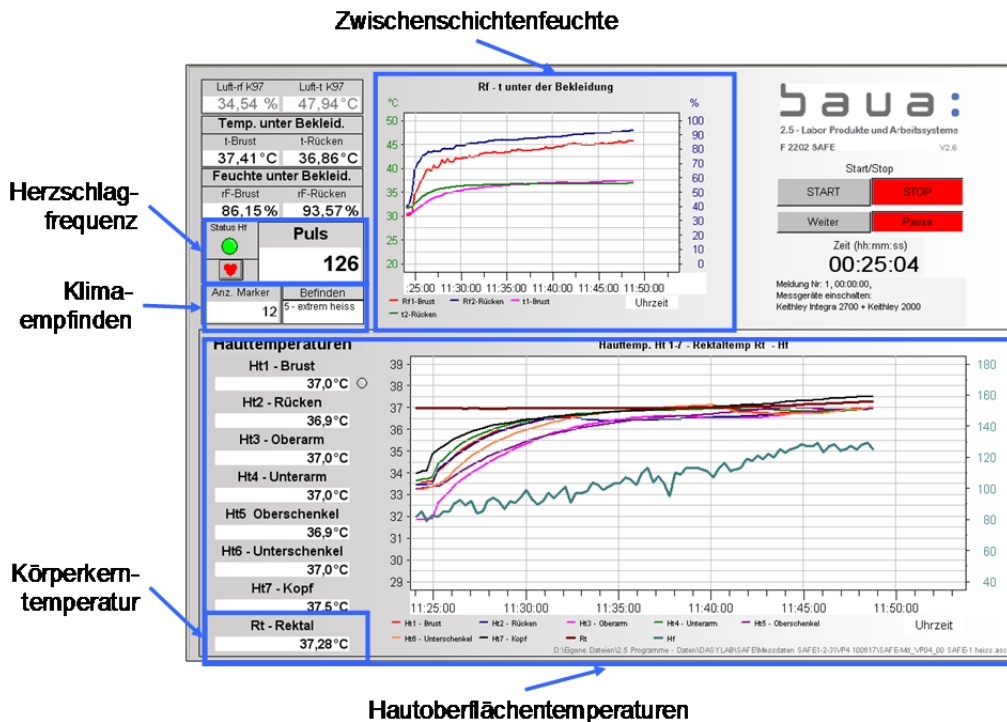
### 3.3.4 Versuchsdurchführung

Je Versuchstag sind ein Versuch zur Gebrauchstauglichkeit sowie zwei Versuche im Klima vorgesehen. Es werden unterschiedliche Untersuchungsobjekte ausgewählt sowie mit wechselnden Versuchsteilen begonnen, um eine Systematik in der Bewertung durch die Nutzer auszuschließen.

Zu Beginn des Benutzertests erhalten die Probanden eine Einführung in die Ziele der Untersuchung, die Arbeitsaufgaben sowie die eingesetzte Messtechnik. Ziel ist es, Ängste und Spannungen der Probanden zu lösen, um eine möglichst realistische Nutzungssituation zu erreichen. Nach der Einführung wird den Probanden zunächst ein Fragebogen zu Hintergrundinformationen vorgelegt, die für die Datenauswertung und -kategorisierung von Bedeutung sind. Dies sind im Wesentlichen Fragen zu demographischen Daten (Alter, Geschlecht, Händigkeit usw.), zum Erfahrungshintergrund des Probanden mit dem zu prüfenden Anzug oder vergleichbaren Produkten sowie Präferenzen des Probanden. So hat der Proband die Möglichkeit, sich an die Prüfumgebung und den Prüfer zu gewöhnen. Es besteht weiterhin die Möglichkeit sich zunächst losgelöst von den gestellten Aufgaben mit dem Produkt vertraut zu machen.

Aus technischen Gründen kann je Versuchstag nur ein Klima gewählt werden. Die Versuchsreihen im Klima beginnen jeweils mit der Applikation der Sensorik und einer Gewöhnungsphase bzw. der beschriebenen Referenzmessung. Im Anschluss an die Messreihen sind Pausen- und Erholzeiten vorgesehen, um die Vitalparameter auf ein normales Niveau zurückzuführen. Es ist bekannt, dass die Körperkerntemperatur bei unzureichenden Pausenzeiten bei Arbeit in Wärme (GEBHARDT 2007) nicht unmittelbar auf Normalniveau sinkt. Um nicht irreführende Messungen mit erhöhter Körperkerntemperatur – in der Folge vorzeitige Versuchsabbrüche – zu provozieren, werden Probanden nur einmal pro Versuchstag im warmen Klima belastet. Im kalten

Klima können daher nach ausreichender Erholung respektive Aufwärmphase zwei Versuche mit wechselnder Schutzkleidung durchgeführt werden.



**Abb. 3.10** Überwachungskonsole

Die Überwachung der Versuche erfolgt visuell per Sichtkontakt in die Klimakammer, per Videoüberwachung (Aufzeichnung von Proband und Laufband insgesamt sowie des Kopfes), durch persönliche Ansprache (zwei- bis dreimal je Versuch) im Klimaraum sowie über eine Benutzerschnittstelle, auf der alle Mess- und Vitalwerte sowie die Befindlichkeitsabgabe kontinuierlich angezeigt werden (s. Abb. 3.10). Zudem besteht per Headset direkter Sprechkontakt zwischen Proband und Versuchsleitung. Gesundheitszustand, Auffälligkeiten sowie Kommentierungen des Tragekomforts, z. B. besonderes klimatisches Befinden, werden dokumentiert. Begleitet werden alle Versuche durch einen Versuchsleiter und einen Ersthelfer.

### 3.4 Variablensystematik

Wie gezeigt wird eine große Anzahl von Daten bzw. Variablen ermittelt, um die Gebrauchstauglichkeit bewerten zu können. Diese Vielzahl macht eine systematische Aufbereitung und Bereinigung zwingend erforderlich. Im Folgenden werden einzelne Gruppen von Variablen sowie deren Definition, Systematik, Herleitung und Datenreduktion dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse wird dieser Systematik folgen.

#### 3.4.1 Allgemeines

- **Unabhängige Variablen**

Die unabhängigen Variablen wurden in der Versuchsdurchführung und der Probandenauswahl variiert, um mögliche Auswirkungen auf die abhängigen Variablen zu

erfassen. Sie gelten als Einflussgröße bzw. als Ursache. Als wesentliche, unabhängige Variablen wurden bereits bei der Probandenauswahl die personenbezogenen Größen, Alter und Körpergewicht, festgelegt. Als weitere sind die Folgenden zu nennen:

- Anzugtyp (Feuerwehrsutzhleidung, ABC-Sutzhleidung, SAFE 1 bis 3)
- sonstige Körpermaße (Brustumfang, Arm, Beinlänge, Schrittlänge usw.)
- Konfektionsgröße
- Klimagrößen (Luftfeuchte, -temperatur); Konstante im einzelnen Klimaversuch
- Laufbandbelastung; konstant über alle Klimaversuche.

#### • **Abhängige Variablen**

Die abhängigen Variablen sind diejenigen Variablen, deren Veränderungen auf die unabhängigen Variablen zurückgeführt werden. Mit ihnen soll die Wirkung der unabhängigen Variablen erfasst werden; sie werden herangezogen, um ein objektives Bild der Gebrauchstauglichkeit der untersuchten Sutzhleidungstypen zu zeichnen.

- Schnittstellenbeweglichkeit
- Tragekomfort (Zufriedenheit, Ausführbarkeit, Beweglichkeit)
- Reichweiten (Umblickgesichtsfeld, Armreichweiten)
- Mikroklima (Zwischenschichtenfeuchte, Hautoberflächentemperatur)
- Allgemeine Vitalparameter (Herzschlagfrequenz, Körperkerntemperatur)

Die abhängigen Variablen werden im Folgenden detailliert dargestellt und Details zur Datenermittlung werden erläutert.

##### 3.4.1.1 Schnittstellenbeweglichkeit

Die Auswertung der Schnittstellenbeweglichkeit erfolgt sowohl anhand statischer Haltungen wie auch aus den Arbeits- und Bewegungsaufgaben des Parcours heraus. Für die statischen Haltungen (Positionen unter Punkt 2.5 im Versuchsablauf, s. Abb. 3.5 bzw. Anhang 4) existieren je Versuch und Proband sechs Positionen, die für die Auswertung der Schnittstellenbeweglichkeit herangezogen werden:

- Hocken
- Knie anwinkeln
- Oberkörper beugen
- Oberkörper drehen
- Oberkörper drehen und beugen
- Strecken Arme über Kopf

Wie beschrieben wurde jede Haltung mit vier perspektivisch unterschiedlichen Fotos dokumentiert, so dass eine Rundumsicht der jeweiligen Versuchssituation bzw. der Versuchsteilnehmer möglich ist. Die Ergebnisse werden systematisch nach Proband (VP), Anzug, Bewegungsaufgabe und beobachteter Schnittstelle erfasst (Abb. 3.11).



**Abb. 3.11** Marker beim Knie anwinkeln von zwei Seiten

Für die Auswertung und Erstellung der Roh-Datensätze (EXCEL-Datei) werden die folgenden Grundsätze vereinbart:

- sechs Körperhaltungen, beispielsweise „Knie anwinkeln“
- drei Schnittstellen bei zweiteiligen Untersuchungsobjekten bzw. zwei bei Ein-teilern; Jacke-Hose, Hose-Stiefel, Handschuhe-Jacke
- je Schnittstelle werden vier Marker ausgewertet; die Verschiebung der Klei-dungsschichten zur Ausgangsposition wird abgelesen
- Codierung von Mess- bzw. Fehlwerten
  - Eintrag „5“ entspricht einer Verschiebung von 5 cm zwischen Refe-renzmarke und Schnittstelle
  - Marker ist sichtbar, d. h. Markierungsstreifen liegt im ablesbaren Be-reich und ist daher auswertbar → positive Messwerte/Codierung
  - Marker ist sichtbar, d. h. Markierungsstreifen liegt im ablesbaren Be-reich, ist aber schlecht (geknautscht, zu kurz, weggescheuert, Pa-rallaxenfehler usw. Abb. 3.12) auswertbar → negative Messwerte, Codierung bzw. Schätzwert



**Abb. 3.12** Ableseproblematik von Markern

Des Weiteren ist beim Ablesen zu beachten, dass die maximale Verschiebung zur Ausgangslage abgelesen wird. Gleiches gilt bei schräg verdeckten Markern. Die Ab-lesegenauigkeit wird auf 0,5 Kästchen bzw. 0,5 cm festgelegt.

Nach einer Datenbereinigung und teilweisen zweiten Auswertung konnten alle negativen Werte durch neue Referenzfotos und Expertendiskussion eliminiert werden. Für die weitere Auswertung und Codierung wurden die folgenden Konventionen getroffen:

- 0 = Marker sichtbar, keine Verschiebung
- 99 = Marker und Markierungsstreifen durch Körper verdeckt, wenn Markierungsstreifen nicht sichtbar ist.
- 100 = Marker und/oder Markierungsstreifen vollständig durch Kleidung verdeckt
- 9999 = Markierungsstreifen sichtbar, Marker verdeckt
- 999 = Markierungsstreifen nicht vorhanden oder außerhalb des Bildes oder zu kurz

Die Bewertung der Schnittstellenbewegungen an statischen Körperhaltungen wird durch die Bewegungsaufgaben der Positionen 2.6 bis 2.12 sowie 3.5 bis 3.7 im Versuchsablauf ergänzt. Es existieren je Versuch und Proband sieben (plus drei) Positionen:

- Gehen und Laufen
- Seitenkriechgang (zzgl. PA)
- Kriechen (zzgl. PA)
- Übersteigen
- Beugen/Strecken
- Leitersteigen/Leiterübersteigen (zzgl. PA)
- Drehen/Schaukeln

Alle Arbeits- und Bewegungsaufgaben wurden in einer Fotoserie dokumentiert, so dass eine Rundumsicht möglich ist. Zur Auswertung und Bestimmung der Messwerte wird vorrangig das Bild mit der maximalen Schnittstellenbewegung und zweitrangig das mit der höchsten Bewegungsschärfe – zur optimalen Messwertbestimmung – ausgewählt. Für die Auswertung bzw. Codierung gelten die genannten Konventionen.

#### 3.4.1.2 Körpermaße

Die Erfassung der Körpermaße erfolgte erstmalig zum Zeitpunkt der Probandenakquisition zwecks Eingruppierung in das vorgesehene Alters-/Körpergewichtsraster. Des Weiteren wurden die ausgewählten Probanden nochmals vor Versuchsbeginn vermessen. Somit liegen für die Datenauswertung zwei Gruppen vor, wohingegen die im Labor vorgenommenen Messungen auf Grund der einheitlichen Messmethoden die Basis für alle weiteren Auswertungen bilden werden:

- zur Auswahl und Erfassung nach eigenen Angaben der Probanden
  - Körpergewicht, Körperhöhe
- nach Vermessung durch die Versuchsleitung
  - Körpergewicht, Körperhöhe
  - Reichweite nach vorne (links, rechts), Reichweite nach oben, Kniehöhe
  - Kopfumfang, Brustumfang, Beinlänge, Hüftumfang, Schrittlänge



### 3.4.2 Mikroklima

Für Daten aus den durchgeführten Versuchen im Klima ist überall dort eine Datenbereinigung, Clusterung bzw. Reduktion erforderlich, wo für die Probanden individuelle Datenwerte vorliegen: Zwischenschichtenfeuchte, Hautoberflächentemperatur sowie Dauer des Befindens usw. Bei Temperatur und Feuchte wird nicht berücksichtigt, ob es sich um bereits vorab aufbereitete Werte, z. B. Mittelwerte oder gewichtete Werte handelt.

Die Datenauswertung bzw. Ermittlung relevanter Messwerte folgt einer festgelegten Zeitreihe, die sich bereits in Vorversuchen als sinnvoll erwies und erheblich zur Datenreduktion beitragen konnte. Es ergeben sich insgesamt elf Ablesezeitpunkte, zu denen alle relevanten physiologischen Daten (Feuchte; gewichtete, maximale, minimale Hautoberflächentemperatur; klimatisches Befinden usw.) ermittelt werden. Die Zeitpunkte sind wie folgt festgelegt: 2 min, 4 min, 6 min, 8 min, 10 min, 12 min, 15 min, 20 min, 25 min.

Für die Auswertungen der Messdaten der Hautoberflächentemperatur werden zwei Variablengruppen verwendet. Die gewichtete Hauttemperatur, die sechs der sieben Messstellen berücksichtigt, wird nach GEBHARDT (2007) mit den folgenden Faktoren berechnet:

$$T_{\text{gewichtet}} = 0,05 \cdot T_{\text{Kopf}} + 0,2 \cdot T_{\text{Brust}} + 0,15 \cdot T_{\text{Rücken}} + 0,2 \cdot T_{\text{Oberarm}} \\ + 0,25 \cdot T_{\text{Oberschenkel}} + 0,15 \cdot T_{\text{Unterschenkel}}$$

Des Weiteren werden die Variablen  $T_{\text{Haut}_{\text{max}}}$  und  $T_{\text{Haut}_{\text{min}}}$  eingeführt, die die Temperaturverläufe mit den meisten Maximal- bzw. Minimalwerten im Vergleich zur gewichteten Hauttemperatur ausweisen. Erfasst wird neben dem Temperaturverlauf die zugehörige Messstelle. Um diese zu bestimmen wird diejenige Messkurve ermittelt, die die meisten Maximalwerte ( $T_{\text{Haut}_{\text{max}}}$ ) bzw. Minimalwerte ( $T_{\text{Haut}_{\text{min}}}$ ) im Vergleich aller Temperaturen zu den jeweiligen Messzeitpunkten aufweist.

#### 3.4.2.1 Vitalparameter/Abbruchkriterien

Die Rohdaten der kontinuierlichen Körperkerntemperaturmessungen, die als Abbruchkriterium genutzt werden, werden einer vereinfachten Datenauswertung beziehungsweise -reduktion unterzogen. Hierzu werden jeweils Minimum und Maximum aus dem gesamten Versuchsverlauf sowie das arithmetische Mittel bestimmt. Des Weiteren werden die Temperaturen zum Versuchsbeginn sowie zum Versuchsende ermittelt.

Die im Rahmen der Klimaversuche ermittelte Herzschlagfrequenz wird je Versuch in fünf Kategorien ausgewertet. Eine Auswertung über den zeitlichen Verlauf erfolgt nicht. Es werden die Extremwerte (Maximum und Minimum) über den gesamten Verlauf, Herzschlagfrequenz zu Versuchsbeginn und -ende sowie die mittlere Frequenz aus den Rohdaten ermittelt. Die anschließende Clusterung orientiert sich an der Bandbreite der gemessenen Werte und erfolgt in Schritten zu je 10 Schlägen/min, beginnend bei unter 60 Schlägen und endend bei „über 150 Schläge/min“.

### 3.4.2.2 Klimatisches Empfinden

Die Datenaufbereitung des klimatischen Empfindens folgt ebenfalls den zuvor genannten Zeitreihen. Die Codierung entspricht dem folgenden Schema (Tab. 3.11):

**Tab. 3.11** Codierung für klimatisches Empfinden

Klima heiß		Klima kalt	
0	leicht kühl	0	leicht warm
1	neutral	1	neutral
2	warm	2	kühl
3	sehr warm	3	kalt
4	heiß	4	sehr kalt
5	extrem heiß	5	extrem kalt
9	Abbruch Versuch	9	Abbruch Versuch

Alternativ kann neben dem Befinden die „Dauer des Befindens“ abgelesen werden. Dieses kennzeichnet die Zeitspanne zwischen zwei Befindenwechsel. Dies ist jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter von Bedeutung, so dass auf die Darstellung und Verwendung im Weiteren verzichtet wird.

## 4 Bewertungsergebnisse

Die Darstellung der Bewertungsergebnisse aus der empirischen Studie erfolgt weitgehend deskriptiv. Die Bewertung einzelner Anzugkomponenten wird in die Bereiche Taschen, Knie, Schulter-Arm, Polsterung und Verschlusssysteme unterteilt. In der Kategorie „Diverse“ werden weitere Items (z. B. Gewicht der Schutzkleidung, Tragegefühl an Schnittstellen) erfasst. Darüber hinaus werden die Gesamturteile der Probanden den Einzelbewertungen gegenübergestellt. Angegeben sind in der Regel die Mittelwerte über alle Probanden sowie die mittlere Bewertung in den Kategorien.

### 4.1 Zellbesetzung

Für die Referenzanzüge wurde der geplante Versuchsumfang eingehalten. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden während der zweijährigen Versuchsdurchführung keine neuen Probanden in das Feld aufgenommen.

**Tab. 4.1** Probanden im Versuch

<b>Feuerwehrschutzanzug (DIN EN 469 bzw. HuPF)</b>	<b>ABC-Schutzanzug (BWB-TL 8415-0283, bzw. Overgarment)</b>	<b>SAFE 1 (ABC)</b>	<b>SAFE 2 (Feuerwehr 1)</b>	<b>SAFE 3 (Feuerwehr 2)</b>
<b>N<sub>0</sub> = 50</b> - Zellenbesetzung wie Tab. 3.2	<b>N<sub>0</sub> = 50</b> - Zellenbesetzung wie Tab. 3.2	<b>N<sub>0</sub> = 10</b> - Auswahl nach Zufriedenheit mit Referenzanzügen (5 zufrieden/ 5 unzufrieden) - 1 Person je Zelle (Tab. 3.2)	<b>N<sub>0</sub> = 10</b> - Namentlich wie SAFE 1 - 1 Person je Zelle (Tab. 3.2)	<b>N<sub>0</sub> = 12</b> - Namentlich wie SAFE 1 - 1 Person je Zelle (Tab. 3.2) - zzgl. 2 Experten für Schutzkleidung

Nach Abschluss der empirischen Studie stellt sich die Stichprobenszusammensetzung wie in Tabelle Tab. 4.1 dar; Planabweichungen werden im Folgenden erläutert. Zu erkennen sind die kleineren Probandenkollektive der drei Prototypen SAFE 1 bis 3, die zum Teil deckungsgleich sind. Alle repräsentieren jedoch eine Teilmenge des Gesamtkollektivs der Referenzanzüge (N<sub>0</sub> = 50), d. h. alle Teilnehmer der Prototypentests nahmen auch an der Testung der Referenzanzüge teil.

Um eine sinnvolle Probandenauswahl treffen zu können, wurden drei Auswahlkriterien für die Stichproben SAFE 1 bis 3 festgelegt. Die Auswahl basiert auf Auswertungen der Referenzanzüge:

- Die zehn bereits definierten Zellen müssen mit jeweils einem Probanden aus dem Gesamtkollektiv nach Körpergewicht und Alter besetzt werden.
- Als zweites Kriterium wird die Zufriedenheit respektive Unzufriedenheit mit dem einteiligen ABC-Schutzanzug zu Grunde gelegt, um insbesondere für die Anzüge SAFE 1 und 2 – beides Einteiler – ein ausgewogenes Urteil der Testpersonen vorauszusetzen. Es sollten je fünf Probanden ausgewählt werden, die mit dem ABC-Schutzanzug zufrieden (d. h. abschließendes Gesamturteil nach Versuchsabschluss gut oder besser) bzw. unzufrieden (Urteil weniger gut oder schlecht) sind.

Weiterhin darf keiner der Teilnehmer einen der Versuche, insbesondere Belastung im warmen Klima, vorzeitig beendet haben. Um die Bandbreite aller Wahrnehmungen abzudecken und eine vollständige Versuchsdurchführung sicherzustellen, werden von den 15 potentiellen Teilnehmern auch Probanden ausgewählt, die das warme Klima als extrem heiß empfunden haben.

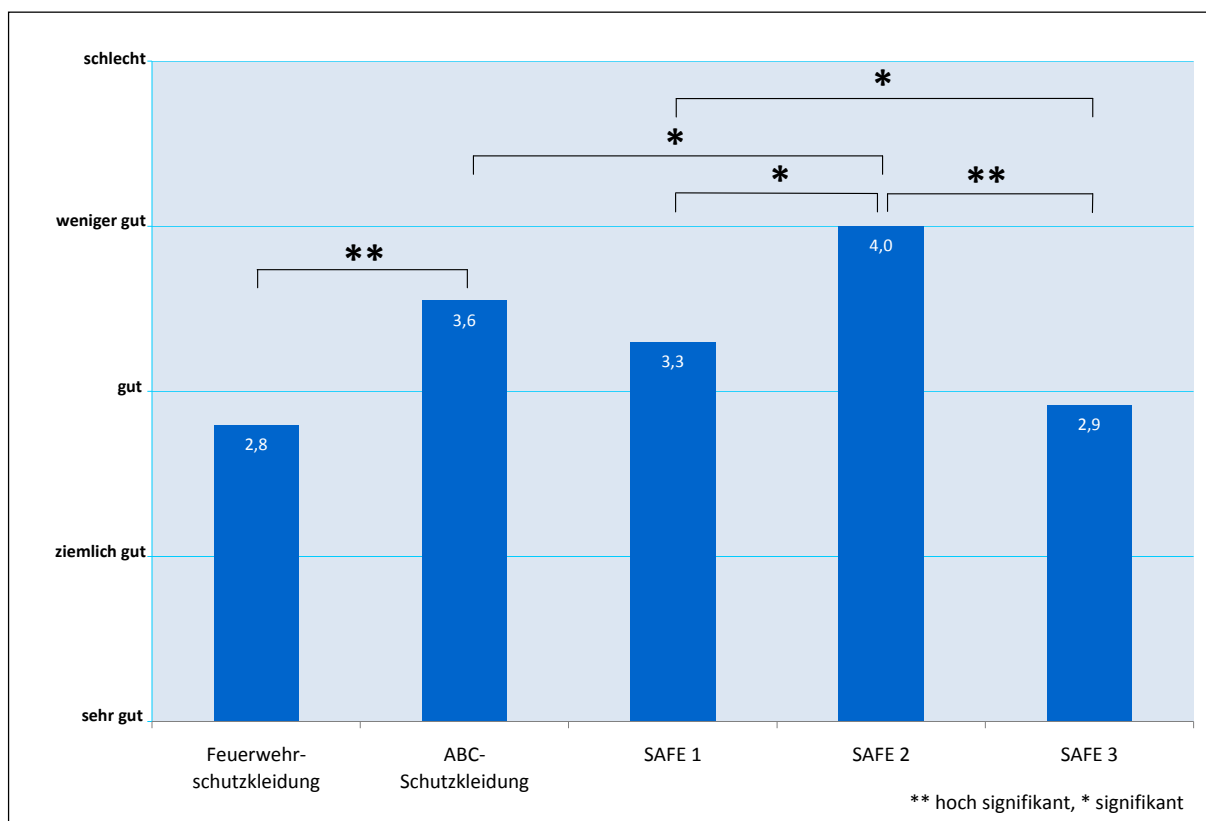
Es ist anzumerken, dass die Zellbesetzung auf Grund von Ausfällen der Messtechnik, unbeantworteten Fragen im Interview oder Fehlern in der Datenerfassung, d. h. Missings, variieren kann. Durch Fallweisen Ausschluss variiert das N zwischen den Testungen von N=10 bis N=49. Soweit erforderlich wird dies an den entsprechenden Stellen angegeben. Berechnet wurden abhängige paarweise T-Tests. Um Effekte und Unterschiede hervorzuheben, wurde auf die Adjustierung des  $\alpha$ -Fehlerniveaus ( $\alpha$ -Fehlerinflation) verzichtet. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass die Stichprobengrößen N=10 bzw. N=12 und die noch darzustellenden Ergebnisse der Prototypen SAFE 1 bis 3 für die Entwicklung des Bewertungsansatzes und die Zusammenführung in Bewertungskennzahlen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Im Vergleich zu den Referenzanzügen sind die Stichproben zu klein, so dass sie lediglich der Vollständigkeit halber als Untersuchungsergebnisse dargestellt sind. Für die weiteren Überlegungen werden lediglich die umfassenden Probandenkollektive für Feuerwehr- und ABC-Schutzkleidung herangezogen.

## 4.2 Nutzerurteile – subjektive Bewertungen

Die in diesem Abschnitt diskutierten Nutzerurteile (Abb. 4.1) sind auf die schriftliche und zusammenfassende Befragung der Probanden nach Versuchsende (Parcours) zurückzuführen. Es wurde unter anderem um ein abschließendes Gesamturteil gebeten. Da dieses Maß als Referenz bei den folgenden Bewertungen ebenfalls angegeben wird, wird es entgegen der Versuchslogik bereits vor der Darstellung der Einzelergebnisse vorgestellt. Die in den folgenden Tabellen und Grafiken dargestellten Ergebnisse entsprechen der in Abschnitt 3.2.2 eingeführten Bewertung.

Die abschließenden Gesamturteile der Probanden zeigen für den Referenzanzug Feuerwehr die beste Bewertung gut (2,8) mit einer leichten Tendenz zu ziemlich gut. Im Vergleich zum zweiteiligen Pendant, dem Prototypen SAFE 3, fällt die Bewertung (Mittelwert 2,9) nur geringfügig besser aus. Der Referenzanzug ABC und der entsprechende Prototyp SAFE 1 sind durch die Probanden abschließend beide ebenfalls mit gut, jedoch mit einer deutlichen Tendenz zu weniger gut (3,6 bzw. 3,3) bewertet worden. Positiv zu bemerken ist die bessere Bewertung des Prototyps. Die schlechteste Bewertung erhält SAFE 2 von den Probanden, mit weniger gut (4,0).

Die Probanden bewerten SAFE 2 demnach schlechter als den zugehörigen Referenzanzug.



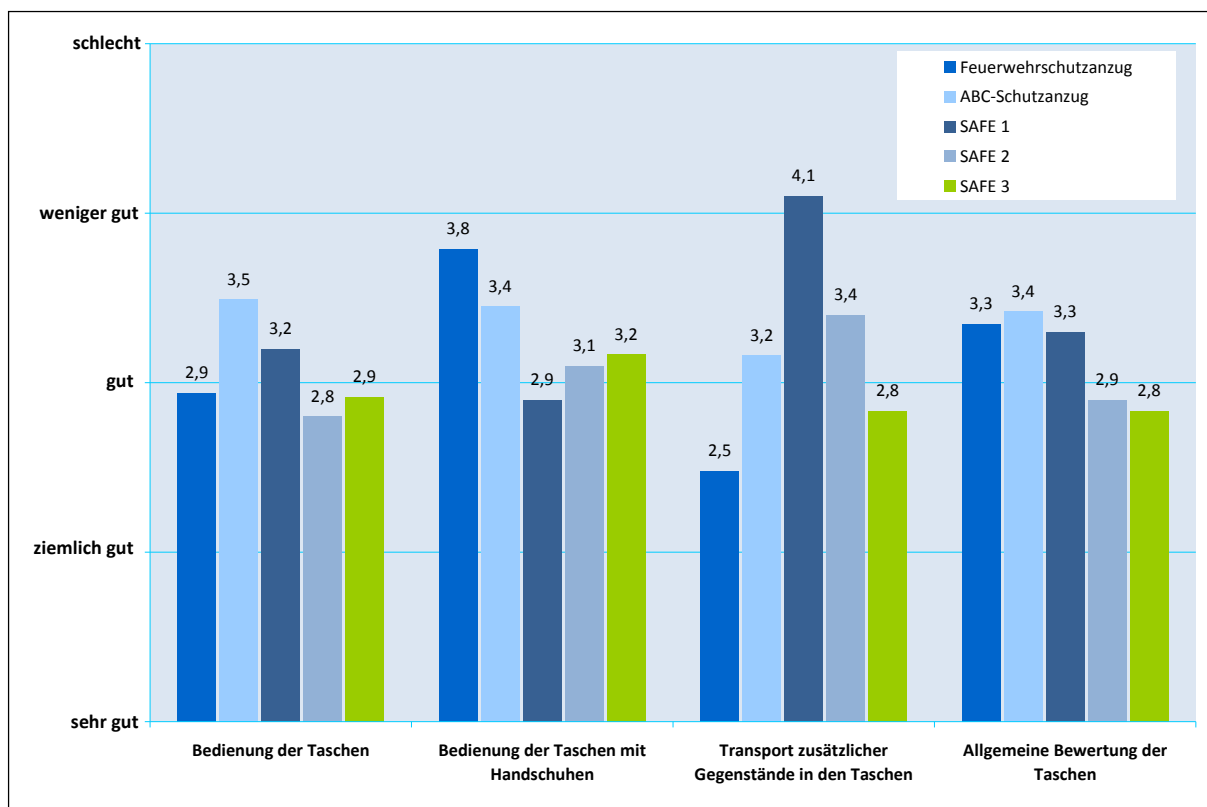
**Abb. 4.1** Gegenüberstellung Gesamturteile und Signifikanz

Die gefundenen Mittelwerte der Gesamturteile unterscheiden sich statistisch zum Teil bedeutsam. Das Signifikanzniveau liegt für die Paare Feuerwehr-/ABC-Schutzanzug sowie SAFE 2/3 kleiner 0,01 und ist hoch signifikant. Signifikant ( $\leq 0,05$ ) unterscheiden sich die Mittelwerte der Bewertungen von ABC-Schutzanzug/SAFE 2, SAFE 1/2, SAFE 1/3. Dies stützt die Entscheidung, die Gesamturteile der Referenzanzüge – die Mittelwerte unterscheiden sich hoch signifikant – als Basis für die Zusammenstellung der reduzierten Kollektive zur Bewertung der Prototypen zu Grunde zu legen.

#### 4.2.1 Taschen

In der Rubrik „Taschen“ wurden drei Einzelfragen sowie eine zusammenfassende Frage zur Bedienung der Taschen gestellt (Abb. 4.2). Der Transport zusätzlicher Gegenstände wurde beim Referenzanzug Feuerwehr sowie dem Prototypen SAFE 3 mit gut bis ziemlich gut bewertet. Von den weiteren Prototypen wurde SAFE 1 mit weniger gut am schlechtesten bewertet. SAFE 2 liegt in etwa gleichauf mit dem Referenzmodell ABC-Schutzanzug.

Es ist festzustellen, dass die Taschen an SAFE 3 in fast allen Belangen (ausgenommen Bedienung mit Handschuhen) besser bewertet wurden als der gesamte Anzug (Tab. 4.2). Des Weiteren zeigt die allgemeine Bewertung bei SAFE 3 die beste Bewertung sowohl gegenüber den SAFE-Prototypen als auch im Vergleich zu den Referenzanzügen. Die Bedienung mit Handschuhen wurde lediglich bei den Anzügen SAFE 1 und 2 leicht besser bewertet.



**Abb. 4.2** Bewertung der Taschen

**Tab. 4.2** Bewertung der Taschen

	Feuerwehrschutzanzug	ABC-Schutzanzug	SAFE 1	SAFE 2	SAFE 3
Bedienung der Taschen	2,94	3,49	3,20	2,80	2,92
Bedienung der Taschen mit Handschuhen	3,79	3,45	2,90	3,10	3,17
Transport zusätzlicher Gegenstände in den Taschen	2,48	3,16	4,10	3,40	2,83
Allgemeine Bewertung der Taschen	3,35	3,42	3,30	2,90	2,83
<b>Mittlere Bewertung Taschen</b>	<b>3,14</b>	<b>3,38</b>	<b>3,38</b>	<b>3,05</b>	<b>2,94</b>
<b>Allgemeine Bewertung des Anzuges</b>	<b>2,80</b>	<b>3,54</b>	<b>3,30</b>	<b>4,00</b>	<b>2,92</b>

#### 4.2.2 Knie

Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der Schutzkleidung im Bereich der Knie lassen sich sechs Kategorien heranziehen. Die Bewegungsfreiheit wurde in drei unterschiedlichen Bewegungsaufgaben eingeschätzt. Des Weiteren wurde das Tragegefühl in den Kniekehlen (zwei Items) sowie der Schutz durch Knieschützer bewertet.

Die Knieschützer aller getesteten Anzüge wurden schlechter als gut oder sogar mit weniger gut und der Tendenz zu schlecht (ABC-Schutzanzug) bewertet (Tab. 4.3). Am besten schneidet die Feuerwehrschutzkleidung – gefolgt vom Prototyp SAFE 3 – ab. Alle untersuchten einteiligen Anzüge sind lediglich mit doppellagigem Obermaterial im Kniebereich ausgestattet und verfügen über eine zu geringe Polsterung. Dies gilt insbesondere für das ABC-Referenzmodell. Entsprechend schlecht fällt die Bewertung aus. Das Tragegefühl in den Kniekehlen wurde an den Referenzmodellen in der Regel besser bewertet als an den Prototypen. Besonders SAFE 2 sticht mit einer durchschnittlichen Bewertung von weniger gut hervor.

**Tab. 4.3** Bewertung der Bewegungsfreiheit an Knien und der Knieschützer

	<b>Feuerwehrschutzanzug</b>	<b>ABC-Schutzanzug</b>	<b>SAFE 1</b>	<b>SAFE 2</b>	<b>SAFE 3</b>
Bewegungsfreiheit an Knien und Oberschenkeln beim Übersteigen am Bock	3,40	3,18	3,80	4,30	4,17
Tragegefühl in den Kniekehlen	2,58	2,90	3,70	4,10	3,00
Bewegungsfreiheit an den Knien	3,56	3,00	3,70	4,30	4,08
Bewegungsfreiheit an den Knien beim Leiterübersteigen	2,78	2,64	2,70	3,90	3,67
Allgemeine Bewertung der Kniekehlen	2,50	3,00	3,40	4,20	3,00
Allgemeine Bewertung der Knieschützer	3,14	4,82	4,30	4,20	3,42
<b>Mittlere Bewertung Knie</b>	<b>2,99</b>	<b>3,26</b>	<b>3,60</b>	<b>4,17</b>	<b>3,56</b>
<b>Allgemeine Bewertung des Anzuges</b>	<b>2,80</b>	<b>3,54</b>	<b>3,30</b>	<b>4,00</b>	<b>2,92</b>

Die Bewegungsfreiheit wurde bei allen SAFE-Prototypen als eher weniger gut bewertet. Lediglich beim Leiterübersteigen sind Feuerwehr- und ABC-Schutzanzug und SAFE 2 nahezu gleich gut bewertet worden. Die Bewegungsfreiheit an der Station „Übersteigen am Bock“ zeigt als extremes Szenario Nachbesserungsbedarf sowohl bei den Prototypen als auch den Referenzanzügen. Das dünne Obermaterial des ABC-Schutzanzuges wirkt unterstützend und führt zu mehr Bewegungsfreiheit und einem besseren Tragegefühl.

#### 4.2.3 Schulter-Arm

Der Tragekomfort des Schulter-Arm-Bereiches wurde als wichtiges Kennzeichen für gebrauchstaugliche Schutzkleidung identifiziert, so dass den Probanden elf Items zu dessen Bewertung vorgelegt wurden. Diese umfassen die Bewegungsfreiheit an den Schultern, Achseln, Ellbogen, Armbeugen und den Armen insgesamt. Insbesondere in Kombination mit weiterer PSA, d. h. Einsatz eines Atemschutzgerätes. Bei unterschiedlichen Bewegungsaufgaben wurde die Bewegungsfreiheit bewertet.

Im Vergleich aller Anzüge (Tab. 4.4) wurde der Referenzanzug Feuerwehr hinsichtlich des Tragekomforts im Schulter-Arm-Bereich am besten bewertet (2,9). Am schlechtesten schneidet der Prototyp SAFE 2 ab, dessen Bewegungsfreiheit insbesondere im Rücken-Schulter-Bereich und an Ellbogen und Achseln weniger gut bewertet wurde. Betrachtet man die Bewertung der drei Prototypen, so wird SAFE 3 im Mittel am besten bewertet, ausgenommen die Kombination mit weiterer Schutzausrüstung (Pressluftatmer) und die Ellbogen. Letztere erhalten bessere Beurteilungen am Anzug SAFE 1. Dagegen wurde der Tragekomfort in SAFE 2 am schlechtesten eingeschätzt.

Beim ABC-Schutzanzug und Prototyp SAFE 2 wurde der Schulter-Arm-Bereich im Mittel besser bewertet als der gesamte Anzug. Die Diskrepanz zeigt sich am deutlichsten bei SAFE 2. SAFE 1 ist im Detail nahezu gleich bewertet, wohingegen insbesondere die Komponenten im Schulter-Arm-Bereich des SAFE 3 und Feuerwehr-Referenzanzug leicht schlechter bewertet wurden. Eine deutliche Diskrepanz dazu zeigt ausschließlich SAFE 2.

**Tab. 4.4** Bewertung des Tragekomforts im Schulter-Arm-Bereich

	<b>Feuerwehrschutzanzug</b>	<b>ABC-Schutzanzug</b>	<b>SAFE 1</b>	<b>SAFE 2</b>	<b>SAFE 3</b>
Bewegungsfreiheit Rücken-/Schulterbereich	2,98	4,02	3,90	4,10	2,75
Bewegungsfreiheit Schultern, Strecken mit Gewicht	2,64	4,00	3,40	3,60	2,92
Bewegungsfreiheit Achseln, Strecken mit Gewicht	2,70	3,51	3,70	4,00	2,67
Bewegungsfreiheit Arme, Kriechen mit PSA	3,31	3,86	4,00	3,90	3,58
Bewegungsfreiheit Ellbogen, Leiter mit PSA	3,15	3,54	3,40	3,60	3,58
Bewegungsfreiheit Ellbogen, Leitersteigen	2,64	2,88	2,60	3,30	2,83
Ärmellänge, Leitersteigen	2,78	3,12	3,10	3,50	2,83
Allgemeine Bewertung der Ärmel	3,21	2,94	3,10	3,40	2,92
Allgemeine Bewertung der Armbeuge	2,35	2,88	3,00	3,90	2,83
Allgemeine Bewertung der Ellbogen	3,10	3,68	3,40	4,00	3,75
Allgemeine Bewertung der Schulter	3,04	3,76	3,00	3,50	2,58
<b>Mittlere Bewertung Schulter-Arm-Bereich</b>	<b>2,90</b>	<b>3,47</b>	<b>3,33</b>	<b>3,71</b>	<b>3,02</b>
<b>Allgemeine Bewertung des Anzuges</b>	<b>2,80</b>	<b>3,54</b>	<b>3,30</b>	<b>4,00</b>	<b>2,92</b>



#### 4.2.4 Polsterung

Für die Beurteilung der Qualität der Polsterung durch die Schutzkleidung wurden überwiegend die Bereiche Knie und Ellbogen betrachtet. Im Zusammenspiel mit weiterer PSA (Atemschutzgerät) konnte insbesondere die Druckverteilung im Schulter- sowie Beckenbereich durch die Probanden bewertet werden. Die Bewertung wurde vorwiegend für die Bewegungsaufgabe „Kriechen“ vorgenommen.

Im Mittel aller Items (Tab. 4.5) erhalten der Referenzanzug Feuerwehr und der Prototyp SAFE 3 mit annähernd gut, Tendenz weniger gut, die besten Bewertungen. Ausnahme bildet die Verteilung der Schutzpolster die an SAFE 3 als weniger gut bewertet wurde; schlechter sind an dieser Stelle lediglich der ABC-Referenzanzug und SAFE 1 beurteilt worden. Der ABC-Schutzanzug wird insgesamt als weniger gut bis schlecht eingestuft; SAFE 1 ist leicht besser bewertet worden. Mehr oder weniger deutlich sind die Unterschiede zwischen der allgemeinen Bewertung und dem gemittelten Einzelurteilen im Bereich Polster zu erkennen. Die auffälligsten Differenzen zeigen sich ebenfalls bei den Anzügen ABC-Schutzanzug und SAFE 1. Sie betragen nahezu eine Bewertungsstufe.

**Tab. 4.5** Bewertung der Polsterungen

	<b>Feuerweh- schutz- anzug</b>	<b>ABC- Schutz- anzug</b>	<b>SAFE 1</b>	<b>SAFE 2</b>	<b>SAFE 3</b>
Polsterung Schultern	3,88	4,60	4,50	3,90	3,08
Anzahl der Schutzpolster, Kriechen	3,20	4,76	4,40	4,10	2,42
Verteilung der Schutzpolster, Kriechen	3,04	4,78	4,60	4,10	4,25
Dicke der Schutzpolster, Kriechen	2,94	4,94	4,60	4,30	2,73
Gesamter Körperschutz, Kriechen	2,94	4,26	3,30	3,50	3,00
PSA: Druckverteilung im Schulterbereich	3,60	4,18	3,70	4,10	3,42
PSA: Druckverteilung im Beckenbereich	2,76	3,35	3,00	3,00	2,58
Allgemeine Bewertung der Knieschützer	3,14	4,82	4,30	4,20	3,42
<b>Mittlere Bewertung Polsterungen</b>	<b>3,19</b>	<b>4,46</b>	<b>4,05</b>	<b>3,90</b>	<b>3,11</b>
<b>Allgemeine Bewertung des Anzuges</b>	<b>2,80</b>	<b>3,54</b>	<b>3,30</b>	<b>4,00</b>	<b>2,92</b>

#### 4.2.5 Verschlussysteme

In der Kategorie Verschlussysteme wurden die Bedienung der Reißverschlüsse, der für Feuerwehrschutzkleidung typische Panikreißverschluss und die Einstellsysteme der Schutzkleidung erfasst und anhand vier spezieller sowie eines generellen Items durch die Testpersonen im Parcours beurteilt (Tab. 4.6).

**Tab. 4.6** Bewertung der Verschlusssysteme

	<b>Feuerweherschutanzug</b>	<b>ABC-Schutzanzug</b>	<b>SAFE 1</b>	<b>SAFE 2</b>	<b>SAFE 3</b>
Panikreißverschluss: Greifen mit Handschuhen	3,72	4,00	3,60	3,89	3,75
Panikreißverschluss: Bedienung mit Handschuhen	3,16	3,30	3,50	3,67	4,25
Bedienung des Reißverschlusses	2,64	2,45	3,10	3,00	2,83
Bedienung der Verstell-/Einstellsysteme	3,56	2,34	3,10	3,40	2,83
Allgemeine Bewertung des Verschlusssystem	2,88	3,18	3,20	3,40	3,50
<b>Mittlere Bewertung Verschlusssysteme</b>	<b>3,19</b>	<b>3,05</b>	<b>3,30</b>	<b>3,47</b>	<b>3,43</b>
<b>Allgemeine Bewertung des Anzuges</b>	<b>2,80</b>	<b>3,54</b>	<b>3,30</b>	<b>4,00</b>	<b>2,92</b>

Es ist festzustellen, dass das Greifen der Reißverschlüsse mit Handschuhen an allen untersuchten Anzügen tendenziell weniger gut bewertet wurde; der ABC-Referenzanzug sowie SAFE 2 sind besonders auffällig. SAFE 1 und 3 weisen eine leicht bessere Bewertung auf, gleiches gilt für die Feuerweherschutkleidung. Alle weiteren Items wurden durchweg besser bewertet: Im Mittel weisen die Verschlusssysteme am Referenzanzug Feuerwehr die beste allgemeine Bewertung (gut) auf; Prototyp SAFE 3 tendiert im Mittel am stärksten zu weniger gut. Die Gesamtbewertungen fallen im Vergleich zur mittleren Bewertung in der Kategorie Verschlusssysteme sehr uneinheitlich aus: SAFE 1 keinerlei Abweichungen, SAFE 2 besser als die allgemeine Bewertung, SAFE 3 schlechter als der Gesamteindruck; jeweils um eine halbe Bewertungsstufe nach oben bzw. unten. Die Verschlüsse des ABC-Referenzanzuges sind leicht besser bewertet als die Gesamtanzüge. Die Verschlusssysteme des Referenzanzuges Feuerwehr werden minimal schlechter eingestuft als der gesamte Anzug.

#### 4.2.6 Diverse Einzelkategorien

In der Kategorie „diverse Einzelkategorien“ wurden Komponenten und Anzeigeneigenschaften erfasst, die keiner anderen Gruppe zuzuordnen sind. Die Anpassung an die Körperstatur kann in beiden Referenzanzügen sowie SAFE 1 besser erfolgen als in den verbleibenden Prototypen; sie wird im Mittel jedoch immer noch als gut bewertet. Die Bequemlichkeit der Schutzkleidung SAFE 2 wird als nahezu weniger gut bewertet (das schlechteste Ergebnis der SAFE Prototypen) SAFE 1 ist leicht besser eingestuft als der Referenzanzug ABC-Schutzanzug. SAFE 3 wird dagegen mit gut, jedoch schlechter als das zugehörige Referenzmodell Feuerwehr bewertet. Die Beweglichkeit im Schritt beim Strecken zeigt insbesondere bei den einteiligen Anzügen tendenziell Bewertungen hin zu weniger gut. SAFE 1 setzt sich leicht vom Referenzmodell und SAFE 2 ab. Insbesondere die Beweglichkeit beim Strecken in den zweiteiligen Anzügen wird positiv wahrgenommen. Betrachtet man diese jedoch beim Laufen, liegen die Bewertungen wieder dichter zusammen.

**Tab. 4.7** Bewertung diverser Einzelkategorien

	<b>Feuerweherschutanzug</b>	<b>ABC-Schutzanzug</b>	<b>SAFE 1</b>	<b>SAFE 2</b>	<b>SAFE 3</b>
Anpassung an die Körperstatur	2,88	2,40	2,90	3,20	3,08
Bequemlichkeit der Schutzkleidung	2,48	2,82	2,60	3,90	3,00
Beweglichkeit im Schritt, Strecken	2,14	4,00	3,50	4,20	2,50
Gewicht der Schutzkleidung	2,96	2,16	2,40	3,80	2,00
Beweglichkeit Schritt, Laufen	2,41	2,82	2,80	3,30	2,82
Zusammenspiel Ober- und Unterbekleidung	2,58	2,76	2,80	3,00	2,42
Tragegefühl an den Schnittstellen	2,46	2,06	1,40	1,70	2,42
<b>Mittlere Bewertung diverser Einzelkategorien</b>	<b>2,56</b>	<b>2,72</b>	<b>2,63</b>	<b>3,30</b>	<b>2,60</b>
<b>Allgemeine Bewertung des Anzuges</b>	<b>2,80</b>	<b>3,54</b>	<b>3,30</b>	<b>4,00</b>	<b>2,92</b>

Auch SAFE 3 und Feuerweherschutkleidung verschlechtern sich minimal, wohingegen ABC-Schutzkleidung, SAFE 1 und 2 zum Teil eine Stufe besser bewertet werden. Verbesserungen beim Gewicht der Schutzkleidungen können bei SAFE 1 und 3 festgestellt werden, wohingegen SAFE 2 deutlich schlechter beurteilt wird. Der Vergleich des Tragegefühls an den Schnittstellen, insbesondere Arm- und Beinabschlüssen, zeigt relativ gute Ergebnisse für die Anzüge SAFE 1 und 2, die besser als der Referenzanzug bewertet wurden. SAFE 3 ist in etwa gleich mit der Feuerweherschutkleidung bewertet worden, SAFE 1 wurde am besten bewertet. Auf einen Vergleich der Gesamtbewertung mit den Einzelurteilen wird an dieser Stelle verzichtet, da die ausgewählten Items inhaltlich heterogen sind.

#### 4.2.7 Übersicht

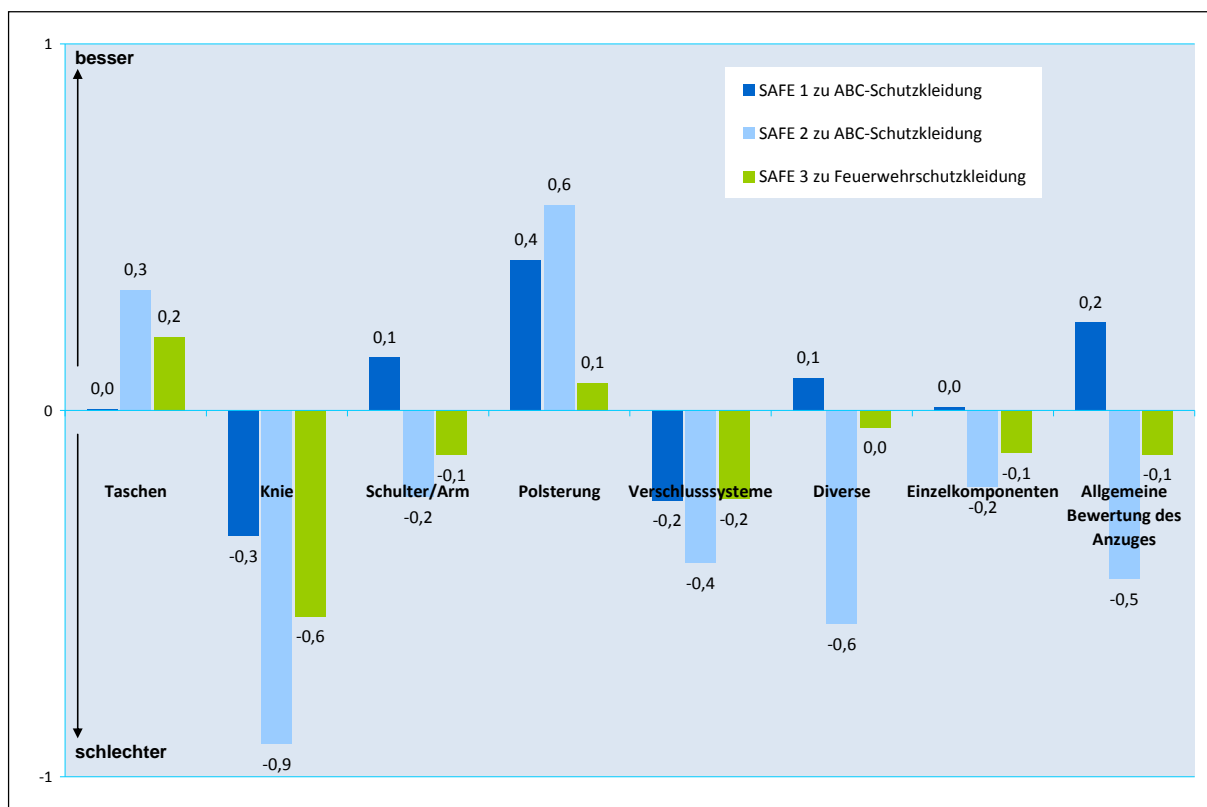
Der Vergleich der bewerteten Einzelkomponenten zeigt die Leistungsfähigkeit der Prototypen SAFE 1 bis 3 in einzelnen Kategorien. Es kann sowohl die Entwicklung im Rahmen der „Produktoptimierung“ der drei Prototypen als auch gegenüber den jeweiligen Referenzanzügen abgelesen werden.

**Tab. 4.8** Vergleich Komponentengruppen

	<b>Feuerweherschutanzug</b>	<b>ABC-Schutzanzug</b>	<b>SAFE 1</b>	<b>SAFE 2</b>	<b>SAFE 3</b>
Mittlere Bewertung Taschen	3,14	3,38	3,38	3,05	2,94
Mittlere Bewertung Knie	2,99	3,26	3,60	4,17	3,56
Mittlere Bewertung Schulter/Arm	2,90	3,47	3,33	3,71	3,02
Mittlere Bewertung Polsterung	3,19	4,46	4,05	3,90	3,11

	Feuerweherschutzanzug	ABC-Schutzanzug	SAFE 1	SAFE 2	SAFE 3
Mittlere Bewertung Verschlussysteme	3,19	3,05	3,30	3,47	3,43
Mittlere Bewertung Diverse Einzelkategorien	2,56	2,72	2,63	3,30	2,60
<b>Mittlere Bewertung Komponentengruppen</b>	<b>2,99</b>	<b>3,39</b>	<b>3,38</b>	<b>3,60</b>	<b>3,11</b>
<b>Gesamturteil für den Anzug</b>	<b>2,80</b>	<b>3,54</b>	<b>3,30</b>	<b>4,00</b>	<b>2,92</b>

SAFE 2 und 3 zeigen eine leicht bessere Bewertung der Taschen als die Referenzanzüge, wohingegen SAFE 1 nahezu gleich bewertet wurde. Der Tragekomfort an den Knien wird an allen Prototypen schlechter beurteilt als an den Referenzanzügen; besonders auffällig SAFE 2. Betrachtet man die Bewertungen der Schulter/Arm-Partien so ist nur SAFE 1 leicht besser als der zugehörige Referenzanzug bewertet. Die Polsterungen der drei neuen Anzüge sind zwar lediglich gut bis weniger gut, z. T. mit Tendenz zu schlecht (SAFE 1) bewertet worden, jedoch ist eine Verbesserung gegenüber der Referenz zu erkennen. Die mittlere Bewertung der Verschlussysteme an SAFE 1 bis 3 zeigt sich schlechter als an Feuerwehr- oder ABC-Schutzkleidung. Die übergreifende Bewertung der Anzüge zeigt ein heterogenes Bild. Im Vergleich werden ABC-Schutzkleidung und SAFE 1 nahezu gleich bewertet. Dagegen fällt die Bewertung von SAFE 2 deutlich schlechter aus. SAFE 3 wird abschließend nur wenig schlechter bewertet als der Feuerwehr-Referenzanzug.



**Abb. 4.3** Bewertungsvergleich zwischen Prototyp und jeweiligem Referenzanzug

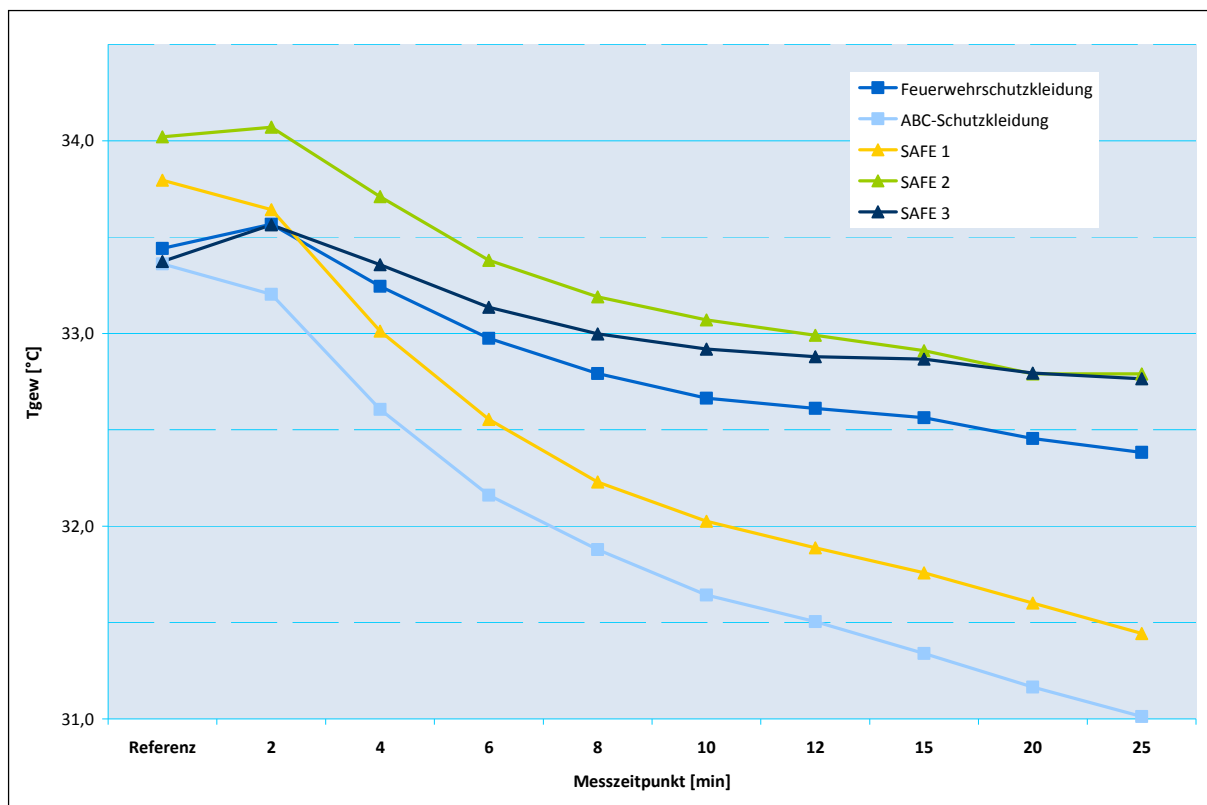
Abb. 4.3 bietet einen Überblick der mittleren Bewertung in den einzelnen Kategorien zwischen Prototyp und jeweiliger Referenz. Der Vergleich lässt sowohl Verbesserungen, als auch Verschlechterungen in einzelnen Kategorien und im Gesamturteil erkennen. Nur wenige Kategorien sind besser bewertet und lassen auf eine Optimierung in der Konstruktion schließen.

### 4.3 Klima – objektive Kenngrößen

Für die Auswertung des Verhaltens in den zwei Klimaten stehen als objektive Kenngrößen der Verlauf der Hautoberflächentemperatur sowie der Zwischenschichtenfeuchte im Anzug zur Verfügung. Diese werden im Folgenden weitgehend unabhängig betrachtet. Auf eine komplexe Überlagerung von Zwischenschichtenfeuchte, Hautoberflächentemperatur und Befinden sowie eine entsprechende Bewertung wird verzichtet, da im Rahmen dieser Arbeit die überwiegende Anzahl der Fragestellungen die Bildung eines Bewertungsansatzes für die Gebrauchstauglichkeit betreffen.

#### 4.3.1 Hautoberflächentemperatur

Die Hautoberflächentemperatur ( $T_{\text{Haut}}$ ) in den zwei Klimaten wurde über sechs von sieben Messstellen gewichtet (s. Abschnitt 3.3.2). Über alle Probanden wurde die gewichtete Hauttemperatur gemittelt ( $T_{\text{gew}}$ ). Diese und die maximalen sowie minimalen Temperaturen werden im Folgenden wiedergegeben.



**Abb. 4.4** Mittlere gewichtete Hauttemperatur im kalten Klima

Die Verläufe der Hautoberflächentemperatur in Kälte (Abb. 4.4) innerhalb der getesteten Anzüge unterscheiden sich meist sowohl in der Starttemperatur (nach 2 Minu-

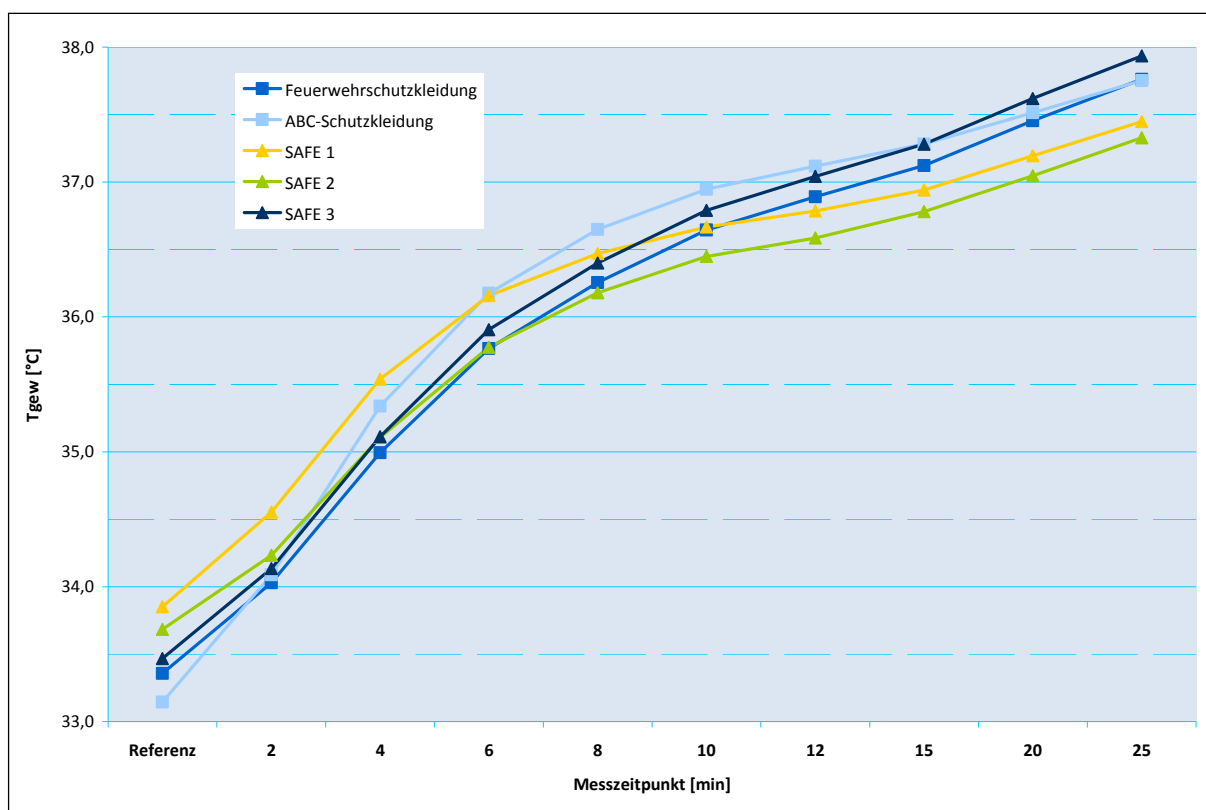
ten) als auch in der Endtemperatur (in der Regel nach 25 Minuten). Im Testverlauf fallen sie zum Teil schnell. SAFE 1 sowie die ABC-Schutzkleidung unterscheiden sich im Verlauf nur unwesentlich, jedoch tritt die Kälte in den Referenzanzug schneller ein: Die Temperaturdifferenz zu SAFE 1 beträgt nach zwei Minuten rund 0,4 K. Dieser Unterschied ist nahezu konstant über den gesamten Versuch. Die Hauttemperatur der Probanden in ABC-Schutzkleidung und SAFE 1 nimmt während des Versuchs um jeweils 2,2 K ab ( $T_{\text{gew}}$  nach 25 Minuten: ABC-Schutzkleidung 31,0 °C, SAFE 2 31,4°C). Der Vergleich zum zweiten einteiligen Prototypen (SAFE 2) zeigt weniger schnell abnehmende Hautoberflächentemperaturen als im ABC-Schutzanzug. Insgesamt nimmt die gewichtete Temperatur im gleichen Zeitraum um nur 1,3 K im Versuchsverlauf ab.

Auch die Temperaturverläufe in den wesentlich stärker isolierenden Anzügen (Feuerwehr, SAFE 2, SAFE 3) zeigen recht ähnliche Verläufe. Jedoch unterscheiden sich die ermittelten Hautoberflächentemperaturen sowohl zu Versuchsbeginn als auch zum Versuchsende. Während in SAFE 3 und im Feuerwehrazug noch zum Zeitpunkt  $T = 2$  min nahezu gleiche Hauttemperaturen ermittelt wurden, kühlte die Haut bis zum Ende der Messung stärker aus. Die Differenz zwischen den beiden beträgt rund 0,8 K. Dagegen nähern sich SAFE 2 und SAFE 3 zum Versuchsende deutlich an. Das Delta beträgt zum Versuchsbeginn 0,6 K und nimmt auf 0,03 K ab. Der Vergleich zwischen Feuerwehrschutzanzug und SAFE 2 zeigt einen nahezu parallelen Verlauf der gewichteten Hautoberflächentemperaturen. Die maximale Differenz beträgt rund 0,6 K zum Versuchsbeginn, zum Versuchsende beträgt sie lediglich 0,4 K.

Zusammenfassend ist für das kalte Klima festzustellen, dass im ABC-Referenzanzug die stärkste Auskühlung, gefolgt von SAFE 1, zu beobachten war. Feuerwehrschutzkleidung und die Prototypen SAFE 2 und SAFE 3 führen weniger schnell und weniger stark zu einer Senkung der Hautoberflächentemperatur. Am günstigsten erweist sich im Messzeitraum der Temperaturverlauf in SAFE 3.

Die Hautoberflächentemperatur im warmen Klima verhält sich bei allen Anzügen sehr ähnlich (Abb. 4.5). Als günstiger sind diejenigen Verläufe zu betrachten, die niedrigere Temperaturen zeigen; so z. B. der Prototyp SAFE 2, in dem über den gesamten Versuch die Hautoberfläche bis zu 0,5 K weniger stark erwärmt wird als im ABC-Referenzanzug. Dieser Anzug weist allerdings nicht die höchste Endtemperatur auf, obwohl im Versuchsverlauf in ihm über etwa 15 Minuten die höchsten Hautoberflächentemperaturen gemessen wurden. Die Temperaturverläufe der Feuerwehrschutzkleidung und von SAFE 3 fallen nahezu identisch aus. Beide Messreihen zeigen zum Ende die höchste gewichtete Temperatur, die bei etwa 37,9 °C (SAFE 3) und 37,8°C (Feuerwehr) liegen, wie auch bei der ABC-Kleidung. Am wenigsten stark erwärmt sich die Hautoberfläche in SAFE 2 (37,2 °C). SAFE 1 ist etwa in der Mitte mit 37,5°C zu finden.

Sämtliche Verläufe zeigen zwischen etwa der 11. und 15. Versuchsminute einen Sattelpunkt, um den herum sich die Erwärmung leicht verlangsamt, bevor sie bei den meisten Anzügen wieder stärker ansteigt. Eine Ausnahme bildet der ABC-Schutzanzug. Es ist festzustellen, dass unter den vorgegeben Laborbedingungen insgesamt eine Temperaturzunahme bis zu 3,8 K (SAFE 3) festzustellen ist. Am geringsten erwärmt sich die Haut in SAFE 1, nämlich um 2,9 K, gefolgt von SAFE 2 (3,1 K). Die Referenzanzüge führen beide zu einer Temperaturdifferenz von etwa 3,7 °C zwischen Versuchsbeginn und Ende der Belastung.

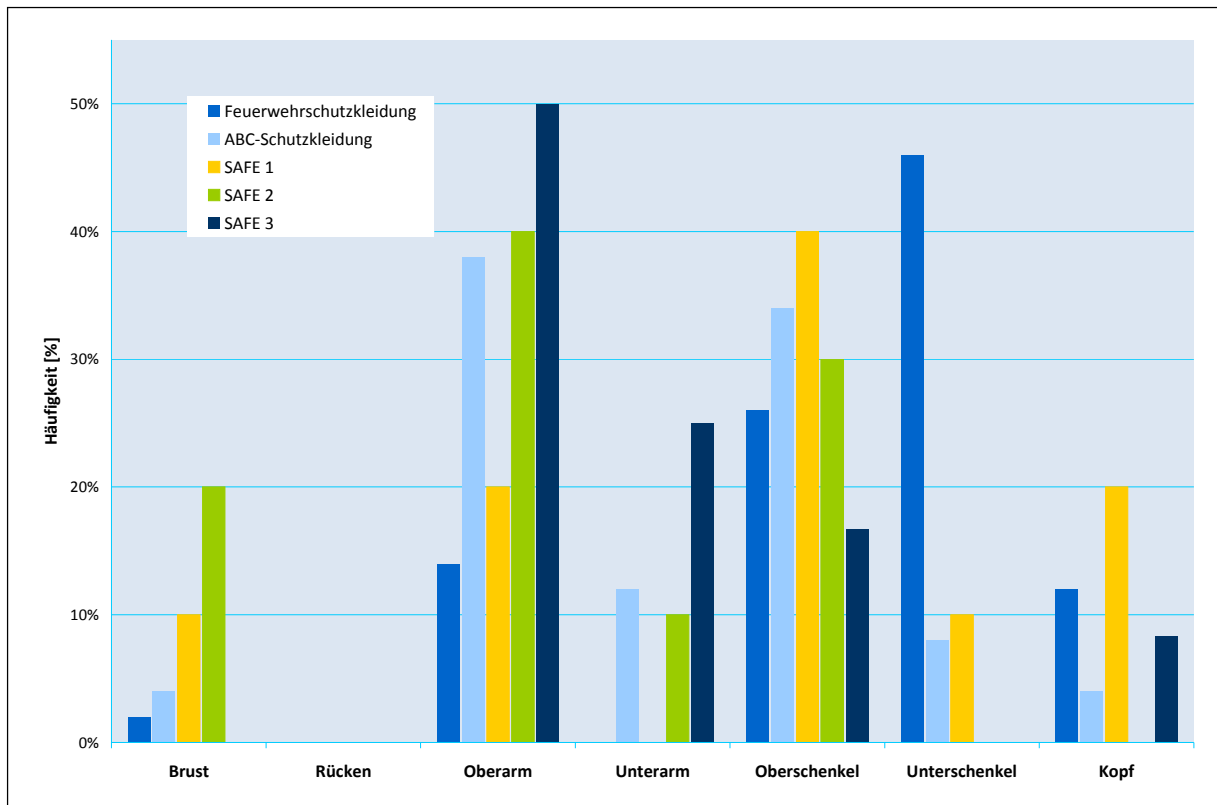


**Abb. 4.5** Mittlere gewichtete Hauttemperatur im warmen Klima

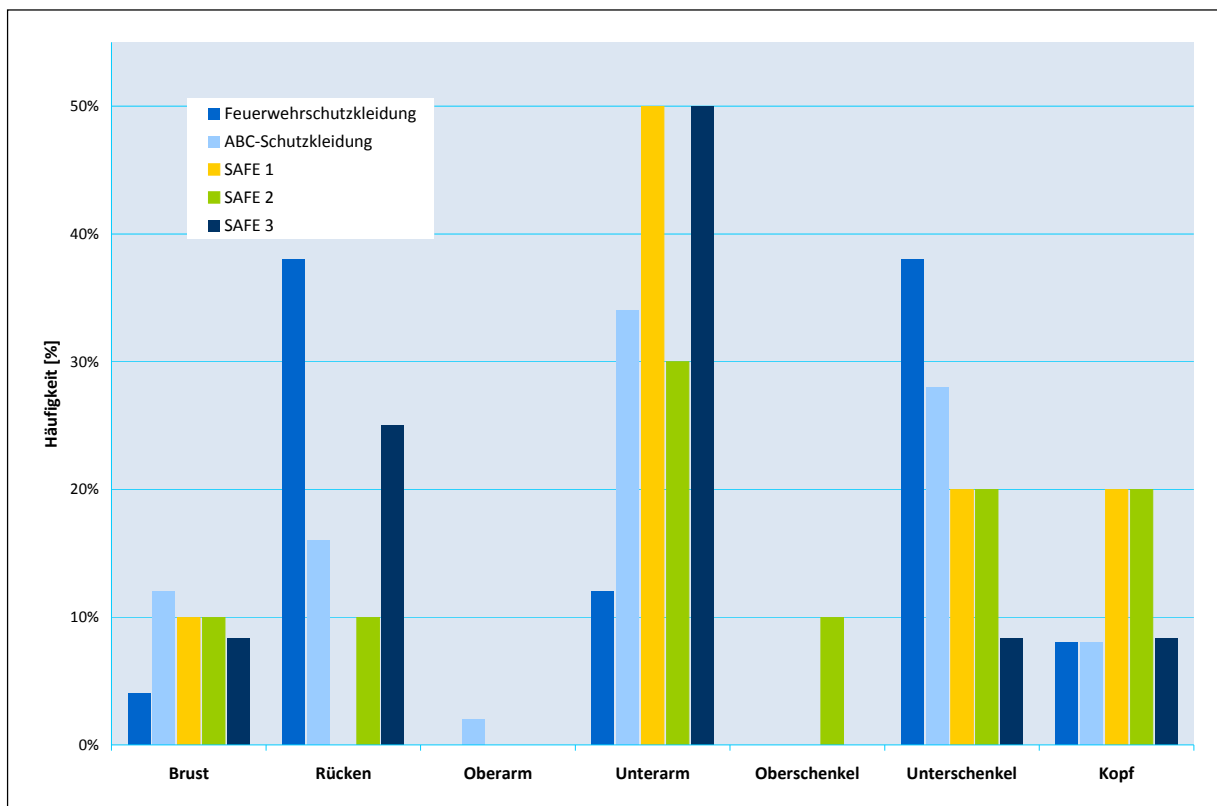
### 4.3.2 Belastete Körperteile

Neben der Betrachtung der mittleren gewichteten Hautoberflächentemperatur können die Extremwerte für die beiden Klimaten verglichen werden. Im kalten Klima sind dies die niedrigsten, im warmen Klima die höchsten Temperaturen auf der Hautoberfläche. Ausgewählt wurde diejenige Messstelle, die die meisten Maxima bzw. Minima über alle ausgewerteten Messzeitpunkte aufwies. In den zum jeweiligen Temperaturverlauf zugehörigen Grafiken ist zu erkennen, welche Körperteile bzw. Messstellen durch besonders hohe oder niedrige Hautoberflächentemperaturen hervorstechen (Abb. 4.6 und Abb. 4.7).

Die geringsten Wärmeverluste in Kälte konnten – betrachtet man alle Anzüge – am Rücken und im Bereich des Kopfes und der Brust festgestellt werden (Abb. 4.6). Die Kapuzenkonstruktion des Prototyps SAFE 2 führte zu einer besseren Isolation am Kopf als eine Flammschutzhaube oder die Kapuzen der anderen Prototypen. Deutlich belastet durch Kälte sind dagegen Oberarm und Oberschenkel. Die auffälligsten Messstellen im ABC-Schutzanzug finden sich an Oberarm und Oberschenkel. Die niedrigsten Temperaturen im Referenzanzug Feuerwehr konnten am Unterschenkel festgestellt werden. Auffällig hinsichtlich niedriger Temperaturen ist lediglich SAFE 3 im Bereich der Oberarme, wohingegen die Auswertungen der Prototypen SAFE 1 und 2 relativ ausgeglichene Temperaturverteilungen über das gesamte Anzuginnere vermuten lassen. SAFE 2 zeigt häufiger niedrige Temperaturen am Oberarm.



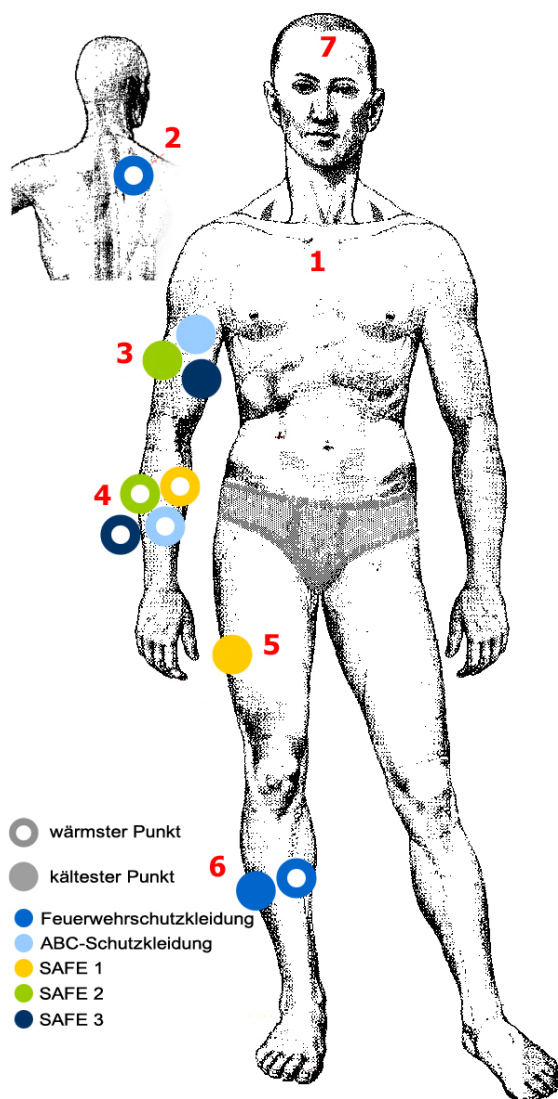
**Abb. 4.6** Körperteile mit den meisten Minimalwerten im kalten Klima



**Abb. 4.7** Körperteile mit den meisten Maximalwerten im warmen Klima



Der Vergleich der hoch belasteten Messstellen im warmen Klima ergibt ein eher uneinheitliches Bild (Abb. 4.7): Während in Feuerwehrsutckleidung die Haut an der Messstelle „Unterschenkel“ und am Rücken deutlich erwärmt wird, sind es im ABC-Schutzanzug eher Unterarm, aber auch Unterschenkel und dann erst der Rücken. Die maximalen Temperaturen in den Prototypen unterscheiden sich lediglich gering. SAFE 1 zeigt im Wesentlichen eine starke Erwärmung an der Messstelle Unterarm; Brust, Rücken und Oberschenkel sind jedoch bei keinem der Probanden als Extremsstelle auffällig geworden. Oberarm, Unterschenkel und Kopf zeigen wenige Maxima. Im Anzug SAFE 2 sind es ebenfalls die Messungen an den Unterarmen, die die höchsten Temperaturen an der Hautoberfläche zeigten; gleiches gilt insbesondere für SAFE 3. Lediglich der Oberarm weist keine Extremsstellen für SAFE 2 und 3 auf. Die weiteren Messstellen in SAFE 2 lassen eine eher gleichmäßige Durchwärmung vermuten. Neben dem Unterarm zeigen sich auch im Bereich des Rückens im Anzug SAFE 3 einige Maxima; Brust, Unterschenkel und Kopf sind nur wenig auffällig geworden.



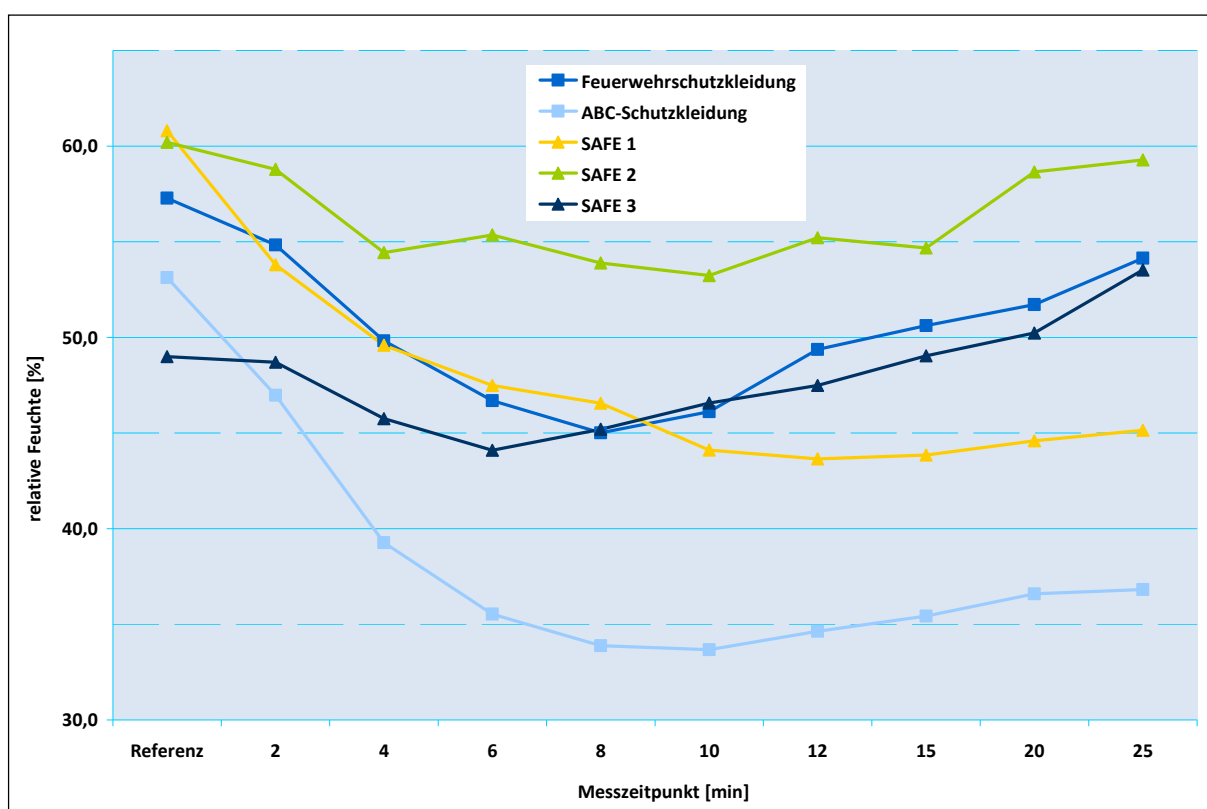
Darstellung Abb. 4.8 fasst die ermittelten kältesten und wärmsten Messstellen zusammen. Es zeigt sich, dass insbesondere die Unterarme im warmen Klima belastet sind, dies gilt für die einteiligen Anzüge (ABC-Schutzanzug, SAFE 1 und 2) sowie SAFE 3. Im Referenzanzug Feuerwehr zeigten sich häufig Erwärmungen der Hautoberfläche am Rücken sowie im Bereich des Unterschenkels. Die Messpunkte mit den niedrigsten Temperaturen im kalten Klima sind für SAFE 2 und 3 sowie die ABC-Schutzkleidung am Oberarm festgestellt worden, für SAFE 1 am Oberschenkel. Der Feuerwehrsutckleidung weist ebenfalls häufig Extremsstellen am Unterschenkel auf. Die Messstelle am Kopf ist über das gesamte Versuchsfeld für alle Anzüge weder durch sehr hohe noch durch sehr niedrige Temperaturen auffällig geworden. An Rücken und Beinen wurden nur sehr selten Extremswerte nachgewiesen.

**Abb. 4.8** Kälteste und wärmste Messstellen

### 4.3.3 Zwischenschichtenfeuchte

Die Messwerte der Zwischenschichtenfeuchte wurden an den beschriebenen Messstellen (Brust und Rücken) erfasst und das arithmetische Mittel errechnet. Für die Auswertung und grafische Darstellung der zeitlichen Verläufe wurde in beiden Klimaten über alle Probanden und zu den ausgewählten Versuchszeitpunkten ebenfalls der Mittelwert gebildet. Ausgewertet wurde jeweils  $N_0$ .

Für das kalte Klima ergeben sich die in Abb. 4.9 dargestellten Graphen. Auffällig sind die ähnlichen, wannenförmigen Kurven, die jedoch bei den einzelnen Anzügen unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Die zum Versuchsbeginn gemessene Zwischenschichtenfeuchte nimmt im Verlauf der Messung zunächst ab, bevor sie im Laufe der zweiten Versuchshälfte in der Regel wieder ansteigt. Die Verläufe unterscheiden sich im Wesentlichen in Anfangs- und Endfeuchte sowie dem lokalen Minimum, das etwa zur Hälfte der Versuchszeit ermittelt wurde.



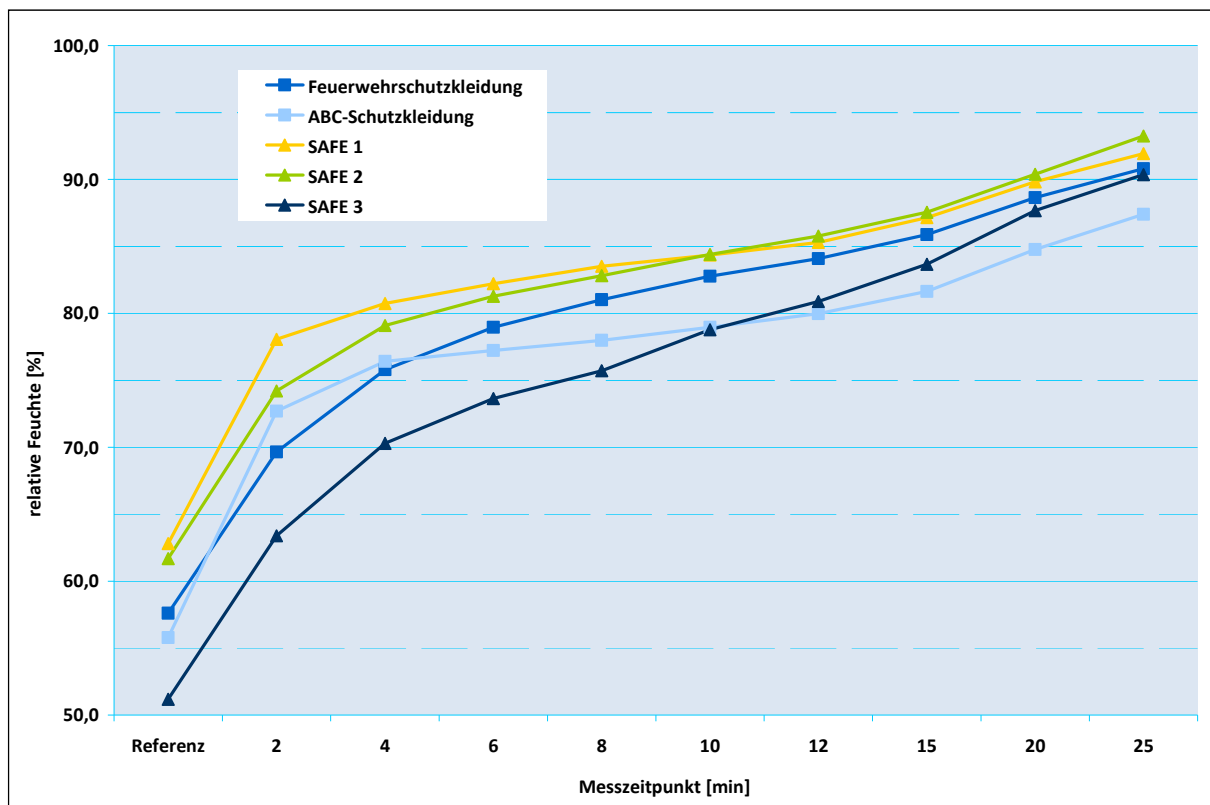
**Abb. 4.9** Mittlere Zwischenschichtenfeuchte im kalten Klima

Die Ergebnisse des ABC-Referenzanzuges zeigen zu Beginn ( $T = 2$  min) eine mittlere relative Feuchte von 47 % und damit den niedrigsten Anfangswert im Versuchsfeld. Im Verlauf nimmt die relative Feuchte schnell auf 34 % ab. Zum Versuchsende liegt sie bei etwa 38 % und ist im Vergleich zu anderen Anzügen weiterhin sehr niedrig. In den vergleichbaren Prototypen (keine Membran) SAFE 1 und 2 wurde zum selben Messzeitpunkt eine höhere relative Feuchte (SAFE 1: 54 %; SAFE 2: 59 %) ermittelt. In SAFE 1 nimmt die Feuchte nahezu kontinuierlich ab und liegt zum Zeitpunkt der letzten Messung bei rund 45 % mit gering steigender Tendenz. Der schwere, sehr dichte Materialverbund von SAFE 2 führt nur zu einer geringen Abnahme der

relativen Feuchte auf ein Minimum von 53 %. Für etwa 10 Minuten pendelt der Wert um rund 54 %, bevor zum Versuchsende die Feuchte erneut 59 % erreicht.

Über alle Anzüge betrachtet liegt die relative Feuchte in SAFE 2 während des gesamten Versuchs auf dem höchsten Niveau. Der Vergleich der beiden zweiteiligen und mit Membranen ausgestatteten Anzüge (Feuerwehrschutzanzug und SAFE 3) zeigt beim Feuerwehrschutzanzug eine deutliche Ausprägung des wannenförmigen Verlaufes. Die Feuchte fällt zunächst innerhalb von 8 Minuten von 55 % auf 45 % ab, bevor sie stetig steigend nach rund 16 Minuten das Ausgangsniveau von erneut 55 % erreicht. Ähnlich ausgeprägt ist die Feuchtezunahme in SAFE 3, die zwischen Versuchsbeginn und -ende ebenfalls etwa 5 % beträgt, nachdem die relative Feuchte nach 6 Minuten den Tiefpunkt mit 44 % erreicht. Eine ausgeglichene Feuchtebilanz zwischen Referenzmessung und Versuchsende zeigt der Prototyp SAFE 2. Eine leichte Abnahme der Zwischenschichtenfeuchte wurde im Feuerwehrschutzanzug gemessen, wohingegen im SAFE 3 mit etwa 4,5 % die relative Feuchte zugenommen hat. Dagegen wurde aus dem ABC-Schutzanzug sowie aus SAFE 1 im Versuchsverlauf Feuchtigkeit an die Umgebung abgegeben. Die Differenz beträgt bis zu 16 %.

Anders stellt sich die Entwicklung der Zwischenschichtenfeuchte im warmen Klima dar (Abb. 4.10). Sowohl in den Referenzanzügen als auch in allen Prototypen steigt die relative Feuchte im Versuchsverlauf stetig an. Die gemessenen Feuchten liegen zum Messzeitpunkt ( $T = 2$  min) zwischen 63 % rF in SAFE 3 und 78 % rF in SAFE 1. Die Referenzanzüge Feuerwehr- und ABC-Schutzanzug sind mit 73 % bzw. 70 % etwa in der Mitte der Messwerte einzuordnen.



**Abb. 4.10** Mittlere Zwischenschichtenfeuchte im warmen Klima

Während sich in SAFE 3 zum letzten Messzeitpunkt eine nahezu identische relative Feuchte wie im Feuerwehrschatzanzug feststellen lässt (etwa 90 %), weisen SAFE 1 und SAFE 2 eine um bis zu 6 % höhere mittlere, relative Zwischenschichtenfeuchte auf als der zugehörige Vergleichsanzug (ABC-Schutzanzug). In allen untersuchten Anzügen kann eine deutliche und stetige Zunahme der relativen Feuchte festgestellt werden, die im Versuchsverlauf abnimmt und zum Ende hin wieder leicht steigt. Die Graphen weisen Parallelen zu den Temperaturverläufen auf. Die größte Feuchtedifferenz zwischen Referenzmessung und Versuchsende wurde in SAFE 3 mit 39 % ermittelt. Die geringsten Steigerungen zeigten SAFE 1 mit rund 29 % sowie der ABC-Schutzanzug und SAFE 2 mit jeweils 32 % (alle ohne Membran). Der Feuerwehrschatzanzug verhält sich leicht besser als SAFE 3.

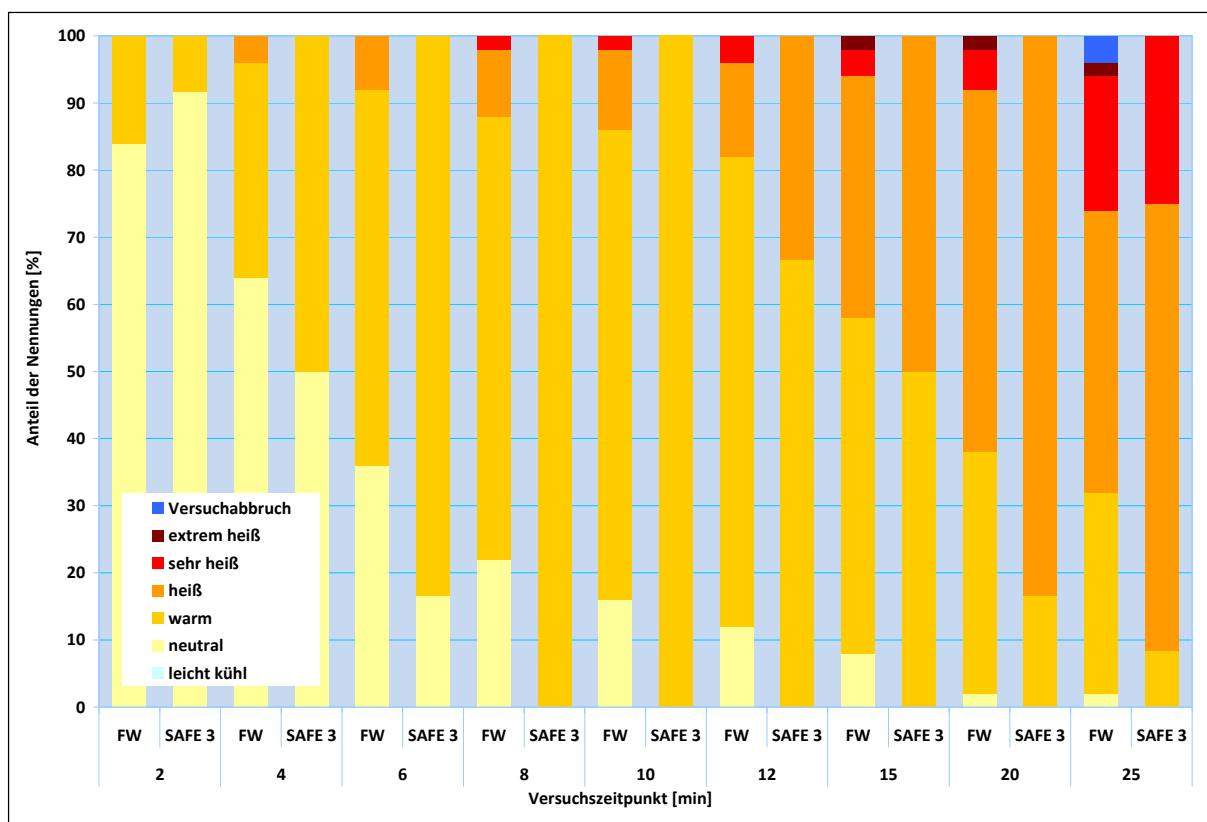
SAFE 3 und Feuerwehrschatzanzug sind sowohl im warmen als auch im kalten Klima hinsichtlich der Ausprägung des Feuchteverlaufes als auch der erreichten Endwerte durchaus vergleichbar. Der ABC-Schutzanzug, SAFE 1 und SAFE 2 zeigen dagegen über beide Klimaten unterschiedliche Entwicklungen der relativen Feuchte. Der Referenzanzug leitet mehr Feuchtigkeit nach außen bzw. hält geringere Mengen innerhalb des Kleidungsinnenraumes. Während sich für SAFE 1 und 2 in Wärme ein sehr ähnliches Bild ergibt, weichen die Verläufe der Zwischenschichtenfeuchte in Kälte deutlich ab. SAFE 1 zeigt hier deutlich das Verhalten des ABC-Schutzanzuges. Die Auswertung der Standardabweichungen zeigen im jeweiligen Klima über alle untersuchten Anzüge ein vergleichbares Bild: In Wärme nimmt sie deutlich ab, d. h. die Streuung der hier dargestellten Messwerte nimmt zum Versuchsende deutlich ab. Im kalten Klima nimmt die Standardabweichung dagegen leicht zu. Die ermittelte relative Feuchte variiert stärker.

#### 4.3.4 Befinden im Klima

Neben den objektiven Messgrößen, wie sie zuvor dargestellt wurden, wurde das subjektive Empfinden während der Klimaversuche erfasst. Die Probanden sollten, wie beschrieben (Abschnitt 3.3.3), mit Hilfe zweier sechsstufiger Skalen (extrem heiß – sehr heiß – heiß – warm – neutral – leicht kühl bzw. extrem kalt – sehr kalt – kalt – kühl – neutral – leicht warm) angeben, wie sie die Wärme respektive Kälte im jeweiligen Anzug insgesamt wahrnehmen. Jede Änderung sollte angezeigt werden. Im Folgenden finden sich die jeweiligen Auswertungen nach Anzugtypen – unterschieden nach Ein- bzw. Zweiteiler – zusammengefasst. Angegeben sind die Anteile des Befindens und der Versuchsabbrüche. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in den folgenden Abbildungen Referenzanzug und zugehörige Prototypen zusammengefasst.

Zunächst soll an dieser Stelle auf das Befinden im warmen Klima für die beiden mit Membranen ausgestatteten zweiteiligen Anzüge Feuerwehrschatzanzug (FW) und SAFE 3 eingegangen werden (Abb. 4.11). Die Stichprobengröße entspricht  $N_0$  ( $N=50$  bzw.  $N=12$ ). Über 80 % der Probanden geben ihr Befinden im Feuerwehrschatzanzug innerhalb der ersten zwei Versuchsminuten mit neutral an. Zum selben Zeitpunkt wird in SAFE 3 das Klima von weniger als 10 % der Personen als warm angegeben. Der Anteil dieser Personen nimmt innerhalb der nächsten Minuten (bis  $t=6\text{min}$ ) in beiden Anzügen weiter zu. Jedoch bezeichnen in der sechsten Versuchsminute 8 % der Probanden im Feuerwehrschatzanzug ihr Befinden bereits als heiß, wohingegen der Anteil „warm“ in SAFE 3 über 80 % liegt. Es ist weiterhin ein Sprung zwischen der 10. und 12. Versuchsminute zu erkennen: Etwa ein Drittel der Probanden beschreibt

das Befinden in SAFE 3 als heiß. Der Anteil nimmt in der zweiten Versuchshälfte weiter zu. Zum Ende der Messungen empfindet ein Viertel der Teilnehmer das Klima als sehr heiß, weniger als 10 Prozent beschreiben es lediglich als warm; die Übrigen zwei Drittel als heiß. Der Anteil letzterer liegt im Feuerwehranzug bei über 40 %. Etwa ein Drittel würde das Klima als warm oder neutral bezeichnen. Im Gegensatz zu SAFE 3 empfinden nur 20 Prozent der Probanden das Klima als sehr heiß. Weitere 2 % geben jedoch ihr Befinden zum Versuchsende mit extrem heiß an und 4 % brechen den Versuch bereits vorzeitig ab. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Probanden das konstante Außenklima im Feuerwehranzug früher und deutlicher wahrnehmen. Gleichzeitig bleibt der Anteil derjenigen, die ihre Wahrnehmung als neutral oder warm bezeichnen, höher als in SAFE 3.

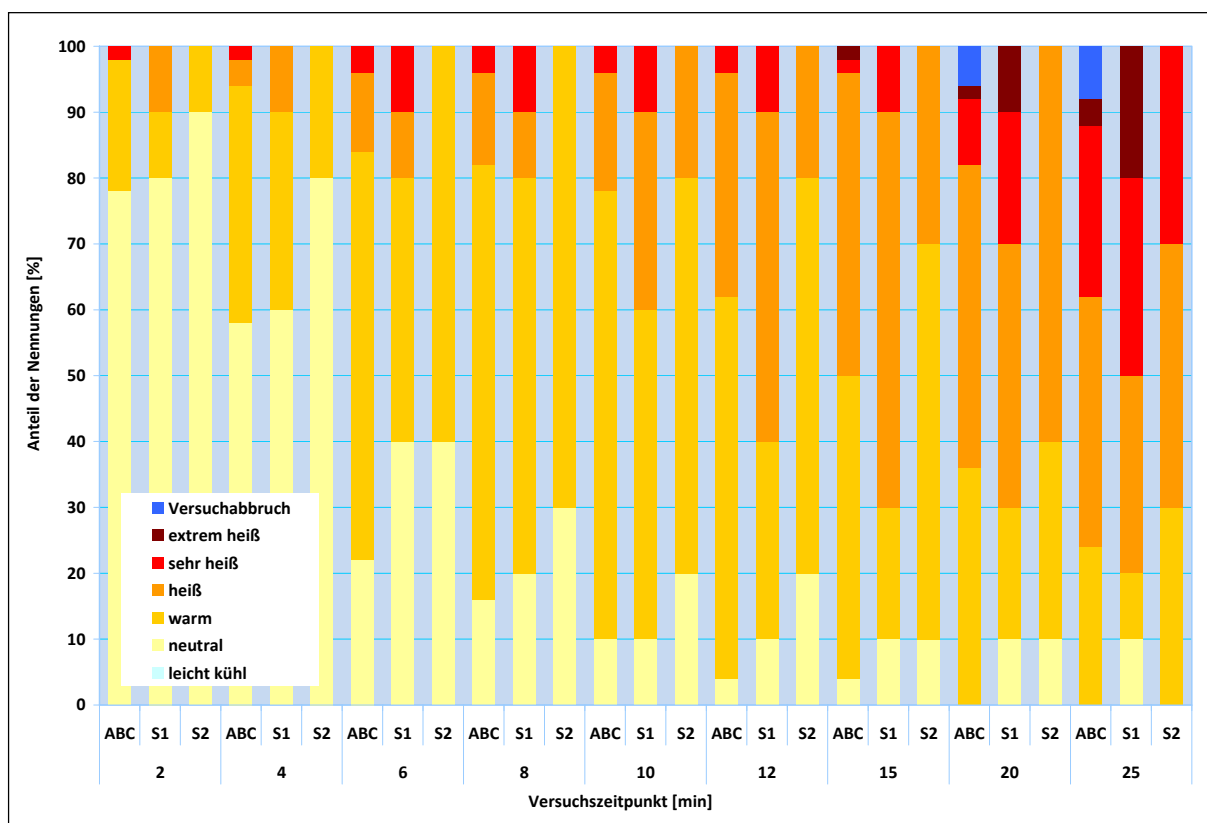


**Abb. 4.11** Befinden im warmen Klima Zweiteiler (Feuerwehr, SAFE 3)

Betrachtet man das Befinden in den drei einteiligen Anzügen (Abb. 4.12), so ist unmittelbar festzustellen, dass die Probanden das warme Klima im ABC-Schutzanzug deutlicher als in den beiden Prototypen SAFE 1 und 2 sowie im ABC-Referenzanzug wahrnehmen. Bereits nach zwei Minuten (bis  $t=6$  min) empfinden etwa 16 % der Versuchsteilnehmer das Klima im ABC-Schutzanzug als heiß bis sehr heiß. In SAFE 1 sind es jeweils 10 % die von heiß bzw. sehr heiß sprechen, während in SAFE 2 zwar 60 % der Nennungen auf warm entfallen, jedoch niemand das Klima als heiß oder sehr heiß beschreibt. Festzustellen ist ein Sprung der Nennungen zwischen vierter und sechster Versuchsminute. Erst ab  $t=12$  min empfinden rund 20 % der Probanden das Klima in SAFE 2 als heiß, in SAFE 1 sind es etwa 50 % und 10 % sogar sehr heiß. Im Referenzanzug ABC schätzten konstant 4 % der Teilnehmer bis zu diesem Zeitpunkt das Klima im Anzug als sehr heiß ein, jedoch lediglich 30 % als heiß. Weitere drei Minuten später wird es im Referenzanzug für wenige der Versuchsteilnehmer

mer extrem heiß, so dass fünf Minuten später die ersten und 10 Minuten später weitere Probanden den Versuch abbrechen.

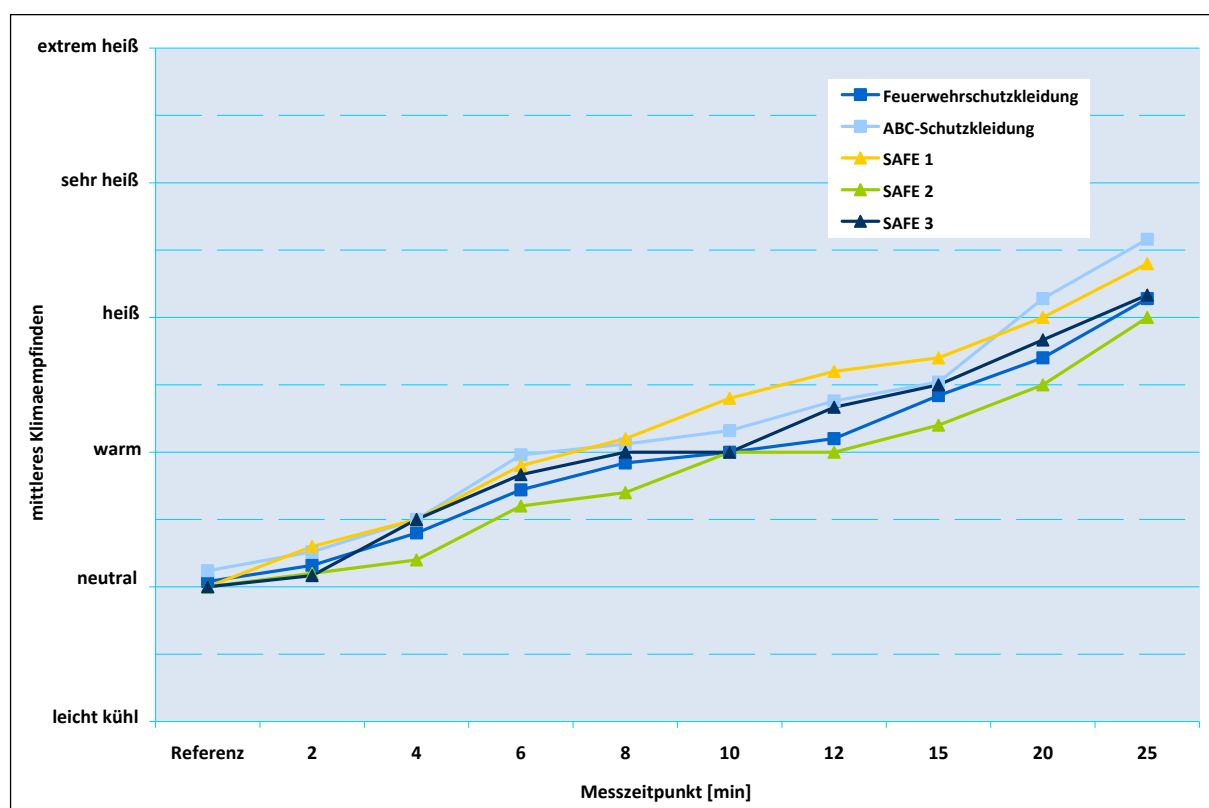
In SAFE 1 wird das Klima ab dem Zeitpunkt  $t=20$  min ebenfalls als extrem heiß (10 %) bzw. sehr heiß (40 %) bewertet. Zum Versuchsende nach 25 Minuten stellt sich das klimatische Empfinden in SAFE 2 als relativ ausgewogen dar. Jeweils etwa ein Drittel der Probanden empfindet das Klima im Anzug als warm, heiß oder sehr heiß. In SAFE 1 reicht das Befinden von neutral und warm (zusammen etwa 20 %) über je etwa 30 % von heiß bis extrem heiß (20 %). Sowohl in SAFE 1 und 2 sind keine Versuchsabbrüche zu verzeichnen. SAFE 2 stellt sich in diesem Vergleich hinsichtlich des Klimabefindens am günstigsten dar.



**Abb. 4.12** Befinden im warmen Klima Einteiler (ABC-Schutzanzug, SAFE 1+2)

Für einen abschließenden Vergleich werden die Mittelwerte über die jeweiligen Stichproben für die einzelnen Versuchszeitpunkte gegenübergestellt (Abb. 4.13). Am günstigsten wird das Klima in SAFE 2 wahrgenommen. Während der gesamten Versuchsdurchführung bis zum Versuchsende wird das Klima im Mittel stets „kühler“ eingeschätzt als in den anderen Anzügen. In SAFE 1 wird die Wärme lange Zeit als „wärmer“ empfunden. Sehr ähnlich wird die Belastung von den Probanden im Feuerwehrschutzanzug und in SAFE 3 wahrgenommen. Im ABC-Schutzanzug liegt das klimatische Empfinden zum Versuchsende zwischen heiß und sehr heiß am höchsten, gefolgt von SAFE 1, SAFE 3 und Feuerwehranzug. Am „günstigsten“, d. h. heiß, empfinden die Probanden das Klima zum Versuchsende in SAFE 2. Der Verlauf des mittleren Klimaempfindens weist Parallelen zum mittleren Messwert der Hauttemperatur auf, der zwischen sechster und zwölfter Versuchsminute eine langsamere Verschlechterung des Befindens ausweist. Dies gilt für alle Anzüge außer SAFE 1.

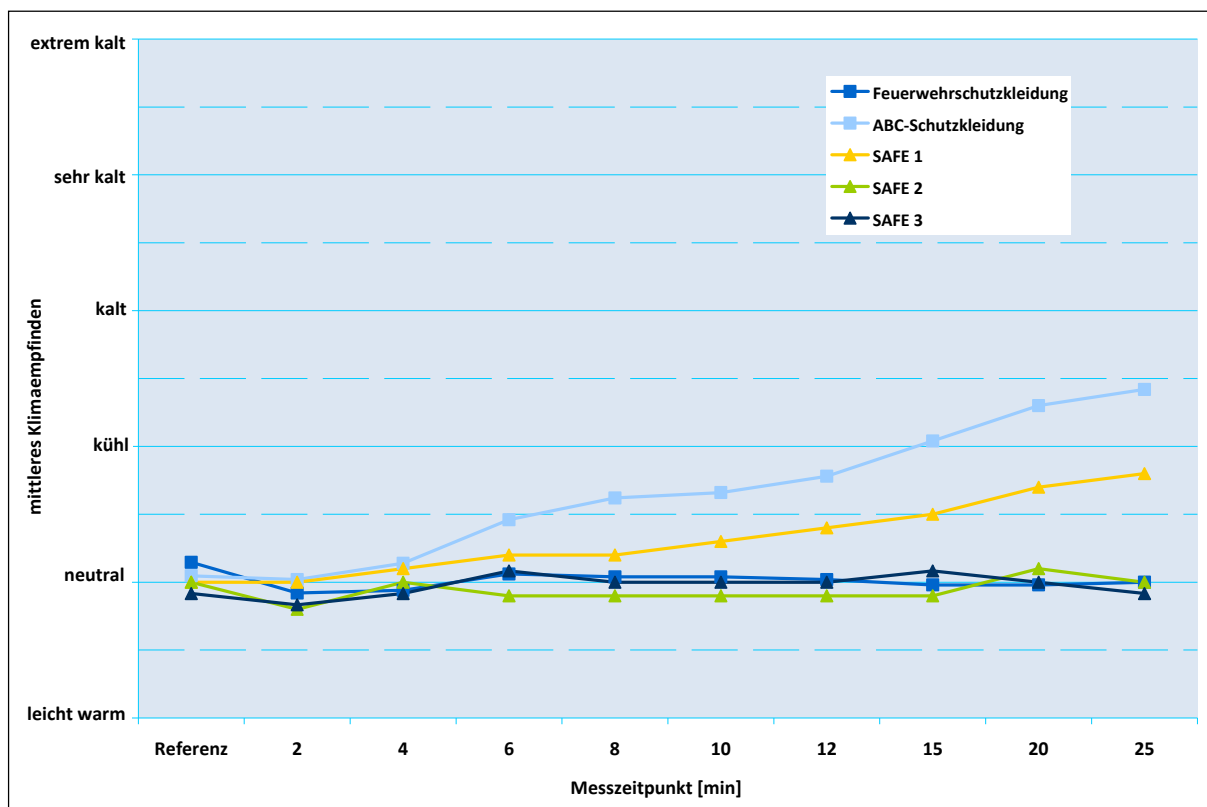
Das Befinden im kalten Klima wird zusammenfassend in einer Übersicht der Mittelwerte über den gesamten Versuchsverlauf sowie über alle untersuchten Anzüge dargestellt. Wie schon im warmen Klima wird das Befinden in sechs Stufen und möglicher Versuchsabbrüche erfasst: extrem kalt – sehr kalt – kalt – kühl – neutral – leicht warm. Noch bis Ende der ersten Versuchshälfte beschreiben 50 % oder mehr der Probanden das Klima in den jeweiligen Anzügen als neutral. Eine Ausnahme bildet der ABC-Schutzanzug. Bereits zwischen sechster und achter Versuchsminute wird das Befinden von 40 % der Teilnehmer als kühl bezeichnet. Während es im einteiligen SAFE 1 nach Beschreibung der Probanden frühzeitig ( $t = 4$  bis 6 min) kalt wird, bleibt das klimatische Befinden in SAFE 2 lange Zeit neutral oder sogar leicht warm.



**Abb. 4.13** Mittleres Klimaempfinden im warmen Klima

In Abbildung Abb. 4.14 werden zwei Entwicklungen deutlich. Es sind diejenigen Anzüge zu erkennen, in denen die Probanden im Versuchsverlauf zunehmend die Kälte wahrnehmen und sich das Befinden – im Mittel – in Richtung kalt verlagert. Als auffällig sind die Anzüge SAFE 1 und der zugehörige Referenzanzug ABC zu nennen. Beide zeichnen sich durch hohe Atmungsaktivität und einen relativ dünnen, leichten Schichtaufbau aus. Bis zur vierten Versuchsminute deutet das Befinden in SAFE 1 auf eher neutrales Verhalten hin, wohingegen im zugehörigen Referenzanzug erste Tendenzen zu schlechterem Befinden im Anzug zu vermuten sind. Im weiteren Versuchsverlauf nimmt das Befinden in diesen zwei Anzügen stetig ab, jedoch ist ebenso zu bemerken, dass dies in SAFE 1 in geringerem Maße stattfindet als im ABC-Schutzanzug, in dem das Befinden der Probanden zum Versuchsende wesentlich stärker durch die Kälte beeinflusst wird. Gegenläufig verhalten sich SAFE 2 und 3 sowie der Feuerwehrschutzanzug.

Außer bei SAFE 1 und beim ABC-Anzug ist festzustellen, dass die Probanden insgesamt das Befinden eher in Richtung leicht warm beschreiben. Das Klimaempfinden verläuft im Mittel wellenartig: Warm beginnend, nach sechs Minuten neutral, dann wieder leicht wärmer bis zur zwölften Minute, erneut in Richtung neutral bevor die Tendenz zum Versuchsende in Richtung leicht warm deutet. Bei SAFE 2 ist Folgendes zu erkennen: Leicht warm zu Versuchsbeginn und -ende, dazwischen nahezu konstant mit Tendenz zum leicht warmen Befinden.



**Abb. 4.14** Mittleres Klimaempfinden im kalten Klima

Es ist festzustellen, dass die untersuchten Schutzanzüge in die eher offenen Systeme (ABC-Schutzanzug, SAFE 1) mit schlechtem klimatischem Befinden in Kälte (Tendenz stetig in Richtung kalt) sowie geringem Wasserdampfdurchgangswiderstand und die „geschlossenen“ Systeme (Feuerwehrschutzanzug, SAFE 3 sowie SAFE 2), d. h. Membran oder sehr dichte Materialsichten, mit tendenziell neutralem bis leicht warmen klimatischem Befinden und hohem Durchgangswiderstand für Feuchte unterschieden werden können (vgl. MECHEELS, 1998).

#### 4.4 Schnittstellenbeweglichkeit – objektive Kenngrößen

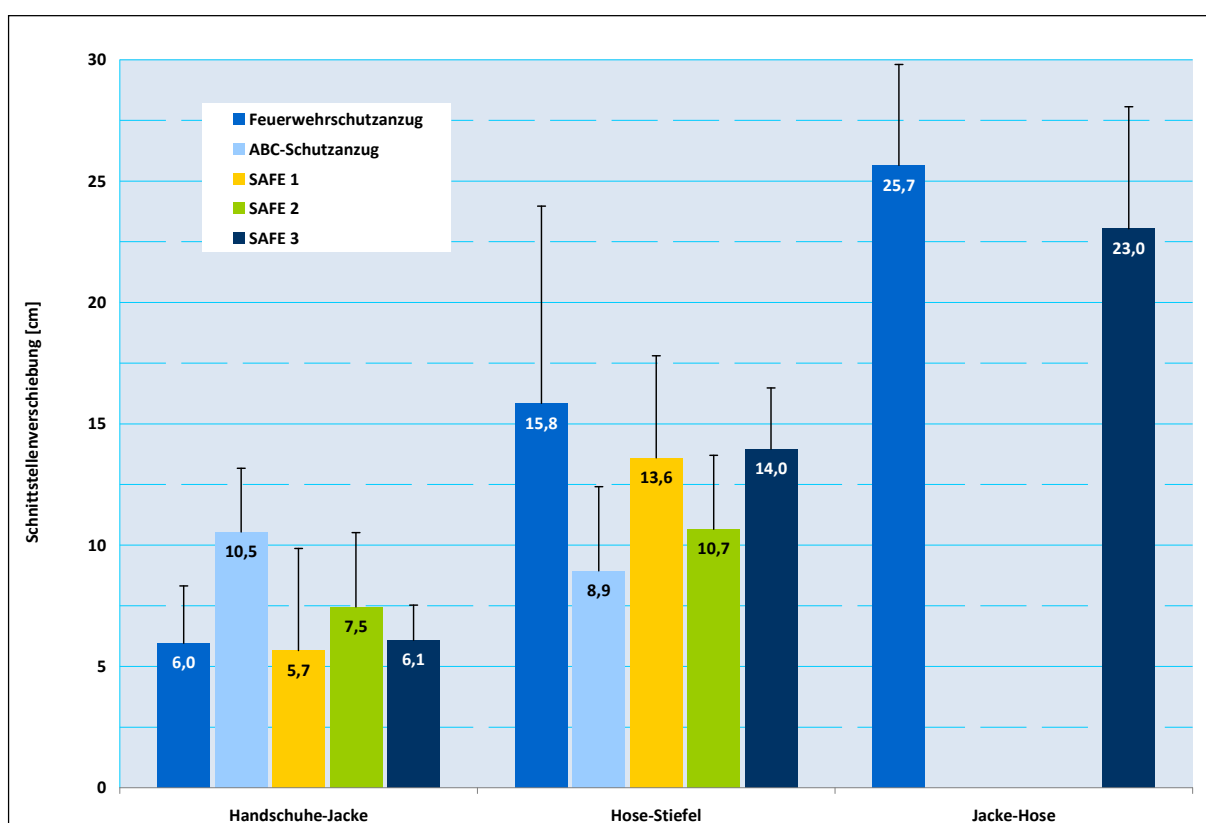
Im Rahmen der Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit wurden die Schnittstellen an Kleidungsübergängen (Handschuh-Jacke, Stiefel-Hose, Hose-Jacke) beobachtet. Neben der Erfassung der Beweglichkeit in den Prüfobjekten, lässt sich die Qualität der Schnittstellen, bzw. die Überdeckung einzelner Kleidungs- und Ausrüstungsteile und somit die Dichtheit an kritischen Stellen aufzeigen. Anhand der Markierungsbänder kann die maximale Bewegung der Kleidungs- oder Ausrüstungsteile quantifiziert werden. Die Ergebnisdarstellung kann sowohl aufgaben- als auch schnittstellenbe-



zogen erfolgen. Angegeben werden die Verschiebungen zwischen Ausgangslage und maximaler Endlage in Zentimetern jeweils für die Arbeits- und Bewegungsaufgabe bzw. als maximale Verschiebung an den drei möglichen Schnittstellen über alle betrachteten Bewegungsaufgaben.

#### 4.4.1 Überblick

Für die Auswertung wurden die maximalen Schnittstellenverschiebungen aller Bewegungsaufgaben gemittelt. Für die einteiligen Prüfobjekte ABC-Schutzanzug sowie SAFE 1 und 2 bietet Abb. 4.15 einen Überblick über die relevanten Schnittstellen Handschuh-Jacke und Hose-Stiefel. Bei den zweiteiligen Anzügen Feuerwehr und SAFE 3 ist zudem die dritte Schnittstelle zwischen Jacke und Hose dargestellt.



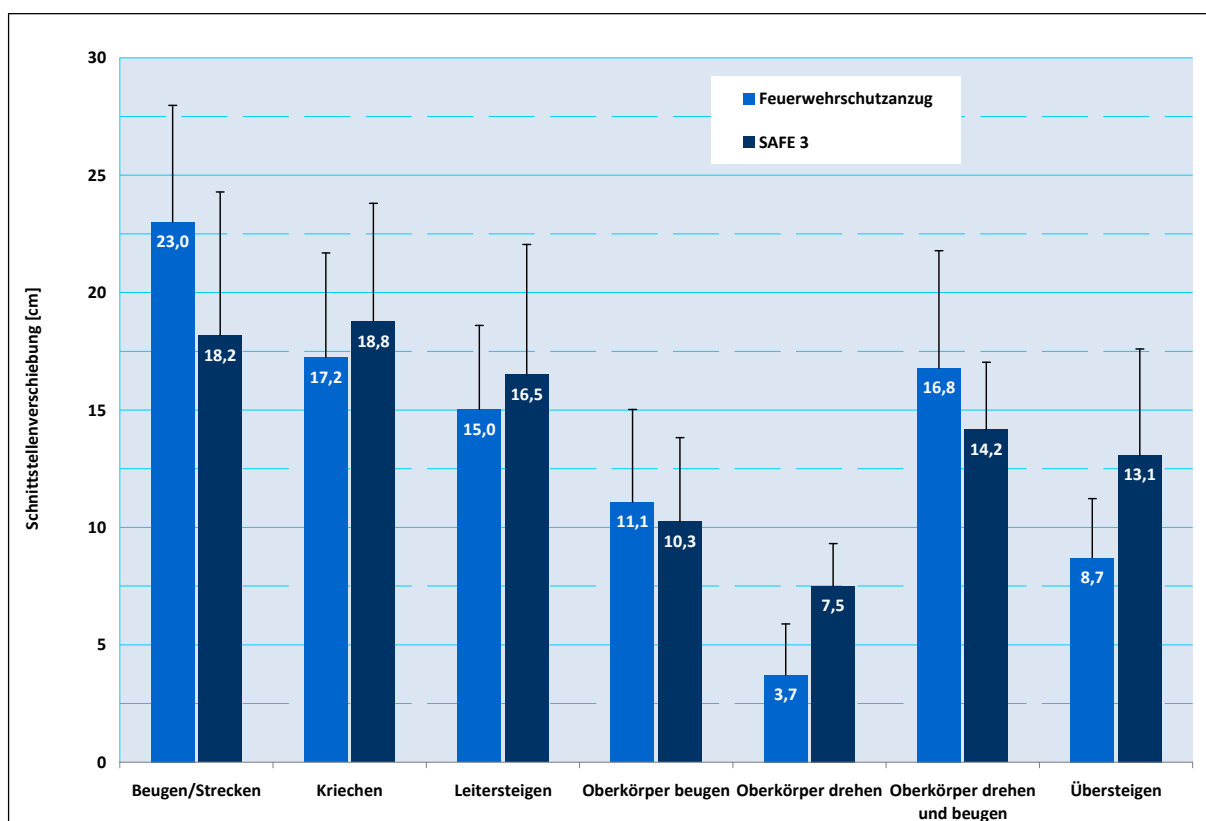
**Abb. 4.15** Mittlere maximale Schnittstellenbewegung über alle Arbeits- und Bewegungsaufgaben

Es wird deutlich, dass im Bereich der Arme die Verschiebung beim ABC-Referenzanzug mit nahezu 11 cm im Mittel deutlich größer ist als bei den unmittelbaren Vergleichsobjekten, aber auch als bei den zweiteiligen Anzügen Feuerwehr und SAFE 3. Am besten schneidet SAFE 1 mit lediglich 5,7 cm ab, gefolgt von den beiden Zweiteilern mit jeweils rund 6 cm. Die Verschiebung bei SAFE 2 beträgt im Mittel maximal 7,5 cm. Von der Schnittstelle Handschuh-Jacke unterscheidet sich die Verschiebung am Übergang von Hose zu Stiefeln in allen fünf Untersuchungsobjekten deutlich. Bis zu 15,8 cm, bei einer relativ großen Standardabweichung von mehr als 10 cm, fallen die Bewegungen am Feuerwehrschutzanzug sehr groß aus. Am besten erweist sich der Beinabschluss im ABC-Schutzanzug der sich weniger als 9 cm im Mittel aus der optimalen Ausgangslage heraus bewegt. Bei den neuartigen

Beinabschlüssen der Prototypen zeigen SAFE 1 und 3 im Gegensatz zu SAFE 2 eine um rund 3 cm größere Verschiebung. Die Standardabweichung liegt jeweils unter 5 cm. Die größten Bewegungen an den Schnittstellen konnten bei den zweiteiligen Anzügen zwischen Jacke und Hose ermittelt werden. Diese liegen bei 25,7 cm beim Feuerwehranzug und bei 23 cm am Prototyp SAFE 3.

#### 4.4.2 Aufgaben und Schnittstellen bezogene Auswertung

Detailauswertungen sind für alle Arbeits- und Bewegungsaufgaben unter Einbeziehung jeder einzelnen Schnittstelle denkbar. Exemplarisch werden im Folgenden zunächst die Anzüge Feuerwehr und SAFE 3 hinsichtlich der Verschiebung an der Schnittstelle Jacke-Hose dargestellt.

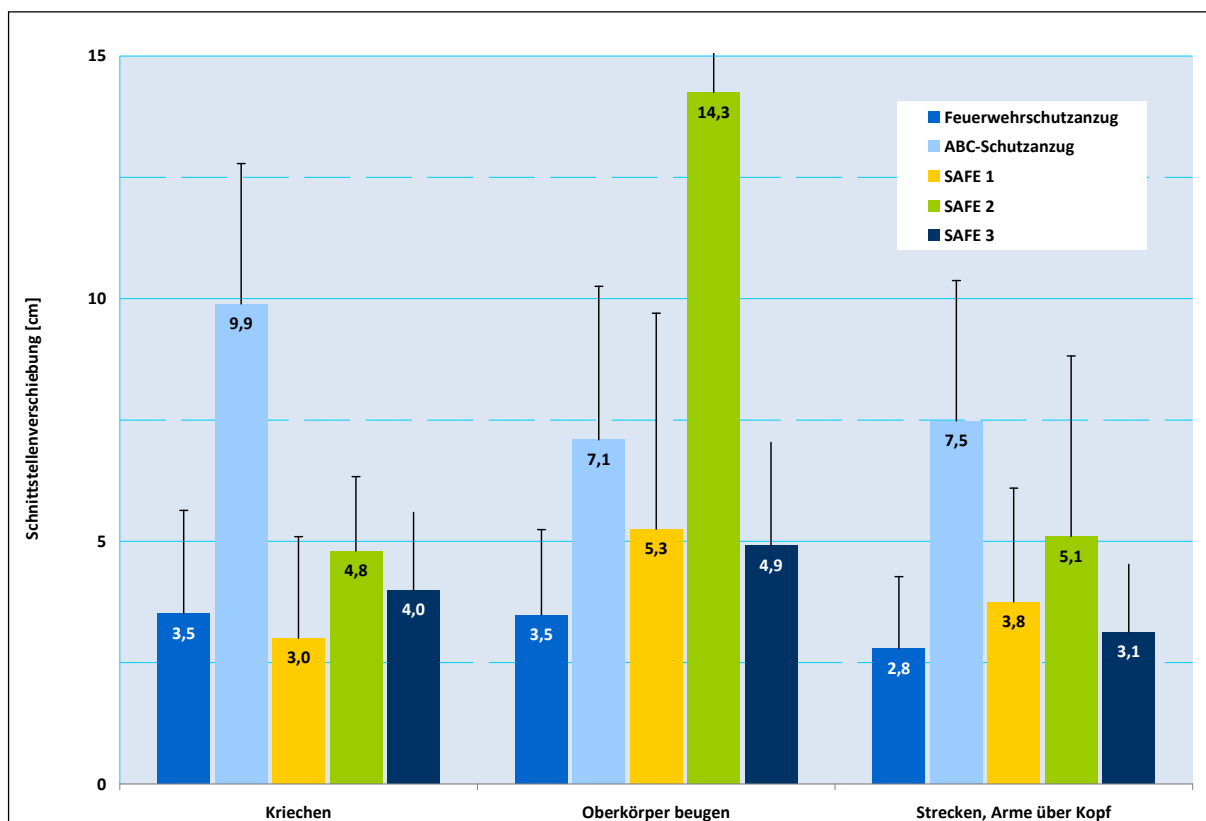


**Abb. 4.16** Mittlere maximale Bewegung für ausgewählte Arbeits- und Bewegungsaufgaben an der Schnittstelle Hose-Jacke

Die ausgewählten Beispiele (Abb. 4.16) zeigen, dass sich die Schnittstellenverschiebung an beiden Anzügen bei Bewegungen nicht gleich verhält. Dennoch sind die Größenordnungen in denen der Jackensaum sich gegenüber der Hose verschiebt ähnlich. Beim „Beugen/Strecken“ (Station 8 im Versuchsparcours) liegt die mittlere maximale Verschiebung beim Feuerwehranzug (25 cm) etwa 5 cm über der des Prototyps SAFE 3. Bei ebenfalls markantem Einsatz des Oberkörpers („Oberkörper beugen“, „Oberkörper drehen und beugen“) zeigen sich geringere Verschiebungen, jedoch im Verhältnis ähnlich, aber günstigeren Verschiebungen als bei SAFE 3. Dies ändert sich dagegen beim „Übersteigen“ (Station 7) und dem ausschließlichen Drehen des Oberkörpers. Hier fallen die Verschiebungen jeweils 4 bis 5 cm geringer zu Gunsten des Feuerwehrschatzanzugs aus. Wird der gesamte Körper in die Bewe-

gung einbezogen, so z. B. beim Kriechen und Leitersteigen, sind deutliche Verschiebungen an den Schnittstellen zu bemerken, die an den Anzügen nur leicht differieren und beim Anzug SAFE 3 etwa 1,5 cm größer ausfallen. Beim Kriechen auf allen Vieren beträgt die Verschiebung 18,8 cm bzw. 16,5 cm beim Leitersteigen.

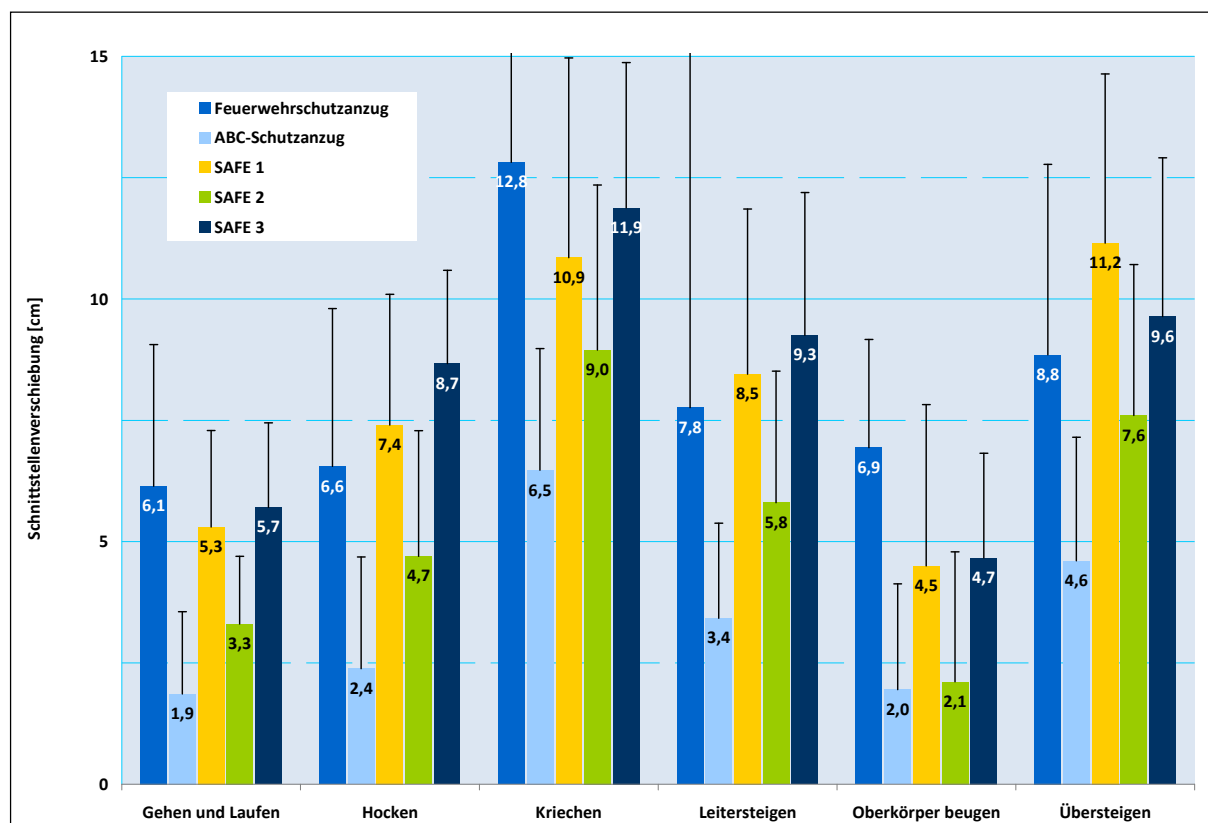
Die Schnittstelle zwischen Handschuhen und Jacke, respektive Ärmel, lässt sich an allen untersuchten Schutzanzugstypen bewerten. Die Auswertung (Abb. 4.17) erfolgt an dieser Stelle exemplarisch für drei Bewegungen bzw. Körperhaltungen mit starker Beteiligung der Arme und des Oberkörpers: Kriechen, Oberkörper beugen und strecken mit beiden Armen über den Kopf.



**Abb. 4.17** Mittlere maximale Bewegung für ausgewählte Arbeits- und Bewegungsaufgaben an der Schnittstelle Handschuhe-Jacke

Beim Kriechen erweist sich der Anschluss von SAFE 1 an die Handschuhe am besten: Die mittlere Verschiebung liegt bei 3 cm. Es folgen der Feuerwehrschutzanzug, SAFE 3 und SAFE 2. Am schlechtesten ist die Schnittstelle beim ABC-Schutzanzug zu bewerten. Im Mittel bewegen sich Handschuhe und Ärmelenden beim Kriechen auf allen Vieren fast 10 cm auseinander. Bei „Oberkörper beugen“ zeigen sich bei allen Prototypen größere Verschiebungen an der hier betrachteten Schnittstelle. Deutlich aus der Reihe fällt SAFE 2, an dem im Mittel Bewegungen von mehr als 14 cm festgestellt werden konnten. Die Verschiebungen an SAFE 1 und SAFE 3 liegen leicht höher als beim Kriechen, aber in etwa in der Größenordnung aller ausgewerteten Bewegungen. Beim Strecken des Oberkörpers und der Arme zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Kriechen auf allen Vieren. Der ABC-Schutzanzug weist jedoch geringe-

re Verschiebungen auf, als beim Kriechen. Die Werte aller Anzüge entsprechen in diesem Fall in etwa dem Mittelwert über alle Arbeits- und Bewegungsaufgaben.



**Abb. 4.18** Mittlere maximale Bewegung für ausgewählte Arbeits- und Bewegungsaufgaben an der Schnittstelle Hose-Stiefel

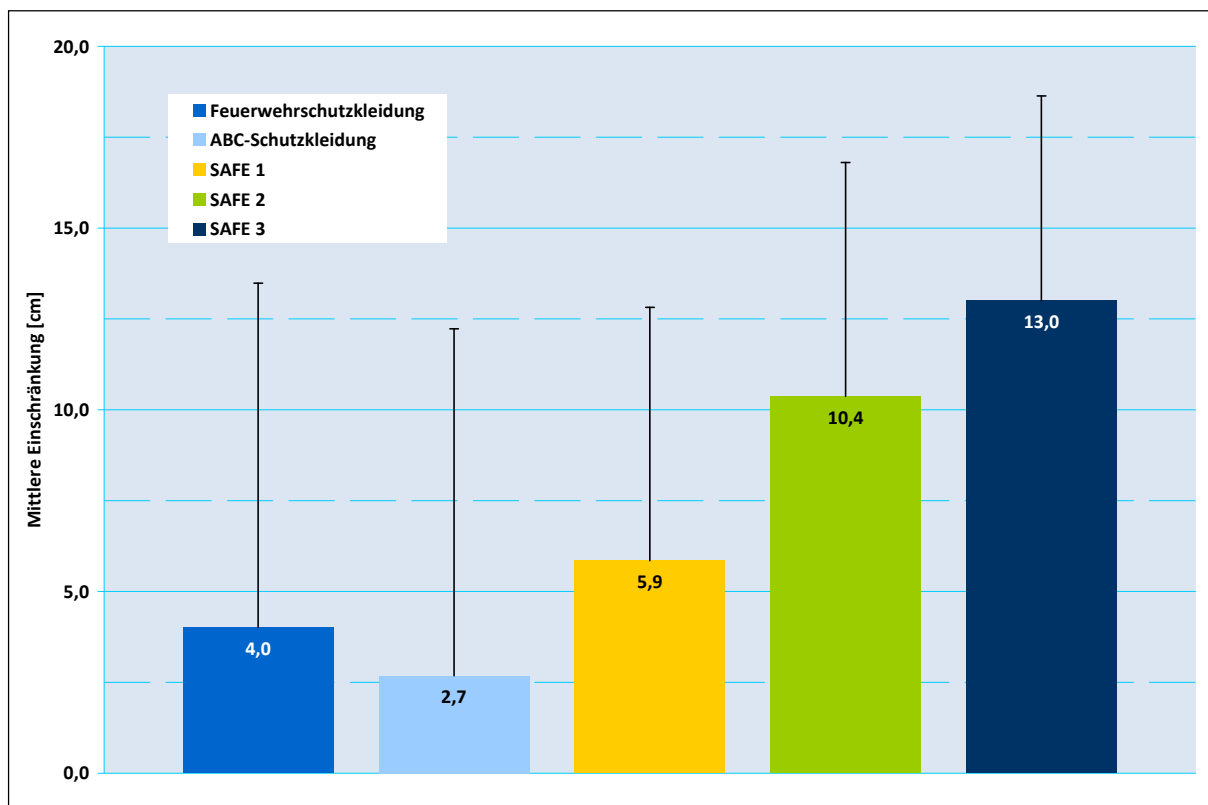
Die Auswertung der Schnittstelle zwischen Hosenbein (Hosensaum) und Stiefeln konnte ebenfalls an allen fünf untersuchten Anzügen erfolgen und wird beispielhaft an den Arbeits- und Bewegungsaufgaben mit „Beteiligung“ der Beine dargestellt. Es wurden die Fortbewegungsarten „Gehen und Laufen“, „Kriechen“ und „Leitersteigen“, die Körperhaltungen „Hocken“ und „Oberkörper beugen“ sowie die spezielle Bewegungsaufgabe „Übersteigen“ ausgewählt (Abb. 4.18). Wie der Mittelwert über alle Aufgaben zeigt, erweist sich die Schnittstelle Hose-Stiefel am ABC-Schutzanzug relativ stabil gegenüber den unterschiedlichen Bewegungen, d. h. geringste Verschiebungen (bis max. 6,5 cm) im Vergleich zu den anderen Untersuchungsobjekten. Ein ähnliches Bild, d. h. besser als SAFE 1 und 3 sowie der Feuerwehranzug, ergibt sich für den Prototyp SAFE 2, der außer beim Beugen des Oberkörpers jeweils rund 2,5 cm größere Verschiebungen als der ABC-Anzug an der Schnittstelle aufweist. Beim „Gehen und Laufen“ weisen Feuerwehranzug, SAFE 1 und 3 Verschiebungen zwischen etwa 5 und 6 cm auf. Am schlechtesten fallen die Bewegungen an der Schnittstelle Hose-Stiefel beim Kriechen aus. Während ABC-Anzug und SAFE 2 noch unter 10 cm im Mittel liegen (6,5 bzw. 9 cm), zeigt sich beim Feuerwehranzug eine mittlere Verschiebung von nahezu 13 cm, SAFE 3 12 cm, SAFE 1 11 cm. Beim Leitersteigen erweist sich die Schnittstelle bei SAFE 3 am schlechtesten (9,3 cm), wohingegen beim Übersteigen (Station 7) an SAFE 1 die größten Verschiebungen an den Hosenbeinen (11,2 cm) zu beobachten waren. Selbst beim Beugen des Oberkörpers liegen bis zu 5 cm zwischen den kleinsten Verschiebungen, d. h. ABC-

Schutzanzug, und den ungünstigsten (6,9 cm) am Feuerwehranzug. Es bietet sich insgesamt ein uneinheitliches Bild, bei dem sich der ABC-Anzug und der Prototyp SAFE 2 in der Regel trotz teils großer Schnittstellenverschiebungen als die günstigsten Konstruktionen erweisen.

#### 4.5 Bewegungseinschränkungen – semiobjektive Kenngrößen

Die Bewegungseinschränkungen konnten für Kopf, Beine und Arme als semiobjektive Kenngrößen ermittelt werden. Für die Bestimmung wurde jeweils ein Delta zwischen leichter Bekleidung und untersuchter Schutzkleidung bestimmt und abschließend ein Mittelwert gebildet. Für „zweiseitig“ gemessene Bewegungen, z. B. Kopfneigung zur rechten und linken Körperseite, wurde ebenfalls das arithmetische Mittel berechnet.

Die Beweglichkeit der Beine wurde an der maximal erreichbaren Kniehöhe (Abb. 4.19) beim Anwinkeln, gemessen an der Oberkante Kniescheibe, ermittelt. Die geringsten Einschränkungen wurden in ABC-Schutzkleidung gemessen. Im Mittel liegen sie bei 2,7 cm. Es folgt die Feuerwehrschutzkleidung mit rund 4 cm. Die drei Prototypen weisen im Vergleich zu den Referenzanzügen größere mittlere Einschränkungen auf, die von rund 6 cm bei SAFE 1 über 10,4 cm bei SAFE 2 bis hin zu 13 cm bei SAFE 3 reichen können. Eine Auswertung der maximalen Einschränkungen zeigt dagegen deutliche Unterschiede. Die Prototypen schneiden besser ab (18,5 bis 23,5 cm) wohingegen Feuerwehrkleidung und ABC-Schutzanzug die Beweglichkeit am Knie bis zu 33 cm einschränken. Die Standardabweichung unterstreicht dies: 9,5 bei den Referenzanzügen und 5,6 bis 6,9 bei den Prototypen.



**Abb. 4.19** Mittlere Einschränkung beim Knieanheben

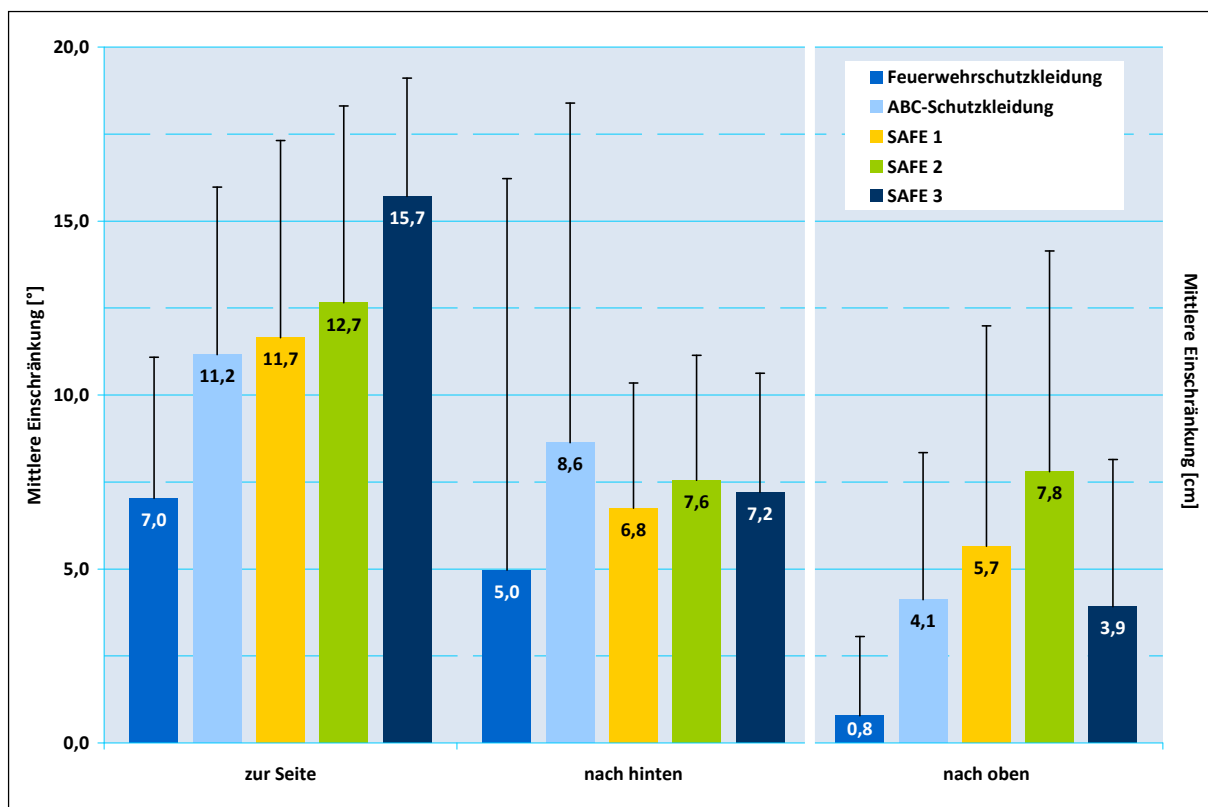
Für die Bewertung der Beweglichkeit der Arme stehen entsprechend der Komplexität des Schulter-Arm-Systems unterschiedliche Kenngrößen zur Verfügung. Die Versuchsdurchführung umfasste unter anderem die Erfassung der Bewegungseinschränkungen an den Ellbogen. Auch hier wurde ein Delta sowie ein Mittelwert für beide Körperseiten errechnet (Tab. 4.9). In der Regel konnten zwischen linkem und rechtem Arm nur geringe Unterschiede festgestellt werden, die auf Messungenauigkeiten zurückzuführen sind. Die maximale Einschränkung, gemittelt über beide Körperseiten, stellt sich bei SAFE 3 ein und beträgt rund  $11,7^\circ$ ; ein ebenfalls knapp über  $11^\circ$  geringerer Beugewinkel konnte bei SAFE 2 ermittelt werden. Die Referenzanzüge Feuerwehr und ABC schränken den Bewegungsumfang des Ellbogengelenkes jeweils um rund  $6^\circ$  ein. SAFE 1 liegt mit  $7,5^\circ$  knapp darüber. Im Maximum treten bei allen Anzügen Einschränkungen mit weniger als  $20^\circ$  (ABC-Schutzanzug  $25,5^\circ$ ) auf. Hier zeigen die Prototypen ein geringfügig besseres Bild, das vermutlich der kleineren Stichprobe geschuldet ist.

**Tab. 4.9** Mittlere Einschränkung und Standardabweichung beim Anwinkeln der Ellbogen

	<b>Feuerwehr- schutzanzug</b>	<b>ABC- Schutzanzug</b>	<b>SAFE 1</b>	<b>SAFE 2</b>	<b>SAFE 3</b>
Einschränkung links [Grad]	6,1	6,4	7,5	13,4	10,2
Einschränkung rechts [Grad]	6,3	6,4	7,5	9,1	13,2
Maximale Einschränkung [Grad]	19,0	25,5	13,0	17,0	17,5
<b>mittlere Einschränkung [Grad]</b>	<b>6,2</b>	<b>6,4</b>	<b>7,5</b>	<b>11,3</b>	<b>11,7</b>
<b>Standardabweichung</b>	<b>5,4</b>	<b>6,2</b>	<b>2,8</b>	<b>3,0</b>	<b>2,5</b>

Als weitere Indikatoren für die Bewegungseinschränkungen des Hand-Arm-Systems, wurden die Reichweiten nach hinten und zur Seite (in Grad) sowie die Reichweite mit beiden Armen nach oben (in cm) ermittelt. Maßgebend für eine Bewertung sind die Differenzen zwischen Ausführung in leichter Bekleidung und in den fünf Prüfobjekten (Abb. 4.20). In allen Fällen erweist sich die Konstruktion des Referenzanzuges Feuerwehr bei Betrachtung der mittleren Einschränkung am günstigsten. Die Reichweite zur Seite ist um lediglich  $7^\circ$  eingeschränkt, wohingegen der Prototyp SAFE 3 im Mittel Einschränkungen von rund  $16^\circ$  verursacht.

Die Anzüge ABC, SAFE 1 und SAFE 2 lassen mehr Bewegungen zur Seite zu ( $11,2^\circ$  bis  $12,7^\circ$ ) und liegen somit zwischen den beiden einteiligen Untersuchungsobjekten (Referenzanzug Feuerwehr und Prototyp SAFE 3). Deutlich geringer fallen die Unterschiede bei den Reichweiten nach hinten aus. Bei allen Anzügen sind im Mittel Einschränkungen von weniger als  $10^\circ$  ermittelt worden. In den Prototypen SAFE 1 bis SAFE 3 ist die Bewegung der Arme nach hinten um etwa  $7^\circ$  weniger möglich. Am günstigsten erweist sich erneut der Feuerwehrschatzanzug, dessen mittlere Einschränkung bei  $5^\circ$  liegt. Der ABC-Schutzanzug mindert die Reichweite um rund  $8,6^\circ$  auf beiden Seiten nach hinten ein. Während die Standardabweichung bei den Prototypen weniger als  $4^\circ$  beträgt, liegt sie beim Feuerwehrschatzanzug bei über  $11^\circ$  und beim ABC-Schutzanzug bei knapp  $10^\circ$ .

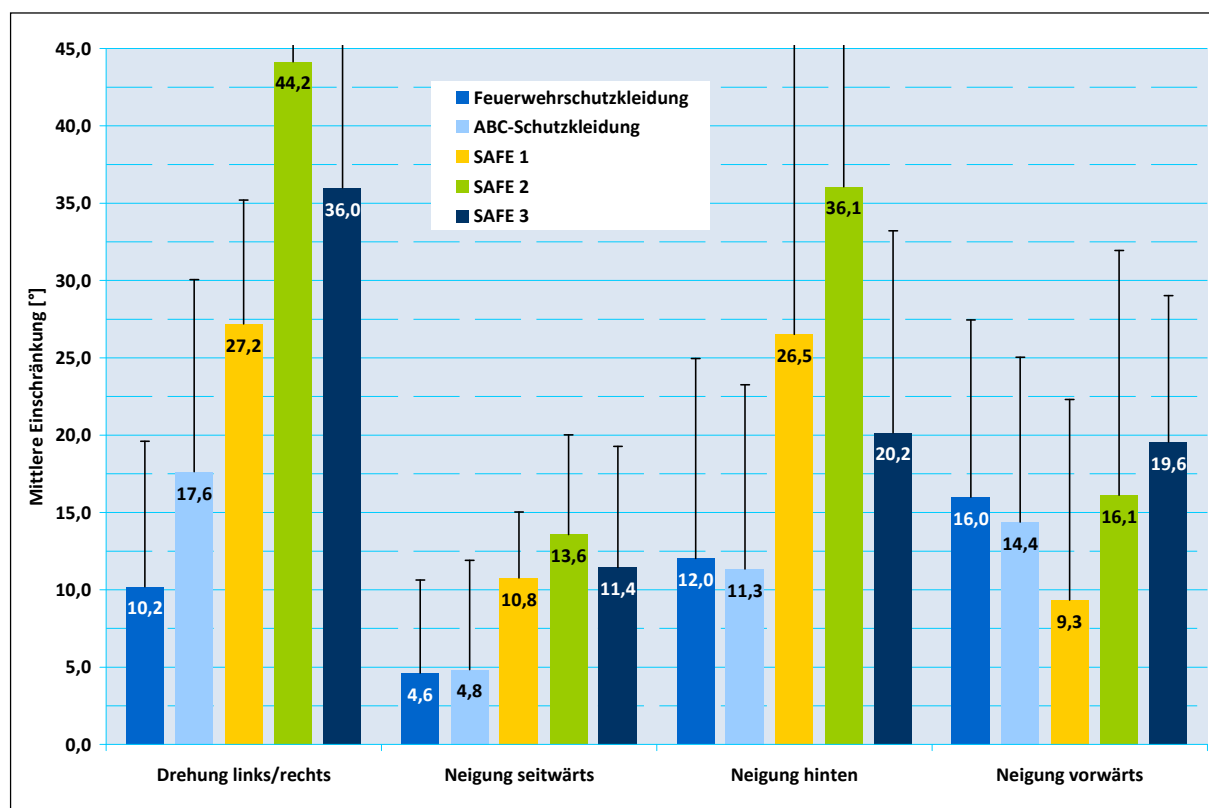


**Abb. 4.20** Mittlere Einschränkungen der Arm-Reichweiten bzw. Arm-Winkel

Von besonderer Bedeutung für die Bewertung der Schutzkleidung ist die Beweglichkeit des Kopfes, die das Umblickgesichtsfeld maßgeblich bestimmt. Das Versuchsdesign umfasste daher die Messung der drei Bewegungsrichtungen des Kopfes ohne angelegten Atemanschluss oder geschlossene Kapuze bzw. Flammenschutzhaube: Drehen nach links und rechts (horizontaler Blickausrichtung), Neigung zur rechten und linken Körperseite (Fixpunkt in Augenhöhe vor dem Körper) sowie die Neigung nach hinten und nach vorne in Richtung Boden. Insgesamt erwiesen sich die Einschränkungen der Kopfbeweglichkeit bei allen untersuchten Objekten unter den zunächst gewählten Bedingungen als relativ gering. Die Drehung und Neigung des Kopfes wird nahezu nicht eingeschränkt. Optimale Bewegungsfreiheit, d. h. nahezu keine Einschränkungen sind beim Feuerwehrschutzanzug festzustellen.

In einer Worst-Case-Betrachtung (Abb. 4.21) kann die Bewertung der Kopfbeweglichkeit mit angelegtem Atemanschluss und Flammenschutzhaube (Feuerwehrazug) bzw. Kapuze (ABC-Anzug, SAFE 1 bis 3) erfolgen. Die Beeinträchtigungen fallen in allen Bewegungsrichtungen und bei allen Untersuchungsobjekten groß aus. Am deutlichsten zeigt sich dies bei der Kopfdrehung sowie bei der Neigung nach hinten. Da beim Referenzanzug Feuerwehr keine feste Verbindung zwischen Anzug und Haube besteht, sind geringere Beeinträchtigungen gemessen worden. Als besonders ungünstig erweisen sich in der Regel die Kapuzenkonstruktionen, allen voran die Prototypen. Sie verringern die Drehung des Kopfes um bis zu 45° (SAFE 3). Ebenfalls schränken sie die Neigung nach hinten ein. Auch hier ist die Einschränkung in SAFE 2 am größten. Für die Neigung des Kopfes nach vorne ist am Anzug SAFE 1 die geringste Einschränkung ermittelt worden. Dies ist der einzige Fall, in dem sich einer der Prototypen besser als die Referenzanzüge erweist. Lediglich Neigungen

des Kopfes zur Seite sind weiterhin relativ gut möglich und im Vergleich zum Versuch ohne Kopfbedeckung „nur“ um den Faktor fünf größer (Kopfdrehung bis Faktor 15).



**Abb. 4.21** Mittlere Einschränkungen der Kopfbewegungen mit Atemschutzmaske

## 4.6 Interpretation

Wie gezeigt, liegen zahlreiche Kennwerte, bestehend aus subjektiven Bewertungen und objektiven Messwerten, vor. Im bisherigen Bewertungsprozess erfolgte zunächst keine Gewichtung einzelner Aspekte. Korrelationen sind bei einzelnen Untersuchungsobjekten kaum festzustellen und der Vergleich aller Anzüge und Datengruppen der Produktbewertung ist nur schwer möglich. Konkrete Kennzahlen, z. B. als Entscheidungshilfe, konnten daher nicht gebildet werden. Die schnelle Ableitung eines Gesamturteils könnte zum jetzigen Zeitpunkt nur eine grobe und möglicherweise verfälschte Vereinfachung der Ergebnisse hervorbringen. Im Folgenden findet sich daher in Anlehnung an bekannte Darstellungen von Produkttestergebnissen, z. B. KWF (2012) oder Stiftung Warentest, eine vereinfachte Zusammenfassung. Ihr liegt kein mathematisches Modell zu Grunde, sie bündelt vielmehr vergleichend und weiterhin deskriptiv die zuvor dargestellten, sehr komplexen Untersuchungsergebnisse. Durch die gewählte Darstellungsform bietet sie jedoch einen guten Überblick über die Bewertungen der Prototypen, insbesondere gegenüber den Referenzanzügen.

Für die Darstellung wurde eine Symbolik gewählt, die stark reduzierend und überblicksartig, tendenziell Verbesserungen „+“ oder Verschlechterungen „-“ bei der Prototypenentwicklung wiedergibt. Sind Prototypen und Referenzanzüge als gleichwertig zu bewerten, werden entsprechende Rubriken mit „o“ gekennzeichnet. Etwaige Ten-



denzen in der Bewertung, z. B. eine leichte Verschlechterung, wird durch Kombination der Symbole „- o“ kenntlich gemacht; eine Verdoppelung zeigt eine Verstärkung der Bewertung an, z. B. entspricht „+ +“ einer deutlichen Verbesserung des Prototypen gegenüber dem jeweiligen Referenzanzug. Es findet somit eine siebenstufige Skala „+ +“ bis „- -“ Verwendung, die hier jedoch nicht weiter validiert wird. Die symbolhafte Darstellung schließt mit einer ebenfalls vergleichenden, jedoch verbalisierten Zusammenfassung.

Die Bewertung der Anzüge im Versuchsparcours zeigt ein heterogenes Bild (Tab. 4.10). Im Vergleich werden SAFE 1 und ABC-Schutzanzug häufig ähnlich bewertet. Dagegen fällt die Bewertung von SAFE 2 deutlich schlechter aus als die des ABC-Anzuges. SAFE 3 wird leicht besser bewertet als der Referenzanzug für den Feuerwehreinsatz. Insgesamt ist festzustellen, dass nur wenige der untersuchten Kategorien von den Probanden positiv bewertet werden. Die schlechten Bewertungen überwiegen bei SAFE 2 und setzen sich zudem deutlich von denen der anderen Prototypen ab. Einzig die Konstruktionen der Taschen und der Polsterungen erhalten positive Nutzerurteile und zeigen Verbesserungen im Vergleich zu den Referenzanzügen.

**Tab. 4.10** Zusammenfassung der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit

	SAFE 1	SAFE 2	SAFE 3
Taschen, Polsterungen	o	+	+
Knie, Verschlusssysteme, Kombination	- o	- o	- o
Probandenurteil	o	- -	+
Vergleich zum Referenzanzug	ausgewogen mit leichten Einschränkungen gegenüber ABC-Schutzanzug	deutliche Einschränkungen gegenüber ABC-Schutzanzug	ausgewogen gegenüber Feuerwehrschutzanzug

Die komplexe Bewertung des Klimas in den Untersuchungsobjekten zeigt, dass sich diese in die weitgehend „offenen“ Systeme (ABC-Schutzanzug, SAFE 1) mit schlechtem klimatischem Befinden in Kälte (Tendenz „kalt“) und die „geschlossenen“ Systeme (Feuerwehranzug, SAFE 3 sowie SAFE 2), d. h. Membran oder sehr dichte Materialschichten, mit tendenziell wärmerem klimatischem Befinden, unterscheiden lassen (Tab. 4.11).

**Tab. 4.11** Zusammenfassung der Bewertung der klimatischen Beanspruchung (heißes Klima)

	SAFE 1	SAFE 2	SAFE 3
Klimatische Beanspruchungen durch Temperatur	+	+	o

	SAFE 1	SAFE 2	SAFE 3
Klimatische Beanspruchungen durch Feuchte	-	-	o +
Klimatisches Befinden	+	++	+
Langzeittrageeigenschaften (25 min)	+	+	o
Vergleich zum Referenzanzug	klimatisch relativ offenes System mit z. T. deutlichem Vorteil gegenüber ABC-Schutzanzug		typische Membrankonstruktion mit geringem Vorteil gegenüber Feuerwehrschutzanzug

Die Ergebnisse der Schnittstellenbeweglichkeit (Tab. 4.12) zeigen ein relativ ausgewogenes Bild. Die Ausgestaltung der Schnittstellen ist im Bereich von Handschuh und Jacke bei allen Anzügen gelungen. Diese Aussage gilt jedoch ausschließlich für die im Vorhaben verwendeten Handschuhe. Die Übergänge Hose zu Stiefel zeigen eine weniger gute Gestaltung. Dagegen kann der Übergang zwischen Hose und Jacke am Anzug SAFE 3 als sehr gut gelungen eingestuft werden.

**Tab. 4.12** Zusammenfassung der Schnittstellenbeweglichkeit

	SAFE 1	SAFE 2	SAFE 3
Handschuhe-Jacke	++	+	o
Hose-Stiefel	--	o	o
Jacke-Hose	nicht relevant	nicht relevant	++
Vergleich zum Referenzanzug	ausgewogen gegenüber ABC-Schutzanzug	leichte Verbesserung gegenüber ABC-Schutzanzug	deutliche Verbesserung gegenüber Feuerwehrschutzanzug

Die Auswertungen der Bewegungseinschränkungen (Tab. 4.13) offenbaren bei den Schutzanzügen SAFE 1 bis 3 im Verhältnis zu den Referenzanzügen sehr deutliche Defizite im Bereich der Kopfbeweglichkeit. Dies gilt insbesondere für die Kopfdrehung. SAFE 1 weist die geringsten Einschränkungen auf. Dagegen führen Schnitt, Materialwahl und Lagenaufbau bei SAFE 2 und auch SAFE 3 zu erheblichen Einschränkungen. Die hier nicht wiedergegebenen Urteile und Eindrücke im Versuch der Probanden bestätigten dies. Es ist festzustellen, dass für alle drei Konstruktionen Optimierungsbedarf besteht.

**Tab. 4.13** Zusammenfassung der Bewegungseinschränkungen

	SAFE 1	SAFE 2	SAFE 3
Kniehöhe	-	-	-
Kopfdrehung	-	--	--
Kopfneigung, Ellbogen	- o	- o	- o
Vergleich zum	mäßig gegenüber	zum Teil deutliche	Einschränkungen ge-

	<b>SAFE 1</b>	<b>SAFE 2</b>	<b>SAFE 3</b>
Referenzanzug	ABC-Schutzanzug	Einschränkungen gegenüber ABC-Schutzanzug	genüber Feuerwehrschutzanzug

Die Datenauswertung bringt zahlreiche Kennwerte hervor, die sich für die Teilbewertung einzelner Eigenschaften des Produktes eignen. Für eine Produktoptimierung oder den überschaubaren Vergleich von Gestaltungsvarianten im Entwicklungsprozess muss ein geeigneter Detaillierungsgrad ausgewählt werden können. Für die schnelle Orientierung unter am Markt verfügbaren Arbeitsmitteln, d. h. als Unterstützung im Beschaffungsprozess, ist insbesondere die umfangreiche Komponentenbewertung weniger geeignet. Eine umfassende, objektivierte Gesamtbewertung der Gebrauchstauglichkeit, unter Berücksichtigung der Bedeutung u. a. für den Nutzungskontext, ist jedoch bisher nicht möglich. Im folgenden Kapitel wird ein Lösungsansatz aufgezeigt.

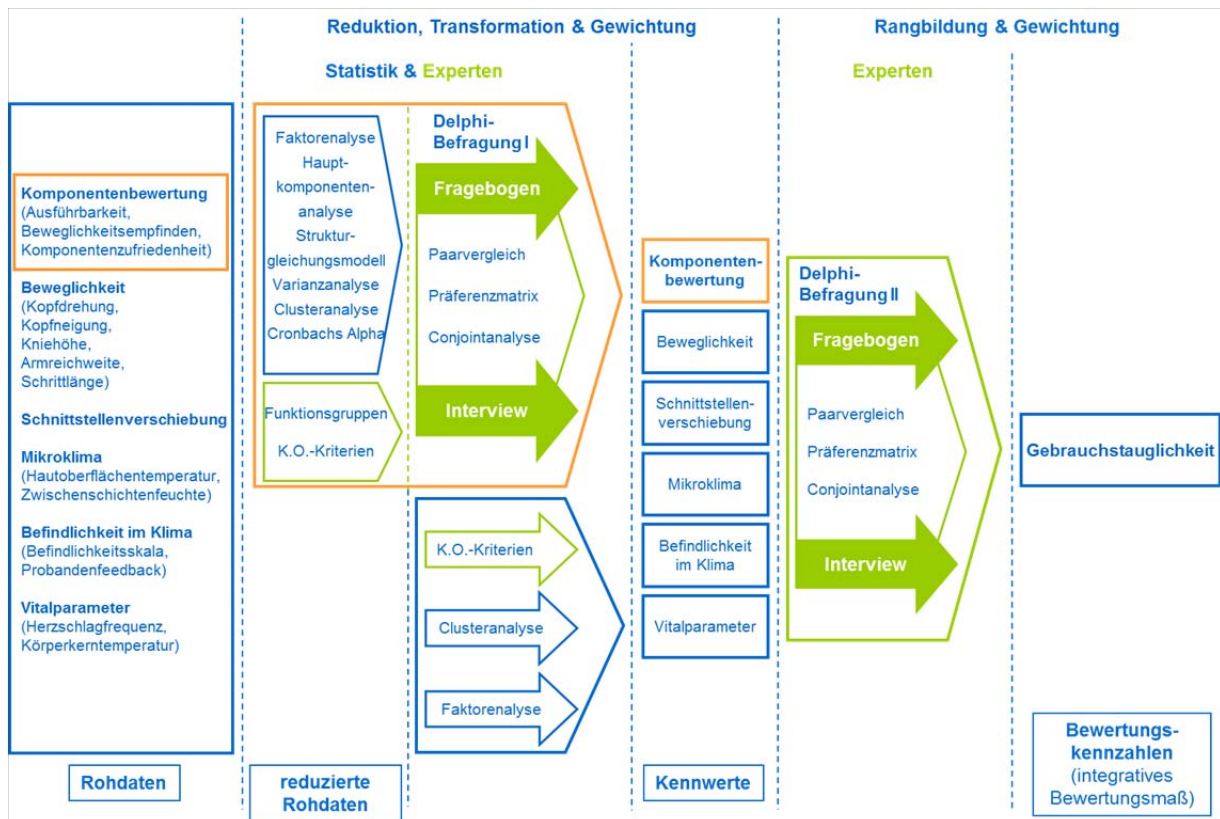
## 5 Entwicklung eines Bewertungsansatzes

Die Vielzahl der Mess- und Bewertungsgrößen lässt sich schwer in Einzelheiten vergleichen und für ein abschließendes Gesamturteil nutzen. HAN (2003) ist dieses Phänomen bekannt, er geht davon aus, dass „the number of design variables could easily go up to hundreds“ (S. 189); die Bewertungsergebnisse für Feuerwehrsutzhkleidung bestätigen diese Feststellung.

Die Bildung übergreifender Kenngrößen ist ohne Kenntnis der praktischen Bedeutung aller Teilbewertungen für den evaluierten Nutzungskontext nicht sinnvoll. Die Wechselwirkungen zwischen Nutzer und Produkt müssen sehr genau betrachtet werden, da sie nutzerabhängig stark variieren. Bisher fehlen genau diese Informationen, so dass eine vereinfachte Produktbewertung nicht möglich ist. Als Entscheidungshilfe bei Beschaffungen sind solche Bewertungen unverzichtbar. In den folgenden Kapiteln wird daher ein derartiger Bewertungsansatz mit geeigneten Kennzahlen für Feuerwehrsutzhkleidung entwickelt und für die ausgewählten Referenzanzüge (größere Stichprobe) hergeleitet.

Es wird angenommen, dass sich die relevanten Faktoren der Gebrauchstauglichkeit einer Feuerwehrsutzhkleidung im Sinne eines Bewertungsansatzes zusammenführen lassen. Für die Entwicklung dieses Bewertungsansatzes und die Kennzahlenbildung sind unterschiedliche Modelle denkbar, die sich entweder überwiegend an einer statistischen Basis oder in der Hauptsache an einer fachlich-thematischen Strukturierung der Daten orientieren, die auf Expertenwissen basieren soll. Ziel ist eine stufenweise Reduktion der Variablenanzahl und damit des Bewertungsaufwandes. Das mehrstufige Verfahren sieht die Bildung von Unter- und Grobkategorien vor, ebenso die Ermittlung kausaler Zusammenhänge, um ein Ranking festlegen zu können oder die Daten anhand von Referenzmaßen zu skalieren, zu normieren oder zu clustern.

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen welches Modell für den Bewertungsansatz und die Kennzahlen gewählt werden kann und wie sich eine grundsätzliche Vorgehensweise zur Modellbildung, Datenreduktion und Faktorenfindung auf Basis der empirischen Studie darstellen kann. Der Lösungsansatz sieht zunächst vor, die Eignung von Einzelergebnissen der empirischen Studie für einzelne Bewertungskennzahlen festzustellen und zu prüfen, ob sich aus der Vielzahl einzelner Bewertungen eine integrative Bewertung generieren lässt. Es ist davon auszugehen, dass eine Gewichtung sowohl übergeordneter Kategorien als auch innerhalb von Unterkategorien vorgenommen werden muss. Dies soll in erster Linie in der Kategorie Komponentenbewertung erfolgen, da diese die Gebrauchstauglichkeit (Effizienz, Effektivität und Zufriedenstellung der Nutzer sowie den Ansatz der Dialogprinzipien) am deutlichsten repräsentiert. Hierzu wären neben allgemeinen Methoden zur Datenstrukturierung auch statistische Methoden auf ihre Anwendbarkeit hin zu überprüfen. Auf dieser Basis werden Gewichtungsfaktoren ermittelt. Das vom Autor erstellte Schema (Abb. 5.1) zeigt das mehrstufige Vorgehensmodell, das im Rahmen dieser Arbeit auf seine Eignung hin untersucht wird. Genannt wird eine Auswahl denkbarer Methoden, die sukzessive eingegrenzt werden soll.



**Abb. 5.1** Modell des Bewertungsansatzes im Entwurf

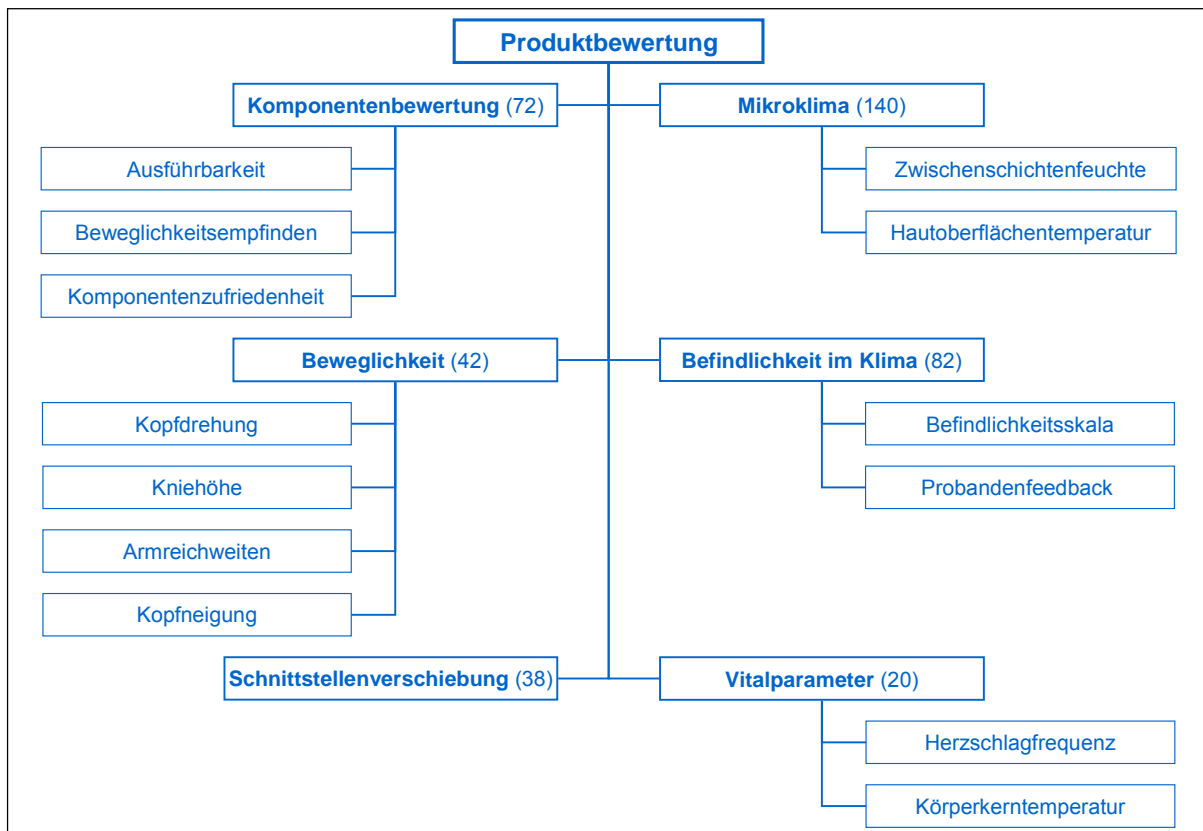
Ausgehend von den vorliegenden Rohdaten – beispielhaft bildet die Komponentenbewertung (orangener Pfad) den Schwerpunkt – sieht die Systematik zunächst vor, die Datenmengen derart zu reduzieren, transformieren und gewichten, dass weitere statistische Methoden (blaue Pfeile) und Expertenbewertungen (grüne Pfeile) durchführbar werden. Bei den genannten Methoden handelt es sich um eine Vorauswahl, deren Eignung und Anwendung im Verlauf nachgewiesen bzw. verworfen wird. Die Daten-Reduzierung soll bis zum Vorliegen von sechs Kennwerten fortgeführt werden, um im Anschluss an die geplante Delphi-Befragung eine Gewichtung vornehmen zu können. Daraus kann abschließend eine integrative Bewertung abgeleitet werden.

## 5.1 Rohdatenreduzierung

Die Reduzierung der Rohdaten bildet die erste Stufe des Bewertungsansatzes und wird unterschiedliche Methoden umfassen, um systematisch aus der Vielzahl der vorliegenden Daten eine handhabbare Zahl von Clustern bzw. neuer Items zu definieren (Abb. 5.2). Präferenzurteile von Experten unterstützen die Validierung und werden herangezogen, um die Inhaltsvalidität der reduzierten Informationen sicherstellen zu können (DZIDA et al., 2001).

Um eine Reduktion der Itemanzahl sowie deren Clusterung für die anschließende Gewichtung vorzunehmen, werden sowohl statistisch vergleichende Methoden als auch Expertenbeurteilungen genutzt. Insbesondere für die durch Experten vorgesehene Rangeinstufung ist aus praktischen Erwägungen (überschaubare Auswahl, zeitlicher Aufwand, vergleichbarere Ergebnisse) eine geringe Anzahl von Clustern sinn-

voll. Wird die Versuchskonzeption betrachtet, lassen sich Cluster identifizieren, die nach den einzelnen Komponenten der Schutzkleidung unterschieden werden, oder die an der Bewertung der Beweglichkeit der Körperteile ausgerichtet werden. Die Datengruppe „Komponentenbewertung“ umfasst Items zu Ausführbarkeit, Tragekomfort und Komponentenzufriedenheit. Wählt man alternativ eine Clusterung anhand der sieben Dialogprinzipien, wie sie PENDZICH (2009) für den Dialog zwischen Nutzer und Schutzkleidung einsetzt (Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit, Lernförderlichkeit), ist festzustellen, dass diese grundsätzlich für die Anforderungsanalyse der Schutzkleidung ausreichend sind. Die Vielzahl der Items ließe sich jedoch nur selten eindeutig zuordnen, so dass bei der späteren Gewichtung größere Unschärfen zu erwarten sind. Des Weiteren sind die Dialogprinzipien überwiegend Theorie getragen und scheinen daher für die praktische Anwendung ungeeignet, insbesondere durch auf dem Gebiet der Gebrauchstauglichkeit weniger erfahrene Personen.



**Abb. 5.2** Datengruppen der Produktbewertung (Variablenanzahl)

Beide Varianten weisen Überschneidungen bei der Clusterbildung auf und verdeutlichen die Problematik, um eine ausgewogene Mischung von theoriegetragenen und anwendungsorientierten Cluster bilden zu können. Im Folgenden wird geklärt, welche Daten der Komponentenbewertung sich für die Clusterung eignen, wie viele Cluster sinnvoll sind und auf welcher methodischen Basis diese vorgenommen werden kann.

### 5.1.1 Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien kommen im Rahmen dieser Untersuchung insbesondere in denjenigen Daten- bzw. Itemgruppen zum Tragen, in denen die empirische Studie keine oder zu wenige Erkenntnisse über die Gebrauchstauglichkeit der Schutzkleidung liefern konnte. Daneben werden Items ausgeschlossen, deren Erhebungsinstrumente sich im Nachhinein als zu unpräzise erwiesen. Um die Homogenität und Allgemeingültigkeit der Zuordnungsstrategien sowie die Übertragbarkeit der Methodik sicherzustellen, wird daher auf die Einbindung bestimmter Items verzichtet.

Dies trifft auf 16 Items der Datengruppe Komponentenbewertung zu, die der systematischen Auswertung des „Lauten Denkens“ während der Versuchsdurchführung im Parcours entstammen. Da sie weder von allen Probanden genannt wurden, noch bei allen untersuchten Schutzkleidungstypen ermittelt werden konnten, werden diese aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. In der Datengruppe Mikroklima werden die zur Überwachung und Sicherung der Probandengesundheit definierten Vitalparameter Herzschlagfrequenz und Körperkerntemperatur von der Integration in den Bewertungsansatz ausgeschlossen.

### 5.1.2 Mathematische Methoden

Im Folgenden wird auf die Reduktion der 54 Items der Komponentenbewertung (Befragung im Versuchsparcours) eingegangen. Zur Auswahl standen zunächst zwei Verfahren der multivariaten Analyse (BACKHAUS et al., 2008), die üblicherweise dazu dienen, in vorhandenen Datensätzen mit mehreren beobachteten auch latente Variablen (Faktoren oder Hauptkomponenten) und neue Strukturen aufzudecken, so dass schließlich vereinfachte Kombinationen von Datengruppen und eine geringere Kategorienanzahl vorliegen. Bei den genannten Verfahren handelt es sich um Hauptkomponenten- und Faktorenanalyse. Ziel dieser Verfahren ist es, zwar die Daten, nicht aber die enthaltenen Informationen zu verringern. Die Ergebnisse der Analysen werden auf Grund der methodischen Nähe beider Verfahren im Folgenden zusammengefasst betrachtet.

Da die Daten intervallskaliert vorliegen, können beide Verfahren zur Anwendung kommen. Dagegen spricht jedoch die Fallzahl, die trotz  $N=50$  im Verhältnis zur Variablenanzahl als zu niedrig anzusehen ist. Beide Verfahren machen darüber hinaus eine homogene Stichprobe erforderlich. Die Korrelationsanalyse zeigte jedoch, dass keine Normalverteilung der Daten vorliegt. Das Signifikanzniveau ist in der Regel sehr viel kleiner als 0,02. Aus diesem Grund ist die Voraussetzung zur Durchführung nicht gegeben. Aus der Versuchsplanung lassen sich einzelne sinnvolle Kategorien bilden, deren Anzahl jedoch von den „Stichworten“ abhängig ist und sich an Begriffen wie Beweglichkeit, Tragekomfort, Schutz, Kompatibilität usw. orientieren können. Um die Zahl dieser Kategorien zu begrenzen und möglicherweise statistische Zusammenhänge aufzudecken, wurde trotz fehlender Grundvoraussetzungen eine Faktorenanalyse bzw. Hauptkomponentenanalyse mit der Vorgabe acht bzw. zehn Faktoren durchgeführt.

Die ermittelten Faktoren sowie die Zuordnung zu den jeweiligen Items, finden sich auszugsweise in Tab. 5.1. Zu erkennen ist, dass aus statistischer Sicht Itemgruppen gebildet werden können (Faktoren 8 und 10), die jedoch in der Regel keine inhaltlich sinnvolle Verbindung aufweisen und zahlreiche, sehr unterschiedliche Komponenten

der Schutzkleidung miteinander in Verbindung bringen. Beispielsweise zeigt die Auswertung des Faktors 1 (bei acht Zielfaktoren), dass Items zur Bewertung von Taschen, Reißverschlüssen oder der Bewegungsfreiheit zusammengefasst werden könnten; insgesamt werden dem Faktor 1 mehr als 30 Items zugewiesen, die einer inhaltlichen Differenzierung widerspricht. Als weiteres Beispiel soll der Faktor 4 betrachtet werden, der lediglich vier Items kombiniert, von denen „Gewicht der Schutzkleidung“ und „Kriechen mit PSA: Bewegungsfreiheit Arme“ durchaus in einem Zusammenhang gesehen werden könnten. Ebenfalls Teil des Faktors wären jedoch die Items „Leitersteigen: Länge der Ärmel“ und „Panikreißverschluss: Bedienung mit Handschuhen“. Während Ärmellänge und Bewegungsfreiheit der Arme konstruktiv auf die Anzugkomponente Ärmel fokussieren, steht das Item Panikreißverschluss weder mit den Ärmeln noch mit dem Gewicht der Schutzkleidung in einem technisch sinnvollen Zusammenhang. Vielmehr ist dessen Bewertung auf die taktilen Eigenschaften der eingesetzten Handschuhe und die Greiffläche des Reißverschlusses zurückzuführen.

**Tab. 5.1** Ergebnisse der statistischen Analysen für die Datengruppe Komponentenbewertung (Item und zugeordnete Faktor- bzw. Clusterkennung)

Item	Faktoren		Cluster		
	8	10	6	8	10
Allgemeine Bewertung der VP: Armbeuge	1	10	1	2	2
Allgemeine Bewertung der VP: Ärmel	3	5	1	2	10
Allgemeine Bewertung der VP: Ellbogen	1	4	1	1	1
Allgemeine Bewertung der VP: Hosenbeine	5	5	1	2	10
Allgemeine Bewertung der VP: Kniekehlen	1	10	1	2	2
Allgemeine Bewertung der VP: Knieschützer	2	3	2	4	5
Allgemeine Bewertung der VP: Kragen	2	3	1	2	2
Allgemeine Bewertung der VP: Schulter	1	1	1	1	1
Allgemeine Bewertung der VP: Taschen	1	8	1	1	1
Allgemeine Bewertung der VP: Verschlusssystem	1	4	4	6	7
Anlegen der Schutzkleidung	1	3	1	2	2
Anpassung an die Körperstatur	3	5	1	2	2
Bedienung: Verstell-/Einstellsysteme	1	2	1	1	1
Bedienung: Reißverschluss	6	7	1	2	2
Bequemlichkeit der Schutzkleidung	1	2	1	2	2
Beweglichkeit im Schritt	1	6	1	2	2
Bewegungsfreiheit an den Knien	1	2	1	3	4
Bewegungsfreiheit: Rücken-/Schulterbereich	1	7	1	1	3
Gewicht der Schutzkleidung	4	9	1	2	2
Kombinierbarkeit von Schutzkleidung und Maske	2	5	1	2	2
Kombinierbarkeit von Schutzkleidung und PA	1	1	1	1	1
Kriechen mit PSA: Bewegungsfreiheit Arme	4	1	1	1	1
Kriechen: Anzahl der Schutzpolster	1	9	1	1	1
Kriechen: Dicke der Schutzpolster	2	3	2	4	5
Kriechen: Gesamter Körperschutz durch Schutzkleidung	1	3	1	1	3
Kriechen: Verteilung der Schutzpolster	1	3	2	4	5
Laufen: Beweglichkeit im Schritt	1	6	1	2	2
Laufen: Länge der Hosenbeine	5	5	1	2	2



Item	Faktoren		Cluster		
	8	10	6	8	10
Leiter mit PSA: Bewegungsfreiheit Ellbogen	1	1	1	1	1
Leitersteigen: Bewegungsfreiheit Ellbogen	1	5	1	2	2
Leitersteigen: Länge der Ärmel	4	1	1	2	2
Leiterübersteigen: Bewegungsfreiheit an den Knien	1	4	1	2	2
Leiterübersteigen: Unterstützung durch Schnitt der Schutzkleidung	1	2	1	1	1
Panikreißverschluss: Bedienung mit Handschuhen	4	4	4	6	7
Panikreißverschluss: Greifen mit Handschuhen	1	9	3	5	6
Passform und Sitz der Schutzkleidung	2	10	1	2	2
Polsterung an den Schultern	1	1	1	1	1
PSA: Druckverteilung im Beckenbereich	8	1	1	2	2
PSA: Druckverteilung im Schulterbereich	1	1	1	1	1
Schauflerarbeit: Zusammenspiel Ober- und Unterbekleidung	7	8	1	2	2
Seitenkriechgang mit PSA: Bewegungsfreiheit in kompletter Schutzkleidung	1	1	1	1	1
Seitenkriechgang: Anpassung an die Körperbewegungen	1	2	1	2	2
Seitenkriechgang: Bewegungsfreiheit des Kopfes	6	9	5	7	8
Seitenkriechgang: Bewegungsfreiheit komplett	1	2	1	2	2
Sitz der Hose	1	2	1	2	2
Strecken mit Gewicht: Bewegungsfreiheit an den Achseln	7	6	1	2	2
Strecken mit Gewicht: Bewegungsfreiheit an den Schultern	3	7	1	2	2
Taschen: Bedienung mit Handschuhen	7	8	1	3	4
Taschen: Bedienung und Anordnung	1	2	1	2	2
Taschen: Transport zusätzlicher Gegenstände	1	7	6	8	9
Tragegefühl an den Schnittstellen	6	9	1	2	2
Tragegefühl in den Kniekehlen	3	4	1	2	2
Übersteigen am Bock: Bewegungsfreiheit an Knien und Oberschenkel	1	7	1	1	3
Übersteigen am Bock: Unterstützung durch Schnitt der Schutzkleidung	2	4	1	1	1

Zusammenfassend ist für beide gewählten Faktorengruppen festzustellen, dass einige wenige sinnvolle Verbindungen einzelner Items aufgedeckt werden konnten. Dennoch ist die überwiegende Anzahl inhaltlich als weitgehend sinnfrei zu bezeichnen und folglich ungeeignet für die Reduktion der Rohdaten. Die Verfahren zeigen weder neue Strukturen auf, noch können sie zu einer sinnvollen Vereinfachung der Datenlage beitragen. Um dennoch Ähnlichkeiten in den Items zu entdecken, wurde alternativ eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt, die als heuristisches Verfahren keine normal verteilten Daten erforderlich macht und sich daher als vorteilhaft gegenüber den bereits angewendeten Verfahren erweisen könnte.

Es wurden Clusteranalysen mit dem Ziel sechs bis zehn Cluster zu bilden durchgeführt. Ein Auszug der Ergebnisse (Clusternummer und zugeordnetes Item) findet sich

ebenfalls in Tab. 5.1. Auch die Auswertung dieser statistischen Analyse zeigt Cluster, in denen wenig sinnvolle Items zusammengeführt werden, die eine Benennung und inhaltliche Interpretation von Kategorien erschwert. Beispielhaft sei Cluster 4 (acht Gruppen) genannt, der vier Items umfasst: „Allgemeine Bewertung der VP: Knie-schützer“, „Kriechen: Dicke der Schutzpolster“, „Kriechen: Verteilung der Schutzpolster“, „Panikreißverschluss: Greifen mit Handschuhen“. Drei der kombinierten Items umschreiben den Bereich Schutzpolster sehr gut. Das vierte Item lässt sich inhaltlich nicht anschließen. Es ist ebenfalls anzumerken, dass weitere stimmige Items zu Schutzpolstern dem Cluster 1 zugeordnet werden sollten. Trotz der geringeren statistischen Anforderungen erwiesen sich auch die Ergebnisse der Clusteranalysen als ungeeignet, um neue Strukturen in den Daten aufzudecken.

### 5.1.3 Card-Sorting

Da die statistischen Methoden insgesamt wenig befriedigende und kaum interpretierbare Ergebnisse zur Datenreduktion beisteuern konnten, kommt alternativ das Card-Sorting zur Anwendung. Hierbei handelt es sich um eine im Bereich der Usability-Untersuchungen bzw. der Softwaregestaltung etablierte empirische Methodik, mit Hilfe derer sich ebenfalls unbekannte Strukturen, vergleichbar den zuvor genannten latenten Variablen, in Datengruppen aufdecken lassen. Ziel dieser Kreativtechnik ist es, mit einfachen Mitteln die Struktur, beispielsweise eines Softwareprogramms, anhand eines mentalen Modells und in Form einer nutzerfreundlichen Systematik und mit sinngebenden Begriffen abzubilden (HARLOFF 2005). Die identifizierten Nutzergruppen werden aufgefordert, entweder mit Begriffen benannte Programmfunktionen frei zu sortieren, d. h. in eine logische Ordnung zu bringen und abschließend Oberbegriffe zu nennen (offenes Sorting), oder Begriffe einer bereits bestehenden Struktur zuzuordnen (geschlossenes Sorting). Sind mehrere Personen an dieser Methodik beteiligt, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Strukturen die tatsächlich beinhalten Informationen korrekt wiedergeben und nur ein geringer Informationsverlust hinzunehmen ist. Die Zahl der erforderlichen Personen variiert je nach Quelle zwischen 15 (NIELSEN, 2004) und mehr als 20 bis 30 Personen (HARLOFF, 2005).

Im Rahmen der hier beabsichtigten Datenreduktion gilt es abweichend von Programmfunktionen, Strukturen in Datensätzen bzw. in einer Vielzahl von Items zur Komponentenbewertung aufzudecken und zur weiteren Bearbeitung zu sortieren und zu benennen. Zwar existiert bereits eine Struktur, die sich jedoch an den abstrakten und auf Seiten der Anwender weniger bekannten Kriterien der Dialogprinzipien orientiert (siehe auch Kapitel 2), z. B. Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Individualisierbarkeit usw.

#### 5.1.3.1 Durchführung, Stichprobe

Das Card-Sorting wurde mit 16 Personen durchgeführt, die in den Bereichen Arbeitsschutz, Produktsicherheit und Gebrauchstauglichkeit tätig sind. Fünf von ihnen verfügen über zum Teil weitreichende Erfahrungen mit Feuerwehrschtzkleidung. Den Probanden wurden 70 Karten vorgelegt, die den begleitenden Fragebogen der Komponentenbewertung gekürzt wiedergeben: Nennung der Arbeits- oder Bewegungsaufgabe mit eingesetzten Hilfsmitteln sowie die zu bewertende Produkteigenschaft. Die Karten wurden unsortiert vorgelegt. Die Probanden wurden aufgefordert ein offenes Sortieren, d. h. ohne Vorgabe von Kategorien, Kategoriengrößen und -anzahl vorzunehmen. Nach erfolgtem Sorting sollten die gebildeten Gruppen benannt wer-

den. Vor dem Versuch wurden alle Personen gleichermaßen in die Durchführung des Versuchsparcours sowie die Ziele des Card-Sortings eingewiesen. Während des zeitlich nicht begrenzten Versuchs bestand die Möglichkeit Fragen zu den Inhalten der Items, nicht jedoch zu möglichen Sortierungen, zu stellen.

Für die Auswertung wurden zu Beginn alle Items den genannten Kategorien zugewiesen und in einer Tabelle gegenübergestellt. Im zweiten Schritt erfolgte ein Vergleich der Kategorien, der wiederum deren Standardisierung und Zusammenfassung zum Ziel hatte, da davon auszugehen ist (war), dass nach unterschiedlichen Modellen sortiert wurde. Mit den so entwickelten Standardkategorien, die die genannten Kategorien der Probanden inhaltlich und begrifflich möglichst genau erfassten, wurde für die weitere Datenreduktion eine endgültige Zuordnung vorgenommen. Ein statistischer Vergleich, Korrelation von Nennungen in einzelnen Standardgruppen, sollte die Entscheidung für Anzahl und Umfang dieser Gruppen stärken. Unterstützt wurde der Prozess durch ein Excel-Tool (MAURER, 2007), das sowohl die Zuordnung als auch die statistische Auswertung des offenen Card-Sorting vereinfacht.

### 5.1.3.2 Ergebnisse

Von den 16 durchgeführten Card-Sortings konnten 15 für eine Auswertung genutzt werden. Ein Proband nahm keine eindeutige Zuordnung der Items vor. Insgesamt ergaben sich aus der Befragung 98 Cluster und zugehörige Benennungen. Bereits nach wenigen Befragungsdurchläufen zeigte das Card-Sorting grundlegende Strukturen, die auf etwa acht Cluster hindeuteten. Dies bestätigt die mittlere Clusteranzahl von zunächst rund 7,5 Clustern je Proband. Im weiteren Verlauf der Versuche traten mehrfach Clusterungen mit weniger Kategorien auf. Zwei detaillierte Sortings mit elf und mehreren eher abstrakten Sortings mit lediglich vier Klassen standen für die weitere Auswertung zur Verfügung. Die mittlere Clusteranzahl lag nach Abschluss der Befragungen bei etwa 6,5 Clustern je Proband. Für die weitere Aufbereitung wurde auf die Sortierungen der Karten verzichtet, die über das Erhebungsinstrument Thinking Aloud generiert wurden und nicht Teil des standardisierten Fragebogens sind (5.1.1). Bei den übrigen Untersuchungsobjekten (ABC-Schutzanzug, SAFE 1 bis 3) führte das Thinking Aloud zudem zu anderen Aussagen und nicht vergleichbaren Ergebnissen. Trotz dieses Widerspruchs waren die Items wegen ihres engen Bezugs zu den Arbeits- und Bewegungsaufgaben Teil des Sortings.

Die Auswertung von Card-Sorting und Befragung zeigte deutlich die unterschiedlichen Lösungsansätze und die Vielfalt möglicher Cluster-Strukturen; Umfang und Abstraktionsgrad der Cluster variierten. Die Gedankengänge, die Vielfalt und die Informationen der einzelnen Zuordnungsstrategien konnten nur in einigen Fällen unmittelbar durch die Benennung der Cluster wiedergegeben werden. Die Kriterien, Strategien und insbesondere die resultierenden Benennungen erwiesen sich partiell als eher abstrakt, beispielsweise „Kritik“ oder „Aktion“ und „Interaktion“. Die gebildeten Cluster orientierten sich aber auch sehr konkret an Körperteilen, Baugruppen oder Begriffen wie „Tragekomfort“ oder „Schutz“. Es fanden sowohl Einzelbegriffe Verwendung, z. B. „Beweglichkeit“, als auch eher umschreibende Benennungen wie „Bewegungsfreiheit im normalen Feuerwehreinsatz“.

Das Thema „Beweglichkeit“ wurde nicht weniger als 12-mal unmittelbar genannt; elf Nennungen entfielen auf „Komfort“ oder „Wohlbefinden“. „Schutz“ wurde in unterschiedlichen Kombinationen oder auch als Einzelbegriff 13-mal genannt. Ebenfalls

häufig wurden Cluster mit den Begriffen „Kombinierbarkeit“ (sieben Nennungen) oder „An-/Ablegen“ und „Bedienung“ – jeweils sechs Nennungen – gewählt. Eine vollständige Übersicht aller Benennungen und der jeweiligen Item-Zuordnung findet sich in Anhang 8. Die Variation der Ergebnisse machte wie zuvor beschrieben einen zweiten Sortier- bzw. Benennungsvorgang erforderlich, in dem Standardkategorien benannt und zugeordnet wurden. Diesen wurden wiederum die Kategorien der Probanden gemäß ihrer Ausgangsitems zugewiesen. Die Qualität der Zuordnung wurde abschließend anhand der „Ladung“ in der jeweiligen Kategorie sichergestellt. Hohe Ladungen (>75%) führten zu eindeutigen Zuordnungen, mittlere Ladungen (25% bis 75%) begünstigten die Zuordnung und machten eine genauere Bewertung anhand der Ausgangsitems notwendig. Niedrige Ladungen (<25%) zeigten an, dass eine Zuordnung zu einem anderen Cluster geeigneter erschien. Die Gruppierung zu den Standardkategorien wurde einmal wiederholt. Beide Durchläufe zeigten eine sehr hohe Übereinstimmung (41 von 54 Items) und nur wenige Divergenzen, die jedoch anhand der Ladungshöhe behoben werden konnten und zu einer „korrigierten Kategorie“ führten (Anhang 9). Einzelheiten zur endgültigen Item-Zuordnung finden sich im folgenden Abschnitt.

### 5.1.3.3 Zusammenfassung

Für die Datenreduktion in der Kategorie „Komponentenbewertung“, die die Basis der durchgeführten Delphi-Studie bildet, lassen sich nach der oben genannten Methodik abschließend fünf Item-Cluster identifizieren und definieren (Tab. 5.2 bis Tab. 5.6). Angegeben sind die jeweiligen Items im Klartext, der Variablenname (enthält anstelle des Untersuchungsobjektes einen Platzhalter) sowie die Zuordnung zu den drei Urteilsstufen der Bewertung: Urteil 1 (Ausführbarkeit), Urteil 2 (Einzelurteile), Urteil 3 (Gesamturteil); siehe hierzu Kapitel Delphi-Befragung.

Die Kategorie An- und Ablegen (Tab. 5.2) umfasst alle Items, die die Ausführbarkeit von Bewegungen und Tätigkeiten beim An- und Ablegen sowie die Bedienbarkeit zugehöriger Komponenten bewerten (z. B. Größenanpassung, Anlegen der Schutzkleidung, Reißverschluss usw.). In der Gruppe Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit (Tab. 5.3) werden Items zusammengefasst, die das subjektive Empfinden der Beweglichkeit bei unterschiedlichen Arbeits- und Bewegungsaufgaben beschreiben (z. B. Bewegungsfreiheit an den Kniekehlen). Die Kategorie Wohlbefinden und Komfort (Tab. 5.4) umfasst Items, mit denen sich Wohlbefinden und Komfort unabhängig von Items der Kategorie Beweglichkeit bewerten lassen (z. B. Tragegefühl). Schutz und Sicherheit (Tab. 5.5) umfasst alle Items, in denen die Probanden Sicherheits- und Schutzeinrichtungen bewerteten (z. B. Schutzpolster, Panikreißverschluss usw.). Items, die das Zusammenspiel, d. h. die Passung von Hilfsmitteln oder weiteren Ausrüstungsgegenständen, mit Komponenten der Schutzkleidung bewerten, werden in der Kategorie Kompatibilität (Tab. 5.6) erfasst (z. B. Kombinierbarkeit mit Maske).

**Tab. 5.2** An- und Ablegen

Item (Label)	Variable	Urteil
1 Bedienung: Verstell-/Einstellsysteme	*_anzieh1	1
3 Bedienung: Reißverschluss	*_anzieh3	1
4 Anlegen der Schutzkleidung	*_anzieh4	1
42 Panikreißverschluss: Greifen mit Handschuhen	*_panik1	1

Item (Label)	Variable	Urteil
43 Panikreißverschluss: Bedienung mit Handschuhen	*_panik2	1
58 Taschen: Bedienung und Anordnung	*_taschen1	1
69 Allgemeine Bewertung der VP: Verschlusssystem	*_vp_system	2
70 Allgemeine Bewertung der VP: Taschen	*_vp_taschen	2

**Tab. 5.3** Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit

Item (Label)	Variable	Urteil
6 Bewegungsfreiheit: Rücken-/Schulterbereich	*_gehen_1	1
7 Übersteigen am Bock: Bewegungsfreiheit an Knien und Oberschenkeln	*_gew_1	1
8 Übersteigen am Bock: Unterstützung durch Schnitt der Schutzkleidung	*_gew_2	1
10 Sitz der Hose	*_hock2	1
12 Strecken mit Gewicht: Bewegungsfreiheit an den Schultern	*_laufen_1	1
13 Strecken mit Gewicht: Bewegungsfreiheit an den Achseln	*_laufen_2	1
15 Bewegungsfreiheit an den Knien	*_PSAkriech	1
39 Laufen: Länge der Hosenbeine	*_PSAleiter	1
40 Laufen: Beweglichkeit im Schritt	*_PSAseite	1
46 Kriechen mit PSA: Bewegungsfreiheit Arme	*_schaufel	1
47 Leiter mit PSA: Bewegungsfreiheit Ellbogen	*_skg1	1
48 Seitenkriechgang mit PSA: Bewegungsfreiheit in kompletter Schutzkleidung	*_skg2	1
49 Schaufelarbeit: Zusammenspiel Ober- und Unterbekleidung	*_skg3	1
50 Seitenkriechgang: Bewegungsfreiheit komplett	*_steig1	1
51 Seitenkriechgang: Anpassung an die Körperbewegungen	*_steig2	1
52 Seitenkriechgang: Bewegungsfreiheit des Kopfes	*_steigue1	1
53 Leitersteigen: Bewegungsfreiheit Ellbogen	*_steigue2	1
54 Leitersteigen: Länge der Ärmel	*_streck	1
55 Leiterübersteigen: Bewegungsfreiheit an den Knien	*_beug	1
56 Leiterübersteigen: Unterstützung durch Schnitt der Schutzkleidung	*_bock1	1
57 Beweglichkeit im Schritt	*_bock2	1

**Tab. 5.4** Wohlbefinden und Komfort

Item (Label)	Variable	Urteil
2 Anpassung an die Körperstatur	*_anzieh2	1
5 Passform und Sitz der Schutzkleidung	*_anzieh5	1
11 Bequemlichkeit der Schutzkleidung	*_gehen_2	1
14 Tragegefühl in den Kniekehlen	*_hock1	1
16 Gewicht der Schutzkleidung	*_kgsk	1

Item (Label)	Variable	Urteil
19 Tragegefühl an den Schnittstellen	*_kombiPA3	1
44 PSA: Druckverteilung im Schulterbereich	*_PSAdruck1	1
45 PSA: Druckverteilung im Beckenbereich	*_PSAdruck2	1
61 Allgemeine Bewertung der VP: Ärmel	*_vp_aermel	2
62 Allgemeine Bewertung der VP: Armbeuge	*_vp_beuge	2
63 Allgemeine Bewertung der VP: Ellbogen	*_vp_ellbogen	2
64 Allgemeine Bewertung der VP: Hosenbeine	*_vp_hbein	2
65 Allgemeine Bewertung der VP: Kniekehlen	*_vp_kehlen	2
66 Allgemeine Bewertung der VP: Kragen	*_vp_kragen	2
68 Allgemeine Bewertung der VP: Schulter	*_vp_schulter	2

**Tab. 5.5** Schutz und Sicherheit

Item (Label)	Variable	Urteil
18 Polsterung an den Schultern	*_kombiPA2	1
35 Kriechen: Anzahl der Schutzpolster	*_kriech1	1
36 Kriechen: Verteilung der Schutzpolster	*_kriech2	1
37 Kriechen: Dicke der Schutzpolster	*_kriech3	1
38 Kriechen: Gesamter Körperschutz durch Schutzkleidung	*_kriech4	1
67 Allgemeine Bewertung der VP: Knieschützer	*_vp_schuetz	2

**Tab. 5.6** Kompatibilität

Item (Label)	Variable	Urteil
17 Kombinierbarkeit von Schutzkleidung und PA	*_kombiPA1	1
41 Kombinierbarkeit von Schutzkleidung und Maske	*_mask	1
59 Taschen: Bedienung mit Handschuhen	*_taschen2	1
60 Taschen: Transport zusätzlicher Gegenstände	*_taschen3	1

#### 5.1.4 Delphi-Befragung

Die grundlegenden, methodischen Anforderungen sowie die Qualität der Daten der Laborversuche (Normalverteilung, Stichprobengröße usw.) lassen eine zuverlässige Anwendung statistischer Verfahren nicht in allen Datengruppen, insbesondere im Bereich der Komponentenbewertung, zu. Die tatsächlichen Nutzungsanforderungen können durch die statistischen Methoden nicht oder nur sehr eingeschränkt wiedergegeben werden. Um dennoch Gewissheit über einzelne Aspekte eines Bewertungsansatzes und mögliche Bewertungskennzahlen zu erhalten, wurde eine Expertenbefragung durchgeführt.

Als besonders geeignet wurde die Methode der Delphi-Befragung (HÄDER, 2007) eingeschätzt, mit deren Hilfe in einem Expertenkreis Konsens zu einem bestimmten Sachverhalt erzielt oder Prognosen über beispielsweise technologische Entwicklungen erhalten werden können. Besonderes an der Methodik ist, dass wiederkehrende Befragungen durchgeführt werden und ab der zweiten Befragungswelle neben den eigentlichen Frage- und Problemstellungen auch Experteneinschätzungen aus vorangegangenen Befragungsrunden zur Meinungsbildung in der Gruppe präsentiert

werden. Nach HÄDER konnte der Delphi-Typ 2 identifiziert werden, der die exakte Bestimmung eines diffusen Sachverhaltes zum Ziel hat. Die Befragung erfordert eine genaue Definition des diffusen Sachverhaltes und des damit verbundenen Befragungsziels sowie den Verzicht auf offene Fragen. Im Rahmen der vorliegenden Zielstellung wurden folglich Expertinnen und Experten hinzugezogen, die mit den Themenfeldern Schutzkleidung, Schutzausrüstung und Arbeitsmittel vertraut sind. Neben Kenntnissen in den vorwiegend grundlagenorientierten Feldern Forschung und Entwicklung, Normung und Regelsetzung sowie Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit wurden Personenkreise befragt, die im Rahmen von Testung und Bewertung aber auch bei Auswahl und Beschaffung von Schutzkleidung über Expertise verfügen; natürlich wurden auch erfahrene Anwender an der Befragung beteiligt. Im Vordergrund standen drei Fragenkomplexe, die für die Entwicklung eines Bewertungsansatzes für Feuerwehrschutzkleidung von Bedeutung sind:

[1] Grundlegender Nutzen bzw. Anwendungsmöglichkeiten eines Bewertungsansatzes, einzelner Bewertungskennzahlen und eines integrativen Bewertungsmaßes

- Bewertung und Beschaffung von Schutzkleidung

[2] Gebrauchstauglichkeit von Schutzkleidung

- Anforderungen des technischen Regelwerkes an die Gebrauchstauglichkeit von Schutzkleidung
- Gestaltung von Nutzertests und Einbindung von Nutzern

[3] Einschätzung der Bedeutung einzelner Kategorien im Rahmen einer Produktbewertung

- Bedeutung von Datengruppen der Produktbewertung (Beweglichkeit, Schnittstellenverschiebung, Komponentenbewertung, Mikroklima, Klimaempfinden)
- Bedeutung einzelner Kategorien der Datengruppe Komponentenbewertung (An- und Ablegen, Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit, Wohlbefinden und Komfort, Schutz und Sicherheit, Kompatibilität)

#### 5.1.4.1 Durchführung

Die Durchführung bzw. Planung der Delphi-Befragung umfasst mehrere Phasen, die im Folgenden erläutert werden. Des Weiteren werden die Stichprobe, respektive die beteiligten Expertenkreise, der Fragenkatalog, sowie die Auswertung beschrieben.

Der postalische Versand von Fragebögen oder die Durchführung von Diskussionsrunden, wie sie bei Delphi-Befragungen möglich sind, wurden aus organisatorischen Gründen nicht in Betracht gezogen. Der Zugang zur Befragung erfolgte ausschließlich über das Internet, ermöglichte eine fortlaufende Beobachtung des Befragungstatus und der Teilnahmeaktivitäten. Für diese Onlinebefragung wurde auf das Portal „SoSci Survey (oFb – der onlineFragebogen)“ zurückgegriffen, das für wissenschaftliche Studien kostenfrei zur Verfügung steht und ausschließlich der Datenerhebung dient. Das Portal ermöglicht die Zusammenstellung der Befragung sowie den personalisierten Versand der Zugangsmöglichkeiten aber auch Nachfassaktionen. Die Übergabe aller erfassten Daten zur weiteren Auswertung an Excel und SPSS, inkl. einer automatisierten Vercodung, sind möglich.

Die Anonymität der Befragungsdaten wurde durch das Befragungstool sichergestellt. Mit einem personalisierten Anschreiben erhielten alle Expertinnen und Experten eine persönliche und zufällig durch das System generierte Kennung, die systembedingt keine Verknüpfung zwischen Kennung und Teilnehmer ermöglicht. Das mehrfache Ausfüllen des Fragebogens wurde unterbunden, unterbrochene Befragungen konnten fortgesetzt und die Teilnahme an mehreren Befragungswellen ermöglicht werden. Die Erstbefragung fand in einem Zeitraum von acht Wochen (Mai bis Juni 2012) statt. Für die zweite Befragungswelle wurden zunächst sechs später acht Wochen ange- setzt (Juli bis August 2012). Die Überwachung des Rücklaufes erfolgte über das be- reits genannte Online-Portal und ermöglichte, zwei bzw. eine Woche vor Befra- gungsende jeweils Nachfassaktionen durchzuführen, um weitere Experten und Antwortverweigerer zu erreichen. Zwischen Ende Juni und Anfang Juli 2012 fand die Auswertung der ersten Befragungswelle statt (s. Abschnitt 0); neben einer Anpas- sung des Fragebogens erfolgte die Aufbereitung der ersten Ergebnisse.

#### 5.1.4.1.1 Fragenkatalog

Zur Vorbereitung der Studie wurden zunächst die Fragestellungen in den oben ge- nannten drei Komplexen spezifiziert, die in acht Fragenblöcke unterteilt wurden. In- halte, Messgrößen und Messniveau werden im Folgenden erörtert. Die vollständigen Fragebögen beider Befragungswellen finden sich in den Anhängen 10 und 11.

Der erste Fragenblock diente der Feststellung der Expertise der Befragten, um in der Folge die Qualität der Befragung zu beurteilen. Die Experten wurden aufgefordert ihre Vertrautheit im Themenfeld Schutzausrüstung bzw. Feuerwehrsutzbekleidung in den sechs Bereichen „Forschung und Entwicklung“, „Ergonomie und Gebrauchstaug- lichkeit“, „Testung und Bewertung“, „Auswahl und Beschaffung“, „Normung und Re- gelsetzung“, „Anwendung und Einsatz“ anhand einer fünfstufigen Ordinalskala (gar nicht vertraut, wenig vertraut, teils – teils, ziemlich vertraut, völlig vertraut) nach ROHRMANN (1978) einzuschätzen. Als zweites Merkmal zur Quantifizierung der Ex- pertise wurde gefragt (Freitextantwort) wie lange sich die Person bereits mit dem Thema Schutzausrüstung bzw. Feuerwehrsutzbekleidung befasst.

Im zweiten Themenkomplex wurden den Experten fünf Aussagen (Anhang 12) zur „Bewertung und Beschaffung“ von Schutzkleidung zur Einschätzung vorgelegt. Ziel dieser Fragestellung ist (war) es, den Bedarf an Entscheidungshilfen für Kleiderwar- te, Technikverantwortliche, Einkäufer usw. für die Bewertung, Auswahl und Beschaf- fung von sicheren, gesundheitsgerechten und gebrauchstauglich gestalteten Ar- beitsmitteln, z. B. Schutzausrüstung und Feuerwehrsutzbekleidung, zu ermitteln. Die wichtigste Aussage, die unmittelbar auf diese Forschungsarbeit Bezug nimmt lautete: „Für die Auswahl von Arbeitsmitteln wird ein einzelnes integratives Bewertungsmaß, d. h. eine Gesamtnote, benötigt.“ Die Befragten sollten mittels fünfteiliger Ordinalska- la (trifft gar nicht zu, trifft kaum zu, teils – teils, trifft ziemlich zu, trifft völlig zu) ange- ben, wie sehr sie den einzelnen Aussagen zustimmen.

Abschnitt 3 des Fragebogens beginnt mit einer Frage zur Vertrautheit mit drei techni- schen Regelwerken (DIN EN 469, Schutzkleidung für die Feuerwehr; BWB-TL 8415- 0283, Technische Beschreibung Overgarment; DIN EN 13921 Persönliche Schutz- ausrüstung – Ergonomische Grundsätze), die im Rahmen der Fallstudie und für den Themenkomplex Gebrauchstauglichkeit von besonderer Bedeutung sind. Auch hier findet die oben bereits genannte fünfstufige Ordinalskala („gar nicht vertraut“ bis „völ-



lig vertraut“) Verwendung. Im zweiten Teil werden die Befragten aufgefordert zwei Aussagen zu den Inhalten der genannten Regelwerke zu werten (fünfteilige Ordinalskala von „trifft gar nicht zu“ bis „trifft völlig zu“ sowie „weiß nicht“). Ziel ist es einzuschätzen, ob aus Sicht von Experten die Themen Gebrauchstauglichkeit und Testung von Schutzkleidung in den einschlägigen Normen ausreichend genau abgebildet werden und diese somit genügend Praxisbezug für die Produktgestaltung und -auswahl bieten.

Die Fragebogenblöcke „Produkteigenschaften“ und „Komponentenbewertung“ haben unmittelbaren Bezug zum Bewertungsansatz und zu einem integrativen Bewertungsmaß und tragen als wesentliche, durch Experten zu klärende Sachverhalte zur weiteren Entwicklung bei. Nach Erläuterungen der relevanten Datengruppen der Produktbewertung bzw. der Produkteigenschaften von Schutzkleidung (Beweglichkeit, Schnittstellenverschiebung, Komponentenbewertung, Mikroklima und Klimaempfinden) und der Unterkategorien der Komponentenbewertung (s. a. Kapitel Datenreduktion: An- und Ablegen, Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit, Wohlbefinden und Komfort, Schutz und Sicherheit, Kompatibilität) sind die Expertinnen und Experten aufgefordert zu quantifizieren, welche Bedeutung sie den Kategorien bei der Bewertung einer Feuerwehrschutzkleidung beimessen. Anhand einer 11-stufigen Skala, beginnend bei „sehr niedrig“ kann die Bedeutung der Items bis „sehr hoch“, ohne weitere Klartext-Abstufungen, angegeben werden. Die gleiche Systematik kommt auch im Bereich „Bewegungseinschränkungen“ zur Anwendung; die befragten Personen bewerten an dieser Stelle die Bedeutung der Beweglichkeit einzelner Körperteile in einer Schutzkleidung. Unterschieden wird, wie in den Probandenversuchen der Studie auch, nach Kopf, Armen, Beinen und Rumpf. Im Anschluss an jede Einstufung folgt eine Bewertung der befragten Personen, wie sicher sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage sind (fünfstufige Ordinalskala: sehr unsicher, unsicher, weder unsicher noch sicher, sicher, sehr sicher). Nach HÄDER (2009) lässt sich auf diese Weise die Qualität der Antworten besser einschätzen.

Ebenfalls mit direktem Bezug zum Bewertungsansatz ist die Frage nach einer Bedeutung einzelner „Beurteilungsstufen“ zu nennen. In der Fallstudie bewerteten die Probanden im Benutzertest und der anschließenden Befragung in drei Stufen die Feuerwehrschutzkleidung und einzelne Anzugkomponenten. Die Delphi-Studie bietet auch für diese Bewertung die Möglichkeit Expertise über eine mögliche Gewichtung einzuholen. Daher wurden die Experten aufgefordert, mittels der oben bereits vorgestellten 11-stufigen Skala die drei Urteile (Beurteilung der Ausführbarkeit, Einzelurteile für Anzugkomponenten, Gesamturteil für den Anzug) in ihrer Bedeutung zu gewichten und anschließend eine Selbstreflektion hinsichtlich der Sicherheit bei der Beantwortung der Frage abzugeben.

Den Abschluss des Onlinefragebogens bilden zwei Fragen zur Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Arbeitsmitteln respektive von Feuerwehrschutzkleidung. Zunächst wurden die Befragten aufgefordert anzugeben, wie wichtig die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Schutzkleidung aus ihrer Sicht ist. Die Beantwortung erfolgte mittels fünfstufiger Ordinalskala (gar nicht, wenig, teils – teils, ziemlich, völlig). In einem zweiten Schritt wurde ein Vergleich zwischen Bewertung von Schutzkleidung und herkömmlichen Arbeitsmitteln vorgenommen (Ordinalskala: deutlich weniger wichtig, weniger wichtig, genauso wichtig, wichtiger, deutlich wichtiger). Mit Hilfe dieser Fragen wird ermittelt, ob mit Unterschieden bei der Bewertung

zu rechnen ist bzw. welchen Stellenwert insbesondere Schutzkleidung bei der Produktbewertung einnimmt.

HÄDER (2009) berichtet von Delphi-Studien, die zwischen einer und vier Befragungsrunden umfassen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Befragungswellen gewählt. Da bereits die erste Befragung (s. Kapitel 5.1.4.2.1 Ergebnisse) deutliche Tendenzen bei der Experteneinschätzung aufwies, schien dies ausreichend für die weitere Bearbeitung der Fragestellung. Für die zweite Befragungswelle wurde jedoch auf Fragen allgemeiner Art, z. B. Inhalte des technischen Regelwerkes oder Gebrauchstauglichkeit, verzichtet, da nur solche Fragen von Belang waren, für die ein Konsens unter den Experten erzielt werden sollte. Um diesen Konsens zu erzielen, ist es in Delphi-Studien üblich (HÄDER, 2009), dass den befragten Personen Ergebnisse der vorangegangenen Befragung präsentiert werden. Der Forderung nach einer Ergebnispräsentation konnte mit der zweiten Befragungswelle grundsätzlich Rechnung getragen werden. Allen Befragten wurden die Fragenkomplexe „Bewertung und Beschaffung“, „Produkteigenschaften“, „Bewegungseinschränkungen“, „Komponentenbewertung“ und „Beurteilungsstufen“ unverändert in der zweiten Welle, jeweils mit den Befragungsergebnissen der ersten Runde, vorgelegt. Die Darstellung erfolgte als Balkendiagramme, in denen der Mittelwert sowie die Standardabweichung angegeben wurden. Auf diese Weise konnte den Befragten sowohl ein allgemeiner Überblick vermittelt werden, um welche Einschätzung sich „die“ Expertenmeinung anordnet und wie weit die Meinungen differieren, ohne durch statistische Details zu beeinflussen und die Diagramme mit Informationen zu überfrachten. Der vollständige Fragebogen der zweiten Befragungswelle findet sich im Anhang 11.

#### 5.1.4.1.2 Pretest

Um möglichst sichere Antworten auf unsichere Sachverhalte zu erhalten, wurde das Befragungskonzept in Pretests evaluiert und daraufhin optimiert. Insgesamt fanden fünfzehn Pretests statt, neun schriftlich und sechs in persönlich-mündlicher Situation. Sowohl das Fragenverständnis, als auch das Fragebogendesign wurden anhand der folgenden Schlüsselfragen (nach HÄDER 2009) bewertet:

- Werden die benutzten Fachtermini von allen Befragten so verstanden, wie die Veranstalter der Befragung dies beabsichtigen?
- Hat der Befragte Probleme mit seiner Aufgabe? Bei Delphi-Studien ist vor allem festzustellen, ob die gestellten Aufgaben überhaupt von den Experten zu lösen sind oder ob beispielsweise die Problematik noch weiter operationalisiert werden muss, bevor sie von den Experten beurteilt werden kann.
- Existieren technische Probleme mit dem Fragebogen?
- Ist der Bogen so verfasst, dass die Experten alle darin enthaltenen Anweisungen, wie beispielsweise die Filterführung, richtig verstehen?
- Sind die Zeitdauer der Befragung und damit die Länge des Fragebogens für die Teilnehmer zumutbar?

Die schriftlichen Pretests fanden unter den realistischen Bedingungen des Onlinefragebogens statt. Die Tester gehörten nur eingeschränkt (d. h. zwei von fünfzehn) zur Auswahl des Expertenkreises, verfügten jedoch über Erfahrungen in Fragebogendesign und in den Bereichen Ergonomie, Arbeitsschutz und Software-Usability. Jede Frage und Fragebogenseite konnte kommentiert werden, Anschlussfragen zum Ver-

ständnis und Optimierungsbedarf konnten über das Onlinetool vermerkt werden. Die persönlich-mündlichen Pretests wurden in Thinking-Aloud-Technik – nach ersten Korrekturmaßnahmen – geführt.

Die identifizierten Probleme und Anmerkungen umfassten z. B. die thematische Hinführung als auch die textliche und grafische Gestaltung der Fragenkomplexe. Die Fragenblöcke erschienen den Testern nicht immer in einer sinnvollen thematischen Reihung und das Verständnis der verwendeten Fachtermini differierte zum Teil. Die präsentierten Antwortmöglichkeiten und die eingesetzten Skalen erwiesen sich sowohl hinsichtlich der eingesetzten Begriffe als auch bezüglich der gewählten Abstufungen nicht ausreichend; die Passung mit der Fragestellung war aus Sicht der Tester nicht immer gegeben. Daraufhin wurden die Fragenformulierungen und die Form der Antwortauswahl vereinheitlicht sowie die Anzahl der eingesetzten Skalenarten reduziert. Die Beschreibung insbesondere der Instruktionen und Zielsetzungen der Fragenkomplexe konnte detailliert werden und gleichzeitig die Themenkomplexe, mit Hinleitung zu Details des Bewertungsansatzes und eines Bewertungsmaßes, neu angeordnet werden: Einstiegsfrage zur Expertise – Grundlagen Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit – Bewertungsmaß allgemein und im Detail – Abschlussfrage. Die verwendeten Fachtermini wurden besser auf den Expertenkreis abgestimmt und die im Rahmen der Datenreduktion erarbeiteten Begriffe für die Befragung prägnanter definiert. Der Umfang des Fragebogens wurde auf neun Seiten mit zwei bis drei Kernfragen je Seite reduziert, um den Zeitaufwand für die Teilnahme der Experten für zwei geplante Befragungswellen zu minimieren. Die Gestaltung wurde vereinheitlicht. Die vollständigen Fragebögen, die zugehörigen Variablen einschließlich ihrer Vercodung finden sich im Anhang 12.

#### 5.1.4.1.3 Stichprobe

Um eine ausreichende Rücklaufquote zu erzielen wurden 107 Experten für die Befragung ausgewählt. Der Expertenkreis setzte sich aus mehreren Gruppen zusammen, von denen erwartet wurde, dass sie auf Grund ihres fachlichen Hintergrundes zu den oben beschriebenen Fragestellungen qualifiziert Stellung beziehen können. Die Gruppen umfassten daher Beschaffer, Entwickler und Anwender von Feuerweherschutzbekleidung, Kenner des Nutzungskontextes sowie Kenner der Gesetzgebung und Experten für Produktergonomie und Gebrauchstauglichkeit im Allgemeinen und hinsichtlich persönlicher Schutzausrüstung. Rund 30 % der Befragten sind ausschließlich der Gruppe der Anwender zuzuordnen, ein Viertel ist mit Fragen von Forschung und Entwicklung betraut. Jeweils 10 % sind Experten aus dem Bereich der Herstellung von Schutzkleidung bzw. Mitarbeiter der gesetzlichen Unfallversicherungsträger mit Bezug zu Feuerweherschutzbekleidung. 14 % der Experten wurden auf Grund ihrer Expertise in den Bereichen Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit ausgewählt. Die weiteren Befragten (ca. 20 %) sind ebenfalls mit Schutzkleidung, meist mit Auswahl und Beschaffung befasst. Diese Zuordnung bietet lediglich einen Überblick über die Stichprobenszusammensetzung, da eine Vielzahl der Personen mehrere Rollen (z. B. Aufgaben in der Gesetzgebung, Anwendung, Auswahl usw.) einnehmen. Die Stichprobe zeichnet sich besonders durch ihren großen Anteil an Experten mit Praxisbezug aus. Eine detaillierte Stichprobenszusammensetzung auf Basis der Selbsteinschätzung aller Expertinnen und Experten findet sich im Abschnitt 5.1.4.2.2.7 der Ergebnisdarstellung.

### 5.1.4.2 Ergebnisse

Es konnten insgesamt zwei Befragungswellen durchgeführt werden, in denen je 107 Expertinnen und Experten um Teilnahme gebeten wurden. Teilergebnisse der ersten Befragung flossen als Feedback in den zweiten Befragungsdurchlauf ein, andere sind ausschließlich Teil der ersten Befragungsrunde. Eine umfangreiche Fehlerbereinigung erfolgt auf Grund der logischen Kontrollen in allen Fragen bereits durch das oFb-Tool während der Eingabe des Fragebogens. Darüber hinaus wurde auf offene Fragestellungen verzichtet, so dass keinerlei Korrekturen an den Datensätzen vorgenommen werden mussten. Fehlende Werte wurden unmittelbar bei Datenübergabe an SPSS auch als solche für die automatisierte Auswertung kenntlich gemacht.

Nach HÄDER (2009) bestehen unterschiedliche Strategien zur Auswertung von Delphi-Studien zur Wahl. Insbesondere stellt er die Frage, ob und in welcher Form eine Gewichtung der vorliegenden Daten anhand der Selbstreflexion und Einschätzung der Expertinnen und Experten in den Themenschwerpunkten einfließen sollte. Er beschreibt ausführlich die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten und das Dilemma, denn diejenigen Kriterien, die zu einer Datenfilterung herangezogen werden könnten, beruhen ebenfalls auf den Selbstreflexionen der Befragten. Anstelle einer höheren Gewichtung kompetenterer Experten werden daher teils nur die Einschätzungen derjenigen Personen gesondert wiedergegeben, die sich in ihren Urteilen sicherer waren als andere. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus beiden Wellen vorgestellt.

#### 5.1.4.2.1 Erste Befragungswelle

Die Rücklaufquote erwies sich mit 80 abgeschlossenen Befragungen (75 % aller Angefragten) in der ersten Welle als sehr gut. Die Quoten der Expertengruppen entsprechen in etwa derjenigen der Ausgangsbasis (Tab. 2.1). Die Struktur konnte ohne weitere Expertenrekrutierungen erhalten werden. Die Anwender erwiesen sich als teilnahmestärkste Gruppe. Auswertungen liegen sowohl in einer vereinfachten Darstellungsform – Feedback-Darstellung mit Mittelwerten und Standardabweichungen – im Fragebogen, als auch als detaillierte Diagramme mit Aufschlüsselung der Ergebnisse für alle Skalenwerte vor. Im Detail werden die exklusiven Ergebnisse dieser Befragungsrunde diskutiert. Die in der zweiten Welle noch zu schärfenden Fragen werden anhand der Feedback-Darstellung erörtert.

**Tab. 5.7** Zusammensetzung der Grundgesamtheit und der Befragungswellen

<b>Expertengruppe</b>	<b>Grundgesamtheit</b>	<b>1. Welle</b>	<b>2. Welle</b>
Anwender	29 %	30 %	33 %
Forscher und Entwickler	24 %	21 %	17 %
Hersteller	10 %	11 %	12 %
Ergonom	14 %	16 %	17 %
Beschaffer	13 %	13 %	9 %
Unfallversicherer	10 %	9 %	12 %
<b>Personen</b>	<b>108</b>	<b>80</b>	<b>72</b>

### 5.1.4.2.1.1 Expertise

[KA05] „Wie vertraut sind Sie mit Fragen aus den folgenden Arbeitsbereichen der Themenfelder Schutzausrüstung bzw. Feuerwehrsutzbekleidung?“

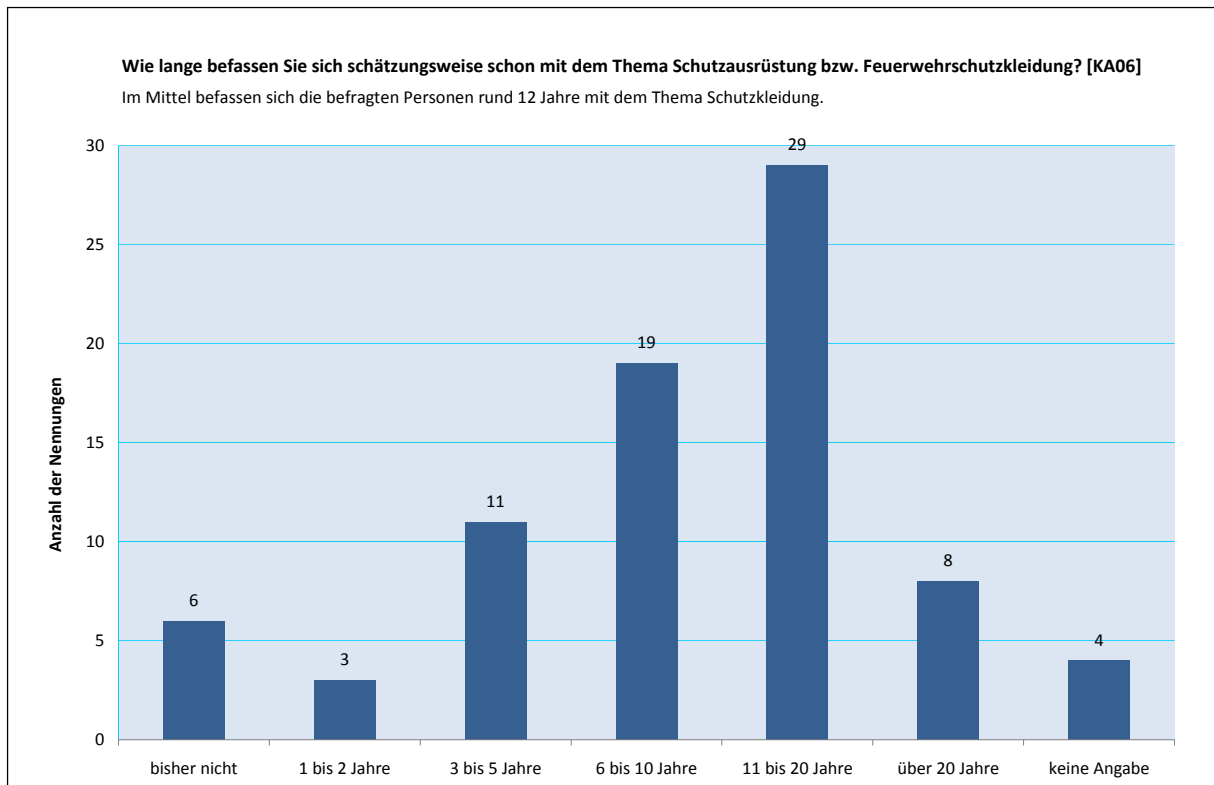
Die Ableitung einer genaueren Stichprobenszusammensetzung kann aus Frage KA05 erfolgen. Werden die Bereiche „ziemlich“ und „völlig vertraut“ als Gütekriterien für eine sichere Expertise der antwortenden Expertinnen und Experten zusammengefasst, so ergibt sich für die Arbeitsbereiche das folgende Bild (Tab. 5.8). Mit den für die Produktbewertung wichtigen Bereichen „Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit“, „Testung und Bewertung“ sind jeweils rund 60 % der Befragten vertraut. Die Vertrautheit im Bereich „Anwendung und Einsatz“ liegt bei über 70 % und spiegelt – wie schon die Auswahl der Grundgesamtheit – den hohen Anteil Praxis erfahrener Experten wieder. Bestätigt wird dies durch die geringe Vertrautheit (31 %) in den Bereichen Forschung und Entwicklung. Die weitere Datenauswertung zeigt, dass diejenigen Personen, die sich als sehr vertraut mit dem Bereich „Anwendung und Einsatz“ bezeichnen, ebenfalls über eine große Expertise in „Testung und Bewertung“ und „Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit“ verfügen (34 Nennungen). Im Wissensgebiet „Auswahl und Beschaffung“ zeichnet sich eine ausgewogene Durchmischung von Experten und weniger erfahrenen Personen ab. Insgesamt gaben 5 der 80 Experten an, mit keinem der genannten sechs Arbeitsbereiche, auch nicht zum Teil, vertraut zu sein.

**Tab. 5.8** Vertrautheit der Expertinnen und Experten mit Arbeitsbereichen

Arbeitsbereiche	„gar nicht vertraut“ bis „teils – teils“	„ziemlich vertraut“ bis „völlig vertraut“
Forschung und Entwicklung	69 %	31 %
Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit	39 %	61 %
Anwendung und Einsatz	29 %	71 %
Testung und Bewertung	41 %	59 %
Auswahl und Beschaffung	51 %	49 %
Normung und Regelsetzung	55 %	45 %

[KA06] „Wie lange befassen Sie sich schätzungsweise schon mit dem Thema Schutzausrüstung bzw. Feuerwehrsutzbekleidung?“

Mit der zweiten Frage im Block „Expertise“ lässt sich die Erfahrung der Experten anhand der Zeitspanne, in der sie sich mit dem Thema befassen, quantifizieren; eine detaillierte Aufschlüsselung in die zuvor genannten Arbeitsbereiche erfolgte jedoch nicht (Abb. 5.3).



**Abb. 5.3** Zeitchuster zur Erfahrung der Expertinnen und Experten

Im Mittel gaben die Experten an, sich 12 Jahre mit dem Thema Schutzausrüstung bzw. Feuerwehrsutzbekleidung zu befassen: Nahezu die Hälfte der Befragten geben zehn oder mehr Jahre an. Sechs der 80 antwortenden Experten der ersten Befragungswelle haben bisher keine spezielle Erfahrung mit Schutzkleidung, vier Befragte machten keine Angabe. Für eine vereinfachte Auswertung wurden aus 22 Jahresnennungen (0 bis 35 Jahre) sieben Cluster gebildet: „Keine Erfahrung“, „1 bis 2 Jahre“, „3 bis 5 Jahre“, „6 bis 10 Jahre“, „11 bis 20 Jahre“ und „über 20 Jahre“.

#### 5.1.4.2.1.2 Bewertung und Beschaffung

[IB10] „Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?“

- A. Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Arbeitsmitteln werden wissenschaftlich fundierte Testmethoden benötigt.
- B. Für den Auswahl- und Beschaffungsprozess von Arbeitsmitteln werden praxisnahe, einfach zu handhabende Benutzertests benötigt.
- C. Benutzertests werden zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger durchgeführt.
- D. Für die Auswahl von Arbeitsmitteln wird ein einzelnes integratives Bewertungsmaß, d. h. eine Gesamtnote, benötigt.
- E. Ein integratives Bewertungsmaß, d. h. eine Gesamtnote, wird zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger ermittelt.“

In der ersten Befragungswelle nahmen 80 Experten die Bewertung (Tab. 5.9) der sechs oben genannten Aussagen zur Produktbewertung, -testung und eines möglichen Bewertungsmaßes vor. Sehr deutlich ist die Zustimmung zu den Aussagen A und B: Rund 78 % der Befragten geben an, dass es zutrifft, dass wissenschaftliche fundierte Testmethoden für die Produktbewertung benötigt werden. 90 % der Expertinnen und Experten stimmen Aussage B zu, dass ein Auswahlprozess für Arbeitsmittel praxisnahe Benutzertests erforderlich macht. Zwei Drittel aller Befragten sind der Meinung, dass Benutzertests zukünftig auch ein Hilfsmittel für Entscheidungsträger vor Ort sein werden. Nur etwas mehr als ein Drittel der Experten stimmen zu, dass ein einzelnes integratives Bewertungsmaß für die Auswahl von Arbeitsmittel benötigt wird. Mehr Zustimmung erhält die fünfte Aussage: Nahezu die Hälfte der Befragten glaubt, dass auch Entscheidungsträger zukünftig vor Ort ein derartiges Bewertungsmaß ermitteln werden.

**Tab. 5.9** Einschätzung hinsichtlich Produktbewertung und Bewertungsmaß

	Nennungen je Aussage				
	A	B	C	D	E
trifft gar nicht zu (1)	1,3 %	0,0 %	2,5 %	6,3 %	10,0 %
trifft kaum zu (2)	3,8 %	1,3 %	5,0 %	20,0 %	13,8 %
teils – teils (3)	17,5 %	8,8 %	26,3 %	<b>37,5 %</b>	<b>28,8 %</b>
trifft ziemlich zu (4)	<b>46,3 %</b>	40,0 %	23,8 %	25,0 %	<b>28,8 %</b>
trifft völlig zu (5)	31,3 %	<b>50,0 %</b>	<b>42,5 %</b>	11,3 %	18,8 %
<b>Mittelwert</b>	4,03	4,39	3,99	3,15	3,33
<b>Standardabweichung</b>	0,871	0,703	1,061	1,069	1,220

Im Mittel treffen nach Einschätzung der Expertinnen und Experten die Aussagen A, B und C ziemlich zu. Aussage B (praxisnahe Benutzertests) erfährt mehr Zustimmung, bei gleichzeitig geringstem Dissens (Standardabweichung = 0,703). Die Thesen D und E treffen nur teils – teils zu. Gleichzeitig herrscht unter den Experten weniger Einigkeit (Standardabweichung bis 1,22).

#### 5.1.4.2.1.3 Regelwerke

Die folgenden Fragen greifen Inhalte des technischen Regelwerkes für Schutzkleidung auf.

[IB07] „Wie sehr sind Sie mit den folgenden Normen und Regelwerken vertraut?“

- DIN EN 469 - Schutzkleidung für die Feuerwehr
- BWB-TL 8415-0283 - Technische Beschreibung Overgarment
- DIN EN 13921 - Persönliche Schutzausrüstung, Ergonomische Grundsätze“

Zunächst (Frage [IB07]) wurden die Experten gebeten anzugeben, wie vertraut sie mit drei technischen Regeln sind, die insbesondere im Rahmen der Fallstudie eine

besondere Rolle spielten. Die Delphi-Studie zeigt, dass die Hälfte der Befragten mit der Norm DIN EN 469 vertraut ist. Die geringste Vertrautheit (16,3 %) besteht mit BWB-TL 8415-0283. Mit der übergeordneten Norm DIN EN 13921 ist lediglich ein Viertel der Experten vertraut.

**Tab. 5.10** Vertrautheit der Expertinnen mit dem technischen Regelwerk

	<b>DIN EN 469 - Schutzklei- dung für die Feuerwehr</b>	<b>BWB-TL 8415- 0283 - Techni- sche Be- schreibung Overgarment</b>	<b>DIN EN 13921 - Persönliche Schutzausrüs- tung Ergono- mische Grundsätze</b>
gar nicht vertraut (1)	10,0 %	<b>41,3 %</b>	21,3 %
wenig vertraut (2)	13,8 %	32,5 %	<b>28,8 %</b>
teils – teils (3)	26,3 %	10,0 %	25,0 %
ziemlich vertraut (4)	<b>35,0 %</b>	11,3 %	21,3 %
völlig vertraut (5)	15,0 %	5,0 %	3,8 %
<b>Mittelwert</b>	3,31	2,06	2,58
<b>Standardabweichung</b>	3,50	2,00	2,50

Vor dem Hintergrund der Expertenkenntnisse bzgl. des technischen Regelwerkes sind die Ergebnisse (Tab. 5.11) zur vertiefenden Frage [IB08] mit entsprechender Vorsicht zu bewerten. Dennoch ist festzustellen, dass die befragten Personen zu jeweils etwa einem Drittel der Meinung sind, dass Anforderungen an Gebrauchstauglichkeit und Methoden für dessen Testung in den einschlägigen Normen für Schutzkleidung nicht ausreichend spezifiziert sind.

[IB08] „Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?“

- A. Anforderungen an Gebrauchstauglichkeit von Schutzkleidung sind in den o.g. Normen, z. B. DIN EN 469, ausreichend spezifiziert.
- B. Methoden zur Testung der Gebrauchstauglichkeit von Schutzkleidung sind in den o. g. Normen, z. B. DIN EN 469, ausreichend spezifiziert.“

**Tab. 5.11** Einschätzung des Regelwerkes hinsichtlich Anforderungen an Gebrauchstauglichkeit und Testmethoden

	<b>Nennungen je Aussage</b>	
	<b>A</b>	<b>B</b>
trifft gar nicht zu (1)	1,3 %	5,0 %
trifft kaum zu (2)	27,5 %	<b>28,8 %</b>
teils – teils (3)	<b>31,3 %</b>	<b>28,8 %</b>



	Nennungen je Aussage	
	A	B
trifft ziemlich zu (4)	12,5 %	8,8 %
trifft völlig zu (5)	2,5 %	1,3 %
<b>Mittelwert</b>	2,83	2,62
<b>Standardabweichung</b>	0,847	0,855

#### 5.1.4.2.1.4 Produkteigenschaften

In der Versuchsplanung wurden bereits Kategorien zur Beschreibung und Bewertung von Feuerwehrsutzhkleidung eingeführt. Unklar waren bisher die Bedeutung dieser Produkteigenschaften, bzw. der zugehörigen Datengruppen der Produktbewertung und deren Anteil an einem Bewertungsansatz respektive einem integrativen Bewertungsmaß. Die Expertinnen und Experten der Delphi-Studie wurden daher aufgefordert, die Bedeutung charakteristischer Eigenschaften zu bewerten (Frage RH04). Abb. 5.4 zeigt die mittleren Bewertungen sowie die zugehörigen Standardabweichungen.

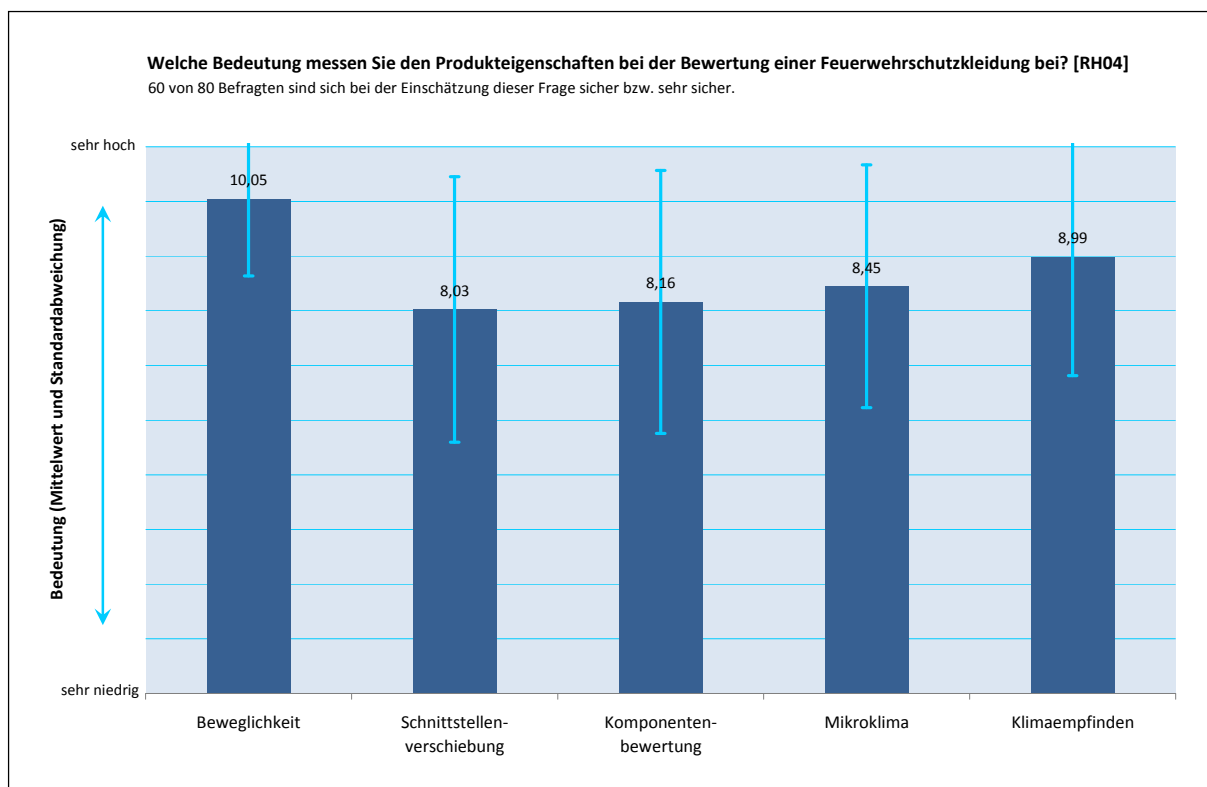
[RH04] „Welche Bedeutung messen Sie den Produkteigenschaften bei der Bewertung einer Feuerwehrsutzhkleidung bei?“

- A. Beweglichkeit
- B. Schnittstellenverschiebung
- C. Komponentenbewertung
- D. Mikroklima
- E. Klimaempfinden“

Die Bedeutung der Beweglichkeit wurde mit 10 von 11 Punkten am höchsten eingestuft, gefolgt vom Klimaempfinden mit fast 9 Punkten. Der Einfluss des Mikroklimas wurde mit etwa 8,5 Punkten bewertet. Die Bedeutung der Schnittstellenverschiebung schätzten die Experten auf etwa 8 Punkte und die der gesamten Komponentenbewertung (Details hierzu finden sich im Abschnitt 5.1.4.2.1.6 bzw. im Kapitel Datenreduktion) auf rund 8,2 Punkte. Die Standardabweichungen zeigen, dass die Meinungen der Experten hinsichtlich der Bedeutung der Beweglichkeit am wenigsten differieren.

[RH03] „Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage?“

60 der 80 Befragten gaben an, sich bei der Einschätzung der Bedeutung Datengruppen der Produktbewertung sicher oder sehr sicher zu sein.



**Abb. 5.4** Bedeutung der Datengruppen der Produktbewertung bzw. der Produkteigenschaften

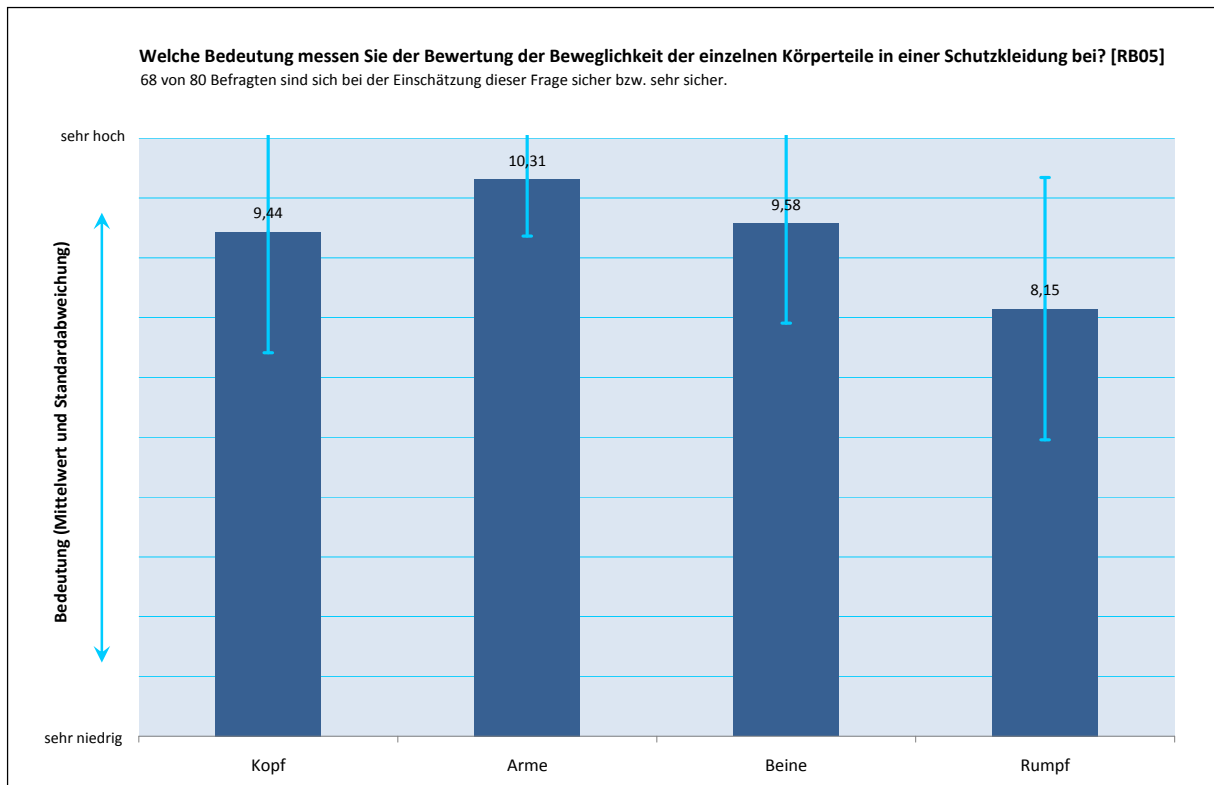
#### 5.1.4.2.1.5 Bewegungseinschränkungen

[RB05] „Welche Bedeutung messen Sie der Bewertung der Beweglichkeit der einzelnen Körperteile in einer Schutzkleidung bei?“

- A. Kopf
- B. Arme
- C. Beine
- D. Rumpf“

[RB04] „Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage?“

Zur Differenzierung der Datengruppe „Beweglichkeit“ gaben die Expertinnen und Experten im Fragenblock (RB05) an, welche Bedeutung sie der Beweglichkeit einzelner Körperteile beimessen. 68 von 80 Befragten sind sich bei der Einschätzung dieser Frage sicher bzw. sehr sicher. Der Beweglichkeit der Arme wird die höchste Bedeutung (10,3 Punkte) bei gleichzeitig geringstem Dissens (Standardabweichung 0,9) beigemessen. Weiter auseinander gehen die Meinungen insbesondere beim Rumpf: Die Experten vergeben für die Bedeutung der Rumpfbeweglichkeit im Mittel 8,2 Punkte und differieren in ihren Einschätzungen am meisten (Standardabweichung 2,2). Die erforderliche Beweglichkeit von Kopf und Beinen wird ähnlich bewertet und liegt bei 9,4 bzw. 9,6 Punkten. Jedoch liegen die Urteile hinsichtlich der Beinbeweglichkeit dichter beieinander.



**Abb. 5.5** Bedeutung der Beweglichkeit von Körperteilen

#### 5.1.4.2.1.6 Komponentenbewertung

In der dritten Einschätzungsfrage (RK04 und RK03) wurden die Kategorien der Komponentenbewertung näher untersucht. Diese wurden systematisch innerhalb der Datenreduktion ermittelt und ihre Bedeutung wird nun durch die Expertenrunde beurteilt.

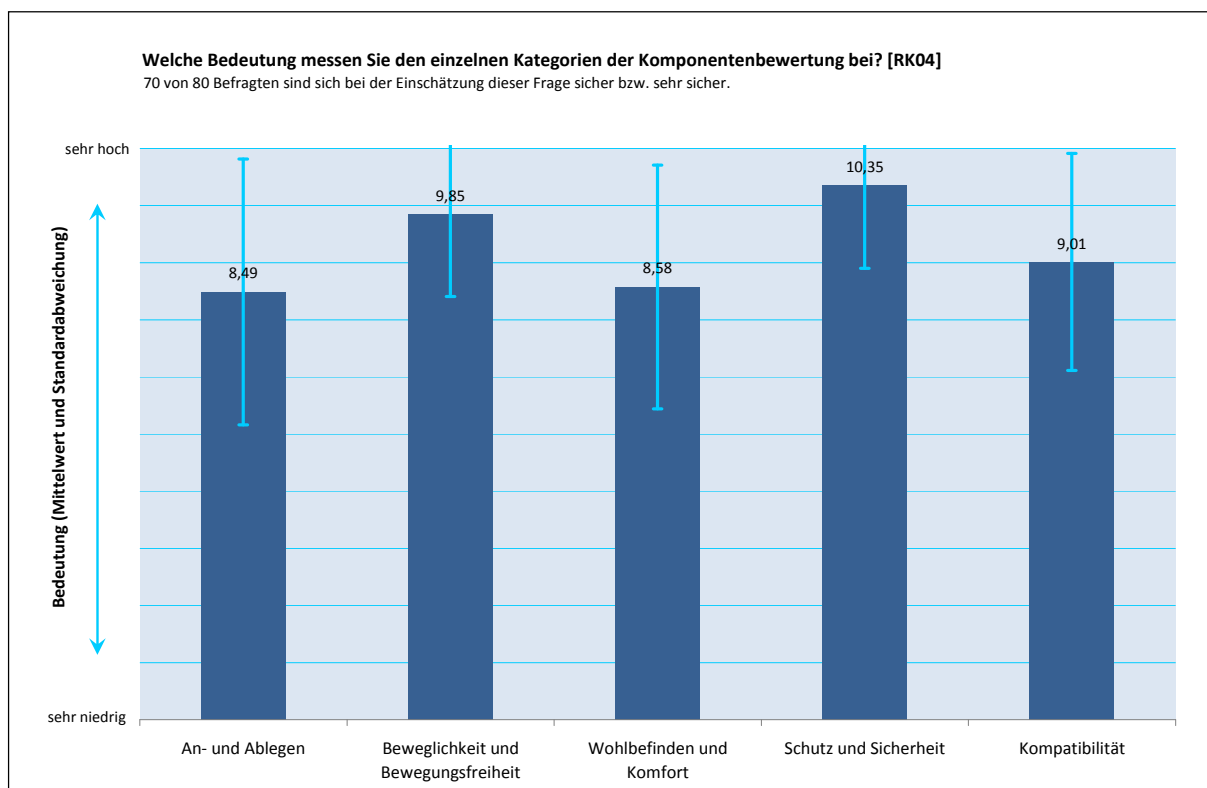
[RK04] „Welche Bedeutung messen Sie den einzelnen Kategorien der Komponentenbewertung bei?“

- A. An- und Ablegen
- B. Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit
- C. Wohlbefinden und Komfort
- D. Schutz und Sicherheit
- E. Kompatibilität“

[RK03] „Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage?“

Alle Kategorien werden in ihrer Bedeutung sehr hoch eingeschätzt (Abb. 5.6). Die höchste Bedeutung messen die befragten Personen der Kategorie „Schutz und Sicherheit“ bei, im Mittel 10,6 Punkte. Die Standardabweichung ist mit 2,1 für diese Kategorie gleichzeitig am geringsten. Die zweithöchste Bedeutung mit 9,6 von 11 Punkten kommt dem Komplex „Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit“ zu. „Kompatibilität“ zu weiteren Ausrüstungsgegenständen wird von den Experten ebenfalls relativ hoch bewertet (9,0 Punkte), nur unwesentlich weniger bedeutsam werden „An- und Ablegen“ sowie die Kategorie „Wohlbefinden und Komfort“ in ihrer Bedeutung für die Datengruppe „Komponentenbewertung“ eingeschätzt. Die Standardabweichun-

gen der beiden letzten Gruppen deuten mit 2,3 und 2,1 darauf hin, dass die Expertenmeinungen deutlicher voneinander abweichen als dies bei den anderen Kategorien der Fall ist. 70 der 80 Experten sind sich bei der Einschätzung sicher oder sehr sicher.



**Abb. 5.6** Bedeutung der Kategorien in der Komponentenbewertung

#### 5.1.4.2.1.7 Beurteilungsstufen

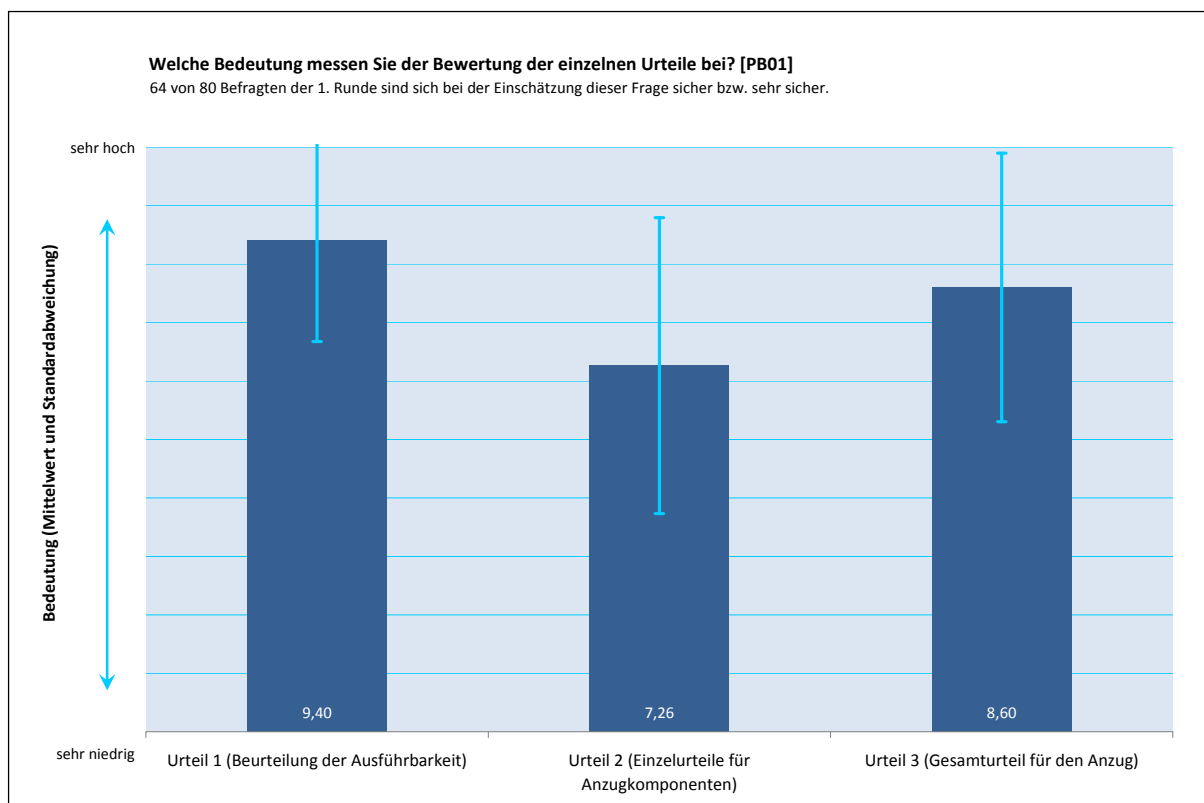
Im Fragenblock „Beurteilungsstufen“ geben die Experten ihr Urteil bzgl. der Bedeutung einzelner Urteilsstufen, die im Rahmen der Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung durchlaufen wurden, ab.

[PB01] „Welche Bedeutung messen Sie der Bewertung der einzelnen Urteile bei?“

- A. Urteil 1 (Beurteilung der Ausführbarkeit)
- B. Urteil 2 (Einzelurteile für Anzugkomponenten)
- C. Urteil 3 (Gesamturteil für den Anzug).“

[PB04] „Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage?“

64 der 80 Expertinnen und Experten sind sich bei der Einschätzung dieser Frage sicher. Die Auswertung der Mittelwerte zeigt eine unterschiedliche Gewichtung der drei Urteilsstufen (Abb. 5.7). Die Beurteilung der Ausführbarkeit liegt bei 9,4 von 11 Punkten; die Bedeutung des zweiten Urteils (Einzelurteile für Anzugkomponenten) wird im Mittel am geringsten eingeschätzt und liegt bei rund 7,3 von 11 Punkten. Die Bedeutsamkeit des Gesamturteils der Probanden liegt etwa mittig zwischen Urteil 1 und 2 und wird von den Experten bei etwa 8,6 Punkten eingestuft.



**Abb. 5.7** Bedeutung der Urteilsstufen

#### 5.1.4.2.1.8 Zusammenfassung

Die Delphi-Studie schließt mit zwei Fragen zur Einbindung von Nutzern in die Bewertung von Schutzkleidung und Arbeitsmitteln (IB11 und IB12).

[IB12] „Wie wichtig ist aus Ihrer Sicht die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrsutzkleidung?“

[IB11] „Wie wichtig ist die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrsutzkleidung im Vergleich zu herkömmlichen Arbeitsmitteln?“

Die Expertinnen und Experten beantworten beide Fragen sehr eindeutig (Tab. 5.12): Rund 91 % der Befragten gaben an, dass die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrsutzkleidung ziemlich oder sogar völlig wichtig ist. Im Mittel schätzten die Experten die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrsutzkleidung im Vergleich zu herkömmlichen Arbeitsmitteln mit „wichtiger“ ein. 71 % wählten als Antwort auf Frage IB11 „wichtiger“ oder „deutlich wichtiger“ (ein Drittel).

**Tab. 5.12** Nutzerbeteiligung bei Produktbewertungen

	Nennungen je Aussage		
	IB12	IB11	
gar nicht (1)	0,0 %	0,0 %	deutlich weniger wichtig (1)

	Nennungen je Aussage		
	IB12	IB11	
wenig (2)	0,0 %	3,8 %	weniger wichtig (2)
teils – teils (3)	8,8 %	25,0 %	genauso wichtig (3)
ziemlich (4)	28,8 %	37,5 %	wichtiger (4)
völlig (5)	62,5 %	33,8 %	deutlich wichtiger (5)
<b>Mittelwert</b>	4,54	4,01	
<b>Standardabweichung</b>	0,655	0,864	

#### 5.1.4.2.2 Zweite Befragungswelle

Die Rücklaufquote der zweiten Welle erwies sich mit 72 abgeschlossenen Befragungen niedriger als die der ersten Welle. Die Beteiligungsrate beträgt insgesamt 67 %, die Panelmortalität 10 %. Die von HÄDER (2009) geforderte Rücklaufquote von 70 bis 75 % in den auf die erste Welle folgenden Wellen konnte erreicht werden (Tab. 5.7, S. 123).

Das charakteristische Merkmal einer jeden Delphi-Befragung – ab der zweiten Befragungswelle – sind Rückmeldungen über die Einschätzungen vorangegangener Befragungen. Diese bieten einen Überblick über die Einschätzung der jeweils anderen Experten und tragen zur Konsensbildung bei. Auch im Rahmen dieser Studie wurde in der zweiten Runde ein Feedback angeboten, d. h. es erfolgte eine überblicksartige Darstellung der relevanten Ergebnisse der ersten Befragungswelle. Für die Onlinebefragung wurden die im vorangegangenen Abschnitt verwendeten Abbildungen und Ergebnisse, d. h. Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichung ohne weitere Kommentierung, als Feedback eingesetzt und im jeweiligen Fragenkomplex dargeboten.

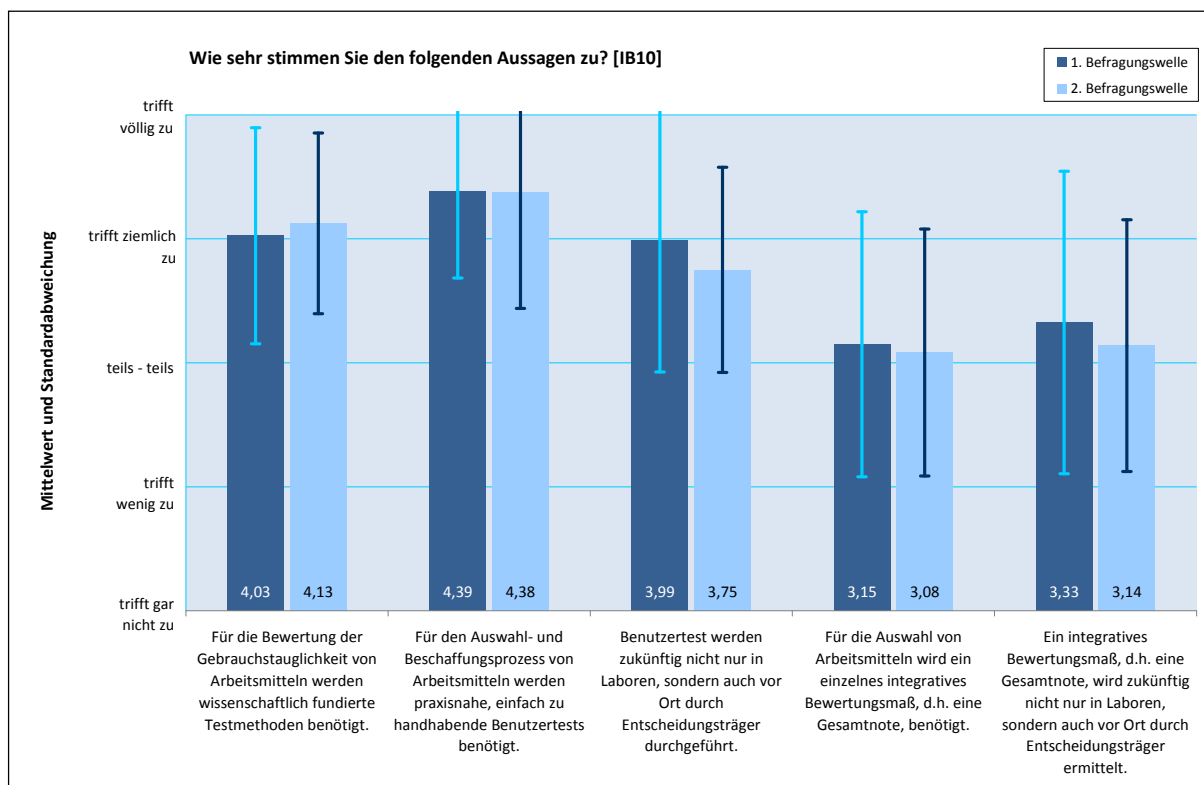
Der Fragebogen zur zweiten Welle entsprach inhaltlich und textlich weitgehend demjenigen der ersten Welle. Lediglich auf einzelne Fragen zur Expertise wurde verzichtet. Die Instruktionen wurden ebenfalls unverändert beibehalten. Die Ergebnisse werden im Folgenden wiedergegeben und mit der ersten Welle verglichen. Neben den hier vorliegenden Erhebungsergebnissen erfolgte bereits innerhalb der zweiten Befragungswelle explizit für die befragten Expertinnen und Experten eine entsprechende Darstellung von Teilergebnissen der ersten Befragung.

##### 5.1.4.2.2.1 Bewertung und Beschaffung

Zunächst wurden die Experten erneut gefragt, inwieweit sie einzelnen Aussagen zur Testung und Auswahl von Schutzkleidung zustimmen. Die Standardabweichungen der zweiten Befragungswelle verringern sich bei allen Aussagen, d. h. die Expertenmeinungen differieren weniger stark, eine Konsensbildung im Sinne des Delphi-Prinzips zeichnet sich ab (Abb. 5.8).

Aussage 1 „Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Arbeitsmitteln werden wissenschaftlich fundierte Testmethoden benötigt.“ trifft nach Experteneinschätzung

ziemlich zu; geringfügig stärkere Zustimmung als in der ersten Befragungswelle. Unverändert bleibt die Zustimmung zur zweiten Aussage „Für den Auswahl- und Beschaffungsprozess von Arbeitsmitteln werden praxisnahe, einfach zu handhabende Benutzertests benötigt.“ Dagegen nimmt die Zustimmung zu den Aussagen drei bis fünf in der zweiten Befragung leicht ab. D. h. „Benutzertests werden zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger durchgeführt.“ trifft im Mittel weniger als „ziemlich zu“.



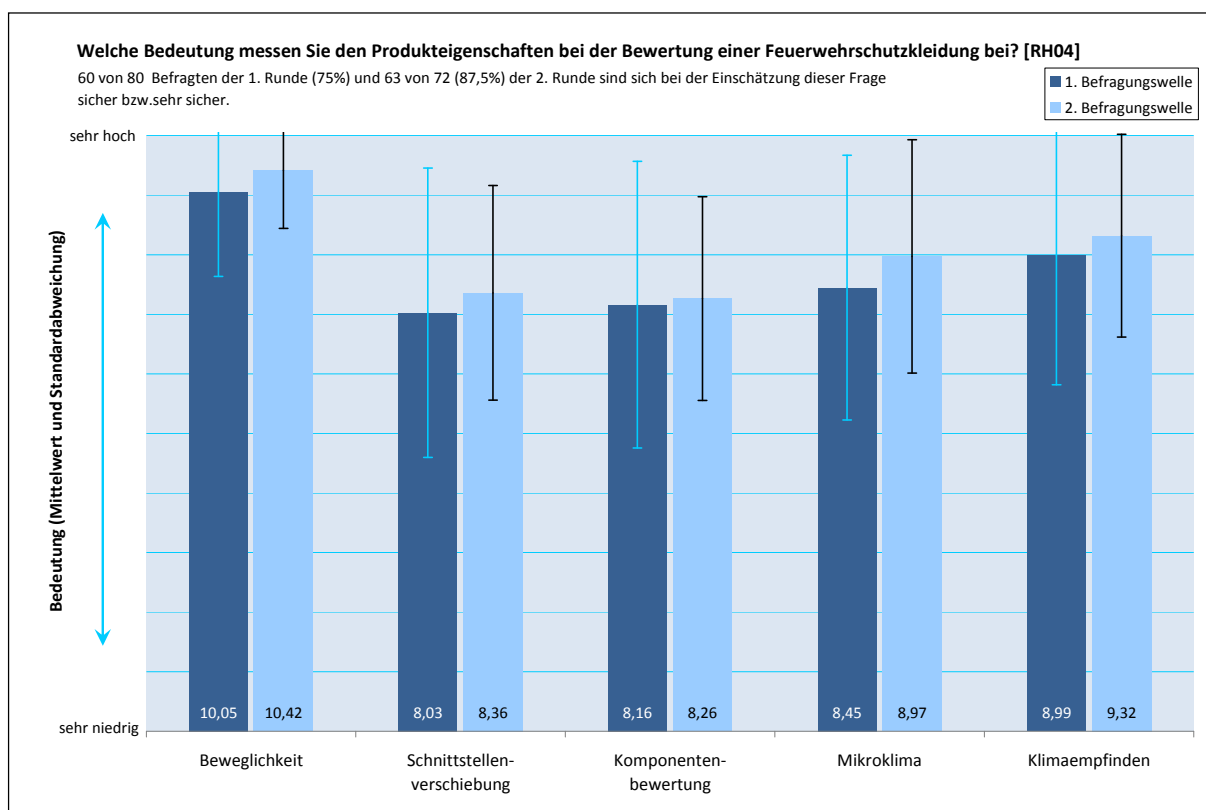
**Abb. 5.8** Zustimmung zu Aspekten bei Bewertung und Beschaffung

Die Einstellung zu Benutzertests vor Ort fällt etwas weniger positiv aus als in der ersten Befragungswelle angedeutet. Die Experten geben an, dass Aussage vier „Für die Auswahl von Arbeitsmitteln wird ein einzelnes integratives Bewertungsmaß, d. h. eine Gesamtnote, benötigt.“ ebenso wie Aussage fünf „Ein integratives Bewertungsmaß, d. h. eine Gesamtnote, wird zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger ermittelt.“ mit deutlicherer Tendenz zu „teils – teils“ zu trifft. Sowohl für die Bewertung von Arbeitsmitteln anhand eines integrativen Bewertungsmaßes als auch für die Generierung eines solchen durch Entscheidungsträger vor Ort geben die Experten weder ein eindeutig positives noch negatives Votum ab.

#### 5.1.4.2.2 Produkteigenschaften

Die Gewichtung der einzelnen Datengruppen der Produktbewertung respektive der Produkteigenschaften, anhand derer die Gebrauchstauglichkeit zu messen ist, ist für den Bewertungsansatz und die Bildung eines integrativen Bewertungsmaßes von höchster Bedeutung. In beiden Befragungswellen schätzten daher die Experten die Bedeutung der fünf Kategorien ein. Des Weiteren gaben die Experten an, wie sicher sie sich bei ihrem Urteil sind; der Vergleich zeigt, dass die Sicherheit bei der Ein-

schätzung um rund 12 % von der ersten zur zweiten Befragungswelle zunahm, das entspricht 87,5 % der Befragten. Des Weiteren nimmt die Standardabweichung ab, so dass auch bei dieser Frage tendenziell von einer Konsensbildung auszugehen ist.



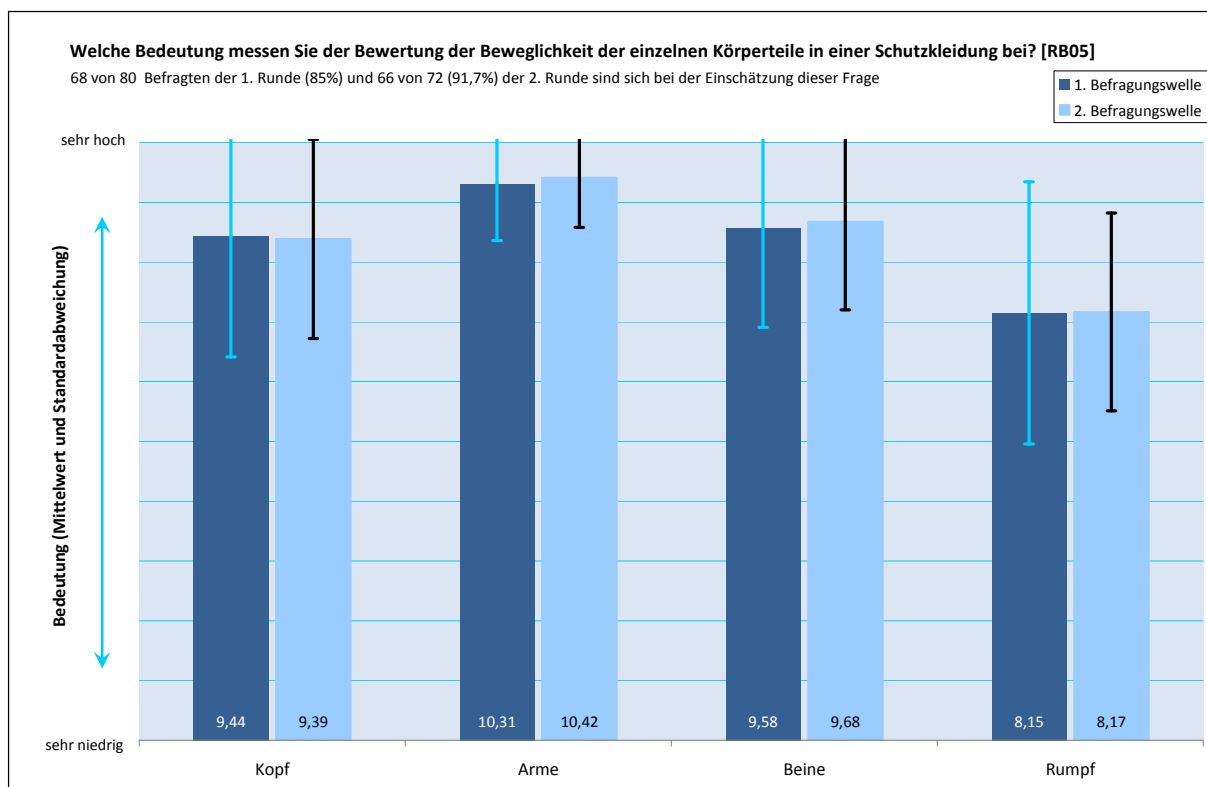
**Abb. 5.9** Bedeutung der Datengruppen der Produktbewertung

Die Bedeutung wurde im Vergleich der beiden Befragungswellen gleich eingeschätzt. Die Mittelwerte liegen grundsätzlich über denen der ersten Befragung, jedoch meist nicht mehr als 0,5 Punkte. Bildet man eine Rangfolge, so bleibt diese ebenfalls über beide Wellen erhalten. Die Experten sehen die Beweglichkeit in Schutzkleidung als besonders wichtig an. Die Kategorie hebt sich entsprechend von den anderen ab, es folgen Klimaempfinden und Mikroklima. Etwa gleich auf, aber hinter den anderen Kategorien, sehen die Experten die Bedeutung der Schnittstellenverschiebung und die Bewertung einzelner Komponenten der Schutzkleidung. Alle genannten Datengruppen der Produktbewertung werden in der angebotenen, elfstufigen Skala zwischen Bedeutung sehr niedrig und sehr hoch im oberen Drittel, mit Tendenz zu sehr hoch eingestuft.

#### 5.1.4.2.2.3 Bewegungseinschränkungen

Die Gewichtung der Beweglichkeit einzelner Körperteile ist für den Bewertungsansatz und die Bildung eines integrativen Bewertungsmaßes ebenfalls von Bedeutung, so dass die Frage [RB05] „Welche Bedeutung messen Sie der Bewertung der Beweglichkeit der einzelnen Körperteile in einer Schutzkleidung bei?“ auch Teil der zweiten Befragungswelle ist. Bei deren Beantwortung in der zweiten Befragung gaben 91,7 % der Experten an, dass sie sich mindestens sicher waren (Abb. 5.10).



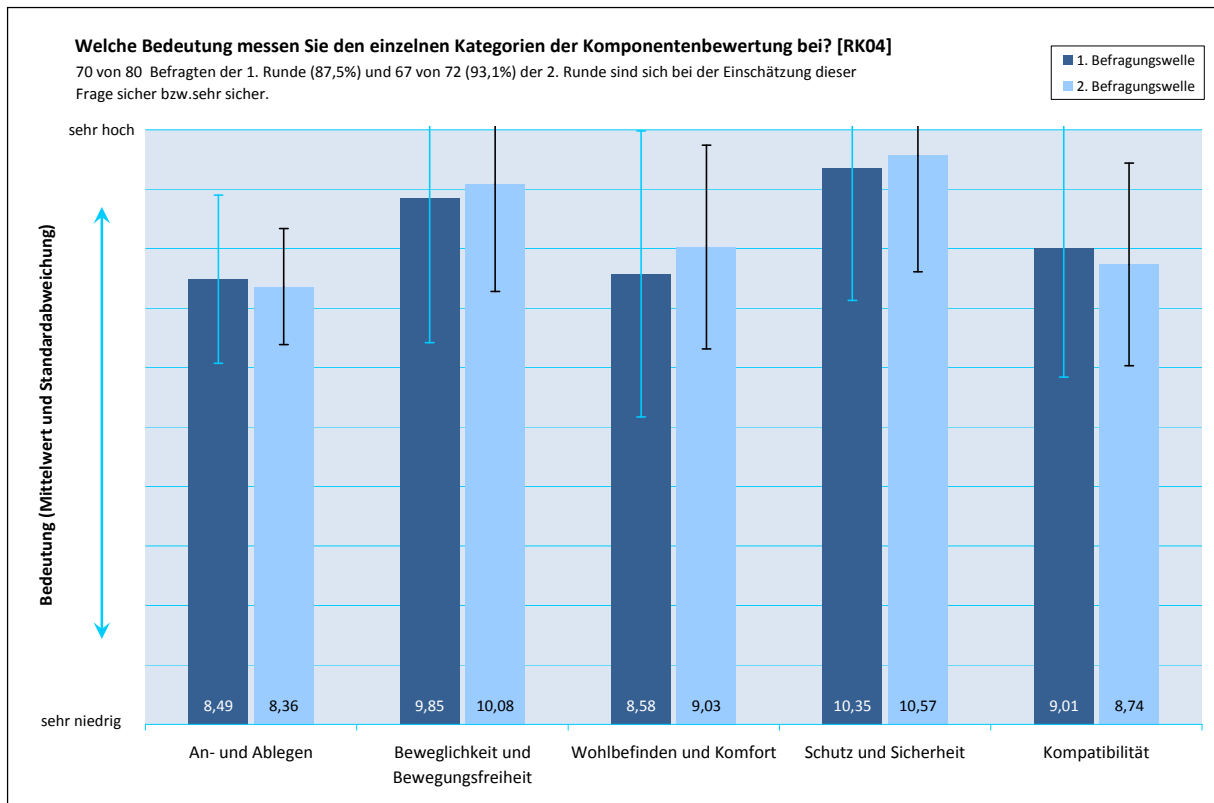


**Abb. 5.10** Bedeutung der Beweglichkeit einzelner Körperteile

Die Bedeutung wurde für alle angefragten Körperteile in beiden Befragungswellen nahezu identisch eingeschätzt. Tendenziell wird die Beweglichkeit stets hoch bewertet; in der Reihenfolge Arme, Beine, Kopf und Rumpf. In der ersten Befragungswelle schätzten die Experten im Mittel die Bedeutung der Beweglichkeit des Kopfes für die Bewertung einer Schutzkleidung geringfügig höher ein; für die anderen Körperteile zeigen sich für die zweite Befragungswelle die jeweils höheren Mittelwerte. Die Standardabweichung deutet auf geringere Schwankungen bei der Einschätzung durch die Experten hin.

#### 5.1.4.2.2.4 Komponentenbewertung

Neben der Bedeutung möglicher Bewegungseinschränkungen einzelner Körperteile sollte für die Gewichtung der Unterkategorien der Komponentenbewertung – wichtiger Bestandteil im Versuchsparcours der Fallstudie – ein Konsens unter den befragten Experten erzielt werden. So wurde auch in der zweiten Befragungsrunde die Frage „[RK04] Welche Bedeutung messen Sie den einzelnen Kategorien der Komponentenbewertung bei?“ gestellt, inkl. der obligatorischen Selbsteinschätzung: [RK03] „Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage?“. Erneut zeigen die Ergebnisse (Abb. 5.11), dass sich die Experten in der zweiten Befragung sicherer bei der Beantwortung fühlen (93,1 %) als in der ersten Befragungswelle (87,5 %). Ebenfalls ist zu erkennen, dass die Standardabweichung abnimmt und der gewünschte Konsenseffekt eintritt.



**Abb. 5.11** Bedeutung der einzelnen Kategorien der Komponentenbewertung

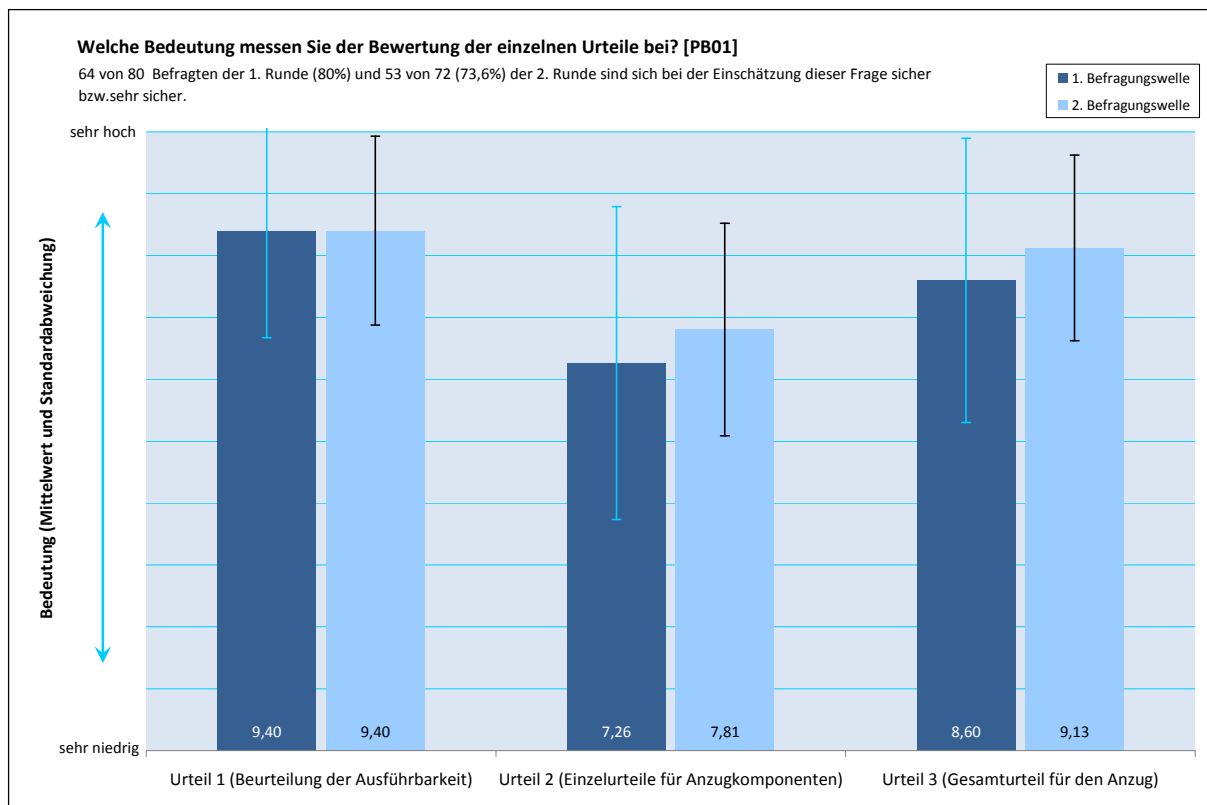
Die Mittelwerte der eingeschätzten Bedeutungen der Kategorien „An- und Ablegen“ und „Kompatibilität“ liegen in der zweiten Befragungsrunde geringfügig unter denen der ersten Welle. Die verbleibenden Komponentengruppen werden dagegen im Mittel in ihrer Bedeutung leicht höher eingeschätzt. Die Rangfolge der Kategorien und die Tendenz der Bedeutung bleiben weitgehend erhalten, lediglich die Rubrik „Wohlbefinden und Komfort“ gewinnt gegenüber „Kompatibilität“ leicht an Gewicht. Aus der zweiten Befragungswelle lässt sich daher die folgende Rangordnung ableiten: 1. Schutz und Sicherheit; 2. Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit; 3. Wohlbefinden und Komfort; 4. Kompatibilität und 5. An- und Ablegen.

#### 5.1.4.2.2.5 Beurteilungsstufen

Auch der Fragenblock „Beurteilungsstufen“ wurde den Experten für eine zweite Einschätzung vorgelegt. Sie geben an, welche Bedeutung sie der Bewertung der einzelnen Nutzerurteile beimessen und wie sicher sie sich bei dieser Einschätzung fühlen.

Die Ergebnisse der zweiten Befragungswelle (Abb. 5.12) zeigen eine vergleichbare Präferenz der Experten. Die abzuleitende Rangfolge bleibt erhalten, Urteil 1 wird im Mittel die gleiche Bedeutung wie in der ersten Befragung zugewiesen. Die Urteile 2 und 3 gewinnen im Verhältnis an Bedeutung. Die geringere Standardabweichung in der zweiten Befragungswelle weist bei allen drei Einschätzungen auf eine Tendenz zu einem Konsens unter den Experten hin. Es ist festzuhalten, dass die Befragten die Bedeutung der Beurteilung der Ausführbarkeit am höchsten einschätzen. Dem in der Fallstudie ermittelten bzw. von den Probanden dort geäußerten Gesamturteil für den Anzug wird eine geringfügig niedrigere Bedeutung beigemessen. Die Einzelurteile für Anzugkomponenten sehen die Experten in der abzuleitenden Rangfolge an

dritter Stelle. Im Vergleich zur ersten Befragungsrunde ist allerdings festzustellen, dass sich die Expertinnen und Experten bei ihrer Einschätzung nicht mehr derart sicher fühlen. In der zweiten Welle geben nur noch rund 74 % der Befragten an, sich mindestens sicher bei der Beantwortung der Fragestellung zu sein; dies entspricht einem Minus von 6 %.

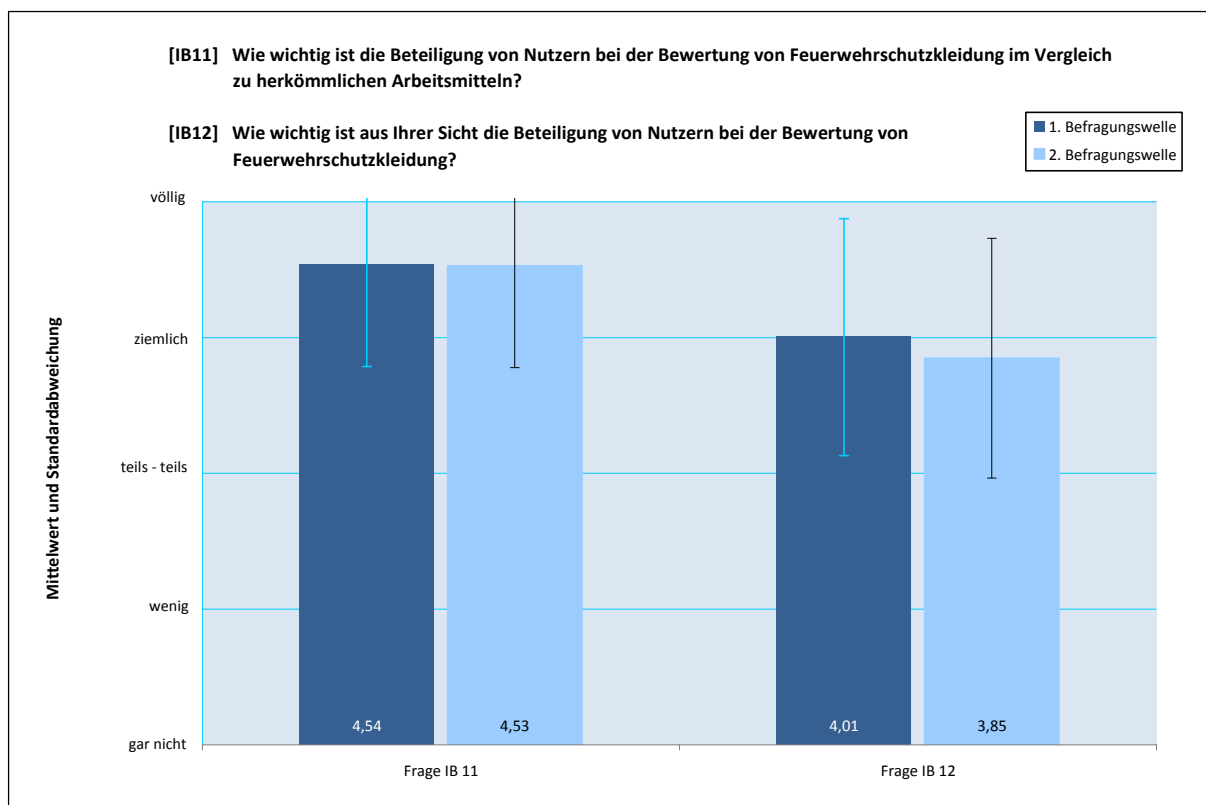


**Abb. 5.12** Bedeutung der Nutzerurteile

#### 5.1.4.2.2.6 Abschlussfrage

Die zweite Befragungswelle der Delphi-Studie schließt mit den bekannten Fragen zur Einbindung von Nutzern in die Bewertung von Schutzkleidung und Arbeitsmitteln (Abb. 5.13).

Die befragten Expertinnen und Experten halten die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrsutzhkleidung im Vergleich zu herkömmlichen Arbeitsmitteln (Frage IB11) für ziemlich bis völlig wichtig. Die Mittelwerte unterscheiden sich von der ersten zur zweiten Befragungswelle nicht; die Standardabweichung liegt auf einem leicht höheren Niveau. Die Wichtigkeit der Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrsutzhkleidung (Frage IB12) wird im Mittel in der zweiten Befragung geringer eingeschätzt, d. h. nur unterhalb ziemlich wichtig. Im Vergleich zur ersten Befragungswelle korrigieren die Befragten ihre Einschätzung leicht nach unten. Bei beiden Fragestellungen nehmen die Standardabweichungen zu, so dass sich schließen lässt, dass unter den Experten kein Konsens besteht.

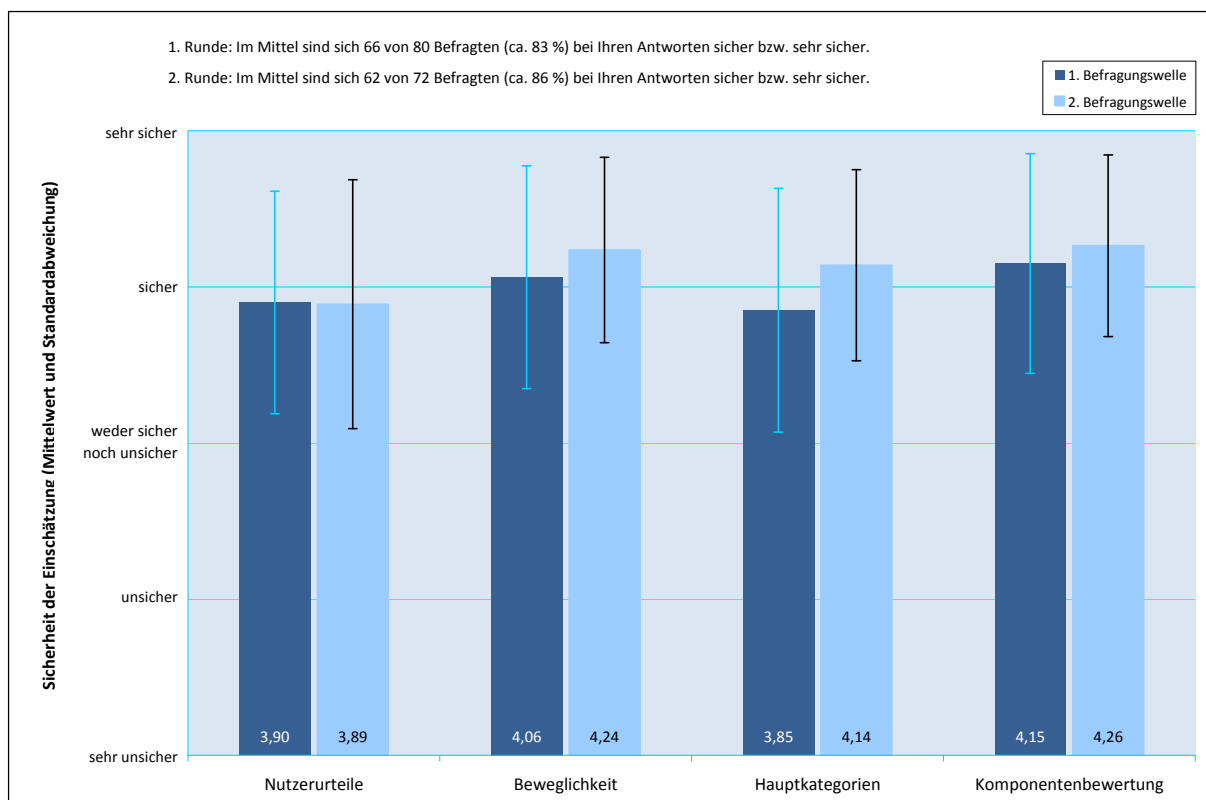


**Abb. 5.13** Wichtigkeit der Einbindung von Nutzern in die Produktbewertung

#### 5.1.4.2.2.7 Sicherheit der Einschätzungen

Im Anschluss an Einschätzungsfragen wurden die Experten gebeten, anzugeben, wie sicher sie sich bei der Beantwortung der jeweiligen Fragestellungen fühlen. Auf Basis dieser Selbsteinschätzung lässt sich ein Bild (Abb. 5.14) der Antwortgüte zeichnen, das Auswirkungen auf die weitere Entwicklung des Bewertungsansatzes haben kann. Sehr unsichere Experteneinschätzungen sind in der Folge anders zu bewerten als die sicheren oder sehr sicheren Urteile.

In der folgenden Darstellung sind die Urteile zur Selbsteinschätzung der vier zentralen Einschätzungsfragen gegenüber gestellt. Während in der ersten Befragungswelle im Mittel 66 von 80 befragten Expertinnen und Experten (83 %) angeben, sich sicher oder sogar sehr sicher bei ihrer Antwort zu sein, stieg der Anteil in der zweiten Welle auf 86 % an. Die Auswertung im Detail zeigt für die Fragenblöcke Beweglichkeit (Absatz 5.1.4.2.2.3), die Datengruppen der Produktbewertung (Absatz 5.1.4.2.2.2) sowie Komponentenbewertung (Absatz 5.1.4.2.2.4), dass sich die befragten Personen in der zweiten Befragungsrunde stets sicherer fühlten als in der ersten Runde; dies spiegelt auch die niedrigere Standardabweichung wider. Im Mittel fühlen sich die Experten nun mindestens sicher, mit Tendenz zu sehr sicher. Dagegen zeigt das Ergebnis für die Einschätzungsfragen zu den drei Nutzerurteilen, dass die zweite Befragungsrunde zu einer leichten Verunsicherung unter den Befragten geführt hat: Im Mittel nimmt die Sicherheit minimal ab, während die Standardabweichung steigt. Die Experten fühlen sich demnach nur bedingt sicher in dieser Frage.



**Abb. 5.14** Zusammenfassung der Selbsteinschätzung der Expertenurteile

#### 5.1.4.3 Zusammenfassung

Die Größe der Stichprobe und die Einbindung von Experten mit Nähe zur Praxis und Erfahrungen in der Anwendung untermauert die Zuverlässigkeit der gewonnenen Befragungsergebnisse. Der Vergleich der beiden Befragungswellen erlaubt den Schluss, dass unter den Experten in weiten Teilen ein Konsens erzielt werden konnte und die Befragungsergebnisse für die Bildung des Bewertungsansatzes herangezogen werden können. Die Auswertungen der Fragenkomplexe „Bewertung“ und „Beschaffung“ zeigen, dass mit einer geringeren Akzeptanz bzw. einem weniger ausgeprägtem Wunsch nach einem integrativen Bewertungsmaß zu rechnen ist. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass Entscheidungsträger für Beschaffungen in der Stichprobe weniger häufig anzutreffen sind. Dennoch sind praxisnahe Bewertungshilfen auf wissenschaftlicher Basis, die vor Ort angewendet werden können, erwünscht.

Die Erkenntnisse der Delphi-Studie sind in zweierlei Hinsicht zu bewerten: Zunächst als Teilschritt zur Einbindung von Expertenmeinungen in die Entwicklung des Bewertungsansatzes und die Bildung einer integrativen Bewertung für die Schutzkleidung. Auf der anderen Seite kann die generelle Einsetzbarkeit und die Güte eines solchen Instrumentes – als Teil des Methodenpools für Produktbewertungen – im Allgemeinen diskutiert werden. Ob die Delphi-Befragung als Teil der Produktbewertung geeignet ist, hängt davon ab, welcher Grad an Sicherheit der Ergebnisse, das heißt der Einschätzung durch die Experten, gewährleistet werden kann. Wie sicher sind diese Einschätzungen? Da es sich um Selbsteinschätzungen handelt, kann diese Frage nur unvollständig beantwortet werden. Objektiv betrachtet ist die Sicherheit der Einschätzung jedoch eine Funktion der Erfahrung in Jahren, der Vertrautheit in den Themenbereichen, der Fähigkeit zur Selbstreflexion, aber auch der Komplexität der

Fragestellungen. Das Konzept der Delphi-Befragung lässt jedoch erwarten, dass unsichere Personen auf die Linie der Sichereren einschwenken, wenn in den Befragungen Ergebnisse der vorangegangenen Wellen – einschließlich der Sicherheit der Selbsteinschätzung – präsentiert werden.

Die Einbindung von Experten ist trotz der Unsicherheiten sinnvoll, insbesondere bei komplexen Produkten. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass genaue Kenntnisse über das Produkt und den Nutzungskontext vorliegen und die Experten auf mindestens einem Gebiet stark sind, so dass die Erfahrung der Grundgesamtheit hoch ist. Ein Defizit der Befragung kann jedoch darin gesehen werden, dass die „Erfahrung in Jahren“ im Fragebogen nicht nach Themenbereichen differenziert wurde. An Stelle dessen erfolgte jedoch stets die Frage nach der Sicherheit der jeweiligen Einschätzung. Alternativ bietet sich für die Auswertung eine Gegenüberstellung „sehr sicherer“ Experten gegenüber weniger sicheren an.

Die Delphi-Befragung ist grundsätzlich geeignet für die Ermittlung einer grundlegenden Gewichtung und Bewertung von Datengruppen und Produkteigenschaften. Das Verfahren kann sich jedoch nur auf einzelne Produkte, möglicherweise auf Gruppen beschränken, da die Gewichtung der Eigenschaften unmittelbar vom Nutzungskontext abhängig ist. Weicht dieser ab oder stehen andere Produkte im Fokus, steigt der Erhebungsaufwand. Dies gilt auch, wenn kein Konsens erzielt wird oder die Expertendiskussion keine Sicherheit in den Einschätzungen aufweist. Es ist festzustellen, dass sich das Verfahren für eine Adhoc-Bewertung eines Produktes im Ganzen als zu aufwendig erwiesen hat.

## 5.2 Expertengewichtung

Mit der Delphi-Befragung konnten wesentliche Sachverhalte für die Entwicklung des Bewertungsansatzes geklärt werden: Die Bedeutung der Datengruppen der Produktbewertung, der Komponentenbewertung, der Beweglichkeit von Körperteilen sowie der drei Urteilsstufen. Wie gezeigt, kann von einem Konsens unter den Experten ausgegangen werden, so dass aus den vorliegenden Ergebnissen Gewichtungsfaktoren für einen Bewertungsansatz abgeleitet werden können. Die zweite Befragungswelle repräsentiert den vorläufigen Endstand der Expertendiskussion und die Basis für weitere Überlegungen und Berechnungen.

Zunächst ist festzulegen, welche Kennwerte aus der Expertenbefragung extrahiert werden und für den Bewertungsansatz genutzt werden können. Die offensichtlich geringen Abstufungen der Einschätzungen (s. Ergebnisse Delphi-Studie) lassen darauf schließen, dass die ausgewählten Kategorien, z. B. der Komponentenbewertung, von hoher Bedeutung sind, und diese die typischen, relevanten Produkteigenschaften repräsentieren. Für die Bildung von Kennzahlen und eines integrativen Bewertungsmaßes kann sich dies als nachteilig erweisen, wenn die absoluten Gewichtungen nur geringfügig variieren. Alternativ könnte aus der Rangfolge ein Gewichtungsfaktor abgeleitet werden, der die Abstufung der Experteneinschätzung jedoch nur bedingt repräsentiert. Im Folgenden wird daher auf eine Rangbildung verzichtet. Die Bedeutung der Kategorien wird folglich als absolutes Maß in Form der mittleren Experteneinschätzung der zweiten Befragungswelle, d. h. dimensionslos, angegeben. Daraus wird die Gewichtung, der Quotient aus der eingeschätzten Bedeutung und dem Maximum der Referenzskalierung (11), abgeleitet. Dieser Quotient

wird als relativer Faktor mit Skalenbezug für die Bewertungsbildung herangezogen und für alle Experteneinschätzungen der Bereiche Produkteigenschaften, Komponentenbewertung, Beweglichkeit von Körperteilen und Urteilsstufen nach demselben Schema bestimmt.

Für die Datengruppen der Produktbewertung sind Bedeutung und Gewichtung der Tabelle Tab. 5.13 zu entnehmen. Aus dem Card-Sorting wurden sechs Unterkategorien der Datengruppe „Komponentenbewertung“ abgeleitet. Die Experten schätzten die Bedeutung dieser Kategorien im Rahmen der Delphi-Befragung ein; die abgeleiteten Gewichtungsfaktoren finden sich in Tab. 5.14. In der Kategorie Beweglichkeit der Körperteile werden Bedeutung und Gewichtung in Tab. 5.15 dargestellt. Der Bereich „Rumpf“ wird nur der Vollständigkeit halber in die Bewertung aufgenommen. Für die weitere Auswertung ist er auf Grund nicht vorliegender Messwerte nicht von Bedeutung.

**Tab. 5.13** Gewichtung der Datengruppen der Produktbewertung

Kategorie	Faktor	Bedeutung	Gewichtung
Beweglichkeit	a	10,42	0,95
Schnittstellenverschiebung	b	8,36	0,76
Komponentenbewertung	c	8,26	0,75
Mikroklima	d	8,97	0,82
Klimaempfinden	e	9,32	0,85

**Tab. 5.14** Gewichtung der Komponentenbewertung

Kategorie	Faktor	Bedeutung	Gewichtung
An- und Ablegen	a <sub>1</sub>	8,36	0,76
Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit	a <sub>2</sub>	10,08	0,92
Wohlbefinden und Komfort	a <sub>3</sub>	9,03	0,82
Schutz und Sicherheit	a <sub>4</sub>	10,57	0,96
Kompatibilität	a <sub>5</sub>	8,74	0,79

**Tab. 5.15** Gewichtung der Beweglichkeit der Körperteile

Kategorie	Faktor	Bedeutung	Gewichtung
Kopf	b <sub>K</sub>	9,39	0,85
Arme	b <sub>A</sub>	10,42	0,95
Beine	b <sub>B</sub>	9,68	0,88
Rumpf	b <sub>R</sub>	8,17	0,74

Im Rahmen der empirischen Studie konnten drei Urteilsstufen der Komponentenbewertung identifiziert werden, deren Bedeutung ebenfalls durch die Expertinnen und Experten eingeschätzt wurde. Die Gewichtungsfaktoren finden sich in Tab. 5.16.

**Tab. 5.16** Gewichtung der Urteilsstufen

Kategorie	Faktor	Bedeutung	Gewichtung
Urteil 1 (Ausführbarkeit)	$u_1$	9,40	0,85
Urteil 2 (Einzelurteile)	$u_2$	7,81	0,71
Urteil 3 (Gesamturteil)	$u_3$	9,13	0,83

### 5.3 Datengruppen

Aufbauend auf den hergeleiteten Faktoren lassen sich die einzelnen Datengruppen durch Gewichtung und Bewertung von Messwerten zu Kennzahlen zusammenfassen. Die Vorgehensweise und die Auswahl der Kennwerte sowie Faktoren stützen sich auf die Erfahrungen der Versuchsdurchführung und werden aus der Literatur, z. B. auf Grundlage ergonomischer Erkenntnisse, abgeleitet. Im Sinne möglicher Nutzer gilt es, eine pragmatische Bildung der Bewertungskennzahlen sicherzustellen und auf komplexere Rechenoperationen zu verzichten, so dass weitgehend additiv vorgegangen wird. Die Datengruppen Komponentenbewertung (K), Beweglichkeit (B), Schnittstellenbeweglichkeit (S), Mikroklima (M) und Klimaempfinden (E), werden durch Addition und Gewichtung zusammengeführt werden.

Die Komponentenbewertung umfasst die Faktoren  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ , die aus der Experteneinschätzung für die Bedeutung der Komponentenbewertung der (An- und Ablegen, Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit, Wohlbefinden und Komfort, Schutz und Sicherheit, Kompatibilität) abgeleitet wurden. In den einzelnen Summanden müssen darüber hinaus jeweils die Gewichtungsfaktoren  $u_1, u_2$  für die zwei Urteilsstufen (Bewertung der Ausführbarkeit, Einzelurteile für Anzugkomponenten) berücksichtigt werden, d. h. einzelne Bewertungen, die den Stufen 1 oder 2 zuzuordnen sind wurden bereits mit einem Korrekturfaktor versehen (Abschnitt 5.1.3.3). Hinzuzurechnen ist schließlich das Gesamturteil für den Anzug (U) – Gesamturteil der Probanden nach Abschluss des Versuchsparcours – mit dem Faktor  $u_3$ , der ebenfalls aus der Experteneinschätzung abgeleitet wurde. Für die Komponentenbewertung ergibt sich unter Berücksichtigung von Gewichtungsfaktoren der folgende Term:

$$\text{Komponentenbewertung: } K = \frac{a_1 \cdot K_{\text{AnAb}} + a_2 \cdot K_{\text{Bew}} + a_3 \cdot K_{\text{Komf}} + a_4 \cdot K_{\text{Sich}} + a_5 \cdot K_{\text{Sich}} + u_3 \cdot U}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + u_3}$$

Für die Abbildung der Beweglichkeit (B) im Bewertungsansatz werden die Multiplikatoren  $b_K, b_A$  und  $b_B$  hinzugezogen, um die Einschätzung der Expertinnen und Experten hinsichtlich der Bedeutung der Beweglichkeit der Körperteile, hier Kopf, Arme (jeweils arithmetischer Mittelwert) und Beine einzukalkulieren. Die gewichtete Beweglichkeit wird berechnet aus:

$$\text{Beweglichkeit: } B = \frac{b_K \cdot B_{\text{Kopf}} + b_A \cdot B_{\text{Arme}} + b_B \cdot B_{\text{Beine}}}{b_K + b_A + b_B}$$

Das Mikroklima (M) fließt nach der oben genannten Transformation als Teilergebnis aus Zwischenschichtenfeuchte und Hautoberflächentemperatur in den Bewertungs-



ansatz ein. Beide Summanden bleiben ungewichtet, so dass lediglich die mittlere Bewertung gebildet werden muss:

Mikroklima:	$M = \frac{F + T}{2}$
-------------	-----------------------

Die Bewertung der Schnittstellenbeweglichkeit (S) umfasst die drei Schnittstellen Handschuh-Arm ( $S_{Arm}$ ), Hose-Stiefel ( $S_{Bein}$ ) und Jacke-Hose ( $S_{Rumpf}$ ). Die Kenngrößen sind aus einer Transformation der absoluten Schnittstellenbeweglichkeit hervorgegangen und finden ebenfalls ungewichtet als arithmetischer Mittelwert Berücksichtigung:

Schnittstellenbeweglichkeit:	$S = \frac{S_{Arm} + S_{Bein} + S_{Rumpf}}{3}$
------------------------------	--

Das Klimaempfinden (E) wird als Einzelmaß ohne weitere Gewichtung wie oben beschrieben abgeleitet und in den Bewertungsansatz einfließen.

Es besteht Konsens, dass die Definition von Gebrauchstauglichkeit und das Konzept des Nutzungskontextes eine Übertragung der gewählten Systematik nicht ohne Weiteres auf andere Schutzkleidungstypen oder etwa auf andere Produktgruppen zulässt. Denn bei Änderungen des Nutzungskontextes ist unabhängig von den bewerteten Produkten und Kontextszenarien stets davon auszugehen, dass insbesondere die Kennwerte der Gebrauchstauglichkeit, aber auch die zugehörigen Gewichtungsfaktoren neu abzuleiten respektive auszuwählen sind. Des Weiteren kann deren Bedeutsamkeit von Experten anders eingeschätzt werden oder auf Grund abweichender Präferenzen der Prüfer des Produktes andere Schwerpunkte beobachtet werden. Trotz dieser möglichen Variationen kann eine grundsätzliche Systematik für einen Bewertungsansatz und zur Bildung eines Bewertungsmaßes identifiziert werden, die sich verallgemeinern lässt und für die Feuerweherschutzbekleidung konkretisiert wird. Diese Konkretisierung umfasst eine weiterführende Reduktion der Rohdaten und die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren, die zum Teil normiert werden müssen, um sie entsprechend verrechnen zu können.

In den Datengruppen „Beweglichkeit“, „Schnittstellenbeweglichkeit“, „Mikroklima“ und „Klimaempfinden“ ist eine Datenbewertung und zum Teil Datenreduktion erforderlich. Die vorliegenden Messwerte müssen für die Zusammenführung durch den Bewertungsansatz in die Bewertungskennzahlen aufbereitet werden. Sie werden entsprechend harmonisiert oder normiert. Als Basis dieses Prozesses wird die fünfstufige Skala der Komponentenbewertung (*sehr gut – ziemlich gut – gut – weniger gut – schlecht*) herangezogen, da sie in der empirischen Studie bereits in den nutzerzentrierten Bewertungen (z. B. Ausführbarkeit, Komponentenurteile, Gesamturteil) Verwendung findet. Aus ROHRMANN (1978) lässt sich ableiten, dass sich für die Messung der Qualität bzw. Güte der Gebrauchstauglichkeit ebenfalls eine fünfstufige Skala (*sehr gut – gut – mittelmäßig – schlecht – sehr schlecht*) eignet. Er zeigt zudem, dass diese verbale Antwortskala als äquidistant anzusehen ist. Sie gilt zudem als praxisnah und etabliert und kommt folglich als Bewertungsskala im Bewertungsansatz zu Anwendung.

Die Daten der Kategorien Komponentenbewertungen, Beweglichkeit und Schnittstellenbeweglichkeit können nach der Datenbewertung/-reduktion und Harmonisierung unmittelbar in die Bewertungskennzahlen übernommen werden, da sie bereits als Einzelmaße oder einzelne Bewertungen vorliegen. Dagegen spiegeln die Auswertungen von Mikroklima und Klimaempfinden einen zeitlichen Verlauf wider, der nicht unmittelbar in einer Kennzahl dargestellt werden kann. In der durchgeführten Studie wurden bereits gezielt Messzeitpunkte ausgewählt, um die Datenmenge zu reduzieren, die dennoch den Verlauf ausreichend charakterisieren. Für die Bildung von Bewertungskennzahlen ist eine weitere Reduktion erforderlich, die im Folgenden erörtert wird.

### 5.3.1 Beweglichkeit

Die Datengruppe „Beweglichkeit“ umfasst Messreihen zu Einschränkungen der Kopf-, Arm- und Beinbeweglichkeit in unterschiedlicher Ausprägung. Sie dienen der Bewertung der Bewegungseinschränkungen durch Vergleich zwischen Bewegungsumfang in leichter Bekleidung und Schutzkleidung.

Für die Bewertung der Beweglichkeit können die Rohdaten auf unterschiedliche Weise eingesetzt werden. Neben einem Referenzmaß (z. B. Kopfdrehung in leichter Bekleidung) stehen für die Bewertung der Bewegungseinschränkungen Messgrößen zweier Szenarien zur Verfügung: Die maximal mögliche Bewegung in Schutzkleidung sowie in Schutzkleidung und weiterer PSA (Atemanschluss mit angelegter Kapuze oder Flammschutzhaube). Das letztgenannte Szenario ist zu bevorzugen, da im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung mit den größeren Bewegungseinschränkungen, insbesondere im Bereich des Kopfes, zu rechnen ist. Aus dem Referenzmaß und dem gemessenen Bewegungsumfang mit PSA können drei Kennwerte zur Beurteilung abgeleitet werden. Die absolute Bewegungseinschränkung (in Grad oder cm) beschreibt die Differenz zum Referenzmaß, jedoch ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei unterschiedlichem Bewegungsumfang der Probanden nicht gegeben. Bei Personengruppen mit geringerem Bewegungsumfang kann die gleiche maximale mögliche Bewegung in Schutzkleidung besser bewertet werden, da die zu erwartende Differenz geringer ausfällt. Eine Bewertung der relativen Bewegungseinschränkungen (%) ist daher zu bevorzugen, d. h. die Einschränkung wird in Bezug zum probandenbezogenen Referenzmaß gesetzt. Trotz der Berücksichtigung der individuellen Bezugsgrößen (Referenzmaße) ist die Bewertung nur dann sinnvoll, wenn auch die relativen Bewegungseinschränkungen der gesamten Stichprobe Beachtung finden. Für die Bewertung wird daher eine Normierung anhand des arithmetischen Mittelwertes für den maximalen Bewegungsumfang der Stichprobe, d. h. aus zwei Versuchsreihen der Fallstudie (N=100), vorgenommen ( $\bar{X}_{\text{Kopffrotation}}$ ). Diese normierte relative Bewegungseinschränkung (in Grad oder cm) bezieht den Bewegungsumfang der Stichprobe und den des einzelnen Probanden ein. Alternativ könnten standardisierte Kennwerte aus den technischen Regelwerken (z. B. MiIL-HDBK-759C, 1995) oder der Literatur (GREIL, 2009, oder LANGE und WINDEL, 2013) zu Grunde gelegt werden. Diese umfassen jedoch zum Teil ausschließlich die Komfortbereiche und nicht die hier bedeutsamen maximalen Bewegungsumfänge. Es ist zudem anzumerken, dass die dort zu findenden Stichproben bzw. Perzentile nur eingeschränkt vergleichbar sind. Für die weitere Bewertung der vorliegenden Daten ist jedoch festzustellen, dass die Perzentile der Stichprobe denen arbeitswissenschaftlicher

Erkenntnisse (z. B. DIN EN 33402) nahezu entsprechen – verglichen wurden das 5. bis 95. Perzentil männlich.

Normierte Bewegungseinschränkung beispielsweise der Kopffrotation;

$$B_{\text{Kopffrotation}} = \frac{\Delta_{\text{Kopffrotation}}}{\text{Referenzmaß}_{\text{Kopffrotation}}} \cdot \bar{X}_{\text{Kopffrotation}}$$

Bewertung der Beweglichkeit des Kopfes

$$B_{\text{Kopf}} = \frac{B_{\text{Kopffrotation}} + B_{\text{Kopffneigung\_seitwärts}} + B_{\text{Kopffneigung\_vorne}} + B_{\text{Kopffneigung\_hinten}}}{4}$$

Bewertung der Beweglichkeit der Arme

$$B_{\text{Arme}} = \frac{B_{\text{Reichweite\_vorne}} + B_{\text{Reichweite\_hinten}} + B_{\text{Reichweite\_oben}} + B_{\text{Ellbogen}}}{4}$$

Die maximalen Bewegungen bzw. Einschränkungen werden zunächst für beide Körperseiten im arithmetischen Mittelwert je Proband zusammengefasst. Ausgehend von den maximalen Bewegungseinschränkungen an den Körperteilen wurden die jeweiligen Spannweiten in fünf gleichgroße Gruppen eingeteilt; negative Einschränkungen wurden nicht berücksichtigt. Die berechneten Trennwerte wurden als Grenzen für die einzelnen äquidistanten Bewertungsstufen zu Grunde gelegt und in den folgenden Tabellen der fünfstufigen Bewertungsskala zugeordnet. Die Zusammenfassung der Bewegungseinschränkungen an Kopf und Beinen erfolgt über den arithmetischen Mittelwert der bewerteten Bewegungsrichtungen.

**Tab. 5.17** Bewertung der Einschränkungen der Kopfbeweglichkeit

Bewertung (Clusterung)	Kopffrotation	Kopffneigung seitlich	Kopffneigung hinten	Kopffneigung vorne
sehr gut (1)	kleiner 7,35°	kleiner 2,88°	kleiner 8,59°	kleiner 6,53°
gut (2)	bis 14,70°	bis 5,76°	bis 17,17°	bis 13,06°
mittelmäßig (3)	bis 22,06°	bis 8,64°	bis 25,76°	bis 19,58°
schlecht (4)	bis 29,41°	bis 11,52°	bis 34,34°	bis 26,11°
sehr schlecht (5)	größer 29,41°	größer 11,52°	größer 34,34°	größer 26,11°

**Tab. 5.18** Bewertung der Einschränkungen der Armbeweglichkeit

Bewertung (Clusterung)	Reichweite Seite/vorne	Reichweite hinten	Reichweite oben	Ellbogen beugen
sehr gut (1)	kleiner 3,24°	kleiner 3,17°	kleiner 1,19 cm	kleiner 4,05°
gut (2)	bis 6,48°	bis 6,35°	bis 2,39 cm	bis 8,10°
mittelmäßig (3)	bis 9,72°	bis 9,52°	bis 4,78 cm	bis 12,15°
schlecht (4)	bis 12,96°	bis 12,69°	bis 5,98 cm	bis 16,20°
sehr schlecht (5)	größer 12,96°	größer 12,69°	größer 5,98 cm	größer 16,20°

**Tab. 5.19** Bewertung der Einschränkungen der Beinbeweglichkeit

Bewertung (Clusterung)	Knie anheben
sehr gut (1)	kleiner 4,62 cm
gut (2)	bis 9,24 cm
mittelmäßig (3)	bis 13,86 cm
schlecht (4)	bis 18,48 cm
sehr schlecht (5)	größer 18,48 cm

Die vereinfachte Vorgehensweise zeichnet sich durch ihre Praxisnähe aus, da sie bei einer geeigneten Stichprobe ohne eine allgemeine anthropometrische Datenbasis auskommt. Genaue Kenntnisse über Perzentile sind ebenfalls nicht erforderlich, eine Geschlechterunterscheidung ist somit obsolet. Die Normierung anhand der Stichprobe wird als praktikabelste Lösung angesehen, auch wenn sich die Herleitung dieser Kenngröße zunächst komplex darstellt. Die hier abgeleiteten Bewertungsstufen der Bewegungseinschränkungen sind – vergleichbar mit weiteren Fragestellungen der Modellbildung – zunächst als exemplarische Strukturen, d. h. zur Darstellung der Systematik, zu verstehen. Zur Verifizierung sind komplexere Untersuchungen erforderlich, die den Zusammenhang zwischen gemessener Bewegungseinschränkung und der Bewertung des Tragekomforts durch Probanden quantifizieren.

### 5.3.2 Schnittstellenbeweglichkeit

Das technische Regelwerk DIN EN 469 (Entwurf 2013) sieht explizit den Schutz an „Armen bis zu den Handgelenken und Beinen bis zu den Knöcheln“ vor und beschreibt für zweiteilige Schutzkleidung ein „angemessenes Prüfverfahren“ für den Nachweis, dass „Überlappung von Jacke und Hose gegeben ist“. Das Regelwerk HuPF Teil 1 Feuerwehrüberjacke Ergänzung 09/2006 fordert an der Schnittstelle zwischen Jacke und Hose eine „Überdeckung der Lagen mit voller Isolation ... mindestens 20 cm“. Sowohl beide Regelwerke als auch die Literatur spezifizieren bisher kein eigenständiges Maß zur quantitativen Bewertung dieser Produkteigenschaft, das hier als Schnittstellenbeweglichkeit eingeführt wurde.

Anhand des eingeführten Merkmals können die Bewegungen und die Überdeckung an Übergängen zwischen einzelnen Kleidungsstücken und anderen Komponenten der Schutzausrüstung bewertet werden. Weiterhin sind Rückschlüsse auf den Schnitt, den Sitz und die Beweglichkeit in der Kleidung denkbar. Die Schnittstellenbeweglichkeit kann ebenfalls als ein Qualitätsmerkmal für die zu erwartende Dichtigkeit verstanden werden, die bei der untersuchten Feuerwehrkleidung, insbesondere aber bei der im Vergleich befindlichen ABC-Schutzkleidung, von Bedeutung und in unterschiedlichen Abstufungen akzeptabel sein kann. In der Praxis ist zu erwarten, dass die Dichtigkeit der Schutzkleidung von der Verschiebung und geringsten Überlappung, aber auch der Größe der möglichen Öffnung respektive der Länge der Dichtlinie (Ärmelsaum, Hosensaum, Jackensaum) abhängig ist. Des Weiteren beeinflusst die konstruktive Trennung zwischen Anzuginnerem und Umgebung, z. B. durch Hussen oder Gestaltung der Bündchen, die Dichtigkeit und die Beweglichkeit. Für eine exakte Bewertung der Schnittstellenbeweglichkeit als Maß für die Dichtigkeit sollten genauere Untersuchungen zur Durchlässigkeit bei unterschiedlichen Bewe-

gungen durchgeführt werden. Die in der Fallstudie vorgenommene Bewertung ist daher als ein weiteres Maß für den Tragekomfort anzusehen.

Da die Bewegungen an den Schnittstellen nicht explizit einer Beurteilung durch die Versuchsteilnehmer unterzogen wurden, kann eine unmittelbare, subjektive Bewertung der Schnittstellenbeweglichkeit nicht erfolgen. Aus diesem Grund wurden die bivariate Korrelation und die Korrelationskoeffizienten Kendall-Tau-B und Spearman sowohl für die maximalen Bewegungen an den Schnittstellen als auch für einzelne Arbeits- und Bewegungsaufgaben untersucht, die Urteile für die Komponenten Ärmel, Beuge und Ellenbogen sowie für die Ausführbarkeit einiger darauf bezogener Arbeitsaufgaben enthalten. Die statistischen Betrachtungen zeigen weder schnittstellen- noch aufgabenbezogene signifikante Korrelationen zwischen den subjektiven Bewertungen und den gemessenen Verschiebungen. Die Bildung einer statistisch gesicherten Bewertungsskala auf der Grundlage von Korrelationen ist für die Einstufung der Schnittstellenbewegungen somit nicht möglich. Gleiches gilt für die sichere Quantifizierung der Skalierungen.

Um die Systematik des Bewertungsansatzes darzustellen, wird im Folgenden dennoch exemplarisch je Schnittstelle eine eigenständige Skala angegeben (Tab. 5.20). Ausgehend von den maximalen Bewegungen an den drei Schnittstellen wurde die Spannweite in fünf gleichgroße Gruppen eingeteilt. Die auf diese Weise ermittelten Trennwerte wurden auch hier als Grenzen für die Bewegungen respektive Bewertungsstufen angesetzt. Um die einheitliche Systematik zu verdeutlichen, werden diese ebenfalls der fünfstufigen äquidistanten Bewertungsskala zugeordnet.

**Tab. 5.20** Bewertung der Schnittstellenbeweglichkeit

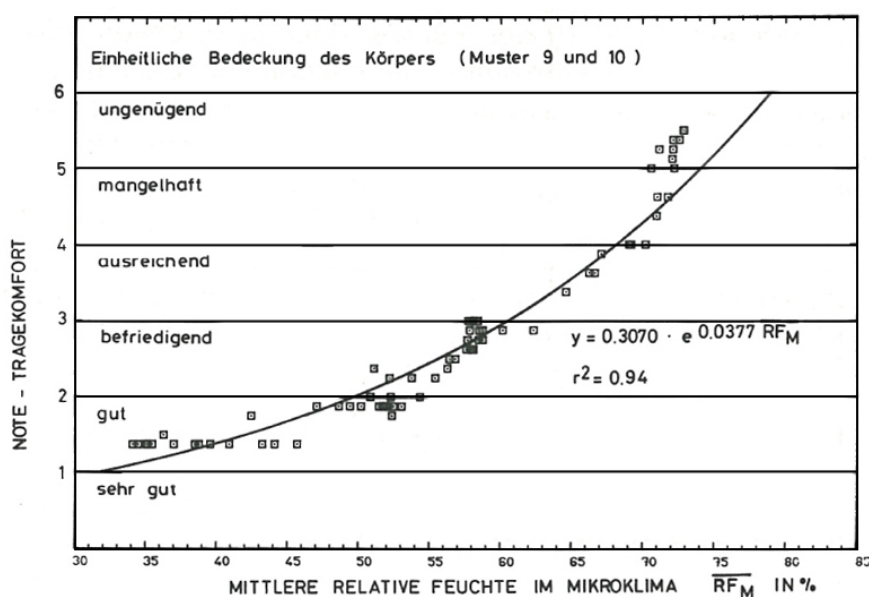
<b>Bewertung (Clustering)</b>	<b>Jacke-Hose</b>	<b>Handschuhe- Jacke</b>	<b>Hose-Stiefel</b>
sehr gut (1)	kleiner 7,3 cm	kleiner 2,4 cm	kleiner 4,9 cm
gut (2)	bis 14,4 cm	bis 4,8 cm	bis 9,8 cm
mittelmäßig (3)	bis 21,6 cm	bis 7,2 cm	bis 14,7 cm
schlecht (4)	bis 28,8 cm	bis 9,6 cm	bis 19,6 cm
sehr schlecht (5)	größer 28,8 cm	größer 9,6 cm	größer 19,6 cm

Die beobachteten Bewegungen an den Schnittstellen werden zunächst nach dem bekannten Schema der Auswertungen der Fallstudie reduziert. Es werden die Extremwerte, d. h. maximale Verschiebungen über alle Probanden und alle Arbeits- und Bewegungsaufgaben, für die drei Schnittstellen der Feuerwehrsutzbekleidung betrachtet. Im zweiten Schritt erfolgt die Clusterung der Maximalwerte. Eine probandenbezogene Bewertung wird nicht vorgenommen, da die Ausgewogenheit aller Bewertungen durch die Zellbesetzung sichergestellt wird. Gewichtungsfaktoren sind auf Grund der drei unabhängigen Skalierungen nicht erforderlich. Die Zusammenfassung für die weiteren Berechnungsschritte erfolgt über den arithmetischen Mittelwert aller beobachteten Schnittstellen.

### 5.3.3 Mikroklima

Für die Bewertung des Mikroklimas wurden die Zwischenschichtenfeuchte und die gewichtete Hautoberflächentemperatur ermittelt. Zur vereinfachten Auswertung wur-

den die komplexen Zeitreihen in Anlehnung an Multimomentauswertungen zu zehn festgelegten Messzeitpunkten ausgewertet, so dass je Messreihe eine überschaubare Reihe von Kennzahlen zur Verfügung steht. Für die Bewertung ist es unerlässlich, diese weiter auf eine einzelne Kennzahl für den Tragekomfort im Klima zu reduzieren, um einen gezielten Vergleich – als Entscheidungshilfe – zu ermöglichen. Die Beeinflussung des Tragekomforts von Kleidung, insbesondere durch extreme Wärme und Feuchte, stellt ein eigenständiges Forschungsgebiet dar. Nach Expertenauskünften sind bekleidungsphysiologische und textiltechnische Gestaltung insbesondere von „normaler“ Kleidung und Sportbekleidung sehr gut erforscht und beschreibbar. Es bestehen jedoch gravierende Unterschiede zu Schutzkleidung hinsichtlich Verhalten und Nutzungskontexten. Bewertungen sind grundsätzlich gut realisierbar und verbalisierbar. Für keine der Kleidungsgruppen existieren zurzeit einzelne Kennzahlen oder Systematiken, um die Verläufe des Mikroklimas abbilden zu können. Es ist stets mit hohen Datenverlusten zu rechnen, wenn Verläufe und Extremsituationen unvollständig abgebildet werden. Die Resultate der Fallstudie können die sehr komplexen Zusammenhänge daher nur unvollständig wiedergeben. Um ungeachtet dessen in der Bildung dieser Bewertungskennzahl das Mikroklima darstellen zu können, wird in Anlehnung an etablierte Tragekomfortbewertungen eine Datenreduktion vorgenommen.



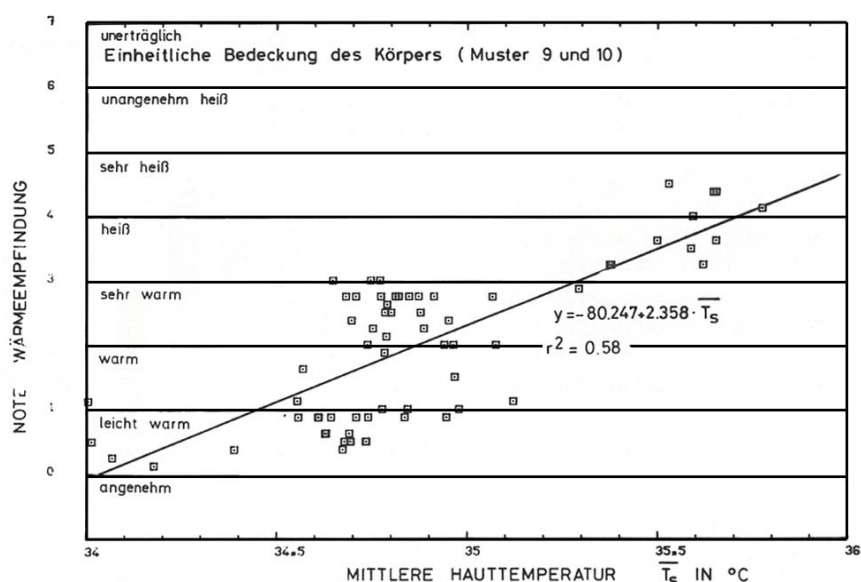
**Abb. 5.15** Ermittlung des Tragekomforts der relativen Feuchte (UMBACH, 1982)

Die Datenreduktion der Zwischenschichtenfeuchte erfolgt in Anlehnung an die Bewertung der Hohenstein Institute (UMBACH, 1982). Diese Methodik ist nicht uneingeschränkt für alle Klimaszenarien geeignet, dennoch werden im Rahmen dieser Arbeit aus Abb. 5.15 entsprechende Kennwerte abgelesen oder mit der dortigen Näherung rechnerisch bestimmt. In der sechsstufigen Skalierung des Tragekomforts für Feuchte werden für die Bewertungskennzahl abweichend die Stufen 5 und 6 (mangelhaft und ungenügend) zusammengefasst. Die Clusterung (Codierung) erfolgt sinngemäß und parallel zur Komponentenbewertung (Tab. 5.21). Für die Auswertung wird das arithmetische Mittel der relativen Feuchte der Bereiche Brust und Rücken über der Hautoberfläche und unterhalb der ersten Bekleidungsschicht genutzt.

**Tab. 5.21** Bewertung der Zwischenschichtenfeuchte

Tragekomfort Feuchte, bisher (UMBACH, 1982)	Tragekomfort Feuchte (normiert)	Clustering (Codierung)
sehr gut	sehr gut	kleiner 32 % rF (1)
gut	gut	bis 50 % rF (2)
befriedigend	mittelmäßig	bis 61 % rF (3)
ausreichend	schlecht	bis 68 % rF (4)
mangelhaft	sehr schlecht	größer 68 % rF (5)
ungenügend		

Das zweite Klimamaß, die gewichtete Hautoberflächentemperatur, lässt sich nach UMBACH (1982) bewerten. Zunächst wird das Wärmeempfinden abgeleitet, das dem Tragekomfort zugeordnet wird. Auf Grund der geringeren Bestimmtheit und des Zwischenschrittes über das Wärmeempfinden ist mit einer größeren Unsicherheit und Verlusten bei der Bewertung zu rechnen. Für die Darstellung der Systematik wird diese Näherung akzeptiert und die Temperaturgrenzen wie folgt bestimmt:

**Abb. 5.16** Ermittlung des Tragekomforts der mittleren Hauttemperatur (UMBACH, 1982)**Tab. 5.22** Bewertung der mittleren Hauttemperatur

Wärmeempfindung (nach UMBACH, 1982)	Tragekomfort (normiert)	Clustering (Codierung)
angenehm	kleiner 34,03 °C	sehr gut
leicht warm	bis 34,46 °C	gut
warm	bis 34,88 °C	mittelmäßig
sehr warm	bis 35,3 °C	
heiß	bis 35,73 °C	schlecht
sehr heiß	bis 36,15 °C	

Wärmeempfindung (nach UMBACH, 1982)		Tragekomfort (normiert)	Clusterung (Codierung)
unangenehm heiß	bis 36,58 °C	sehr schlecht	größer 36,2 °C (5)
unerträglich	größer 36,58 °C		

Auf Grund der geringeren Belastungen wird keine Bewertung der Klimadaten aus Versuchen in Kälte vorgenommen. Das zugrundeliegende Szenario umfasst zudem Brandeinsätze im warmen Klima, so dass ausschließlich die extremen Belastungen der Wärme herangezogen werden können. Aus Abb. 5.16 kann abgeleitet werden, dass die in Kälte ermittelte Hautoberflächentemperatur (Mittelwert zum Versuchsende 32,4°C) im Bereich „angenehm“ oder leicht darunter liegt – Linearität vorausgesetzt. Die mittlere Zwischenschichtenfeuchte, die zum Versuchsende bei rund 54 % rF liegt, lässt sich nach UMBACH (Abb. 5.15) gut bis befriedigend einstufen. Beide Bewertungen sind als unkritisch einzustufen. Ein Einfluss auf die Bewertung ist daher auszuschließen, so dass auf eine Integration zum jetzigen Zeitpunkt verzichtet wird.

Um über die Zwischenschichtenfeuchte eine qualitative Aussage tätigen zu können, muss aus den vorliegenden Messreihen ein einzelner Kennwert generiert werden. Dieser muss wie ausgeführt den zeitlichen Verlauf, z. B. Zunahme der Feuchte pro Zeiteinheit, optimal abbilden. Es stehen Kennzahlen mit unterschiedlicher Deutungstiefe zur Auswahl: z. B. Steigung zwischen Anfangs- und Endfeuchte, Gradient, Maximum, Mittelwert. Es werden daher drei der zehn Messzeitpunkte für die Bewertung des Tragekomforts ausgewählt. Der erste Zeitpunkt ( $t = 6$  min) schließt das erste Viertel der Versuchsdurchführung ab und liegt in der Gewöhnungsphase, die Probanden starten ausgeruht und unbelastet in den Versuch. Der zweite Messpunkt wird zur Versuchsmitte bei  $t = 12$  min gewählt, um den Verlauf des Mikroklimas tendenziell abzubilden. Als letzter zu bewertender Messwert wird  $t = 25$  min herangezogen. Er markiert das Versuchsende nach 25 Minuten Belastung und lässt möglicherweise Schlüsse auf klimatische Langzeiteffekte zu. Über die drei Referenzpunkte wird sowohl die Zwischenschichtenfeuchte, als auch die gewichtete Hauttemperatur für die Bewertungskennzahl aufbereitet. Als statistische Größe wird jeweils das arithmetische Mittel gebildet. Aus den Ergebnissen der Fallstudie wird ersichtlich, dass die Zusammensetzung der Referenzwerte ungünstigere Bewertungen erwarten lässt, da zwei der drei Messzeitpunkte in der zweiten Versuchshälfte, also mit höherer respektive längerer Belastung, liegen. Dies kommt der üblichen Worst-Case-Betrachtung entgegen.

#### 5.3.4 Klimaempfinden

Wie beschrieben, bewerteten die Probanden in den Klimaversuchen (kalt und warm) jeweils auf einer sechsstufigen Skala ihre Befindlichkeit im Klima. Für die Bildung der Bewertungskennzahl wird diese entsprechend der eingeführten fünfstufigen Skala bewertet. Die Vergleichbarkeit mit Skalierungen und Bewertungen des Mikroklimas ist gegeben. Die Codierung erfolgt wie in Tab. 5.23 angegeben. Für die Bewertung des zeitlichen Verlaufes des Klimaempfindens werden ebenfalls die drei bereits im Abschnitt Mikroklima festgelegten Versuchszeitpunkte herangezogen. Da es sich um ordinalskalierte Daten handelt, wird jedoch der Median bestimmt.

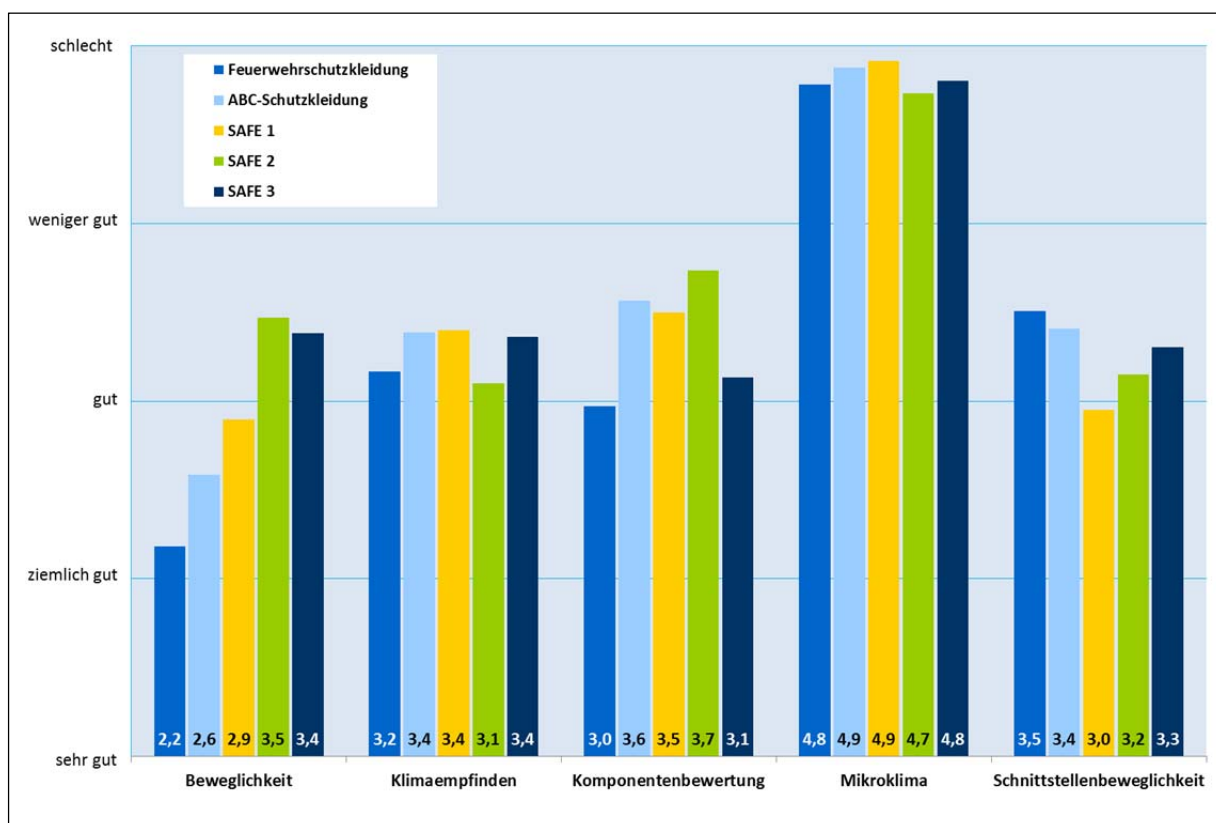


**Tab. 5.23** Bewertung der Befindlichkeit im Klima

Klimaempfinden (nach FANGER, 1979)	Empirische Studie (Codierung)	Klimaempfinden (bewertet)	Codierung
leicht kühl	leicht kühl (0)	sehr gut	1
neutral	neutral (1)	gut	2
warm	warm (2)	mittelmäßig	3
heiß	heiß (3)	schlecht	4
sehr heiß	sehr heiß (4)		
extrem heiß	extrem heiß (5)	sehr schlecht	5
./.	Abbruch oder Versuchsende (9)		

## 5.4 Bewertungskennzahlen

Werden die Kennzahlen der einzelnen Datengruppen für die Schutzanzüge wie beschrieben ermittelt, so ergeben sich zusammenfassend die in Abb. 5.17 dargestellten Bewertungskennzahlen.

**Abb. 5.17** Bewertungskennzahlen

Die Gegenüberstellung ermöglicht einen schnellen Vergleich über alle Untersuchungsobjekte. Im Überblick wird deutlich, dass insbesondere bei der Bewertung der Beweglichkeit Unterschiede ermittelt werden konnten. Weniger Unterscheidungsmöglichkeit bieten dagegen die Bewertungen des Kriteriums Mikroklima. Unter Be-

rücksichtigung der Gewichtungsfaktoren gemäß Experteneinschätzung ergeben sich die Zahlenwerte der Tab. 5.24. Der Feuerwehrschanzug und SAFE 2 wurden in jeweils zwei Kategorien am besten bewertet, Anzug SAFE 1 in nur einer Kategorie. Dagegen sind im Vergleich aller Kennzahlen sowohl der ABC-Schutzanzug, als auch der Prototyp SAFE 3 bei keinem der Bewertungskriterien besonders hervorzuheben.

**Tab. 5.24** Gewichtete Bewertungskennzahlen

Datengruppe (Faktor)	Feuerwehrschanzug	ABC-Schutzanzug	SAFE 1	SAFE 2	SAFE 3
Komponentenbewertung (0,75)	<b>2,23</b>	2,68	2,62	2,80	2,35
Beweglichkeit (0,95)	<b>2,07</b>	2,46	2,75	3,30	3,21
Schnittstellenbeweglichkeit (0,76)	2,67	2,59	<b>2,24</b>	2,39	2,51
Mikroklima (0,82)	3,92	4,00	4,03	<b>3,88</b>	3,94
Klimaempfinden (0,85)	2,69	2,88	2,89	<b>2,64</b>	2,86

## 5.5 Integratives Bewertungsmaß

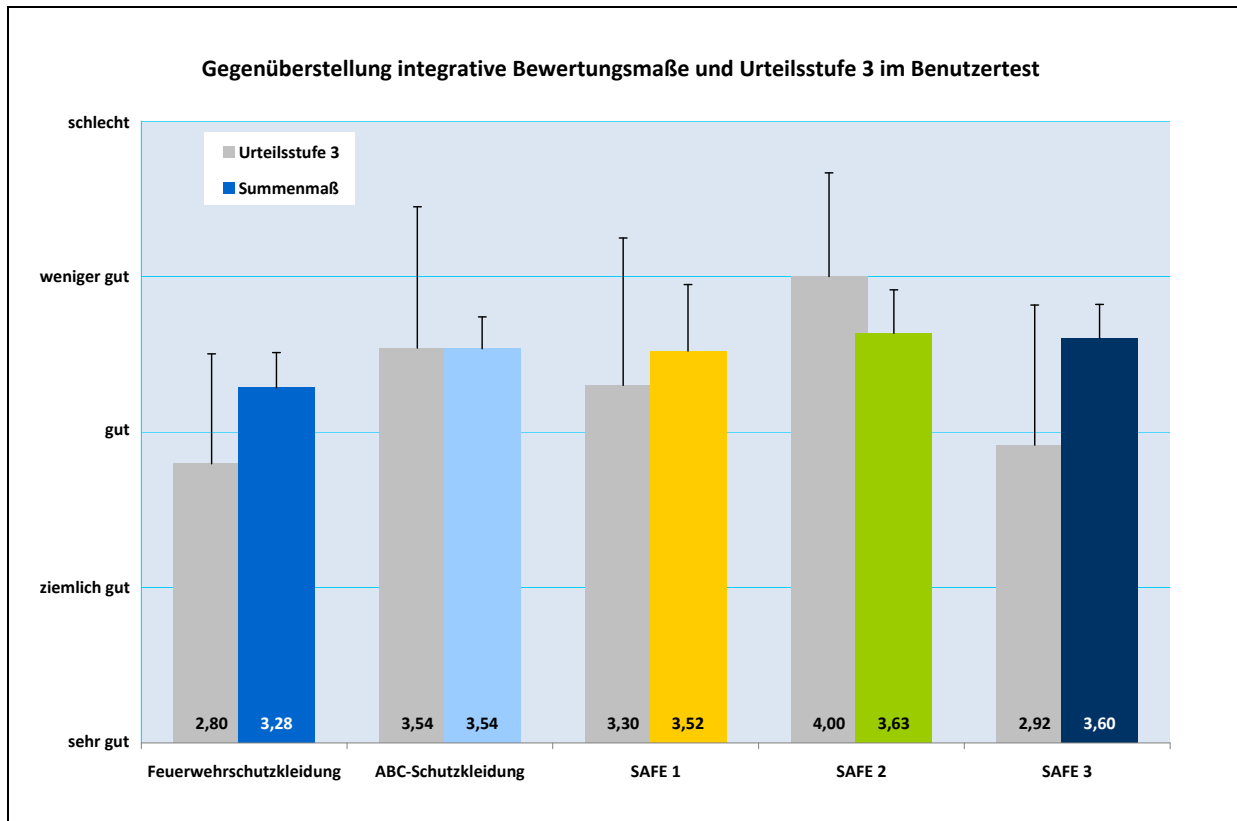
Obwohl die Experten in der Delphi-Befragung angaben, dass mit einer geringeren Akzeptanz bzw. einem weniger ausgeprägtem Wunsch nach einem integrativen Bewertungsmaß zu rechnen ist, werden die Bewertungskennzahlen abschließend in einem Bewertungsmaß integriert werden. Aus Gründen der Praxisrelevanz werden die Bewertungskennzahlen analog zu den vorangegangenen Berechnungen ebenfalls additiv zusammengefasst. Das integrative Bewertungsmaß errechnet sich aus den Summanden Komponentenbewertung (K), Beweglichkeit (B), Schnittstellenbeweglichkeit (S), Mikroklima (M) und Klimaempfinden (E) sowie den Gewichtungsfaktoren a, b, c, d, e, die aus der Experteneinschätzung für die Bedeutung der Daten­gruppen der Produktbewertung abgeleitet wurden. Unter Berücksichtigung aller Gewichtungsfaktoren setzt sich es sich wie folgt zusammen:

Integratives Bewertungsmaß:	$S_{\text{Use}} = \frac{a \cdot B + b \cdot S + c \cdot K + d \cdot M + e \cdot E}{a + b + c + d + e}$
-----------------------------	--

Die Berechnung des Bewertungsmaßes wurde für alle Testobjekte der Fallstudie durchgeführt, sowohl für die Schutzanzüge mit Stichprobengröße N=50 als auch für die drei untersuchten Prototypen mit kleinerer Stichprobe (N=10, N=12). In Anhang 13 findet sich die in SPSS erstellte Syntax zur Berechnung der erforderlichen Variablen.

In Abb. 5.18 werden die fünf integrativen Bewertungsmaße gegenübergestellt, ebenso die Mittelwerte der Benutzerurteile aus dem Versuchsparcours. Der Vergleich mit den deskriptiven Ergebnissen (Kapitel 4.6) lässt eine ähnliche Tendenz in der Bewertung erkennen. Gleiches gilt für die Nutzerurteile der Komponentenbewertung. Es ist zu bemerken, dass die Unterschiede der Bewertungsmaße weniger stark ausfallen. Eine mögliche Ursache besteht darin, dass sich die Stärken und Schwächen der Untersuchungsobjekte auf Grund der Gewichtungsfaktoren ausgleichen bzw. Ausreißer

der Bewertung vernachlässigt werden. Insgesamt bewegen sich alle fünf Schutzanzüge auf ähnlichem Niveau. Lediglich der Feuerwehrschutzanzug setzt sich positiv ab, auch wenn auf seiner Basis Grenzwerte ermittelt wurden, müssen die anderen Untersuchungsobjekte schlechter bewertet werden. Der Vergleich der Anzugtypen – Einteiler zu Zweiteiler – folgt dem Eindruck der empirischen Studie.



**Abb. 5.18** Gegenüberstellung integrative Bewertungsmaße und Nutzerurteile

Der Feuerwehrschutzanzug erhält im Mittel die beste Bewertung mit der Gesamtnote 3,28. ABC-Schutzanzug und Prototyp SAFE 1 sind mit einem integrativen Bewertungsmaß von rund 3,5 nahezu gleich auf, gefolgt von den Prototypen SAFE 2 und 3 die ebenfalls ähnlich (integratives Bewertungsmaß rund 3,6) zu bewerten sind. Auf Grund der größeren Stichprobe fällt die Standardabweichung bei den Referenzanzügen geringer aus als bei den Prototypen; am größten ist die Streuung bei SAFE 1.

## 6 Diskussion

Im Folgenden werden Erkenntnisse aus der Entwicklung des Bewertungsansatzes, d. h. der Durchführung der Gebrauchstauglichkeitstests, der Bildung der Bewertungskennzahlen und des integrativen Bewertungsmaßes sowie ihrer Praxistauglichkeit diskutiert.

### 6.1 Gebrauchstauglichkeitstest

Für die Entwicklung des Bewertungsansatzes für Feuerwehrschtzkleidung und die Bildung von Bewertungskennzahlen wurden umfangreiche Gebrauchstauglichkeitstests durchgeführt. Großer Wert wurde auf die präzise Abbildung des Nutzungskontextes und die Validität gelegt, so dass die Tests, bedingt durch fünf Prüfobjekte, das Versuchsdesign und die Stichprobengröße ( $N=50$ ), sehr umfangreich ausfielen. Für die Optimierung der untersuchten Prototypen liegen Prüfergebnisse in unterschiedlicher Tiefe vor; sowohl detaillierte, deskriptive Bewertungen und Berichte mit einer Vielzahl von Kennwerten, aber auch übersichtlichere Zusammenfassungen ohne Gewichtung einzelner Prüfkategorien.

Für den Bewertungsprozess unter Laborbedingungen – hier zur Produktoptimierung – ist der Umfang der Untersuchung sehr komplex angelegt. Da es sich bei einer Produktentwicklung/-optimierung um einen iterativen Prozess handelt, in dem sich Konstruktion und Testung abwechseln, um möglichst viele Mängel aufzudecken und zu beseitigen, ist der Aufwand für umfangreiche Gebrauchstauglichkeitstests dennoch als angemessen einzustufen. So führten die Bewertungen des ersten Anzugprototyps des Fallbeispiels (SAFE 1) zu sichtbaren Verbesserungen der folgenden Entwicklungsstufen (SAFE 2 und 3).

Soll eine Produktbewertung in einem Beschaffungsprozess vorgenommen werden – diese sollte wie dargestellt unverzichtbarer Bestandteil des Prozesses sein – sind jedoch Art und Umfang (zeitlicher Rahmen) als inakzeptabel zu bewerten, da nicht jedem Beschaffer und Nutzer ein entsprechendes Methodeninventar zur Verfügung stehen wird und der zeitliche Rahmen die betrieblichen Möglichkeiten übersteigt. Im Sinne der Praxistauglichkeit und unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der Stakeholdergruppen muss überprüft werden, ob der Prüfumfang gezielt verringert bzw. optimiert werden kann (s. Kapitel Ausblick). Eine Kürzung des Prüfumfanges sollte daher nicht nur produkt-, sondern auch situations- bzw. stakeholderabhängig geplant werden. Für Schutzkleidung kann dies beispielsweise anhand der vorliegenden Erkenntnisse realisiert werden.

Kürzungspotenzial wurde im Fallbeispiel bereits bei der Bestimmung der Gebrauchstauglichkeit genutzt. Innerhalb der Produkttests wurden durch Befragungen (Kapitel 3.2.2) lediglich Aspekte der Effektivität und der Zufriedenstellung bei der Ausführbarkeit der Arbeits- und Bewegungsaufgaben erfasst. Obwohl Effizienz ein wichtiger Teilaspekt der Gebrauchstauglichkeit ist, der den Faktor Zeit bei der Ausführbarkeit berücksichtigt und zudem gut messbar ist, wurde auf eine Zeitnahme im Versuchsparcours verzichtet. Im Fallbeispiel ist davon auszugehen, dass einige der bewerteten Arbeits- und Bewegungsaufgaben (z. B. Ankleiden, Auskleiden, Rettungsschleufe) zwar zeitlich relevant, im Feld jedoch von anderen Faktoren des Nut-

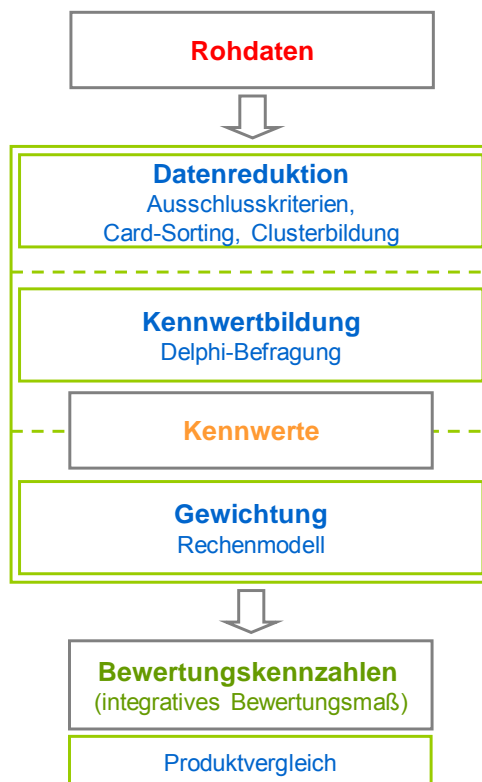
zungskontextes abhängig sind bzw. überlagert werden. Bei anderen Arbeitsmitteln, die stärker auf konkrete Arbeitsaufgaben mit zeitkritischem Hintergrund ausgerichtet sind, wird es sicher sinnvoll sein, die Effizienz explizit zu erfassen. Liegt der Fokus jedoch auf der Bewertung einzelner Komponenten und der Wahrnehmung von Gebrauchstauglichkeitsmängeln (wie im vorliegenden Fall), ist es sinnvoll, auf den durch Zeitnahme verursachten Zeitdruck zu verzichten, um die Güte der Bewertung nicht zu gefährden. Statt das Zeitverhalten zu messen, sollten daher bei Schutzkleidung, wie gezeigt, die detaillierte Erhebung ergonomischer Aspekte (z. B. Mikroklima, Bewegungsumfang) und die Nutzerzufriedenheit im Mittelpunkt stehen.

Das Fallbeispiel Feuerwehrsutzkleidung macht deutlich, dass zahlreiche Kennzahlen in Produkttests ermittelt werden können, um die Gebrauchstauglichkeit und die ergonomische Qualität von Produkten einschließlich Arbeitsmitteln zu bewerten. Für weitaus komplexere Produkte als es Schutzkleidung ist, ist die Anzahl der Kennzahlen nahezu beliebig. Gebrauchstauglichkeitstests müssen daher bereits im Vorfeld auf die notwendigen und aussagekräftigsten Maße reduziert werden, ohne Verluste bei der Abbildung des Nutzungskontextes und den Bewertungsmöglichkeiten zu verursachen. Die komplexen Testergebnisse des Fallbeispiels bestätigen dies und unterstreichen den grundsätzlichen Bedarf einer Übersichtsbewertung.

## 6.2 Modellbildung

In Kapitel 5 wurde auf Basis eines Fallbeispiels ein Modell für einen Bewertungsansatz für Feuerwehrsutzkleidung entwickelt, das die Erkenntnisse der Gebrauchstauglichkeitstests für die praktische Anwendung (z. B. Beschaffer, Nutzer) zusammenfasst. Die vorgesehene Systematik (Abb. 5.1, S. 108) verdeutlicht, dass aufgrund der Vielzahl von Kennwerten mit sehr unterschiedlichen Dimensionen eine stufenweise Datenreduktion angestrebt wurde, die die Validität der Gesamtbewertung sicherstellen sollte. Neben statistischen Verfahren wurden Usability- und Expertenmethoden auf deren Eignung hin untersucht und zur Anwendung gebracht. Abb. 6.1 fasst die relevanten Prozessschritte und den letztlich eingesetzten Methodenpool zusammen. Der Vergleich zeigt, dass sich die vorgesehenen, überwiegend statistischen Methoden als wenig zielführend erwiesen haben, da inhaltliche Zusammenhänge der Datengruppen nicht plausibel wiedergegeben werden konnten.

Die vorliegende Arbeit verdeutlicht vielmehr, dass auf die Einbindung von Fachexperten mit vielfältigen Bezugspunkten zu den Prüfobjekten nicht verzichtet werden sollte. Hierbei ist darauf zu achten, dass – im Rahmen einer Anforderungsanalyse und den daraus resultierenden Gebrauchstauglichkeitstests – sich die Gruppe der Experten überwiegend aus den Nutzergruppen (Anwendern) zusammensetzt. Dagegen sind für die Bildung von Bewertungskennzahlen (Bewertung von Kenngrößen, Gewichtung einzelner Datengruppen, Einschätzung der Praxisrelevanz) Fachexperten aus denjenigen Disziplinen zu beteiligen, die sowohl einen engen Bezug zur Anwendung der Produkte als auch über spezielle Kenntnisse (im Fallbeispiel: Ergonomie, Klimaphysiologie, Textiltechnik usw.) verfügen.



**Abb. 6.1** Modell des Bewertungsansatzes

Insbesondere das Card-Sorting, als Maßnahme zur Datenreduktion, aber auch die Delphi-Befragung, zur Bewertung der Kenngrößen, lieferten aus Sicht des Autors durch die Einbindung externer Fachexpertisen valide Ergebnisse. Beide haben sich als sehr wertvolle Methoden für die expertengestützte Datenreduktion und Kennwertbildung erwiesen und werden bei der Grundlagenermittlung für die Produktbewertung anderer Produkte, einschließlich Arbeitsmitteln, zum Einsatz vorgeschlagen. Auch die ebenfalls zur Datenreduktion erforderlichen Ausschlusskriterien und Kriterien zur Bildung von Clustern erfordern ein hohes Maß an Expertise. Der Befragungsaufwand ist bei Experteneinbindung besonders für Adhoc-Bewertungen und Vor-Ort-Schnelltests jedoch als sehr hoch einzuschätzen; gleiches gilt für Anforderungen, die an wissenschaftliche Kenntnisse bzw. statistische Methoden zu stellen sind. Bei wechselnden Nutzungskontexten und vor allem neu zu bewertenden Produktgruppen steigt der zeitliche und organisatorische Aufwand, so dass der Methodenpool nur eingeschränkt für alle Stakeholdergruppen geeignet ist, insbesondere wenn es sich um Auswahl- bzw. Beschaffungsprozesse handelt.

Im Rahmen dieser Arbeit (Kapitel 5.3) zeigte sich, dass die Bewertung einzelner Kennwerte (z. B. Klima, Schnittstellenbeweglichkeit) bisher wissenschaftlich nur unzureichend geklärt ist, um problemlos in Bewertungskennzahlen einfließen zu können. Da sich die ungelösten Fragestellungen in Tiefe und Relevanz für die Bildung des Bewertungsmaßes unterscheiden, konnten einzelne Aspekte (z. B. Bewertung des zeitlichen Verlaufes des Mikroklimas, Dichtheit an Schnittstellen) nur hinsichtlich einer grundlegenden Vorgehensweise geklärt werden. Um respektvoll mit diesen Wissenslücken umzugehen, orientieren sich die festgelegten Grenzwerte im Wesentlichen an den Messwerten des Fallbeispiels oder an DIN EN 469. Die Referenzkleidung wird in diesem Zusammenhang nicht als Optimum sondern als Vergleichsgröße

genutzt, d. h. auch bei dieser kann mangels Vergleichen ein bisher nicht quantifizierbares Verbesserungspotenzial bestehen. Dies hat zur Folge, dass bei weiteren Produkttests und Anwendung des Bewertungsansatzes die eingesetzte Skalierung an Grenzen stößt und angepasst werden sollte.

Bei der Vielzahl der durchgeführten Laborversuche und gleichzeitiger Kombination zahlreicher und sehr unterschiedlicher Messverfahren sind sowohl Messfehler (z. B. Messabweichungen) als auch statistische Fehler nicht grundsätzlich auszuschließen. Kritisch ist auch anzumerken, dass die Genauigkeit der Bewertungskennzahlen und insbesondere des integrativen Bewertungsmaßes im Vergleich zu den Rohdaten abgenommen hat; Hauptursache stellen die zahlreichen Mittelwerte, die sukzessive gebildet wurden und zu einer geringeren Streuung beigetragen haben, dar. Um die Methodenqualität zu erhöhen ist zu klären, wie zukünftig mit solchen Fehlern umgegangen wird und wie sich eine sinnvolle Einbindung in die Summenbildung gestalten kann. Betrachtet man im Detail beispielsweise die Umrechnung bzw. Bewertung der Maßzahlen von Mikroklima und Klimaempfinden (Kapitel 5.3.3 und 5.3.4), so müssen diese als sehr fehleranfällig angesehen werden.

Zunächst werden an dieser Stelle exemplarisch einige Überlegungen zur Bewertung des zeitlichen Verlaufs der Klimadaten, der durch das Modell bisher nur bedingt berücksichtigt wird, angestellt: Prägnante, umfassende Kennzahlen zum gesamten Klimakomfort konnten weder im Versuch ermittelt noch berechnet werden. Die Auswahl der Stützstellen (drei Messzeitpunkte im Versuch, d. h. 6, 12 und 25 Minuten) stellt nur eine Näherung dar, die jedoch keine Aussage über die Dauer eines Zustands und die Veränderung je Zeiteinheit, beispielsweise des Befindens, ermöglicht. Es muss daher von einer eingeschränkten Genauigkeit des Modells für diesen speziellen Bereich ausgegangen werden, die bisher nicht näher quantifiziert werden konnte.

**Tab. 6.1** Vergleich von Bewertungskennzahlen Mikroklima und Klimaempfinden

		Feuerwehrsutzhkleidung		ABC-Schutzkleidung	
		Bewertungsmaß Mikroklima	codiertes Klimaempfinden	Bewertungsmaß Mikroklima	codiertes Klimaempfinden
N	Gültig	50	50	50	50
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		4,7833	3,1667	4,8800	3,3867
Standardabweichung		0,26136	0,48211	0,15808	0,47313

Zur weiteren Vereinfachung des Bewertungsansatzes kann zukünftig möglicherweise das Klimaempfinden als alleiniges subjektives Maß herangezogen werden, denn es liegen Erkenntnisse (z. B. der Hohenstein Institute) vor, dass subjektive Beurteilungen durch Probanden relativ zuverlässig sind, um den Tragekomfort im Klima zu beurteilen. Noch ist die Genauigkeit der Umrechnung allerdings als gering einzuschätzen, da die genannten Untersuchungen unter gemäßigten klimatischen Bedingungen und anderen Bekleidungskonzepten durchgeführt wurden. Die Ableitungen im Rahmen des Bewertungsansatzes bestätigen dies: Es sind signifikante Unterschiede in den Bewertungen festzustellen, die eine Spannweite von bis zu 1,5 Bewertungspunkten umfassen (Tab. 6.1). Es empfiehlt sich daher, bis auf Weiteres beide Kenngrößen zu berücksichtigen und in einem Mittelwert zu verrechnen.

Sofern keine gesonderte Gewichtung einzelner Kennwerte erforderlich erschien, wurde eine Reduktion der Daten jeweils auf den arithmetischen Mittelwert vorgenommen, d. h. die zusammengefassten Messwerte oder berechneten Kenngrößen wurden gleich gewichtet. Betrachtet man beispielsweise den Faktor Beweglichkeit, so wird empfohlen, trotz zunehmender Komplexität des Bewertungsansatzes, zukünftig eine differenzierte Gewichtung einzelner Bewegungsrichtungen vorzunehmen, um mehr Praxisnähe zu gewährleisten. Aus demselben Grund bzw. im Sinne der Vereinfachung kann auf eine Individualisierung, d. h. eine personenbezogene Bildung der Bewertungskennzahlen, ebenfalls verzichtet werden, da eine Normierung auf die Stichprobe vorgenommen wurde, die sich entsprechend des Nutzungskontextes zusammensetzt.

### **6.3 Praxistauglichkeit**

Die bereits ausführlich erörterte Frage der Praxisnähe der Methodik soll an dieser Stelle zusammenfassend dargestellt werden: Wie aufgezeigt, lässt sie sich nur unter Berücksichtigung der anvisierten Stakeholdergruppen beantworten, denn auch die Bildung der Bewertungskennzahlen unterliegt der Gebrauchstauglichkeit. Daher ist die Praxisnähe insbesondere wegen der Komplexität der generierten Kennzahlen nur bedingt gegeben, auch wenn die Versuchsanordnung den Nutzungskontext detailliert abbildet. Die Komplexität der gesamten Methodik eignet sich aus derzeitiger Sicht nicht für einen Produkttest in der betrieblichen Realität, d. h. für eine praxisorientierte Umsetzung durch weniger erfahrene Personen wie Beschaffer oder Nutzer.

Aus Sicht des Autors ist der entwickelte Bewertungsansatz zur Bildung von Bewertungskennzahlen und eines integrativen Bewertungsmaßes dennoch grundsätzlich geeignet und gangbar, erfordert jedoch einen erheblichen personellen, finanziellen und zeitlichen Aufwand und ist als Schnelltest für die Erfordernisse in Unternehmen nicht umsetzbar. Auch KIM (S. 335, 2007) hat dies in seiner Studie bereits gefordert: „What is noteworthy in building an index model is that simple is better.“ Er ist gleichzeitig bereit, Einschränkungen bei der Performanz der Methode hinzunehmen, solange die Evaluation schnell und effektiv von statten geht, daher wählte er den umgekehrten Weg und reduzierte bereits vor der Produkttestung die Anzahl ihrer Kennzahlen drastisch. Der im Rahmen dieser Arbeit beschriebene Bewertungsansatz sollte daher als solide Basis verstanden werden, die valide Produktbewertungen sicherstellt, die insbesondere von der Einbindung der unterschiedlichen Expertengruppen und vom sehr guten Verständnis des Nutzungskontextes profitieren. Je nach Anwendungsfall und Stakeholdergruppe kann weder auf die Komplexität der Gebrauchstauglichkeitstests noch auf die Gründlichkeit des Bewertungsansatzes verzichtet werden. Im Arbeitskontext müssen für komplexe Produkte oder solche mit betrieblicher Schlüsselfunktion, z. B. aufgrund ihrer Relevanz für die Leistungserstellung, sowohl die vollständigen, als auch darauf basierende vereinfachte und valide Methoden bereitstehen.

Auf der Grundlage der in dieser Arbeit gewonnenen Erfahrungen, ist zu schlussfolgern, dass sowohl die mit der Konstruktion betraute Seite, als auch die Nutzerseite mit geeigneten Verfahren Produkte bewerten, optimieren und auswählen können sollte. In Anlehnung an KIRAKOWSKI (2005, S. 522) bieten sich hierzu gestaffelte Berichte zur Gebrauchstauglichkeit an. Für die unterschiedlichen Abstufungen von Produkttests sollten geeignete Maße ermittelt werden, die in unterschiedlicher Tiefe



die Bewertung entweder des Gesamtproduktes oder seiner Komponenten ermöglichen. In der Entwicklungs- und Optimierungsphase sind überwiegend entsprechende detaillierte Berichte erforderlich, denn der Bewertungsansatz ermöglicht an dieser Stelle keine Priorisierung von Gebrauchstauglichkeitsproblemen, sondern kann nur den Gesamteindruck widerspiegeln. Für die Auswahl und Beschaffung bietet er mit seinen Kennzahlen für das gesamte Produkt respektive einzelne Komponentengruppen jedoch eine gute Übersicht.

## 7 Ausblick

Die vorliegende Arbeit verdeutlicht die Bedeutung von Gebrauchstauglichkeitsprüfungen für komplexe Produkte oder solche mit Schlüsselfunktionen, wie das Fallbeispiel Feuerweherschutzkleidung zeigt. Die genaue Kenntnis des Nutzungskontextes ist jedoch unverzichtbar, um die Gebrauchstauglichkeit eines Produktes bewerten zu können. Nicht nur systematische und standardisierte Produkttests, sondern auch zusammenfassende Bewertungen können bei Entwicklung und Auswahl gebrauchstauglicher Produkte Entwickler und Beschaffer unterstützen. Vor allem aber profitieren Nutzer von der Produktbewertung und den Optimierungsprozessen, die mit der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit einhergehen. COCA (2010) schlägt daher die Vereinheitlichung derartiger Nutzertests für Persönliche Schutzausrüstung durch Normungsinstitute vor, da bisher keine einheitlichen Standards existieren.

In Anbetracht der Vielzahl im Arbeitskontext genutzter Produkte und Produktgruppen muss die Frage der Übertragbarkeit der entwickelten Methodik gestellt werden: Selbstverständlich soll diese auf andere Produktgruppen übertragen werden. Es ist jedoch anzumerken, dass die Vergleichbarkeit von integrativen Bewertungsmaßen nur dann gegeben ist, wenn die wesentlichen Elemente, die die Gebrauchstauglichkeit beeinflussen, konstant respektive identisch sind, d. h. der Nutzungskontext (mit all seinen Facetten) und die wesentlichen Daten der Produktbewertung bzw. die Produkteigenschaften und -komponenten. Nachfolgend sind zwei Schlüsselfragen aufgeführt, die in Zukunft noch zu beantworten sind:

- Welchen Einfluss haben Änderungen der Produktgestaltung oder des Nutzungskontextes auf ein integratives Bewertungsmaß?
- Wie groß dürfen Änderungen ausfallen, so dass auf eine Neubewertung verzichtet werden kann?

Schaut man über die Grenzen eines speziellen Produktes hinaus, sollte untersucht werden, ob einzelne, besonders gebrauchstaugliche Produktkomponenten (vergleichbarer Kontext vorausgesetzt) bei anderen Produkten eingesetzt werden können und dort grundsätzlich ähnlich gut bewertet werden. Damit verbunden ist die Frage, ob neue Produktgruppen von bestehenden gebrauchstauglichen Produkten oder Komponenten „lernen“ können, d. h. ob Produktkomponenten auf einer Metaebene übertragen werden können (z. B. bereits getestete Schnittschutzhose – neu zu entwickelnde Feuerweherschutzhose). Es ist zu klären, ob gemeinsame Metaebenen unterschiedlicher Produkte existieren und ob ein Vergleich der Gebrauchstauglichkeit dieser Produkte auf den Metaebenen möglich ist.

Wie bereits dargestellt wird der Bewertungsansatz dem Anspruch auf Praxistauglichkeit nur bedingt gerecht. Die ersten Ergebnisse der Delphibefragungen lassen zudem keine eindeutigen Schlüsse zu, ob insbesondere das vorgestellte Bewertungsmaß von den eingangs genannten Stakeholdergruppen bzw. im Auswahl- und Beschaffungsprozess genutzt werden wird. Die Prozesse Markterkundung, Auswahl und Beschaffung lassen sich folglich nur dann unterstützen, wenn sinnvolle Vereinfachungen vorgenommen werden können, die mit kleineren Stichproben und reduziertem Aufwand vergleichbare, valide Ergebnisse liefern können. Der direkte Vergleich (vgl. Abb. 5.18) zeigt, dass das Abschlussfazit der Probandenbefragung keinen unmittelbaren Schluss auf ein integratives Bewertungsmaß, z. B. durch Bildung eines Fak-

tors, zulässt. Die Zusammenhänge bedürfen einer näheren, vor allem statistischen Auswertung. Im Sinne der Praxistauglichkeit und der Optimierung der vorgestellten Methodik sollten in nachfolgenden Untersuchungen einige beispielhafte Schlüsselfragen bearbeitet werden:

- Wie lassen sich Redundanzen auf einfache Art und Weise ermitteln, so dass der Erhebungsaufwand verringert werden kann?
- Welche Fragestellungen sowie Arbeits- und Bewegungsaufgaben des Versuchsparcours sind repräsentativ für das integrative Bewertungsmaß?
- Welche Nutzergruppe ist, z. B. aufgrund Körpermaße, Alter, Erfahrung, repräsentativ für einen Vor-Ort-Schnelltest?

## Literaturverzeichnis

**2001/95/EG (2001)** Allg. Richtlinie zur Produktsicherheit, Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 3. Dezember 2001 über die allgemeine Produktsicherheit

**8. ProdSV (2011)** Achte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über die Bereitstellung von persönlichen Schutzausrüstungen auf dem Markt) in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. Februar 1997 (BGBl. I S. 316), zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178) geändert

**89/391/EG (1989)** Arbeitsschutz-Rahmen-Richtlinie, Richtlinie des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit

**89/656/EWG (2007)** PSA-Benutzungs-Richtlinie, Richtlinie des Rates vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen durch Arbeitnehmer bei der Arbeit (Dritte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)

**89/686/EWG (2003)** PSA-Richtlinie, Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen (89/686/EWG)

**Adler, M.; Herrmann, H.-J.; Koldehoff, M.; Meuser, V; Scheuer, S.; Müller-Arnecke, H.; Windel, A.; Bleyer, T. (2010)** Entwicklung eines Kompendiums zur Anwendung der Ergonomie und Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von Produkten. Forschungsbericht zum Projekt F 2116, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Eigenverlag, Dortmund

**AEUV (2012)** Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union, Fassung aufgrund des am 1.12.2009 in Kraft getretenen Vertrages von Lissabon (Konsolidierte Fassung bekanntgemacht im ABl. EG Nr. C 115 vom 9.5.2008, S. 47) zuletzt geändert durch die Akte über die Bedingungen des Beitritts der Republik Kroatien und die Anpassungen des Vertrags über die Europäische Union, des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union und des Vertrags zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (ABl. EU L 112/21 vom 24.4.2012)

**Akbar-Khazadeh, F.; Bisesi, M. S. (1995)** Comfort of personal protective equipment. Applied Ergonomics Vol 26, No. 3. pp. 195-198

**ArbSchG (2009)** Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG) vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 15 Absatz 89 des Gesetzes vom 5. Februar 2009 (BGBl. I S. 160) geändert worden ist"

**Bachmann, U. (2007)** Die persönliche Schutzausrüstung des Bundes. In: Biologische Gefahren I, Handbuch zum Bevölkerungsschutz. 3. Auflage. Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bonn

**Backhaus, C. (2004)** Entwicklung einer Methodik zur Analyse und Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Medizintechnik. PROMEDIKS – Prozessorientierte Medizintechnik in klinischen Systemen, Dissertation Technische Universität Berlin, Berlin

**Backhaus, C. (2010)** Usability-Engineering in der Medizintechnik, Grundlagen - Methoden - Beispiele, Springer Verlag, Berlin Heidelberg

**Backhaus, K. (Hrsg.); Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2008)** Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung, Springer Verlag, Berlin

**Barker, R. L. (2005)** A review of Gaps and Limitations in Test Methods for first responder Protective clothing and Equipment, A Final Report Presented to National Personal Protection Technology Laboratory. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Pittsburgh

**Barr, D.; Gregson, W.; Reilly, T. (2010)** The thermal ergonomics of firefighting reviewed. Applied Ergonomics 41 (2010) p. 161–172

**BetrSichV (2011)** Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV) vom 27. September 2002 (BGBl. I S. 3777), die zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178) geändert worden ist

**BGG/GUV-G 902** Grundsatz Prüf- und Zertifizierungsordnung der Prüf- und Zertifizierungsstellen im DGUV Test. „DGUV Test – Prüf- und Zertifizierungssystem“ der Deutschen Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)

**BGI/GUV-I 8675 (2008)** Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung auf der Basis einer Gefährdungsbeurteilung für Einsätze bei deutschen Feuerwehren –Empfehlung zur Auswahl von Feuerwehr-Schutzausrüstung. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)

**BGR 189 (2007)** Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 189, Benutzung von Schutzkleidung, Aktualisierte Nachdruckfassung. Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstungen“ der Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)

**Bleyer, T. Hold, U.; Rademacher, U. Windel, A. (2008)** Belastungen des Hand-Arm-Systems als Grundlage einer ergonomischen Produktbewertung – Fallbeispiel Schaufeln, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

**Bleyer, T.; Hold, U.; Macheleidt, M.; et al. (2004)** Hebe- und Tragehilfen im Rettungsdienst – Zusammenstellung und Betrachtung wesentlicher Schnittstellen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschungsbericht 1032 zum Projekt 1531. NW Verlag, Bremerhaven

**Bleyer, T.; Hold, U.; Müller-Arnecke, H.W.; Windel, A. (2005)** Ergonomische Gestaltung von Bedientheken in ausgewählten Arbeitsbereichen: Eine Bestandsaufnahme in Theorie und Praxis. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin,

Forschungsbericht 1057 zum Projekt 1866. NW Verlag, Bremerhaven

**Bleyer, T.; Pendzich, M.; Hold, U. (2012)** Abschlussbericht Semipermeable Anzüge Für Einsatzkräfte (SAFE) – Grundlegende Untersuchungen zur Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit der Schutzkleidung. BAuA, Dortmund

**Bleyer, T.; Windel, A.; Pendzich, M. (2010)** Gebrauchstauglichkeit von Produkten – Fallbeispiel Feuerwehrschutzkleidung. In: Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten. GfA (Hrsg.)

**Blücher (2004)** Gebrauchsanleitung Overgarment – Herstelleranleitung. Blücher GmbH, Erkrath

**Bräuning, M.; Hellmuth, M.; Tumbrink, T. (2012)** Abschlussbericht zum Verbundprojekt: Semipermeable Anzüge für Einsatzkräfte (SAFE) – Teilvorhaben: Grundlegende Untersuchungen zur Integration der Systemkomponenten in die Schutzkleidung. Kärcher Futuretech GmbH, Winnenden

**Brein, D.; Grabski, R.; Kunkelmann, J.; Neske, M.; Pasch, U. (2010)** Anforderungen und Prüfmethode für die Persönlichen Schutzausrüstungen der Feuerwehreinsetzungskräfte im Brandeinsatz unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes (Persönliche Schutzausrüstung - PSA) - Teilschritt 1. Bericht Nr. 161 des IMK-Brandschutzforschungsprogramms. Eigenverlag, Heyrothsberge/Karlsruhe

**Butters, L. M.; Tetra Dixon, R. (1998)** Ergonomics in consumer product evaluation: an evolving process. Applied Ergonomics Vol. 29, No. 1, S. 55-58

**Coca, A.; Williams, J. W.; Roberge, R. J.; Powell J. B. (2010)** Effects of fire fighter protective ensembles on mobility and performance. Applied Ergonomics Vol. 41, p. 636–641

**Capra, M. (2006)** Usability Problem Description and the Evaluator Effect in Usability Testing, Dissertation. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg

**Chung, G. S.; Dae Hoon Lee, D. H. (2005)** study on comfort of protective clothing for firefighters. Elsevier Ergonomics Book Series Volume 3, Environmental Ergonomics – The Ergonomics of Human Comfort, Health and Performance in the Thermal Environment, 2005 pp. 375–378

**Deshmukh, A. R. (2006)** Product Evaluation and Process Improvement Guidelines for the Personal Protective Equipment Manufacturers based on Human Factors, NIOSH Guidelines and System Safety Principles. Dissertation. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University

**DATech (2009)** Leitfaden Usability Version 1.2, Deutsche Akkreditierungsstelle, Technik in der TGA GmbH, Frankfurt/Main

**Deutscher Feuerwehrverband e.V. (2012)** Feuerwehr-Jahrbuch 2011, Feuerwehrwesen in der Bundesrepublik Deutschland. DFV Medien, Bonn-Bad Godesberg

**DIN 33402-2 (12.2005)** Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte

**DIN 33402-2 Berichtigung 1 (05.2007)** Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte, Berichtigungen zu DIN 33402-2:2005-12

**DIN EN 136 (04.1998)** Atemschutzgeräte - Vollmasken - Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 136:1997

**DIN EN 13911 (06.2004)** Schutzkleidung für die Feuerwehr - Anforderungen und Prüfverfahren für Feuerschutzhauben für die Feuerwehr - Deutsche Fassung EN 13911:2004

**DIN EN 13921 (08.2007)** Persönliche Schutzausrüstung - Ergonomische Grundsätze; Deutsche Fassung EN 13921:2007

**DIN EN 15090 (04.2012)** Schuhe für die Feuerwehr; Deutsche Fassung EN 15090:2012

**DIN EN 469 (02.2013)** Schutzkleidung für die Feuerwehr - Leistungsanforderungen für Schutzkleidung für die Brandbekämpfung; Deutsche Fassung prEN 469

**DIN EN 469 (09.2007)** Schutzkleidung für die Feuerwehr - Leistungsanforderungen für Schutzkleidung für die Brandbekämpfung; Deutsche Fassung EN 469:2005 + A1:2006 + AC:2006

**DIN EN 943-2 (04.2002)** Schutzkleidung gegen flüssige und gasförmige Chemikalien, einschließlich Flüssigkeitsaerosole und feste Partikel - Teil 2: Leistungsanforderungen für gasdichte (Typ 1) Chemikalienschutzanzüge für Notfallteams (ET); Deutsche Fassung EN 943-2:2001

**DIN EN ISO 10075-2 (05.2000)** Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze (ISO 10075-2:1996); Deutsche Fassung EN ISO 10075-2:2000

**DIN EN ISO 6385 (05.2004)** Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (ISO 6385:2004); Deutsche Fassung EN ISO 6385:2004

**DIN EN ISO 9241-11 (01.1999)** Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; Leitsätze (ISO 9241-11:1998); Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:1998

**DIN EN ISO 9241-110 (09.2008)** Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110:2006); Deutsche Fassung EN ISO 9241-110:2006

**DIN EN ISO 9241-210 (01.2011)** Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010); Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2010

**Dzida, W.; et al. (2001)** Gebrauchstauglichkeit von Software. ErgoNorm: ein Verfahren zur Konformitätsprüfung von Software auf der Grundlage von DIN EN ISO 9241 Teile 10 und 11. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschungsbe-

richt 921. NW Verlag, Bremerhaven

**Eller, B. (2009):** Usability Engineering in der Anwendungsentwicklung, Systematische Integration zur Unterstützung einer nutzerorientierten Entwicklungsarbeit, Dissertation Technische Universität Darmstadt. Gabler Verlag, Darmstadt

**Fanger, P.O. (1979)** Thermal discomfort caused by radiant asymmetrie, local air velocity, warm or cold floors and vertical temperature gradients. In: Durand, J.; Raynaud, J.: Thermal comfort. Editions INSERM, Paris

**Gebhardt, Hj.; Kampmann, B.; Müller, B. H. (2007)** Arbeits- und Entwärmungsphasen in wärmebelasteten Arbeitsbereichen. Forschungsbericht zum Projekt F 1860. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

**Greil, H.; Voigt, A.; Scheffler, C. (2008)** Optimierung der ergonomischen Eigenschaften von Produkten für ältere Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer – Anthropometrie, Projekt F 1299. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

**Griefahn, B.; Bröde, P.; Künemund, C. (2001)** Untersuchungen der thermophysiological Beanspruchung durch ballistische Westen. Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund, Dortmund

**Griefahn, B.; Künemund, C. Bröde, P. (1999)** Physiologische Beanspruchung durch Flammenschutzkleidung in standardisierten Übungen der Feuerwehr. In: Arbeitsschutz-Managementsysteme Risiken oder Chancen? Tagungsband zum 45. Arbeitswissenschaftlichen Kongreß vom 10. - 12. März 1999. GfA-Press, Dortmund, 199-201

**Häder, M. (2009):** Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden

**Han, S. H.; Kim, J. (2008)** A comparison of screening methods: Selecting important design variables for modeling product usability. International Journal of Industrial Ergonomics 32, S. 189–198

**Harloff, J. (2005)** Card Sorting (Kartenlegetechnik) – Genereller Ablauf und Durchführungshinweise. 2. Münchner Usability Tag, 15.7.2005

**Havenitha, G.; Heus, R. (2004)** A test battery related to ergonomics of protective clothing. Applied Ergonomics 35 (2004) p. 3–20

**von Heimburg, E. D.; Rasmussen, A. K. R.; Medbø, J. I. (2006)** Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients. Ergonomics, Vol. 49, No. 2,10 February 2006, S.111-126

**Heinsen, S. (Hrsg.); Vogt, P. (Hrsg.) et al. (2003)** Usability praktisch umsetzen. Ein Handbuch für Software, Web, Mobile Devices und andere interaktive Produkte. Carl Hanser Verlag, München

**Hertleer, C.; Odhiambo, S.; Van Langenhove, L. (2013)** Protective clothing for firefighters and rescue workers. Woodhead Publishing Series in Textiles, 2013, Pages



338–363

**Hettinger, Th.; Eissing, G.; Hertting, R.; Steinhaus, I. (1984)** Belastung und Beanspruchung durch das Tragen persönlicher Schutzausrüstungen , Band I: Untersuchung von Bekleidungen bei thermisch neutralem Klima, Band II: Untersuchung von Schutzkleidungen von Wärmestrahlungsexposition Forschungsbericht 392, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven

**Hillebrecht, M. (2011)** Die gesundheitliche Eignung für ein öffentliches Amt bei Übergewicht und Adipositas, Zeitschrift für Beamtenrecht. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, Heft 03/2011, 84-91

**Hohenstein Institute (2009)** Forschung & Innovation - Bekleidungsphysiologische Forschung im Dienste des Tragekomforts. Bönningheim

**Hohenstein Laboratories GmbH & Co KG (Hrsg.) (2013)** Pressemitteilung, Tragekomfort, sehr gut, Gezielte Unterstützung bei der Vermarktung von Bekleidung, Umfangreiche Labortests für eine optimale Produktentwicklung. Bönningheim

**Holmér, I.; Kuklane, K.; Gao, C. (2006)** Test of Firefighter's Turnout Gear in Hot and Humid Air Exposure. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 2006, Vol. 12, No. 3, pp. 297-305

**Hölscher, U.; Laurig, W.; Müller-Arnecke, H. W. (2008)** Prinziplösungen zur ergonomischen Gestaltung von Medizingeräten, Forschungsbericht zum Projekt 1902. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

**HUPF (2006)** Herstellungs- und Prüfbeschreibung für eine universelle Feuerwehr-Schutzbekleidung, Teil 1 bis 4

**IESE (2013)** Stakeholder Analyse. [www.software-kompetenz.de](http://www.software-kompetenz.de). Zuletzt abgerufen am 17.08.2013. Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE

**Kanis, H. (2011)** Estimating the number of usability problems. Applied Ergonomics 42 (2011), S. 337-347

**Keller, T. (2010)** Die neue Einsatzkleidung der Berufsfeuerwehr Nürnberg. Schutzkleidung nach Leistungsstufe 1. Brandschutz: deutsche Feuerwehr-Zeitung; Zeitschrift für das gesamte Feuerwehr- und Rettungswesen - 64 (2010), Nr. 4, S. 286-290

**Kim, J.; Han, S. H.; (2003)** A methodology for developing a usability index of consumer electronic products. International Journal of Industrial Ergonomics 38, S. 333-345

**Kim, S.; Jang, Y. J.; Baek, Y. J.; Joo-Young Lee, J.-Y. (2014)** Influences of partial components in firefighters' personal protective equipment on subjective perception. Fashion and Textiles 2014, <http://link.springer.com/article/10.1186/s40691-014-0003-8>

**Kirakowski, J. (2005)** Summative Usability Testing: Measurement and Sample Size,

University of College Cork, S. 519-553, Ireland

**König, Ch. (2012)** Analyse und Anwendung eines menschenzentrierten Gestaltungsprozesses zur Entwicklung von Human-Machine-Interfaces im Arbeitskontext am Beispiel. Dissertation. Fachbereich Maschinenbau an der Technischen Universität Darmstadt

**KWF (2008)** Die Gebrauchswertprüfung von selbstfahrenden Forstmaschinen (Harvestern Forwardern, Skiddern und Seilkrananlagen). Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e. V. Groß-Umstadt

**KWF (2012)** Prüfbericht - Waldarbeitsschutzanzug „Stretch light“. Groß-Umstadt Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e. V. Groß-Umstadt

**Luo, C.; Jin, J. (2012)** Design Feature Analysis and Pilot Ergonomic Evaluation for Protective Fire Gear. Procedia Engineering 43 ( 2012 ) pp. 374 - 378

**Maurer, D. (2007)** Instructions for use: Card sort analysis spreadsheet. Maadmob Interaction Design, Dickson

**Mecheels, J. (1998)** Körper – Klima – Kleidung, Wie funktioniert unsere Kleidung? Schiele und Schön, Berlin

**MPG (2013)** Gesetz über Medizinprodukte (Medizinproduktegesetz - MPG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. August 2002 (BGBl. I S. 3146), das durch Artikel 4 Absatz 62 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert wurde ist

**Müller-Arnecke, H.W.; Bleyer, T. ; Hold, U.; Macheleidet, M. (2007)** Hebe- und Tragehilfen im Rettungsdienst. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschungsbericht 1088 zum Projekt 1531. NW Verlag, Bremerhaven

**Müller-Arnecke, H.W.; Hold, U. (1999)** Ergonomische Gestaltung von Kältearbeit im Bereich von 0°C. Forschungsbericht Fb 845, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven

**Nielsen, J. (2004)** How many users to test? Jakob Nielsen's Alertbox. [www.useit.com/alertbox/20040719.html](http://www.useit.com/alertbox/20040719.html). Zuletzt abgerufen am 05.03.2012

**Nieslen, J. (1993)** Usability Engineering. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco

**Ochsmann, E.; Winkler, R.; Kraus, T. (2012)** Alters- und Gewichtsabhängigkeit von Messergebnissen mit der Medimouse bei verschiedenen Berufsgruppen, Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin, Universitätsklinikum Aachen, S. 448-451, Aachen

**Pendzich, M. (2009)** Gebrauchstauglichkeit von Feuerwehrsutzhkleidung - Spezifikation und Analyse von Nutzungskontext und Anforderungskriterien. Diplomarbeit Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal

**Pendzich, M. (2012)** Schutzkleidung mit integrierten Informationstechnologien. Si-

cherheitsingenieur 11/2012. Haefner-Verlag GmbH, Heidelberg

**ProdSG (2011)** Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz - ProdSG) vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178, 2179; 2012 I S. 131)"

**PSA-BV (1996)** Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit PSA-Benutzungsverordnung - PSA-BV) vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1841)

**Pulm, M. (2011)** Falsche Taktik – Große Schäden. 7., überarbeitete Auflage. W. Kohlhammer, Stuttgart

**Rohrmann, B. (1978)** Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung. Zeitschrift für Sozialpsychologie, S. 222-245

**Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H. (2010)** Arbeitswissenschaft. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer Verlag, Heidelberg

**Schmuntzsch, U.; Sturm, Ch.; Roetting, M. (2014)** The warning glove – Development and evaluation of a multimodal action-specific warning prototype. Applied Ergonomics 45, pp. 1297-1305

**Schneider, D. (2004)** Persönliche Schutzausrüstung: PBI und ein neuer Helm: Neue Schutzkleidung für die Werkfeuerwehr EADS-IABG in München. Brandschutz: deutsche Feuerwehr-Zeitung; Zeitschrift für das gesamte Feuerwehr- und Rettungswesen - 58 (2004) Nr. 7, S. 486-491

**Sona, S.-Y.; Bakria, I.; Murakia, S.; Tochiara, Y. (2014)** Comparison of firefighters and non-firefighters and the test methods used regarding the effects of personal protective equipment on individual mobility. Applied Ergonomics 45 (2014) pp. 1019-1027

**Stanke, T. (2010)** Beschaffungsintervalle für universelle Feuerweherschutzbekleidung: Analyseziel: Vermeidung von Unfällen durch mangelhafte Schutzkleidung. Brandschutz : deutsche Feuerwehr-Zeitung; Zeitschrift für das gesamte Feuerwehr- und Rettungswesen - 64 (2010), Nr. 9, S. 726-730

**Stiftung Warentest (2012)** Jahresbericht 2012. Berlin, S. 1-48

**TB ZS (3.2003)** Technische Beschreibung - TB - Schutzkleidung gegen flüssige Chemikalien. Zentralstelle für Zivilschutz, Bonn

**TB ZS (4.2003)** Technische Beschreibung - TB - Overgarment. Zentralstelle für Zivilschutz, Bonn

**Thorns, J. (2009)** Neue Schutzkleidung: gute Wahrnehmbarkeit und angenehmes Mikroklima: Gemeinsame Beschaffung von innovativer PSA durch vier Feuerwehren. Brandschutz: deutsche Feuerwehr-Zeitung; Zeitschrift für das gesamte Feuerwehr- und Rettungswesen - 63 (2009), Nr. 12, S. 992-999

**TL 8415-0283 (2006)** Technische Lieferbedingungen Leichte ABC-Schutzbekleidung.

Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz

**TÜV Rheinland (2014)** Prüfzeichen und Prüfungen für Produkte – eine Auswahl.  
www.tuv.com. Köln

**Umbach, K.-H. (1982)** Beeinflussung des Tragekomforts von Kleidung durch lokale Wärme- und Feuchtestaus. Hohensteiner Forschungsbericht Bekleidungsphysiologie. Bekleidungsphysiologisches Institut Hohenstein e. V., Bönningheim

**Umbach, K.-H. (1991)** Tragekomfort von Kleidungskombinationen, Bekleidungsphysiologisches Institut Hohenstein e.V. Bönningheim, S. 31-38, 1991

**Veghte, J. H.; Annis, J. F.(1991)** Physiologic Field Evaluation of Hazardous Materials Protective Ensembles. FA-109/September 1991. Federal Emergency Management Agency United States Fire Administration

**Vorwalder, K. (2009)** Persönliche Schutzausrüstung - notwendige (Über-) Lebensversicherung: Die Feuerwehr Tuttlingen beschaffte neue PBI-Matrix-Schutzkleidung. Brandschutz: deutsche Feuerwehr-Zeitung; Zeitschrift für das gesamte Feuerwehr- und Rettungswesen - 63 (2009), Nr. 12, S. 1000-1004

**de Vries, H. (2000)** Brandbekämpfung mit Wasser und Schaum – Technik und Taktik. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg

**Wandke, H. (2005)** Usability – das Prinzip des Einfachen. World Usability Day Kaiserslautern, 3.11.2005

**Wezel, H.-J. (2007)** Neubeschaffung von Schutzkleidung: Die Feuerwehr Reutlingen führte einen interessanten Trageversuch durch. Brandschutz: deutsche Feuerwehr-Zeitung; Zeitschrift für das gesamte Feuerwehr- und Rettungswesen - 61 (2007) Nr. 4, S. 263-268

**Wiesollek, D.; Müller-Arnecke, H. W.; Hold, U. (2008)** Untersuchungen zur Ergonomie von Medizinprodukten – Fallbeispiel Spritzenpumpen, Projekt F 1902 – Teil 2. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

**Wilke, J.-P.; Dietrich, J. (2010)** Berliner Feuerwehr führt neue Schutzkleidung ein. Zunächst wird ein Trageversuch mit 300 Schutzkleidungssätzen durchgeführt. Brandschutz: deutsche Feuerwehr-Zeitung; Zeitschrift für das gesamte Feuerwehr- und Rettungswesen - 64 (2010), Nr. 4, S. 282-284

**Williams, W. J.; Roberge, R.; Coca, A.; Powell, J.; Shepherd, A.; Shaffer, R. (2008)** Project HEROES – Evaluation of the physiological stress imposed by a prototype firefighter ensemble with chemical/biological hazard protection. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), National Personal Protective Technology Laboratory (NPPTL), Pittsburgh

**Williams, W. J. (2007)** Physiological Evaluation of Ensembles and the ASTM Standard Physiological Test Practice. TSWG Personal Protective Equipment Conference November 29, 2007

**Willis, H. H.; Castle, N. G.; Sloss, E. M.; Bartis, J. T. (2006)** Personal Protective

Equipment Guidelines for Structural Collapse events. Protecting Emergency Responders Volume 4. Infrastructure, Safety and Environment. RAND Corporation, Santa Monica

**Wölfing, B.-M.; Beringer, J.; Schmidt, A. (2013)** Neue Untersuchung: Schweißtransport in der Feuerschutzkleidung : thermophysiologische Möglichkeiten und Grenzen. Brandschutz: deutsche Feuerwehr-Zeitung; Zeitschrift für das gesamte Feuerwehr- und Rettungswesen - 67 (2013), Nr. 3, S. 184-191

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 2.1 Dimensionen der Gebrauchstauglichkeit (KIM 2008, S. 337)	18
Abb. 2.2 Arbeitssystem und Gebrauchstauglichkeit (nach SCHLICK, 2010)	20
Abb. 2.3 Rechtlicher Rahmen des Arbeitsschutzes, Beispiel PSA	25
Abb. 2.4 Zusammenfassung Benutzertest und Signifikanzbewertung (ADLER 2010, S. 197f)	34
Abb. 3.1 Wechselseitige Abhängigkeit menschenzentrierter Gestaltungsaktivitäten (DIN EN ISO 9241-210, 2011)	38
Abb. 3.2 Untersuchungsobjekte	44
Abb. 3.3 Schematische Darstellung SAFE 1 bis SAFE 3 (BRÄUNING, 2012)	47
Abb. 3.4 Schematischer Lageraufbau SAFE 2 (BRÄUNING, 2012)	48
Abb. 3.5 Ausschnitt des Versuchsablaufs und Markerpositionen (s. Anhang 4)	57
Abb. 3.6 Relevante Bewegungseinschränkungen der Arme	60
Abb. 3.7 Versuchsstand Bewegungsumfang	61
Abb. 3.8 Messung der Kopfneigung und -drehung	61
Abb. 3.9 Messstellen und Gewichtungsfaktoren der mittleren Hauttemperatur	65
Abb. 3.10 Überwachungskonsole	68
Abb. 3.11 Marker beim Knie anwinkeln von zwei Seiten	70
Abb. 3.12 Ableseproblematik von Markern	70
Abb. 4.1 Gegenüberstellung Gesamturteile und Signifikanz	76
Abb. 4.2 Bewertung der Taschen	77
Abb. 4.3 Bewertungsvergleich zwischen Prototyp und jeweiligem Referenzanzug	83
Abb. 4.4 Mittlere gewichtete Hauttemperatur im kalten Klima	84
Abb. 4.5 Mittlere gewichtete Hauttemperatur im warmen Klima	86
Abb. 4.6 Körperteile mit den meisten Minimalwerten im kalten Klima	87
Abb. 4.7 Körperteile mit den meisten Maximalwerten im warmen Klima	87
Abb. 4.8 Kälteste und wärmste Messstellen	88
Abb. 4.9 Mittlere Zwischenschichtenfeuchte im kalten Klima	89
Abb. 4.10 Mittlere Zwischenschichtenfeuchte im warmen Klima	90
Abb. 4.11 Befinden im warmen Klima Zweiteiler (Feuerwehr, SAFE 3)	92
Abb. 4.12 Befinden im warmen Klima Einteiler (ABC-Schutzanzug, SAFE 1+2)	93
Abb. 4.13 Mittleres Klimaempfinden im warmen Klima	94
Abb. 4.14 Mittleres Klimaempfinden im kalten Klima	95
Abb. 4.15 Mittlere maximale Schnittstellenbewegung über alle Arbeits- und Bewegungsaufgaben	96
Abb. 4.16 Mittlere maximale Bewegung für ausgewählte Arbeits- und Bewegungsaufgaben an der Schnittstelle Hose-Jacke	97
Abb. 4.17 Mittlere maximale Bewegung für ausgewählte Arbeits- und Bewegungsaufgaben an der Schnittstelle Handschuhe-Jacke	98
Abb. 4.18 Mittlere maximale Bewegung für ausgewählte Arbeits- und Bewegungsaufgaben an der Schnittstelle Hose-Stiefel	99

Abb. 4.19 Mittlere Einschränkung beim Knieanheben	100
Abb. 4.20 Mittlere Einschränkungen der Arm-Reichweiten bzw. Arm-Winkel	102
Abb. 4.21 Mittlere Einschränkungen der Kopfbewegungen mit Atemschutzmaske	103
Abb. 5.1 Modell des Bewertungsansatzes im Entwurf	108
Abb. 5.2 Datengruppen der Produktbewertung (Variablenanzahl)	109
Abb. 5.3 Zeitcluster zur Erfahrung der Expertinnen und Experten	125
Abb. 5.4 Bedeutung der Datengruppen der Produktbewertung bzw. der Produkteigenschaften	129
Abb. 5.5 Bedeutung der Beweglichkeit von Körperteilen	130
Abb. 5.6 Bedeutung der Kategorien in der Komponentenbewertung	131
Abb. 5.7 Bedeutung der Urteilsstufen	132
Abb. 5.8 Zustimmung zu Aspekten bei Bewertung und Beschaffung	134
Abb. 5.9 Bedeutung der Datengruppen der Produktbewertung	135
Abb. 5.10 Bedeutung der Beweglichkeit einzelner Körperteile	136
Abb. 5.11 Bedeutung der einzelnen Kategorien der Komponentenbewertung	137
Abb. 5.12 Bedeutung der Nutzerurteile	138
Abb. 5.13 Wichtigkeit der Einbindung von Nutzern in die Produktbewertung	139
Abb. 5.14 Zusammenfassung der Selbsteinschätzung der Expertenurteile	140
Abb. 5.15 Ermittlung des Tragekomforts der relativen Feuchte (UMBACH, 1982)	149
Abb. 5.16 Ermittlung des Tragekomforts der mittleren Hauttemperatur (UMBACH, 1982)	150
Abb. 5.17 Bewertungskennzahlen	152
Abb. 5.18 Gegenüberstellung integrative Bewertungsmaße und Nutzerurteile	154
Abb. 6.1 Modell des Bewertungsansatzes	157

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 3.1 Leitfragen für Interviews mit Einsatzkräften (PENDZICH, 2009)	39
Tab. 3.2 Zellbesetzung	43
Tab. 3.3 Funktionsgruppen der Prüfobjekte (PENDZICH, 2009)	44
Tab. 3.4 Konzeption der Anzüge SAFE 1 bis 3	46
Tab. 3.5 Systematik der Bekleidungsschichten	49
Tab. 3.6 Stationen im Versuchsparcours	51
Tab. 3.7 Versuchsverlauf nach Stationen im Parcours	55
Tab. 3.8 Arbeitsbereiche Klimakammer	63
Tab. 3.9 Messpunkte und eingesetzte Sensortypen mit Kennwerten	65
Tab. 3.10 Skalen zum Klimaempfinden	67
Tab. 3.11 Codierung für klimatisches Empfinden	73
Tab. 4.1 Probanden im Versuch	74
Tab. 4.2 Bewertung der Taschen	77
Tab. 4.3 Bewertung der Bewegungsfreiheit an Knien und der Knieschützer	78
Tab. 4.4 Bewertung des Tragekomforts im Schulter-Arm-Bereich	79
Tab. 4.5 Bewertung der Polsterungen	80
Tab. 4.6 Bewertung der Verschlussysteme	81
Tab. 4.7 Bewertung diverser Einzelkategorien	82
Tab. 4.8 Vergleich Komponentengruppen	82
Tab. 4.9 Mittlere Einschränkung und Standardabweichung beim Anwinkeln der Ellbogen	101
Tab. 4.10 Zusammenfassung der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit	104
Tab. 4.11 Zusammenfassung der Bewertung der klimatischen Beanspruchung (heißes Klima)	104
Tab. 4.12 Zusammenfassung der Schnittstellenbeweglichkeit	105
Tab. 4.13 Zusammenfassung der Bewegungseinschränkungen	105
Tab. 5.1 Ergebnisse der statistischen Analysen für die Datengruppe Komponentenbewertung (Item und zugeordnete Faktor- bzw. Clusterkennung)	111
Tab. 5.2 An- und Ablegen	115
Tab. 5.3 Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit	116
Tab. 5.4 Wohlbefinden und Komfort	116
Tab. 5.5 Schutz und Sicherheit	117
Tab. 5.6 Kompatibilität	117
Tab. 5.7 Zusammensetzung der Grundgesamtheit und der Befragungswellen	123
Tab. 5.8 Vertrautheit der Expertinnen und Experten mit Arbeitsbereichen	124
Tab. 5.9 Einschätzung hinsichtlich Produktbewertung und Bewertungsmaß	126
Tab. 5.10 Vertrautheit der Expertinnen mit dem technischen Regelwerk	127
Tab. 5.11 Einschätzung des Regelwerkes hinsichtlich Anforderungen an Gebrauchstauglichkeit und Testmethoden	127



Tab. 5.12 Nutzerbeteiligung bei Produktbewertungen	132
Tab. 5.13 Gewichtung der Datengruppen der Produktbewertung	142
Tab. 5.14 Gewichtung der Komponentenbewertung	142
Tab. 5.15 Gewichtung der Beweglichkeit der Körperteile	142
Tab. 5.16 Gewichtung der Urteilsstufen	143
Tab. 5.17 Bewertung der Einschränkungen der Kopfbeweglichkeit	146
Tab. 5.18 Bewertung der Einschränkungen der Armbeweglichkeit	146
Tab. 5.19 Bewertung der Einschränkungen der Beinbeweglichkeit	147
Tab. 5.20 Bewertung der Schnittstellenbeweglichkeit	148
Tab. 5.21 Bewertung der Zwischenschichtenfeuchte	150
Tab. 5.22 Bewertung der mittleren Hauttemperatur	150
Tab. 5.23 Bewertung der Befindlichkeit im Klima	152
Tab. 5.24 Gewichtete Bewertungskennzahlen	153
Tab. 6.1 Vergleich von Bewertungskennzahlen Mikroklima und Klimaempfinden	158

## Abkürzungsverzeichnis

ABC	atomar, biologisch, chemisch
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
AFKzV	Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BF	Berufsfeuerwehr
BGR	Berufsgenossenschaftliche Regel
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BWB	Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung
CBRN	chemical, biological, radio nuclear
DAkKS	Deutsche Akkreditierungsstelle
DEKON	Dekontamination
DEKON P	Dekontamination von Personen
DGUV	Deutsche gesetzliche Unfallversicherung
DIN EN ISO	Norm im nationalen, europäischen oder internationalen Wirkungsbereich
DMM	Digitalmultimeter
FF	Freiwillige Feuerwehr
FwDV	Feuerwehrdienstvorschrift
Hf	Herzschlagfrequenz
HuPF	Herstellungs- und Prüfbeschreibung für eine universelle Feuerwehr-Schutzbekleidung
IFA	Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
MANV	Massenanfall von Verletzten
NRW	Nordrhein-Westfalen
ProdSG	Produktsicherheitsgesetz
ProdSV	Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
rF	Relative Luftfeuchte
SAFE	Semipermeable Anzüge Für Einsatzkräfte
TB	Technische Beschreibung
TL	Technische Lieferbedingungen
T <sub>Luft</sub>	Raumlufttemperatur

# Anhang

## Anhang 1 Nutzungskontext und Nutzungsanforderungen (nach PENDZICH 2009)

Nutzungskontext: Gebäudebrand						
Szenario	Kontextszenario	Arbeitsmittel	Umgebung	Aufgabenerfordernis	Nutzungsanforderungen	Komponenten
1 Lösch- vorbe- reitungen	1.1 Gefahrenbereich vor der Einsatzstel- le wird abgegrenzt	Verkehrsleit- kegel etc.	Dunkelheit, Kälte, Regen, viel befahrene Straße, Zeit- druck	1.1.1 Der FM bewegt sich zü- gig und verteilt mit einer einarmigen Beugebewe- gung Verkehrsleitkegel im Straßenverkehr	Die SK muss Oberkörperverdre- hung und Beugebewegung er- möglichen. Eine Nässeperr verhindert das Eindringen von Feuchtigkeit. Feuchtigkeit kann nicht von Au- ßen über das Innenfutter in Kör- pernähe transportiert werden.	Schnitt der Jacke (weit)
	1.2 Die Wasserversor- gung von der Was- serentnahmestelle bis zum Verteiler wird hergestellt	Schläuche, Kupplungs- schlüssel, Standrohr, Standrohr- schlüssel etc.	s. o.	1.2.1 Aus dem Einsatzfahrzeug werden Schläuche gehö- ben	SK muss bei kalten Temperaturen warm halten Optimale Sichtbarkeit durch Warnwirkung (Erfüllung der STVO)	Saugsperr (Hosenbeine, Jackensaum, Ärmel) Kapuze / engabschließen- der Kragen engabschließende Ärmel- bündchen abgedeckter Reißver- schluss (Patte) Isolationsschicht Warn-Bestreifung, perfori- ert, retroreflektierend (nachts), Warnfarbe (tagsüber) Warnweste nach EN 471 Body-Language-Konzept Bewegungsfalten unter den Armen Vorförmung der Ellbogen Schnitt der Jacke (weit) (Raglanärmel: Ärmel- Schnittform, die die Schul- terpartie einschließen und deren Nähte schräg in die Kragennaht bis zum Hals- ansatz verlaufen.)

Szenario	Kontextszenario	Arbeitsmittel	Umgebung	Aufgabenerfordernis	Nutzungsanforderungen	Komponenten
3 Rettung	3.1 Rettung von Einsatzkräften	Feuerwehr-Haltegurt, PA und Zubehör	Unbekannte Gefahren, Todesangst, offene Flammen, Rauch, Hitze, Hitzestress, hohe körperliche Anstrengung	3.1.1 Bei der Crashrettung wird der verunfallte FM am Haltegurt / an der Bebanleitung des PA / an dem Anzug aus dem Gefahrenbereich gezogen.	Eine Bergeschlaufe ermöglicht die schnelle Rettung eines verunfallten FMs. Die SK muss auch bei mechanischen Beanspruchungen (Schleifen über Glassplitter, Steine) dem FM Schutz bieten.	Verstärktes Obermaterial (Silikon-Karbon-Beschichtung) Polsterung an exponierten Stellen (Gesäß) Rettungsschlaufe in den Anzug integriert (Lion Apparel)
	3.2 Selbstrettung	Feuerwehroleinen, Karabiner	Unbekannte Gefahren, Todesangst, offene Flammen, Rauch, Hitze, Hitzestress, hohe körperliche Anstrengung, große Höhe	3.2.1 Der FM seilt sich mittels Feuerwehroleinen und geeigneten Hilfsmitteln zur Selbstrettung ab.	Die SK muss über ein geeignetes Selbstrettungssystem verfügen. Die SK darf bei großen Zugkräften nicht reißen. Die SK muss so geschnitten sein, dass ein Herausrutschen des FM aus der SK nicht möglich ist.	

Nutzungskontext: Technische Hilfe

Szenario	Kontextszenario	Arbeitsmittel	Umgebung	Aufgabenerfordernis	Nutzungsanforderungen	Komponenten
1 Vorbereitung	1.1 Die Einsatzstelle wird abgesichert.	Faltsignal, Warnleuchte, Verkehrsleitkegel, zwei unabhängige Löschmittel	Wärme, direkte Sonnenstrahlung, Zeitdruck, Glassplitter, Schrott	1.1.1 Der FM bewegt sich zügig und bückt sich, um Verkehrsleitkegel, Faltsignal und Warnleuchte am Seilstreifen abzustellen.	Die SK muss Oberkörperverdrückung und Beugebewegung ermöglichen. Durch konstruktive Mittel kann der Anzug die thermoregulatorischen Funktionen des Körpers unterstützen. UV-Licht bleicht die Jacke weder aus noch führt es zu einer Veränderung des Materials.	Schnitt der Jacke (weit) „Zwiebelsystem“ der SK Ventilationsöffnungen (Achseln)

...

## Anhang 2 Funktionsgruppen zur Inspektion (nach PENDZICH, 2009)

Komponente	Beispiele für Inspektion
Größeneinstellungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ausreichende Kragenverschlussweite</li> <li>- genügend Verstellsysteme</li> <li>- weite Hosenbeinöffnung für Stiefelschaft</li> </ul>
Fixierungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lage der Schutzpolster fixiert</li> <li>- Fixierungspunkte gegen Verrutschen (z.B. Dauerschlaufe)</li> </ul>
Schutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ellenbogenpolster</li> <li>- Kniepolster</li> <li>- Nässesperre</li> </ul>
Tragekomfort	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bewegungs- und Dehnungsfalten</li> <li>- Keine harten Kanten</li> <li>- Vorformung der Ellbogen und Knie</li> </ul>
Rettung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selbstrettungssystem</li> <li>- Panikreißverschluss</li> </ul>
Wahrnehmbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sichtbarkeit durch Warnwirkung</li> </ul>
Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anhängeschlaufen für Handschuhe</li> <li>- Verschließbare Taschen</li> </ul>
Wartung und Pflege	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellerangaben zu Pflegehinweisen</li> <li>- Wartungsöffnung für Membransystem</li> <li>- System zur Überwachung der Wasch- und Pflegezyklen</li> </ul>
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> <li>- möglichst geringes Gewicht</li> </ul>

### Anhang 3 Inspektionsergebnisse ABC-Schutzkleidung (nach PENDZICH, 2009)

Funktionsgruppen	Nutzungsanforderungen	Objektiver Nachweis	Bemerkung	nein	ja
1. Größeneinstellungen	Die Hosenbeinöffnung ist so weit, dass Stiefelschaft und Fuß hinein passen.	Hosenbeinöffnung ca. 31 cm weit.	Überprüfung im Rahmen des Benutzertests.		
	Die SK verfügt über genügend Verstellsysteme.	Taillentunnelband zur Regulierung der Taillenweite, Klettverschlüsse an Ärmel- und Hosenbeinsaum sowie am Hals.	Überprüfung im Rahmen des Benutzertests.		
	Die Schutzkleidung verfügt über eine ausreichende Kragenverschlussweite.	Kragenweite (im geschlossenen Zustand) 34 cm.	Überprüfung im Rahmen des Benutzertests.		
2. Fixierungen	Die Schutzkleidung ermöglicht ein An- und Ausziehen der Handschuhe ohne zu verrutschen.		Wenn der Handschuh über dem Anzug getragen wird.		
	Die SK bietet genügend Fixierungspunkte, so dass sie auch bei hektischen Bewegungen nicht verrutscht.		Fixiert wird nur über die Klettverschlüsse an Armen und Beinen.		
	Komponenten, z.B. Schutzpolster der SK sind fest fixiert.	Bergeschlaufe ist fest im Anzug vernäht. Andere Komponenten sind nicht vorhanden.			
3. Schutz	Kniepolster schützen den FM.		Keine Kniepolster vorhanden. Im Kniebereich wird die Schutzkleidung durch eine zweite Lage des Außengewebes verstärkt.		
	Ellbogenpolster schützen den FM.		Keine Polster vorhanden. Im Ellbogenbereich wird die Schutzkleidung durch eine zweite Lage des Außengewebes verstärkt.		
	Die SK ermöglicht es, die Umgebungswärme wahrzunehmen (z.B. Wärmefenster).		Kein Wärmefenster oder ähnliches vorhanden.		
	Die SK federt Stöße auf Gliedmaßen ab.				
	Die SK bietet bei		Obermaterial ist		

...

# Anhang 4 Versuchsablauf

## 0. Anthropometrische Messungen

Körpergewicht – Körperhöhe – Armreichweite – Schritthöhe – Schrittlänge

### 1. Dortmunder Würfel – Referenzgrößen ohne PSA

1.1 Kopfdrehung horizontal – Kopfneigung seitlich – Kopfneigung vertikal

1.2 Armwinkel/Reichweite

Armwinkel gestreckt – Ellenbogen angewinkelt – Reichweite beidhändig nach oben

Reichweiten gestreckt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAPTIV Aufzeichnung</li> <li>• Taschenlampe</li> <li>• 0°</li> <li>• Maximum zur Seite</li> <li>• Maximum zum Körper</li> </ul>			
Ellenbogen angewinkelt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAPTIV Aufzeichnung</li> <li>• Taschenlampe</li> <li>• Arm gestreckt auf 30°-45°</li> <li>• Ellenbogen anwinkeln</li> </ul>			

## 2. Parcours I

### 2.1 Stiefelpaket stellen (Zweiteiler) - Schutzkleidung anlegen (ohne PA)

Stiefelpaket Stellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• neben PA-Halterung</li> <li>• Kamerawagen</li> <li>• Ausschnitt wie „Kleidung anlegen“</li> </ul>		Kleidung anlegen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foto/Video</li> <li>• neben PA-Halterung</li> </ul>	
----------------------	--	--	------------------	--	--

### 2.2 Dortmunder Würfel - Referenzgrößen mit Anzug ohne Maske und PA (siehe 1.)

Kopfdrehung horizontal – Kopfneigung seitlich – Kopfneigung vertikal – Armwinkel gestreckt – Ellenbogen angewinkelt – Reichweite nach oben – Kniehöhe – Schrittlänge

### 2.3 Markierungsbänder anbringen und Referenzlagen markieren

### 2.4 Referenzlagen dokumentieren

Arme-Handschuhe - Jackensaum-Hose - Hosensaum-Stiefel

Referenzlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arme in Normalstellung</li> <li>• Ärmel-Handschuh</li> <li>• Jackensaum-Hose</li> <li>• Ansichten von 3 Seiten</li> <li>• Hosensaum-Stiefel</li> <li>• Vollzoom</li> </ul>	
---------------	---	--

### 2.5 Statische Haltungen

Knie anwinkeln – Oberkörper vorbeugen – Oberkörper drehen – Oberkörper drehen und beugen – Hocken – Arme über Kopf halten

Knie anwinkeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arme in Normalstellung</li> <li>• Schnittstelle Hose-Stiefel, Jacke-Hose</li> <li>• Ansichten von 4 Seiten</li> </ul>	
Oberkörper beugen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hände in Richtung Boden</li> <li>• Schnittstelle Jacke-Hose, Handschuhe-Jacke</li> <li>• Ansichten von 3 Seiten</li> </ul>	
Oberkörper drehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arme in Normalstellung</li> <li>• Schnittstelle Hose-Stiefel, Jacke-Hose</li> <li>• Ansichten von 4 Seiten</li> </ul>	
Oberkörper drehen und beugen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hände in Richtung Boden</li> <li>• Schnittstelle Hose-Stiefel, Jacke-Hose</li> <li>• Ansichten von 4 Seiten</li> </ul>	
Hocken	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstelle Hose-Stiefel, Jacke-Hose</li> <li>• Ansichten von 3 Seiten</li> </ul>	
Strecken, Arme über Kopf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arme gestreckt nach oben</li> <li>• Schnittstelle Jacke-Hose, Handschuhe-Jacke</li> <li>• Ansichten von 3 Seiten</li> </ul>	

...

## 2.6 Gehen und Laufen

- Schnittstelle Hose-Stiefel (innen/außen)
- Kamerawagen Laufschiene
- Unterkante Startlinie bis Oberschenkel/Knie
- Blickrichtung senkrecht zu VP



## 2.7 Seitenkriechgang

- Schnittstelle Hose-Stiefel, Jacke-Hose
- Kamerawagen Laufschiene
- Blickrichtung schräg von der Seite/hinten
- Wechsel nach 1. Durchlauf
- Blickrichtung schräg von der Seite/vorne



## 2.8 Kriechen

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| Kriechen<br>Gesäß/Beine | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstelle Hose-Stiefel, Jacke-Hose</li> <li>• Unterkante vorderes Bockbein</li> <li>• Blickrichtung auf Beine schräg von hinten</li> <li>• Wechsel zu Kriechen Kopf/Arme nach 1. Durchlauf</li> </ul> |
|-------------------------|--|



- |                       |   |
|-----------------------|---|
| Kriechen<br>Kopf/Arme | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstelle Handschuhe-Jacke, Kopf-Nacken</li> <li>• Unterkante vorderes Bockbein</li> <li>• Blickrichtung auf Kopf/Arme schräg von vorne</li> </ul> |
|-----------------------|---|

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| Kriechen<br>Kopf/Arme | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstelle Handschuhe-Jacke, Kopf-Nacken</li> <li>• Unterkante vorderes Bockbein</li> <li>• Blickrichtung auf Kopf/Arme schräg von vorne</li> </ul> |
|-----------------------|---|



## 2.9 Übersteigen

- Bock auf Schrittöhe einstellen
- Schnittstelle Jacke-Hose, Hose-Stiefel
- Gesäß, Oberschenkel seitlich
- Kamerawagen Laufschiene
- oberes Drittel Böcke
- Blickrichtung von hinten



## 2.10 Beugen/Strecken

- |                     |   |
|---------------------|---|
| Beugen und Strecken | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstelle Jacke-Handschuh, Jacke-Hose</li> <li>• Markierung Hand-Außenseite</li> <li>• Kamerawagen im Bereich Strahlerwand</li> <li>• Gesäß, Rücken</li> <li>• Blickrichtung schräg von der Seite</li> </ul> |
|---------------------|---|



- |                     |   |
|---------------------|---|
| Beugen und Strecken | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstelle Jacke-Handschuh</li> <li>• Markierung Hand-Außenseite</li> <li>• Kamerawagen im Bereich Strahlerwand</li> <li>• 4 Sprossen (VP gestreckt)</li> <li>• Blickrichtung über Rücken und Schulter</li> </ul> |
|---------------------|---|

- |                     |   |
|---------------------|---|
| Beugen und Strecken | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstelle Jacke-Handschuh</li> <li>• Markierung Hand-Außenseite</li> <li>• Kamerawagen im Bereich Strahlerwand</li> <li>• 4 Sprossen (VP gestreckt)</li> <li>• Blickrichtung über Rücken und Schulter</li> </ul> |
|---------------------|---|



## 2.11 Leitersteigen/Übersteigen

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| Leitersteigen<br>im Kreuzgang | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnittstelle Jacke-Hose, Hose-Stiefel</li> <li>• Gesäß, Oberschenkel seitlich</li> <li>• Kamerawagen am Schaufelstand</li> <li>• sieben Sprossen, bis drittes Leiterteil</li> <li>• Blickrichtung von schräg hinten</li> </ul> |
|-------------------------------|--|



- |             |   |
|-------------|---|
| Übersteigen | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übersteigen nach rechts</li> <li>• Kamerahalterung Empore</li> </ul> |
|-------------|---|

- |             |   |
|-------------|---|
| Übersteigen | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übersteigen nach rechts</li> <li>• Kamerahalterung Empore</li> </ul> |
|-------------|---|



## 2.12 Drehen/Schaukeln

- Schnittstelle Jacke-Hose, Jacke-Handschuh
- Markierung Gesäß, Oberschenkel seitlich, Hand-Außenseite
- Kamerawagen beim Übersteigen
- Knie bis Kopf
- Blickrichtung von schräg hinten



## 3. Parcours II und Komponentenprüfung

## 3.1 Maske anlegen (siehe 3.3)

## 3.1a Komponentenprüfung: Kapuze/Flammschutzhaube anlegen

3.2 Dortmunder Würfel – Referenzgrößen mit Anzug und Maske (ohne PA)  
Kopfdrehung horizontal – Kopfneigung seitlich – Kopfneigung vertikal

## 3.3 PA anlegen

- Blickrichtung von vorne
- Kamerawagen



## 3.4 Komponentenprüfung: Taschen befüllen

1 Paar Handschuhe (leicht), 1 Prüfpumpe → Jackentaschen; 1 Handsprechfunkgerät → Brusttasche; 1 Messer → Blasebalgtasche Hose

## 3.5 Seitenkriechgang (siehe 2.7)

## 3.6 Kriechen (siehe 2.8)

## 3.7 Leitersteigen (siehe 2.10)

## 3.8 Auskleiden (siehe 3.3)

## 3.8a Komponentenprüfung: Taschen entleeren

## 3.8b Komponentenprüfung: Reißverschluss

HuPF-Panikreißverschluss öffnen; Overgarment Reißverschluss regulär öffnen

## 3.9 Komponentenprüfung: Berge-/Rettungsschlaufe einsetzen

Schlaufentasche suchen und öffnen, Schlaufe entnehmen, Randy mit Schlaufe bewegen (Video-/Fotodokumentation Übersicht siehe 2.7)



## Anhang 5 Fragebogen zu den Nutzerurteilen Stufe 2 und 3

VP Nummer		Datum			
Anzugtyp					
Overgarment		HuPF		SAFE	

<b>Bewertung:</b>	
1	sehr gut
2	ziemlich gut
3	gut
4	weniger gut
5	schlecht

1. Wie gut gefällt Ihnen der Anzug? (bitte ankreuzen)

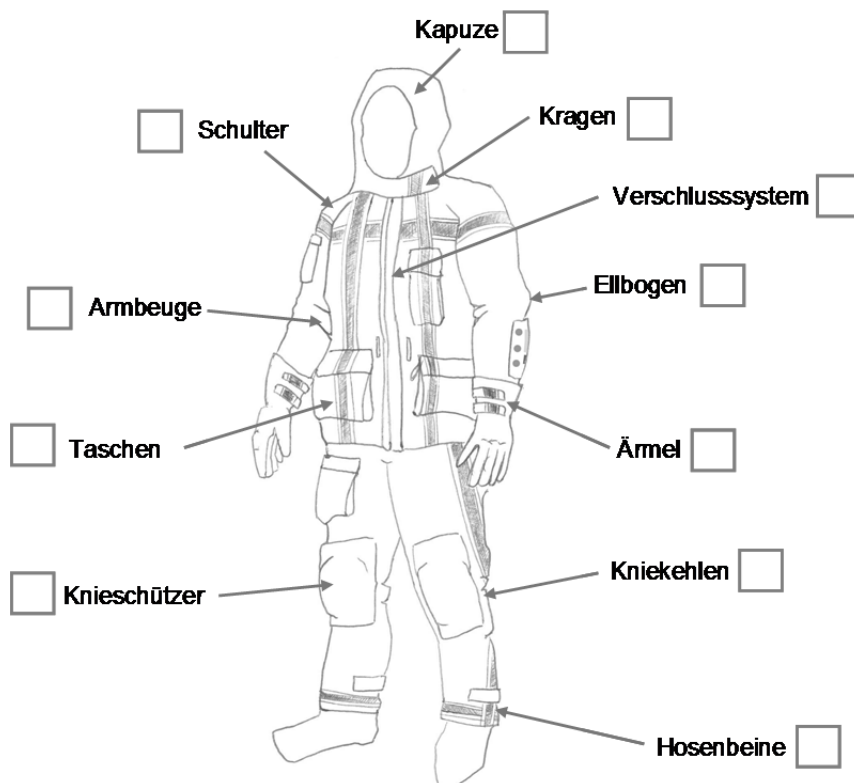
1	2	3	4	5

2. Bitte bewerten Sie, ganz allgemein, mit dem bereits bekannten Bewertungssystem (1 bis 5) die in der unteren Zeichnung dargestellten Bereiche der Schutzkleidung. Ihre Bewertung schreiben Sie einfach neben den entsprechenden Bereich in das dazugehörige Kästchen.

3. Sind bei Ihnen Druck und/oder Scheuerstellen aufgetreten?

Nein  Ja

wenn ja, markieren Sie bitte die entsprechende Stelle durch ein Kreuz (X) in der Zeichnung.



## Anhang 6 Fragebogen zu den Nutzerurteilen Stufe 1

### 1. Anziehen der Schutzkleidung

anzieh1 Wie gut lassen sich Einstell- und Verstellmechanismen des Schutzanzugs bedienen?

anzieh2 Wie gut lassen sich Einstell- und Verstellmechanismen des Schutzanzugs an Ihre Körperstatur anpassen?

anzieh3 Wie gut lässt sich der Reißverschluss bedienen?

anzieh4 Wie gut kann die Schutzkleidung angelegt werden?

anzieh5 Wie gut sind Passform und Sitz der Schutzkleidung?

### 2. Referenzkörperhaltungen

streck Strecken - Wie gut ist die Beweglichkeit im Schritt?

hock1 Hocken - Wie gut ist das Tragegefühl in den Kniekehlen?

hock2 Hocken - Wie gut ist die Bewegungsfreiheit an den Knien?

beug Beugen - Wie gut ist die Bewegungsfreiheit im Rücken,- Schulterbereich?

### 3. Gehen

gehen\_1 Wie gut ist der Sitz der Hose / unterer Teil des Anzugs?

gehen\_2 Wie gut ist die Bequemlichkeit der Schutzkleidung?

### 4. Laufen

laufen\_1 Wie gut ist die Länge der Hosenbeine?

laufen\_2 Wie gut ist die Beweglichkeit im Schritt?

### 5. Seitenkriechgang

skg1 Wie gut ist die Bewegungsfreiheit in der kompletten Schutzkleidung?

skg2 Wie gut passt sich die Schutzkleidung Ihren Körperbewegungen an?

skg3 Wie gut ist die Bewegungsfreiheit des Kopfes?

### 6. Kriechen / Schutzpolster

kriech1 Wie gut ist die Anzahl der Schutzpolster?

kriech2 Wie gut Sitzen die Schutzpolster vor/auf den zu schützenden Körperteilen?

kriech3 Wie gut ist die Dicke der Schutzpolster?

kriech4 Wie gut ist der durch die Polster und die Dicke des Materials gebotene

Schutz für Ihren Körper (Schutzgefühl)?

kriech5 Wie gut fühlt sich das Material an (Gefühl auf der Haut)?

### 7. Übersteigen am Bock

bock1 Wie gut ist die Bewegungsfreiheit an den Knien und an den Oberschenkel?

bock2 Wie gut unterstützt der Schnitt der Schutzkleidung die Erfüllung dieser Tätigkeit?

### 9. Strecken (m. Gewicht)

gew\_1 Wie gut ist die Bewegungsfreiheit an den Schultern?

gew\_2 Wie gut ist die Bewegungsfreiheit an den Achseln?

### 10. Schaufelarbeit

schaufel Wie gut ist das Zusammenspiel zwischen Ober- und Unterbekleidung?

### 11. Leitersteigen

steig1 Wie gut ist die Bewegungsfreiheit an den Ellbogen?

steig2 Wie gut ist die Länge der Ärmel?

### 12. Leiterübersteigen

steugue1 Wie gut ist die Bewegungsfreiheit an den Knien?

steugue2 Wie gut unterstützt der Schnitt der Schutzkleidung die Erfüllung dieser Tätigkeit?

kgsk Wie gut ist Sie das Gewicht der Schutzkleidung?

### 13. Taschen

taschen1 Wie gut sind die Anordnung und Bedienbarkeit der Taschen?

### 14. Kombination mit PSA (Maske, PA, Tascheninhalt)

mask Wie gut ist die Kombinierbarkeit von Schutzkleidung und Maske? (Verschluss...)

kombiPA1 Wie gut ist die Kombinierbarkeit von Schutzkleidung und PA?

kombiPA2 Wie gut ist die Polsterung an den Schultern?

kombiPA3 Wie gut ist das Tragegefühl (Schnittstelle PA-Halterung und Hosenträger/Rettungsgurt)?

**15. Kombination mit PSA - Seitenkriechgang**

PSAseiten Wie gut ist die Bewegungsfreiheit im kompletten Anzug?

kopf Wie gut ist die Bewegungsfreiheit des Kopfes?

**16. Kombination mit PSA - Kriechen**

PSAkriech Wie gut ist die Bewegungsfreiheit der Arme?

**17. Kombination mit PSA – Leitersteigen und Übersteigen**

PSAleiter Wie gut ist die Bewegungsfreiheit an den Ellbogen?

PSAdruck1 Wie gut ist die Druckverteilung im Schulterbereich?

PSAdruck2 Wie gut ist die Druckverteilung im Beckenbereich?

taschen3 Wie gut lassen sich die zusätzlichen Gegenstände transportieren?

taschen2 Wie gut können Taschen mit Handschuhen bedient (ausgeräumt) werden?

**18. Panikreißverschluss**

panik1 Wie gut lässt sich der Reißverschluss mit Handschuhen greifen?

panik2 Wie gut lässt sich der Reißverschluss öffnen und bedienen?

**19. Rettungsschlaufe**

bergen1 Wie gut ist die Zugänglichkeit der Rettungsschlaufe?

bergen2 Wie komfortabel liegt die Rettungsschlaufe in der Hand?

bergen3 Wie gut lässt sich die Rettungseinrichtung bedienen?

## Anhang 7 Erfassung von Bewegungseinschränkungen (z.B. Feuerwehranzug)

VP Nummer:		Datum:			
HuPF			Kodierung		Kodierung
	Einheit				
Anthropometrische Daten					
Schrittlänge	cm		hupf_schritllaenge		
Kniehöhe	cm		hupf_kniehoehe		
Dortmunder Würfel					
<b>Kopfbewegungen</b>				mit Maske	
Kopfdrehung (horizontal)					
links	Grad		hupf_kopfdreh_links		hupf_kopfdreh_links_mask
rechts	Grad		hupf_kopfdreh_rechts		hupf_kopfdreh_rechts_mask
Kopfneigung (seitlich)					
links	Grad		hupf_kopfneig_links		hupf_kopfneig_links_mask
rechts	Grad		hupf_kopfneig_rechts		hupf_kopfneig_rechts_mask
Kopfneigung (vertikal)					
oben	Grad		hupf_kopfneig_hinten		hupf_kopfneig_hinten_mask
unten	Grad		hupf_kopfneig_vorne		hupf_kopfneig_vorne_mask
<b>Reich-Greifweiten</b>					
Rechter Arm					
Reichweite nach hinten	Grad		hupf_reichw_hinten_rechts		
Reichweite zur Seite	Grad		hupf_reichw_seite_rechts		
Ellbogen anwinkeln	Grad		hupf_ellbogen_rechts		
Linker Arm					
Reichweite nach hinten	Grad		hupf_reichw_hinten_links		
Reichweite zur Seite	Grad		hupf_reichw_seite_links		
Ellbogen anwinkeln	Grad		hupf_ellbogen_links		
Reichweite nach oben, beidarmig	cm		hupf_reichweite_oben		

## Anhang 8 Beispielhafte Zuordnungen des Card-Sortings

Variable	Sort1	Sort2	Sort3
hupf_anzieh1	Aufgabenbearbeitung insgesamt	Interaktion muss	Größeneinstellungen
hupf_anzieh2	Wohlfühlaspekte	Komfortempfinden kann	Größeneinstellungen
hupf_anzieh3	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Interaktion muss	Fixierungen
hupf_anzieh4	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Interaktion muss	Sonstiges
hupf_anzieh5	Aufgabenbearbeitung insgesamt	Komfortempfinden kann	Größeneinstellungen
hupf_beug	Aufgabenbewältigung Torso	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_bock1	Aufgabenbewältigung Beine	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_bock2	Aufgabenbewältigung Beine	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_einsch_summe	Aufgabenbearbeitung insgesamt	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_gehen_1	Aufgabenbewältigung Beine	Komfortempfinden kann	Tragekomfort
hupf_gehen_2	Wohlfühlaspekte	Komfortempfinden kann	Tragekomfort
hupf_gew_1	Aufgabenbewältigung Torso	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_gew_2	Aufgabenbewältigung Arme	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_hock1	Wohlfühlaspekte	Komfortempfinden kann	Tragekomfort
hupf_hock2	Aufgabenbewältigung Beine	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_kgsk	Aufgabenbearbeitung insgesamt	Komfortempfinden kann	Sonstiges
hupf_kombiPA1	Kompatibilität	externe Schnittstellen muss-soll	Schutz
hupf_kombiPA2	Schutzaspekte Torso	Komfortempfinden kann	Schutz
hupf_kombiPA3	Wohlfühlaspekte	externe Schnittstellen muss-soll	Tragekomfort
hupf_kp_bf_ds	Aufgabenbewältigung Arme	Range of Motion soll	Fixierungen
hupf_kp_bf_pa	Aufgabenbewältigung Torso	Range of Motion soll	Sonstiges
hupf_kp_ds_stoe	Aufgabenbewältigung Arme	Kritik	Tragekomfort
hupf_kp_fu_lang	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Vorschläge	Transport
hupf_kp_hs_stoe	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Kritik	Fixierungen
hupf_kp_os_ver	Aufgabenbearbeitung insgesamt	Kritik	Fixierungen
hupf_kp_rei_griff	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Kritik	Tragekomfort
hupf_kp_rei_hakt	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Kritik	Fixierungen
hupf_kp_sp_duenn	Schutzaspekte Beine	Kritik	Transport
hupf_kp_sp_ell	Schutzaspekte Arme	Kritik	Schutz
hupf_kp_ta_brust	Kompatibilität	Kritik	Transport
hupf_kp_ta_klein	Kompatibilität	Kritik	Transport
hupf_kp_ta_messer	Kompatibilität	Kritik	Transport
hupf_kp_ta_pat	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Kritik	Schutz
hupf_kp_ta_unp	Kompatibilität	Kritik	Rettung
hupf_kriech1	keine Zuordnung	Komfortempfinden kann	Schutz
hupf_kriech2	Schutzaspekte Beine	Komfortempfinden kann	Schutz
hupf_kriech3	Schutzaspekte Beine	Komfortempfinden kann	Schutz
hupf_kriech4	keine Zuordnung	Schutzfunktion muss	Schutz
hupf_laufen_1	Aufgabenbewältigung Beine	Komfortempfinden kann	Größeneinstellungen
hupf_laufen_2	Aufgabenbewältigung Beine	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_mask	Kompatibilität	externe Schnittstellen muss-soll	Rettung

Variable	Sort1	Sort2	Sort3
hupf_panic1	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Interaktion muss	Rettung
hupf_panic2	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Interaktion muss	Rettung
hupf_PSAdruck1	Aufgabenbewältigung Torso	Komfortempfinden kann	Schutz
hupf_PSAdruck2	Aufgabenbewältigung Torso	Komfortempfinden kann	Schutz
hupf_PSAkriech	Aufgabenbewältigung Arme	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_PSAleiter	Aufgabenbewältigung Arme	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_PSAseiten	Aufgabenbearbeitung insgesamt	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_schaufel	Aufgabenbearbeitung insgesamt	Schutzfunktion muss	Sonstiges
hupf_skg1	Aufgabenbearbeitung insgesamt	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_skg2	Aufgabenbearbeitung insgesamt	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_skg3	Aufgabenbewältigung Torso	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_steig1	Aufgabenbewältigung Arme	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_steig2	Schutzaspekte Arme	Komfortempfinden kann	Größeneinstellungen
hupf_steigue1	Aufgabenbewältigung Beine	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_steigue2	Aufgabenbewältigung Beine	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_streck	Aufgabenbewältigung Beine	Range of Motion soll	Tragekomfort
hupf_taschen1	Aufgabenbewältigung Torso	Interaktion muss	Transport
hupf_taschen2	Kompatibilität	Interaktion muss	Transport
hupf_taschen3	Kompatibilität	externe Schnittstellen muss-soll	Transport
hupf_vp_aermel	Aufgabenbewältigung Arme	Komfortempfinden kann	?
hupf_vp_beuge	Aufgabenbewältigung Arme	Komfortempfinden kann	?
hupf_vp_ellbogen	Aufgabenbewältigung Arme	Komfortempfinden kann	?
hupf_vp_hbein	Aufgabenbewältigung Beine	Komfortempfinden kann	?
hupf_vp_kehlen	Aufgabenbewältigung Beine	Komfortempfinden kann	?
hupf_vp_kragen	Aufgabenbewältigung Torso	Komfortempfinden kann	?
hupf_vp_schuetz	Aufgabenbewältigung Beine	Komfortempfinden kann	Schutz
hupf_vp_schulter	Aufgabenbewältigung Torso	Komfortempfinden kann	Tragekomfort
hupf_vp_system	Einsatzbereitschaft An-/Ablegen	Interaktion muss	Fixierungen
hupf_vp_taschen	Kompatibilität	Interaktion muss	Transport

# Anhang 9 Statistische Auswertung des Card-Sortings

Kartennamenname	Version 15 v1.2	Version 15v2.2	Korrigierte Kategorie	An-/Ablegen v2.2	An-/Ablegen v1.2	Beweglichkeit v2.2	Beweglichkeit v1.2	Schutz und Sicherheit v2.2	Schutz und Sicherheit v1.2	Kompatibilität v2.2	Kompatibilität v1.2	Wohlbefinden und Komfort v2.2	Wohlbefinden und Komfort v1.2	keine Zuordnung sonstiges v2.2	keine Zuordnung sonstiges v1.2
1 Bedienung: Verstell-Einstellsysteme_anzieh1	An-/Ablegen	An-/Ablegen		53%	53%	7%	7%			27%	27%	13%	13%		
2 Anpassung an die Körperstatur_anzieh2	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort		27%	27%	7%	13%			7%	13%	53%	40%	7%	7%
3 Bedienung: Reißverschluss_anzieh3	An-/Ablegen	An-/Ablegen		67%	67%	7%	7%			20%	20%	7%	7%		
4 Anlegen der Schutzkleidung_anzieh4	An-/Ablegen	An-/Ablegen		47%	33%	7%	7%			20%	33%	20%	20%	7%	7%
5 Passform und Sitz der Schutzkleidung_anzieh5	Beweglichkeit	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	20%	33%	33%	40%			7%		40%	27%		
6 Bewegungsfreiheit: Rücken-Schulterbereich_baug	Beweglichkeit	Beweglichkeit		7%	7%	87%	80%					7%	13%		
7 Übersteigen am Bock: Bewegungsfreiheit an Knien und Oberschenkel_bog	Beweglichkeit	Beweglichkeit		100%	100%	93%	93%					7%	7%		
8 Übersteigen am Bock: Unterstützung durch Schnitt der Schutzkleidung_bog	Beweglichkeit	Beweglichkeit		7%	7%	87%	80%					7%	13%		
10 Sitz der Hose_gehen_1	Beweglichkeit	Beweglichkeit		27%	27%	47%	40%			7%	7%	33%	33%		
11 Bequemlichkeit der Schutzkleidung_gehen_2	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort		7%	7%	20%	20%			7%	7%	67%	67%		
12 Strecken mit Gewicht: Bewegungsfreiheit an den Schultern_gew_1	Beweglichkeit	Beweglichkeit		93%	93%	87%	87%			7%	7%	7%	7%		
13 Strecken mit Gewicht: Bewegungsfreiheit an den Achseln_gew_2	Beweglichkeit	Beweglichkeit		93%	93%	87%	87%			7%	7%	7%	7%		
14 Tragegefühl in den Kniekehlen_hock1	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	7%	7%	47%	40%					47%	53%		
15 Bewegungsfreiheit an den Knien_hock2	Beweglichkeit	Beweglichkeit		100%	100%	93%	93%						7%		
16 Gewicht der Schutzkleidung_ksgk	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort		7%	7%	20%	27%			13%	13%	53%	47%		7%
17 Kombinierbarkeit von Schutzkleidung und PA_kombiPA1	Kompatibilität	Kompatibilität		13%	7%	20%	13%			7%	13%	13%	7%		
18 Posterung an den Schultern_kombiPA2	Schutz und Sicherheit	Schutz und Sicherheit		7%	13%	20%	20%			7%	7%	20%	20%		
19 Tragegefühl an den Schnittstellen_kombiPA3	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort		7%	7%	27%	27%			13%	7%	53%	53%		7%
35 Kriechen: Anzahl der Schutzpolster_kriech1	Schutz und Sicherheit	Schutz und Sicherheit		33%	33%	33%	33%			33%	33%	13%	13%		7%
36 Kriechen: Verteilung der Schutzpolster_kriech2	Schutz und Sicherheit	Schutz und Sicherheit		33%	33%	33%	33%			33%	33%	13%	13%		7%
37 Kriechen: Dicke der Schutzpolster_kriech3	Schutz und Sicherheit	Schutz und Sicherheit		33%	33%	33%	33%			33%	33%	13%	13%		7%
38 Kriechen: Gesamter Körperschutz durch Schutzkleidung_kriech4	Schutz und Sicherheit	Schutz und Sicherheit		33%	33%	33%	33%			33%	33%	13%	13%		7%
39 Laufen: Länge der Hosebeine_laufen_1	Beweglichkeit	Beweglichkeit		13%	13%	60%	60%			7%	7%	13%	13%		7%
40 Laufen: Beweglichkeit Schritt_laufen_2	Beweglichkeit	Beweglichkeit		87%	87%	80%	80%								
41 Kombinierbarkeit von Schutzkleidung und Maske_mask	Kompatibilität	Kompatibilität		7%	7%	7%	7%			20%	20%	7%	7%		
42 Panikreißverschluss: Greifen mit Handschuhen_panik1	An-/Ablegen	An-/Ablegen		53%	60%	7%	7%			20%	20%	13%	13%		
43 Panikreißverschluss: Bedienung mit Handschuhen_panik2	An-/Ablegen	An-/Ablegen		53%	60%	7%	7%			20%	20%	13%	13%		
44 PSA: Druckverteilung im Schulterbereich_PSAdruck1	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort		7%	7%	27%	27%			20%	20%	40%	40%		
45 PSA: Druckverteilung im Beckenbereich_PSAdruck2	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort		33%	33%	33%	33%			20%	20%	7%	7%		
46 Kriechen mit PSA: Bewegungsfreiheit Arme_PSAkriech	Beweglichkeit	Beweglichkeit		93%	93%	87%	87%			7%	7%	7%	7%		
47 Leiter mit PSA: Bewegungsfreiheit Ellbogen_PSAleiter	Beweglichkeit	Beweglichkeit		100%	100%	93%	93%								
48 Seitenkreuzung mit PSA: Bewegungsfreiheit in kompletter Schutzkleidung	Beweglichkeit	Beweglichkeit		7%	7%	60%	60%			13%	13%			13%	13%
49 Schaufelarbeit: Zusammenbau Ober- und Unterbekleidung_schaufel	Beweglichkeit	Beweglichkeit		7%	7%	93%	87%			7%	7%	7%	7%		
50 Seitenkreuzung: Bewegungsfreiheit komplett_skg1	Beweglichkeit	Beweglichkeit		93%	93%	87%	87%					7%	7%		
61 Allgemeine Bewertung der VP: Anpassung an die Körperbewegungen_skg2	Beweglichkeit	Beweglichkeit		100%	100%	93%	93%								
52 Seitenkreuzung: Bewegungsfreiheit des Kopfes_skg3	Beweglichkeit	Beweglichkeit		100%	100%	93%	93%								
53 Leitersteigen: Bewegungsfreiheit Ellbogen_steig1	Beweglichkeit	Beweglichkeit		13%	13%	60%	60%			7%	7%	13%	13%		
54 Leitersteigen: Länge der Arme_steig2	Beweglichkeit	Beweglichkeit		100%	100%	93%	93%								
55 Leiterübersteigen: Bewegungsfreiheit an den Knien_steigue1	Beweglichkeit	Beweglichkeit		100%	100%	93%	93%								
56 Leiterübersteigen: Unterstützung durch Schnitt der Schutzkleidung_steig	Beweglichkeit	Beweglichkeit		7%	7%	87%	80%			7%	7%	13%	13%		
57 Beweglichkeit im Schritt_streck	Beweglichkeit	Beweglichkeit		7%	7%	80%	73%					13%	20%		
58 Taschen: Bedienung und Anordnung_taschen1	An-/Ablegen	Kompatibilität	An-/Ablegen	33%	47%	13%	20%			40%	27%	13%	7%		
59 Taschen: Bedienung mit Handschuhen_taschen2	An-/Ablegen	Kompatibilität	An-/Ablegen	40%	47%	13%	20%			47%	40%	7%	7%		
60 Taschen: Transport zusätzlicher Gegenstände_taschen3	An-/Ablegen	Kompatibilität	An-/Ablegen	20%	40%	13%	20%			47%	40%	7%	7%		
61 Allgemeine Bewertung der VP: Arme_laep_vp_aerml	An-/Ablegen	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	13%	27%	27%	27%			7%	7%	40%	27%	13%	20%
62 Allgemeine Bewertung der VP: Armbügel_vp_bauege	Beweglichkeit	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	7%	13%	27%	33%					47%	27%	13%	20%
63 Allgemeine Bewertung der VP: Ellbogen_vp_elbogen	Beweglichkeit	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	7%	13%	27%	33%					47%	27%	13%	20%
64 Allgemeine Bewertung der VP: Hosebeine_vp_hoben	Beweglichkeit	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	7%	13%	40%	47%					47%	27%	13%	20%
65 Allgemeine Bewertung der VP: Kniekehlen_vp_knehlen	Beweglichkeit	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	7%	13%	40%	47%					47%	27%	13%	20%
66 Allgemeine Bewertung der VP: Krallen_vp_kragen	Beweglichkeit	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	7%	13%	33%	40%					47%	27%	13%	20%
67 Allgemeine Bewertung der VP: Kniebeschützer_vp_schutz	Schutz und Sicherheit	Schutz und Sicherheit		7%	7%	27%	33%			40%	40%	33%	20%		
68 Allgemeine Bewertung der VP: Schulter_vp_schulter	Beweglichkeit	Wohlbefinden und Komfort	Wohlbefinden und Komfort	7%	13%	40%	40%			7%	7%	47%	33%		7%
69 Allgemeine Bewertung der VP: Verschlusssystem_vp_system	An-/Ablegen	An-/Ablegen		53%	60%	7%	7%			13%	13%	7%	7%		
70 Allgemeine Bewertung der VP: Taschen_vp_taschen	Kompatibilität	Kompatibilität	An-/Ablegen	20%	40%					40%	33%	27%	13%		13%



## Anhang 10 Fragebogen der Delphi-Befragung – 1. Befragungsrunde

---

Seite 01

### Herzlich Willkommen zur Delphi-Studie "Integratives Bewertungsmaß für Schutzkleidung"!

Im Rahmen des Forschungsprojektes SAFE, **Semipermeable Anzüge Für Einsatzkräfte**, wurde eine neue Schutzkleidung für Einsatzkräfte entwickelt. Die Aufgabe der Projektgruppe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) bestand darin, die Entwicklung aus Sicht von Ergonomie (physiologische Fragestellungen) und Gebrauchstauglichkeit (d.h. Nutzbarkeit in einem definierten Umfeld) zu begleiten. In Benutzertests wurden zahlreiche Faktoren ermittelt, die die Bewertung der Schutzkleidungen und ihrer Komponenten ermöglichen sollen. Ziel der aktuellen Projektarbeit ist es, ein integratives Bewertungsmaß – eine „Gesamtnote“ vergleichbar mit Warentests – zu ermitteln, das die Auswahl und Beschaffung geeigneter Schutzkleidung zukünftig erleichtern soll. Hierzu müssen die Einzelergebnisse in einer einzigen Kennzahl zusammengeführt werden, um eine überschaubare Gesamtbewertung zu ermöglichen.

In unserer Befragung bitten wir Sie als Expertinnen und Experten daher um die Einschätzung der folgenden Sachverhalte, die zur Findung dieser Gesamtnote, der Auswahl, Beschaffung und Bewertung von Schutzkleidung beitragen sollen. Die Gruppe der Experten setzt sich aus Beschaffern, Entwicklern und Anwendern von Feuerwehrschutzkleidung sowie Kennern der Regelsetzung und Experten für Produktergonomie und Gebrauchstauglichkeit zusammen. Gemeinsam mit Ihnen werden wir die Rangordnung und Gewichtungen der o.g. Gruppen sowie weiterer Produkteigenschaften bzw. Kenngrößen erarbeiten.

Da wir auf Ihre Expertise angewiesen sind, ist es wichtig alle Fragen zu beantworten. Die erhobenen Daten werden selbstverständlich anonymisiert und vertraulich behandelt.

Weiter

---

Seite 02  
KA

### Expertise

#### 1. Wie vertraut sind Sie mit Fragen aus den folgenden Arbeitsbereichen der Themenfelder Schutzausrüstung bzw. Feuerwehrschutzkleidung? [KA05]

	gar nicht vertraut	wenig vertraut	teils – teils	ziemlich vertraut	völlig vertraut
Forschung und Entwicklung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Testung und Bewertung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Auswahl und Beschaffung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Normung und Regelsetzung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anwendung und Einsatz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 2. Wie lange befassen Sie sich schätzungsweise schon mit dem Thema Schutzausrüstung bzw. Feuerwehrschutzkleidung? [KA06]

Jahre

Weiter

Seite 03  
IB

## Bewertung und Beschaffung

Die BAuA möchte Entscheidungsträger (Kleiderwarte, Technikverantwortliche, Einkäufer usw.) bei der Bewertung, Auswahl und Beschaffung von sicheren, gesundheitsgerechten und gebrauchstauglich gestalteten Arbeitsmitteln, wie z.B. Schutzausrüstung und Feuerwehrschutzkleidung, durch Entscheidungshilfen unterstützen. Unser Ziel ist es, bestehende wissenschaftliche Methoden und Checklisten für die Praxis fortzuentwickeln.

### 1. Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu? [IB10]

	trifft gar nicht zu	trifft kaum zu	teils - teilsziemlich zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Arbeitsmitteln werden wissenschaftlich fundierte Testmethoden benötigt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für den Auswahl- und Beschaffungsprozess von Arbeitsmitteln werden praxisnahe, einfach zu handhabende Benutzertests benötigt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Benutzertests werden zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger durchgeführt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für die Auswahl von Arbeitsmitteln wird ein einzelnes integratives Bewertungsmaß, d.h. eine Gesamtnote, benötigt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ein integratives Bewertungsmaß, d.h. eine Gesamtnote, wird zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger ermittelt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Weiter

Seite 04  
NO

## Regelwerke

### 1. Wie sehr sind Sie mit den folgenden Normen und Regelwerken vertraut? [IB07]

	gar nicht vertraut	wenig vertraut	teils - teils	ziemlich vertraut	völlig vertraut
<b>DIN EN 469</b> Schutzkleidung für die Feuerwehr	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**BWB-TL 8415-0283**Technische Beschreibung  
Overgarment    **DIN EN 13921**Persönliche Schutzausrüstung –  
Ergonomische Grundsätze    **2. Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu? [IB08]**

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils – teilsziemlich	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu	weiß nicht
<b>Anforderungen</b> an Gebrauchstauglichkeit von Schutzkleidung sind in den o.g. Normen, z.B. DIN EN 469, ausreichend spezifiziert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Methoden zur Testung</b> der Gebrauchstauglichkeit von Schutzkleidung sind in den o.g. Normen, z.B. DIN EN 469, ausreichend spezifiziert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Weiter****Seite 05**  
RH**Produkteigenschaften**

Das integrative Bewertungsmaß für Schutzkleidung, d.h. die Gesamtnote, wird die folgenden Datenfelder umfassen. Wir möchten Sie bitten, die Bedeutung dieser Produkteigenschaften einzuschätzen.

**Beweglichkeit:** Im Themenfeld Beweglichkeit werden Messgrößen zusammengefasst, anhand derer sich die Einschränkung der Beweglichkeit der Arme, Beine oder des Kopfes quantifizieren lassen z.B. Armreichweite, Kopfdrehung, -neigung etc.

**Schnittstellenverschiebung:** Die Schnittstellenverschiebung beschreibt das Maß, wie weit sich bei Bewegungen die Überdeckung einzelner Kleidungsstücke wie Handschuhe, Stiefel, Jacke oder Hose verändert.

**Komponentenbewertung:** Zahlreiche Faktoren beeinflussen die Ausführbarkeit von Arbeits- und Bewegungsaufgaben und den Tragekomfort. Im Rahmen der „Komponentenbewertung“ wurde die Zufriedenheit der Nutzer beim Tragen der Schutzkleidung in verschiedenen Unterkategorien erfasst.

**Mikroklima:** Das Themenfeld „Mikroklima“ umfasst objektive Maße, anhand derer die Veränderung der Luftfeuchte und der Hautoberflächentemperatur beim Tragen der Schutzkleidung im Klima beschrieben werden kann.

**Klimaempfinden:** Mit dem Maß „Klimaempfinden“ wird im Gegensatz zum objektiv ermittelten Mikroklima das subjektive Wärme- bzw. Kälteempfinden der Probanden während der Belastung im Klima beschrieben.

**1. Welche Bedeutung messen Sie den Produkteigenschaften bei der Bewertung einer Feuerwehrschutzkleidung bei? [RH04]**

Wenn z.B. das Mikroklima keine Rolle spielt, wählen Sie bitte die Einstellung „sehr niedrig“. Spielt das Mikroklima dagegen eine größere Rolle, so wählen Sie eine entsprechend höhere Bedeutung.

**Bedeutung**

sehr niedrig

sehr hoch

Beweglichkeit

Schnittstellenverschiebung

Komponentenbewertung

Mikroklima

Klimaempfinden

**2. Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? [RH03]**

sehr unsicher

unsicher

weder sicher noch  
unsicher

sicher

sehr sicher

Weiter

Seite 06  
RB

**Bewegungseinschränkungen**

Im Themenfeld Beweglichkeit werden Messgrößen zusammengefasst, anhand derer sich die Einschränkung der Beweglichkeit der Arme, Beine, des Rumpfes oder des Kopfes quantifizieren lassen z.B. Armreichweite, Kopfdrehung, -neigung etc.

**1. Welche Bedeutung messen Sie der Bewertung der Beweglichkeit der einzelnen Körperteile in einer Schutzkleidung bei? [RB05]**

Wenn z.B. Bewegungseinschränkungen des Kopfes keine Rolle spielen, wählen Sie bitte dort die Einstellung „sehr niedrig“. Spielen Bewegungseinschränkungen des Kopfes jedoch eine größere Rolle, so wählen Sie eine entsprechend höhere Stufe.

**Bedeutung**

sehr niedrig

sehr hoch

Kopf

Arme

Beine

Rumpf

**2. Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? [RB04]**

sehr unsicher

unsicher

weder unsicher noch

sicher

sehr sicher

## Komponentenbewertung

Zahlreiche Faktoren beeinflussen die Ausführbarkeit von Arbeits- und Bewegungsaufgaben und den Tragekomfort. In einem Benutzertest wurde die Zufriedenheit der Nutzer beim Tragen der Schutzkleidung erfasst. Die Bedeutung dieser Prüfung innerhalb des integrativen Bewertungsmaßes haben Sie bereits eingeschätzt. Im Folgenden möchten wir Sie bitten, die Bedeutung der fünf Unterkategorien der Komponentenbewertung abzuschätzen.

**An- und Ablegen:** Die Kategorie umfasst alle Items, die die Ausführbarkeit von Bewegungen und Tätigkeiten beim An- und Ablegen sowie die Bedienbarkeit zugehöriger Komponenten bewerten (z.B. Größenanpassung, Anlegen der Schutzkleidung, Reißverschluss etc.).

**Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit:** In dieser Gruppe werden Items zusammengefasst, die das subjektive Empfinden der Beweglichkeit bei unterschiedlichen Arbeits- und Bewegungsaufgaben beschreiben (z.B. Bewegungsfreiheit an den Knien).

**Wohlbefinden und Komfort:** Die Kategorie umfasst Items, mit denen sich Wohlbefinden und Komfort unabhängig von Items der Kategorie Beweglichkeit bewerten lassen (z.B. Tragegefühl).

**Schutz und Sicherheit:** Schutz und Sicherheit umfasst alle Items, in denen die Probanden Sicherheits- und Schutzeinrichtungen bewerten (z.B. Schutzpolster, Panikreißverschluss etc.).

**Kompatibilität:** Items, die das Zusammenspiel von Hilfsmitteln und der Schutzkleidung bewerten, werden in dieser Kategorie erfasst (z.B. Kombinierbarkeit mit einer Atemschutzmaske); Passung der Einzelteile, Komponenten, Hilfsmittel und Ausrüstungsteile.

### 1. Welche Bedeutung messen Sie den einzelnen Kategorien der Komponentenbewertung bei? [RK04]

Wenn z.B. Wohlbefinden und Komfort keine Rolle spielen, wählen Sie bitte die Einstellung „sehr niedrig“. Spielen Wohlbefinden und Komfort dagegen eine größere Rolle, so wählen Sie eine entsprechend höhere Bedeutung.

	<b>Bedeutung</b>	
	sehr niedrig	sehr hoch
An- und Ablegen		
Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit		
Wohlbefinden und Komfort		
Schutz und Sicherheit		
Kompatibilität		

**2. Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? [RK03]**

sehr unsicher      unsicher      weder unsicher noch sicher      sicher      sehr sicher

**Weiter**

**Beurteilungsstufen**

Testpersonen bewerteten in einem Benutzertest und einer anschließenden Befragung in drei Stufen eine Feuerwehrschutzkleidung und einzelne Anzugkomponenten:

**Urteil 1** - während des Benutzertests:  
Beurteilung der **Ausführbarkeit** einzelner Arbeits- und Bewegungsaufgaben

**Urteil 2**- nach dem Benutzertest:  
Summarische Einzelurteile für jede **Anzugkomponente**

**Urteil 3** - nach dem Benutzertest:  
Summarisches Urteil für den **gesamten Schutzanzug**

Bei der Ergebnisauswertung fällt auf, dass die drei Beurteilungen zum Teil sehr unterschiedlich ausfallen. Die folgende Frage soll klären, welche Bedeutung diese Urteile, d.h. die Einzelbewertungen und der Gesamteindruck der Testpersonen, haben.

**1. Welche Bedeutung messen Sie der Bewertung der einzelnen Urteile bei? [PB01]**

Wenn z.B. das Urteil 3 keine Rolle spielt, wählen Sie bitte dort die Einstellung „sehr niedrig“. Spielt das Urteil 3 jedoch eine größere Rolle, so wählen Sie eine entsprechend höhere Bedeutung.

	<b>Bedeutung</b>	
	<b>sehr niedrig</b>	<b>sehr hoch</b>
Urteil 1 (Beurteilung der Ausführbarkeit)		
Urteil 2 (Einzelurteile für Anzugkomponenten)		
Urteil 3 (Gesamturteil für den Anzug)		

**2. Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? [PB04]**

sehr unsicher      unsicher      weder unsicher noch sicher      sicher      sehr sicher

**Weiter**

## Zusammenfassung

Abschließend möchten wir wissen, welche Bedeutung die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Arbeitsmitteln (z.B. Handwerkzeug, Bohrmaschine usw.) und Feuerwehrschrutzkleidung Ihrer Einschätzung nach hat.

### 1. Wie wichtig ist aus Ihrer Sicht die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrschrutzkleidung? [IB12]

gar nicht      wenig      teils – teils      ziemlich      völlig

### 2. Wie wichtig ist die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrschrutzkleidung im Vergleich zu herkömmlichen Arbeitsmitteln? [IB11]

deutlich weniger wichtig      weniger wichtig      genauso wichtig      wichtiger      deutlich wichtiger

**Weiter**

---

**Letzte Seite**

## Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Wir möchten uns ganz herzlich für Ihre Mithilfe bedanken.

Sobald diese Befragungsrunde abgeschlossen ist, informieren wir Sie umgehend über die Ergebnisse und möchten Sie schon jetzt um Teilnahme an der nächsten Befragungsrunde bitten.

Falls Sie uns weitere Experten nennen können, die an unserer Befragung teilnehmen sollten oder Interesse an unserer Befragung haben, senden Sie bitte eine kurze Nachricht an [Tobias Bleyer](#).

Fenster schließen

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Fachbereich 2 - Produkte und Arbeitssysteme  
Tobias Bleyer

## Anhang 11 Fragebogen der Delphi-Befragung – 2. Befragungsrunde

---

**Seite 01**

### **Herzlich Willkommen zur zweiten Befragungsrunde der Delphi-Studie "Integratives Bewertungsmaß für Schutzkleidung"!**

Im Rahmen des Forschungsprojektes SAFE, **Semipermeable Anzüge Für Einsatzkräfte** haben Sie vermutlich bereits an der ersten Befragungsrunde dieser Studie teilgenommen. Für Ihre Mithilfe und Ihre Teilnahme möchten wir uns zunächst recht herzlich bedanken!

Heute möchten wir Sie als Expertinnen und Experten erneut um Ihre Einschätzung einiger Sachverhalte bitten; Umfang und Inhalte sind Ihnen bereits aus der ersten Befragung bekannt.

Wie angekündigt enthält dieser zweite Fragebogen die wichtigsten Auswertungen der ersten Befragungswelle. In allen Schaubildern sind die Mittelwerte der Experteneinschätzungen der jeweiligen Fragestellungen sowie die Standardabweichungen der Befragungsergebnisse angegeben. Für eine vergrößerte Darstellung der Schaubilder in einem neuen Fenster klicken Sie bitte auf die jeweilige Grafik. Anhand dieser Darstellungen können Sie erkennen, wie andere Experten den entsprechenden Sachverhalt durchschnittlich einschätzen und wie weit die Expertenmeinungen auseinandergehen. Das Ziel dieser Vorgehensweise besteht darin, einen Konsens unter allen befragten Expertinnen und Experten zu erzielen.

Da wir auf Ihre Expertise angewiesen sind, ist es wichtig, dass Sie erneut alle Fragen beantworten. Bitte schätzen Sie daher im Folgenden vor dem Hintergrund dieser Hinweise und der präsentierten Expertenmeinungen die Sachverhalte erneut ein. Die erhobenen Daten werden selbstverständlich anonymisiert und vertraulich behandelt.

Wir freuen uns über Ihre Teilnahme!

**Weiter**

---

**Seite 02**  
**IB**

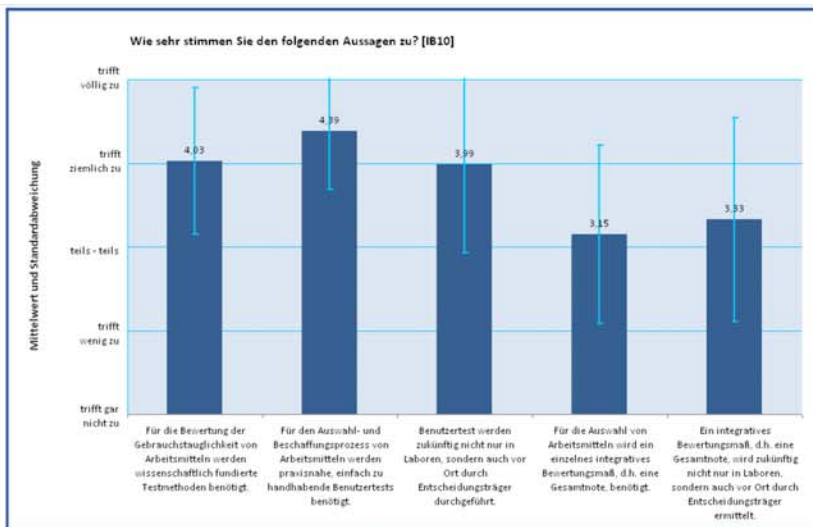
### **Bewertung und Beschaffung**

Die BAuA möchte Entscheidungsträger (Kleiderwarte, Technikverantwortliche, Einkäufer usw.) bei der Bewertung, Auswahl und Beschaffung von sicheren, gesundheitsgerechten und gebrauchstauglich gestalteten Arbeitsmitteln, wie z.B. Schutzausrüstung und Feuerwehrschtutzkleidung, durch Entscheidungshilfen unterstützen. Unser Ziel ist es, bestehende wissenschaftliche Methoden und Checklisten für die Praxis fortzuentwickeln.

#### **1. Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu? [IB10]**

*Auswertung der ersten Befragungsrunde – für eine vergrößerte Darstellung in einem neuen Fenster klicken Sie bitte auf die Grafik!*





	trifft gar nicht zu	trifft kaum zu	trifft teils - teils	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Arbeitsmitteln werden wissenschaftlich fundierte Testmethoden benötigt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für den Auswahl- und Beschaffungsprozess von Arbeitsmitteln werden praxisnahe, einfach zu handhabende Benutzertests benötigt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Benutzertest werden zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger durchgeführt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für die Auswahl von Arbeitsmitteln wird ein einzelnes integratives Bewertungsmaß, d.h. eine Gesamtnote, benötigt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ein integratives Bewertungsmaß, d.h. eine Gesamtnote, wird zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger ermittelt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

[Weiter](#)

### Produkteigenschaften

Das integrative Bewertungsmaß für Schutzkleidung, d.h. die Gesamtnote, wird die folgenden Datenfelder umfassen. Wir möchten Sie bitten, die Bedeutung dieser Produkteigenschaften einzuschätzen.

**Beweglichkeit:** Im Themenfeld Beweglichkeit werden Messgrößen zusammengefasst, anhand derer sich die Einschränkung der Beweglichkeit der Arme, Beine oder des Kopfes quantifizieren lassen z.B. Armreichweite, Kopfdrehung, -neigung etc.

**Schnittstellenverschiebung:** Die Schnittstellenverschiebung beschreibt das Maß, wie weit sich bei Bewegungen die Überdeckung einzelner Kleidungsstücke wie Handschuhe, Stiefel, Jacke oder Hose verändert.

**Komponentenbewertung:** Zahlreiche Faktoren beeinflussen die Ausführbarkeit von

Arbeits- und Bewegungsaufgaben und den Tragekomfort. Im Rahmen der „Komponentenbewertung“ wurde die Zufriedenheit der Nutzer beim Tragen der Schutzkleidung in verschiedenen Unterkategorien erfasst.

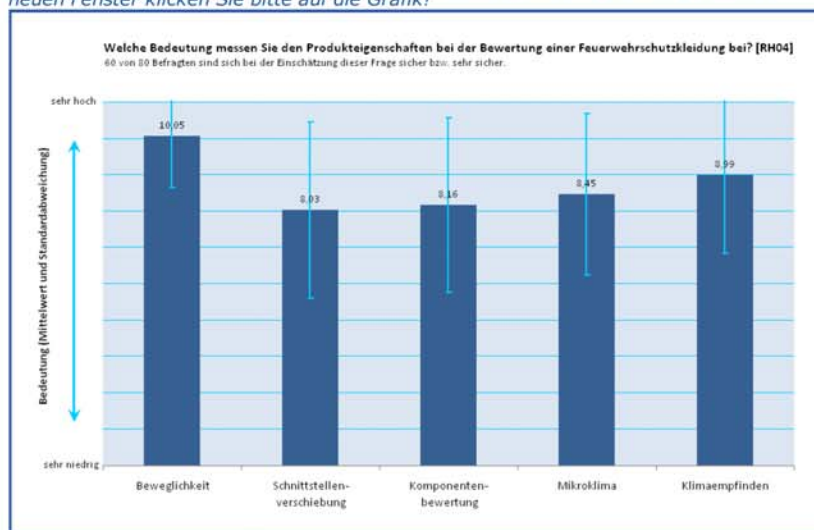
**Mikroklima:** Das Themenfeld „Mikroklima“ umfasst objektive Maße, anhand derer die Veränderung der Luftfeuchte und der Hautoberflächentemperatur beim Tragen der Schutzkleidung im Klima beschrieben werden kann.

**Klimaempfinden:** Mit dem Maß „Klimaempfinden“ wird im Gegensatz zum objektiv ermittelten Mikroklima das subjektive Wärme- bzw. Kälteempfinden der Probanden während der Belastung im Klima beschrieben.

### 1. Welche Bedeutung messen Sie den Produkteigenschaften bei der Bewertung einer Feuerwehrsutzkleidung bei? [RH04]

Wenn z.B. das Mikroklima keine Rolle spielt, wählen Sie bitte die Einstellung „sehr niedrig“. Spielt das Mikroklima dagegen eine größere Rolle, so wählen Sie eine entsprechend höhere Bedeutung.

*Auswertung der ersten Befragungsrunde – für eine vergrößerte Darstellung in einem neuen Fenster klicken Sie bitte auf die Grafik!*



**Bedeutung**

sehr niedrig

sehr hoch

Beweglichkeit

Schnittstellenverschiebung

Komponentenbewertung

Mikroklima

Klimaempfinden

### 2. Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? [RH03]

sehr unsicher



unsicher



weder sicher noch  
unsicher



sicher



sehr sicher



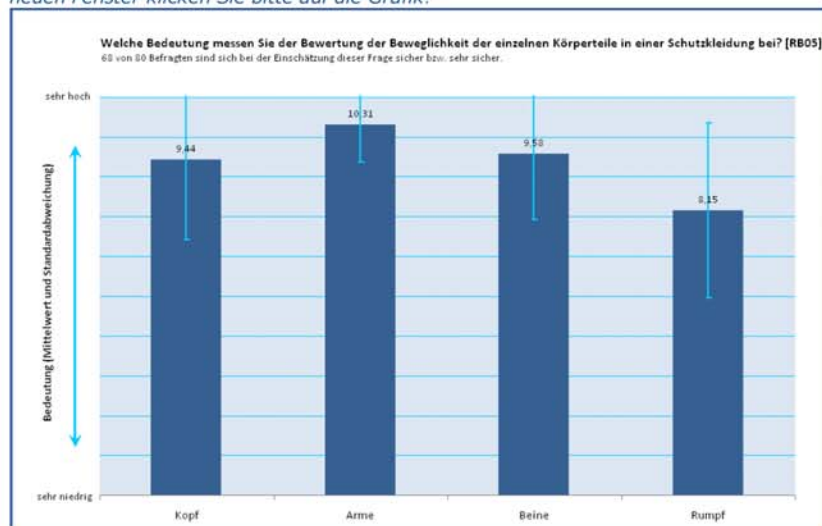
## Bewegungseinschränkungen

Im Themenfeld Beweglichkeit werden Messgrößen zusammengefasst, anhand derer sich die Einschränkung der Beweglichkeit der Arme, Beine, des Rumpfes oder des Kopfes quantifizieren lassen z.B. Armreichweite, Kopfdrehung, -neigung etc.

### 1. Welche Bedeutung messen Sie der Bewertung der Beweglichkeit der einzelnen Körperteile in einer Schutzkleidung bei? [RB05]

Wenn z.B. Bewegungseinschränkungen des Kopfes keine Rolle spielen, wählen Sie bitte dort die Einstellung „sehr niedrig“. Spielen Bewegungseinschränkungen des Kopfes jedoch eine größere Rolle, so wählen Sie eine entsprechend höhere Stufe.

Auswertung der ersten Befragungsrunde – für eine vergrößerte Darstellung in einem neuen Fenster klicken Sie bitte auf die Grafik!



**Bedeutung**

sehr niedrig

sehr hoch

Kopf

Arme

Beine

Rumpf

### 2. Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? [RB04]

sehr unsicher

unsicher

weder unsicher noch  
sicher

sicher

sehr sicher

## Komponentenbewertung

Zahlreiche Faktoren beeinflussen die Ausführbarkeit von Arbeits- und Bewegungsaufgaben und den Tragekomfort. In einem Benutzertest wurde die Zufriedenheit der Nutzer beim Tragen der Schutzkleidung erfasst. Die Bedeutung dieser Prüfung innerhalb des integrativen Bewertungsmaßes haben Sie bereits eingeschätzt. Im Folgenden möchten wir Sie bitten, die Bedeutung der fünf Unterkategorien der Komponentenbewertung abzuschätzen.

**An- und Ablegen:** Die Kategorie umfasst alle Items, die die Ausführbarkeit von Bewegungen und Tätigkeiten beim An- und Ablegen sowie die Bedienbarkeit zugehöriger Komponenten bewerten (z.B. Größenanpassung, Anlegen der Schutzkleidung, Reißverschluss etc.).

**Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit:** In dieser Gruppe werden Items zusammengefasst, die das subjektive Empfinden der Beweglichkeit bei unterschiedlichen Arbeits- und Bewegungsaufgaben beschreiben (z.B. Bewegungsfreiheit an den Knien).

**Wohlbefinden und Komfort:** Die Kategorie umfasst Items, mit denen sich Wohlbefinden und Komfort unabhängig von Items der Kategorie Beweglichkeit bewerten lassen (z.B. Tragegefühl).

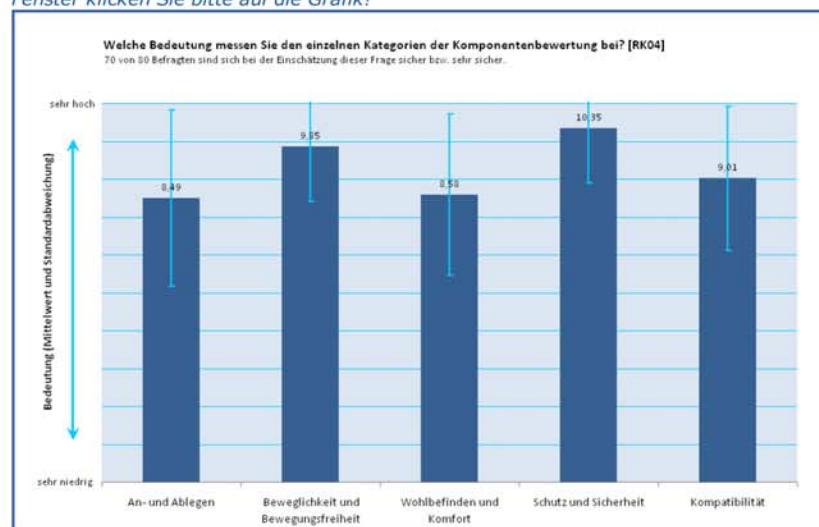
**Schutz und Sicherheit:** Schutz und Sicherheit umfasst alle Items, in denen die Probanden Sicherheits- und Schutzeinrichtungen bewerten (z.B. Schutzpolster, Panikreißverschluss etc.).

**Kompatibilität:** Items, die das Zusammenspiel von Hilfsmitteln und der Schutzkleidung bewerten, werden in dieser Kategorie erfasst (z.B. Kombinierbarkeit mit einer Atemschutzmaske); Passung der Einzelteile, Komponenten, Hilfsmittel und Ausrüstungsteile.

### 1. Welche Bedeutung messen Sie den einzelnen Kategorien der Komponentenbewertung bei? [RK04]

Wenn z.B. Wohlbefinden und Komfort keine Rolle spielen, wählen Sie bitte die Einstellung „sehr niedrig“. Spielen Wohlbefinden und Komfort dagegen eine größere Rolle, so wählen Sie eine entsprechend höhere Bedeutung.

*Auswertung der 1. Befragungsrunde - für eine vergrößerte Darstellung in einem neuen Fenster klicken Sie bitte auf die Grafik!*



**Bedeutung**

sehr niedrig

sehr hoch

An- und Ablegen

Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit

Wohlbefinden und Komfort

Schutz und Sicherheit

Kompatibilität

**2. Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage?  
[RK03]**

sehr unsicher

unsicher

weder unsicher noch  
sicher

sicher

sehr sicher

**Weiter****Seite 06**  
PB**Beurteilungsstufen**

Testpersonen bewerteten in einem Benutzertest und einer anschließenden Befragung in drei Stufen eine Feuerwehrsutzhkleidung und einzelne Anzugkomponenten:

**Urteil 1** - während des Benutzertests:

Beurteilung der **Ausführbarkeit** einzelner Arbeits- und Bewegungsaufgaben

**Urteil 2** - nach dem Benutzertest:

Summarische Einzelurteile für jede **Anzugkomponente**

**Urteil 3** - nach dem Benutzertest:

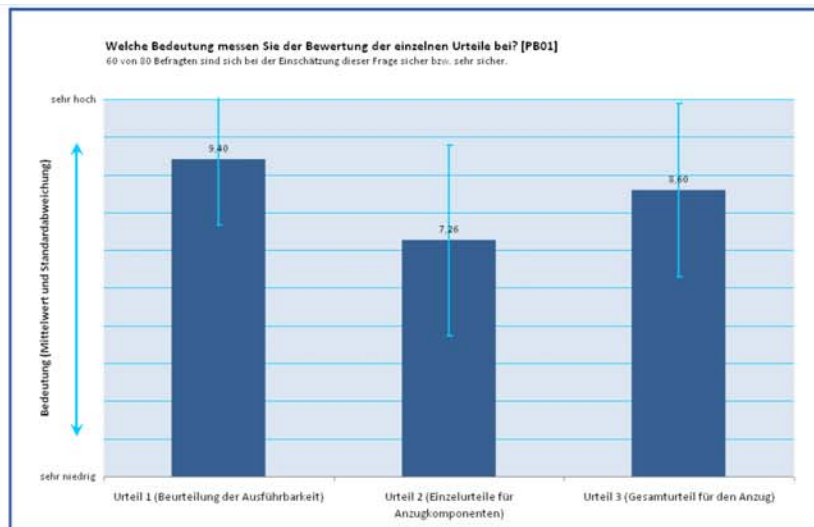
Summarisches Urteil für den **gesamten Schutzanzug**

Bei der Ergebnisauswertung fällt auf, dass die drei Beurteilungen zum Teil sehr unterschiedlich ausfallen. Die folgende Frage soll klären, welche Bedeutung diese Urteile, d.h. die Einzelbewertungen und der Gesamteindruck der Testpersonen, haben.

**1. Welche Bedeutung messen Sie der Bewertung der einzelnen Urteile bei?  
[PB01]**

Wenn z.B. das Urteil 3 keine Rolle spielt, wählen Sie bitte dort die Einstellung „sehr niedrig“. Spielt das Urteil 3 jedoch eine größere Rolle, so wählen Sie eine entsprechend höhere Bedeutung.

*Auswertung der ersten Befragungsrunde - für eine vergrößerte Darstellung in einem neuen Fenster klicken Sie bitte auf die Grafik!*



### Bedeutung

sehr niedrig

sehr hoch

Urteil 1 (Beurteilung der Ausführbarkeit)

Urteil 2 (Einzelurteile für Anzugkomponenten)

Urteil 3 (Gesamturteil für den Anzug)

### 2. Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? [PB04]

sehr unsicher

unsicher

weder unsicher noch  
sicher

sicher

sehr sicher

Weiter

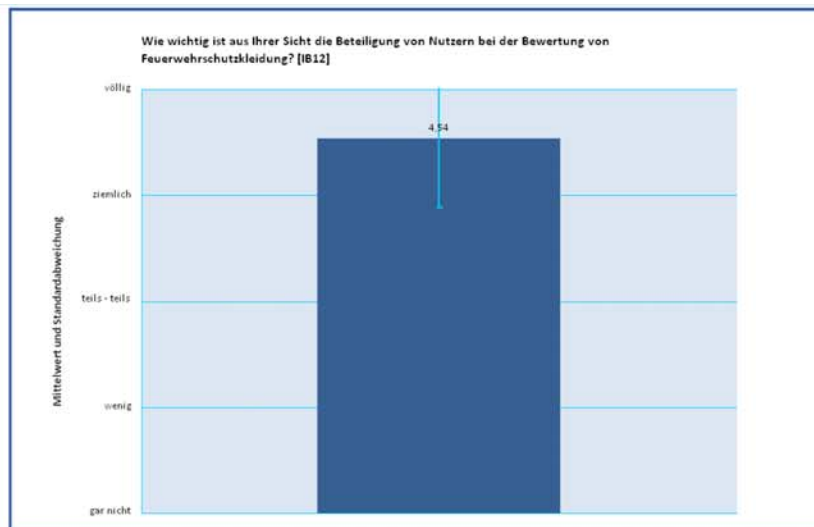
Seite 07

## Zusammenfassung

Abschließend möchten wir wissen, welche Bedeutung die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Arbeitsmitteln (z.B. Handwerkzeug, Bohrmaschine usw.) und Feuerwehrschtzkleidung Ihrer Einschätzung nach hat.

### 1. Wie wichtig ist aus Ihrer Sicht die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrschtzkleidung? [IB12]

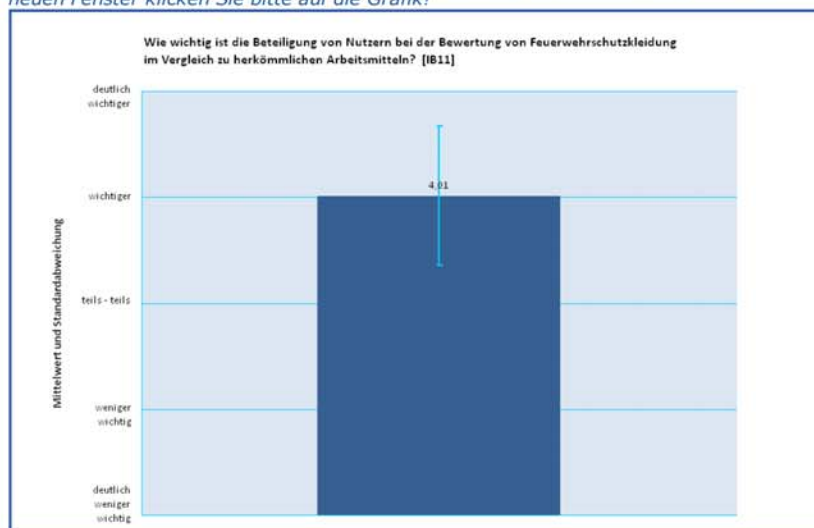
Auswertung der ersten Befragungsrunde - für eine vergrößerte Darstellung in einem neuen Fenster klicken Sie bitte auf die Grafik!



gar nicht  wenig  teils - teils  ziemlich  völlig

**2. Wie wichtig ist die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von  
Feuerwehrsutzhkleidung im Vergleich zu herkömmlichen Arbeitsmitteln?  
[IB11]**

*Auswertung der ersten Befragungsrunde - für eine vergrößerte Darstellung in einem  
neuen Fenster klicken Sie bitte auf die Grafik!*



deutlich weniger wichtig  weniger wichtig  genauso wichtig  wichtiger  deutlich wichtiger

Weiter

Letzte Seite

**Vielen Dank für Ihre Teilnahme!**

## Anhang 12 Delphi-Befragung – Variablen und Vercodung

### Fragebogen-Interne Daten

Im Datensatz finden Sie neben Ihren Fragen folgende zusätzliche Variablen, sofern Sie die entsprechende Option beim Herunterladen des Datensatzes nicht deaktivieren.

**CASE** Fortlaufende Nummer der Versuchsperson

**REF** Referenz, falls solch eine im Link zum Fragebogen übergeben wurde

**LASTPAGE** Nummer der Seite im Fragebogens, die zuletzt bearbeitet und abgeschickt wurde

**QUESTNNR** Kennung des Fragebogens, der bearbeitet wurde

**MODE** Information, ob der Fragebogen im Pretest oder durch einen Projektmitarbeiter gestartet wurde

**STARTED** Zeitpunkt, zu dem der Teilnehmer den Fragebogen aufgerufen hat

**FINISHED** Information, ob der Fragebogen bis zur letzten Seite ausgefüllt wurde

**TIME\_001...** Zeit, die ein Teilnehmer auf einer Fragebogen-Seite verbracht hat

Bitte beachten Sie, dass Sie die Fragebogen-internen Variablen nicht mit der Funktion value() auslesen können. Für Interview-Nummer und Referenz stehen aber die PHP-Funktionen [PHP-Funktion caseNumber\(\)](#) und [PHP-Funktion reference\(\)](#) zur Verfügung.

Details über die zusätzlichen Variablen stehen in der Anleitung: [Zusätzliche Variablen in der Datenausgabe](#)

### Rubrik KA: Kompetenz allgemein

**[KA05]** Skala (Zwischenwerte beschriftet)

Vertrautheit gesamt

"Wie vertraut sind Sie mit Fragen aus den folgenden Arbeitsbereichen der Themenfelder Schutzausrüstung bzw. F..."

**KA05\_01** Forschung und Entwicklung

**KA05\_02** Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit

**KA05\_04** Testung und Bewertung

**KA05\_05** Auswahl und Beschaffung

**KA05\_06** Normung und Regelsetzung

**KA05\_03** Anwendung und Einsatz

1 = gar nicht vertraut

2 = wenig vertraut

3 = teils &ndash; teils

4 = ziemlich vertraut

5 = völlig vertraut

-9 = nicht beantwortet

**[KA06]** Offene Texteingabe

Tätigkeitsdauer

"Wie lange befassen Sie sich schätzungsweise schon mit dem Thema Schutzausrüstung bzw. Feuerwehrsutzbekleidung?"

**KA06\_01** ... Jahre

Texteingabe

### Rubrik IB: Integratives Bewertungsmaß

**[IB08]** Skala (Zwischenwerte beschriftet)

Inhalte Normung

"Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?"

**IB08\_01** Anforderungen an Gebrauchstauglichkeit von Schutzkleidung sind in den o.g. Normen, z.B. DIN EN 469, ausreichend spezifiziert.

**IB08\_02** Methoden zur Testung der Gebrauchstauglichkeit von Schutzkleidung sind in den o.g. Normen, z.B. DIN EN 469, ausreichend spezifiziert.

1 = trifft gar nicht zu

2 = trifft wenig zu

3 = teils &ndash; teils

4 = trifft ziemlich zu



<p><b>[IB07]</b> Skala (Zwischenwerte beschriftet)          Vertrautheit Normung          "Wie sehr sind Sie mit den folgenden Normen und Regelwerken vertraut?"</p>
<p><b>IB07_01</b> DIN EN 469Schutzbekleidung für die Feuerwehr  <b>IB07_02</b> BWB-TL 8415-0283Technische Beschreibung Overgarment  <b>IB07_03</b> DIN EN 13921Persönliche Schutzausrüstung – Ergonomische Grundsätze</p> <p>1 = gar nicht vertraut          2 = wenig vertraut          3 = teils &amp;ndash; teils          4 = ziemlich vertraut          5 = völlig vertraut          -9 = nicht beantwortet</p>

<p><b>[IB10]</b> Skala (Zwischenwerte beschriftet)          Anforderungen Beschaffung          "Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?"</p>
<p><b>IB10_01</b> Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Arbeitsmitteln werden wissenschaftlich fundierte Testmethoden benötigt.  <b>IB10_02</b> Für den Auswahl- und Beschaffungsprozess von Arbeitsmitteln werden praxisnahe, einfach zu handhabende Benutzertests benötigt.  <b>IB10_03</b> Benutzertest werden zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger durchgeführt.  <b>IB10_04</b> Für die Auswahl von Arbeitsmitteln wird ein einzelnes integratives Bewertungsmaß, d.h. eine Gesamtnote, benötigt.  <b>IB10_05</b> Ein integratives Bewertungsmaß, d.h. eine Gesamtnote, wird zukünftig nicht nur in Laboren, sondern auch vor Ort durch Entscheidungsträger ermittelt.</p> <p>1 = trifft gar nicht zu          2 = trifft kaum zu          3 = teils &amp;ndash; teils          4 = trifft ziemlich zu          5 = trifft völlig zu          -9 = nicht beantwortet</p>

<p><b>[IB11]</b> Horizontale Auswahl          Bedeutung Arbeitsmittel          "Wie wichtig ist die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrsutzbekleidung im Vergleich zu he..."</p>
<p><b>IB11</b> Bedeutung Arbeitsmittel</p> <p>1 = deutlich weniger wichtig          2 = weniger wichtig          3 = genauso wichtig          4 = wichtiger          5 = deutlich wichtiger          -9 = nicht beantwortet</p>

<p><b>[IB12]</b> Horizontale Auswahl          Bedeutung Nutzer          "Wie wichtig ist aus Ihrer Sicht die Beteiligung von Nutzern bei der Bewertung von Feuerwehrsutzbekleidung?"</p>
<p><b>IB12</b> Bedeutung Nutzer</p> <p>1 = gar nicht          2 = wenig          3 = teils &amp;ndash; teils          4 = ziemlich          5 = völlig          -9 = nicht beantwortet</p>

### Rubrik PB: Probanden Bewertung

<p><b>[PB01]</b> Schieberegler          Urteilsstufen          "Welche Bedeutung messen Sie der Bewertung der einzelnen Urteile bei?"</p>
<p><b>PB01_01</b> Urteil 1 (Beurteilung der Ausführbarkeit)  <b>PB01_02</b> Urteil 2 (Einzelurteile für Anzugkomponenten)</p>

**PB01\_03** Urteil 3 (Gesamturteil für den Anzug)

1 = sehr niedrig  
 11 = sehr hoch  
 -9 = nicht beantwortet

**[PB04]** Horizontale Auswahl

## Sicherheit Einschätzung

"Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? "

**PB04** Sicherheit Einschätzung

1 = sehr unsicher  
 2 = unsicher  
 3 = weder unsicher noch sicher  
 4 = sicher  
 5 = sehr sicher  
 -9 = nicht beantwortet

**Rubrik RH: Rangordnung Hauptkategorien****[RH03]** Horizontale Auswahl

## Sicherheit Einschätzung

"Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? "

**RH03** Sicherheit Einschätzung

1 = sehr unsicher  
 2 = unsicher  
 3 = weder sicher noch unsicher  
 4 = sicher  
 5 = sehr sicher  
 -9 = nicht beantwortet

**[RH04]** Schieberegler

## Intervalle Hauptkategorien

"Welche Bedeutung messen Sie den Produkteigenschaften bei der Bewertung einer Feuerwehrsutzbekleidung bei?"

**RH04\_01** Beweglichkeit**RH04\_02** Schnittstellenverschiebung**RH04\_03** Komponentenbewertung**RH04\_04** Mikroklima**RH04\_05** Klimaempfinden

1 = sehr niedrig  
 11 = sehr hoch  
 -9 = nicht beantwortet

**Rubrik RK: Rangordnung Komponentenprüfung****[RK04]** Schieberegler

## Intervalle Komponenten

"Welche Bedeutung messen Sie den einzelnen Kategorien der Komponentenbewertung bei? "

**RK04\_01** An- und Ablegen**RK04\_02** Beweglichkeit und Bewegungsfreiheit**RK04\_03** Wohlbefinden und Komfort**RK04\_04** Schutz und Sicherheit**RK04\_05** Kompatibilität

1 = sehr niedrig  
 11 = sehr hoch  
 -9 = nicht beantwortet

**[RK03]** Horizontale Auswahl

## Sicherheit Einschätzung

"Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? "

**RK03** Sicherheit Einschätzung

1 = sehr unsicher  
 2 = unsicher

3 = weder unsicher noch sicher  
4 = sicher  
5 = sehr sicher  
-9 = nicht beantwortet

### Rubrik RB: Rangordnung Beweglichkeit

[RB04] Horizontale Auswahl

Sicherheit Einschätzung

"Wie sicher sind Sie sich bei der Einschätzung der vorangegangenen Frage? "

**RB04** Sicherheit Einschätzung

1 = sehr unsicher  
2 = unsicher  
3 = weder unsicher noch sicher  
4 = sicher  
5 = sehr sicher  
-9 = nicht beantwortet

[RB05] Schieberegler

Intervalle Beweglichkeit

"Welche Bedeutung messen Sie der Bewertung der Beweglichkeit der einzelnen Körperteile in einer Schutzkleidun..."

**RB05\_01** Kopf

**RB05\_02** Arme

**RB05\_03** Beine

**RB05\_04** Rumpf

1 = sehr niedrig  
11 = sehr hoch  
-9 = nicht beantwortet

## Anhang 13 SPSS- Berechnungssyntax für Summenmaß „Feuerwehrranzug“

```

*Komponentenbewertung
*An- und Ablegen K_AnAb
COMPUTE
SUse_hupf_K_AnAb=
(0.85*(MEAN(hupf_anzieh1,hupf_anzieh3,hupf_anzieh4,hupf_panic1,hupf_panic2,hupf_taschen1)))+
0.71*(MEAN(hupf_vp_system,hupf_vp_taschen))/1.56.
EXECUTE.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_K_AnAb 'Komponentenbewertung An-/Ablegen_hupf'.

*Beweglichkeit K_Bew
COMPUTE
SUse_hupf_K_Bew=
MAN(hupf_beug,hupf_bock1,hupf_bock2,hupf_gehen_1,hupf_gew_1,hupf_gew_2,hupf_hock2,hupf_laufen_1,
hupf_laufen_2,hupf_PSAkriech,hupf_PSAleiter,hupf_PSAseiten,hupf_schaufel,hupf_skg1,hupf_skg2,
hupf_skg3,hupf_steig1,hupf_steig2,hupf_steigue1,hupf_steigue2,hupf_streck).
EXECUTE.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_K_Bew 'Komponentenbewertung Beweglichkeit/Bewegungsfreiheit_hupf'.

*Wohlbefinden und Komfort K_Komf
COMPUTE SUse_hupf_K_Komf=
(0.85*(MEAN(hupf_anzieh2,hupf_anzieh5,hupf_gehen_2,hupf_hock1,hupf_kgsk,hupf_kombiPA3,
hupf_PSAdruck1,hupf_PSAdruck2)))+
0.71*(MEAN(hupf_vp_aermel,hupf_vp_beuge,hupf_vp_ellbogen,hupf_vp_hbein,hupf_vp_kehlen,
hupf_vp_kragen,hupf_vp_schulter))/1.56.
EXECUTE.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_K_Komf 'Komponentenbewertung Wohlbefinden/Komfort_hupf'.

*Schutz und Sicherheit K_Sich
COMPUTE
SUse_hupf_K_Sich=(0.85*(MEAN(hupf_kombiPA2,hupf_kriech1,hupf_kriech2,hupf_kriech3,hupf_kriech4)))+
0.71*(MEAN(hupf_vp_schuetz))/1.56.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_K_Sich 'Komponentenbewertung Schutz/Sicherheit_hupf'.

*Schutz und Sicherheit K_Komb
COMPUTE SUse_hupf_K_Komb=MEAN(hupf_kombiPA1,hupf_mask,hupf_taschen2,hupf_taschen3).
VARIABLE LABELS SUse_hupf_K_Komb 'Komponentenbewertung Kompatibilität_hupf'.

*Komponentenbewertung gesamt K
COMPUTE SUse_hupf_K=
(0.76*SUse_hupf_K_AnAb+0.92*SUse_hupf_K_Bew+0.82*SUse_hupf_K_Komf+
0.96*SUse_hupf_K_Sich+0.79*SUse_hupf_K_Komb+0.83*hupf_vp_fazit)/5.08.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_K 'Summenmaß Komponentenbewertung_hupf'.
EXECUTE.

*Beweglichkeit
*Referenzgrößen zur Normierung
*Kopffrotation B_Kopf
COMPUTE referenz_kopfrot_mittel=mean(hupf_kopfdreh_rechts_ohne,hupf_kopfdreh_links_ohne,
o_kopfdreh_rechts_ohne,o_kopfdreh_links_ohne).
VARIABLE LABELS referenz_kopfrot_mittel 'Referenzmaß Kopffrotation'.
COMPUTE delta_kopfrot_mittel_mask_hupf=
mean(delta_hupf_kopfdreh_rechts_mask,delta_hupf_kopfdreh_links_mask).
VARIABLE LABELS delta_kopfrot_mittel_mask_hupf 'Einschränkung Kopffrotation mit Maske_hupf'.
COMPUTE SUse_normiert_kopfrot_hupf=
(delta_kopfrot_mittel_mask_hupf / referenz_kopfrot_mittel ) * 77.4950 .
VARIABLE LABELS SUse_normiert_kopfrot_hupf 'Normierte Einschränkung Kopffrotation mit Maske_hupf'.
RECODE SUse_normiert_kopfrot_hupf
(Lowest thru 7.35=1)(7.36 thru 14.70=2)(14.71 thru 22.06=3)(22.07 thru 29.41=4)(29.42 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_B_kopffrotation.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_B_kopffrotation 'Bewegungseinschränkung Bewertung Kopffrotation_hupf'.
EXECUTE.

*Kopffneigung seite
COMPUTE referenz_kopffneig_seite_mittel=

```

```

mean(hupf_kopfneig_rechts_ohne,hupf_kopfneig_links_ohne,o_kopfneig_rechts_ohne,o_kopfneig_links_ohne).
VARIABLE LABELS referenz_kopfneig_seite_mittel 'Referenzmaß Kopfneigung seitlich'.
COMPUTE delta_kopfneig_seite_mittel_mask_hupf=mean(delta_hupf_kopfneig_rechts_mask,
delta_hupf_kopfneig_links_mask).
VARIABLE LABELS delta_kopfneig_seite_mittel_mask_hupf 'Einschränkung Kopfneigung seitlich mit Mas-
ke_hupf'.
COMPUTE
SUse_normiert_kopfneig_seite_hupf=
(delta_kopfneig_seite_mittel_mask_hupf / referenz_kopfneig_seite_mittel ) * 43.5245 .
VARIABLE LABELS SUse_normiert_kopfneig_seite_hupf 'Normierte Einschränkung Kopfneigung seitlich mit
Maske_hupf'.
RECODE SUse_normiert_kopfneig_seite_hupf
(Lowest thru 2.88=1)(2.89 thru 5.76=2)(5.77 thru 8.64=3)(8.65 thru 11.52=4)(11.53 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_B_kopfneigung_seite.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_B_kopfneigung_seite 'Bewegungseinschränkung Bewertung Kopfneigung seit-
lich_hupf'.
EXECUTE.

```

\*Kopfneigung hinten

```

COMPUTE referenz_kopfneig_hinten_mittel=mean(hupf_kopfneig_hinten_ohne,o_kopfneig_hinten_ohne).
VARIABLE LABELS referenz_kopfneig_hinten_mittel 'Referenzmaß Kopfneigung hinten'.
COMPUTE SUse_normiert_kopfneig_hinten_hupf=(delta_hupf_kopfneig_hinten_mask / refe-
renz_kopfneig_hinten_mittel ) * 70.9790 .
VARIABLE LABELS SUse_normiert_kopfneig_hinten_hupf 'Normierte Einschränkung Kopfneigung hinten mit
Maske_hupf'.
RECODE SUse_normiert_kopfneig_hinten_hupf
(Lowest thru 8.59=1)(8.60 thru 17.17=2)(17.18 thru 25.76=3)(25.76 thru 34.34=4)(34.35 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_B_kopfneigung_hinten.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_B_kopfneigung_hinten 'Bewegungseinschränkung Bewertung Kopfneigung
hinten_hupf'.
EXECUTE.

```

\*Kopfneigung vorne

```

COMPUTE referenz_kopfneig_vorne_mittel=mean(hupf_kopfneig_vorne_ohne,o_kopfneig_vorne_ohne).
VARIABLE LABELS referenz_kopfneig_vorne_mittel 'Referenzmaß Kopfneigung vorne'.
COMPUTE SUse_normiert_kopfneig_vorne_hupf=(delta_hupf_kopfneig_vorne_mask / refe-
renz_kopfneig_vorne_mittel ) * 53.4550 .
VARIABLE LABELS SUse_normiert_kopfneig_vorne_hupf 'Normierte Einschränkung Kopfneigung vorne mit
Maske_hupf'.
RECODE SUse_normiert_kopfneig_vorne_hupf
(Lowest thru 6.53=1)(6.54 thru 13.06=2)(13.07 thru 19.58=3)(19.57 thru 26.11=4)(26.12 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_B_kopfneigung_vorne.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_B_kopfneigung_vorne 'Bewegungseinschränkung Bewertung Kopfneigung vor-
ne_hupf'.
EXECUTE.

```

\*Reichweite oben

```

*COMPUTE referenz_reichweite_oben_mittel=km_reichweite_oben
COMPUTE SUse_normiert_reichw_oben_hupf=(delta_hupf_reichweite_oben / km_reichweite_oben ) * 218.3200
.
VARIABLE LABELS SUse_normiert_reichw_oben_hupf 'Normierte Einschränkung Kopfneigung vorne mit Mas-
ke_hupf'.
RECODE SUse_normiert_reichw_oben_hupf
(Lowest thru 1.19=1)(1.20 thru 2.39=2)(2.40 thru 4.78=3)(4.79 thru 5.98=4)(5.99 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_B_reichweite_oben.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_B_reichweite_oben 'Bewegungseinschränkung Bewertung Reichweite
oben_hupf'.
EXECUTE.

```

\*Reichweite seite

```

COMPUTE referenz_reichw_seite_mittel=
mean(hupf_reichw_seite_links_ohne,hupf_reichw_seite_rechts_ohne,o_reichw_seite_links_ohne,
o_reichw_seite_rechts_ohne).
VARIABLE LABELS referenz_reichw_seite_mittel 'Referenzmaß Reichweite seite'.
COMPUTE delta_reichw_seite_mittel_hupf=
mean(delta_hupf_reichw_seite_rechts,delta_hupf_reichw_seite_links).
VARIABLE LABELS delta_reichw_seite_mittel_hupf 'Einschränkung Reichweite seite_hupf'.
COMPUTE SUse_normiert_reichw_seite_hupf=(delta_reichw_seite_mittel_hupf / referenz_reichw_seite_mittel ) *
37.4900 .

```

VARIABLE LABELS SUse\_normiert\_reichw\_seite\_hupf 'Normierte Einschränkung Reichweite seite\_hupf'.  
 RECODE SUse\_normiert\_reichw\_seite\_hupf  
 (Lowest thru 3.24=1)(3.25 thru 6.48=2)(6.49 thru 9.72=3)(9.73 thru 12.96=4)(12.97 thru Highest=5)  
 INTO SUse\_hupf\_B\_reichweite\_seite.  
 VARIABLE LABELS SUse\_hupf\_B\_reichweite\_seite 'Bewegungseinschränkung Bewertung Reichweite seite\_hupf'.

\*Reichweite hinten  
 COMPUTE referenz\_reichw\_hinten\_mittel=mean(hupf\_reichw\_hinten\_links\_ohne,hupf\_reichw\_hinten\_rechts\_ohne, o\_reichw\_hinten\_links\_ohne,o\_reichw\_hinten\_rechts\_ohne).  
 VARIABLE LABELS referenz\_reichw\_hinten\_mittel 'Referenzmaß Reichweite hinten'.  
 COMPUTE delta\_reichw\_hinten\_mittel\_hupf=mean(delta\_hupf\_reichw\_hinten\_rechts,delta\_hupf\_reichw\_hinten\_links).  
 VARIABLE LABELS delta\_reichw\_hinten\_mittel\_hupf 'Einschränkung Reichweite hinten\_hupf'.  
 COMPUTE SUse\_normiert\_reichw\_hinten\_hupf=(delta\_reichw\_hinten\_mittel\_hupf / referenz\_reichw\_hinten\_mittel) \* 101.1990 .  
 VARIABLE LABELS SUse\_normiert\_reichw\_hinten\_hupf 'Normierte Einschränkung Reichweite hinten\_hupf'.  
 RECODE SUse\_normiert\_reichw\_hinten\_hupf  
 (Lowest thru 3.17=1)(3.18 thru 6.35=2)(6.36 thru 9.52=3)(9.53 thru 12.69=4)(12.70 thru Highest=5)  
 INTO SUse\_hupf\_B\_reichweite\_hinten.  
 VARIABLE LABELS SUse\_hupf\_B\_reichweite\_hinten 'Bewegungseinschränkung Bewertung Reichweite hinten\_hupf'.

\*Ellbogen  
 COMPUTE referenz\_ellbogen\_mittel=  
 mean(hupf\_ellbogen\_links\_ohne,hupf\_ellbogen\_rechts\_ohne,o\_ellbogen\_links\_ohne,o\_ellbogen\_rechts\_ohne).  
 VARIABLE LABELS referenz\_ellbogen\_mittel 'Referenzmaß Ellbogen'.  
 COMPUTE delta\_ellbogen\_mittel\_hupf=mean(delta\_hupf\_ellbogen\_rechts,delta\_hupf\_ellbogen\_links).  
 VARIABLE LABELS delta\_ellbogen\_mittel\_hupf 'Einschränkungen Ellbogen'.

COMPUTE SUse\_normiert\_ellbogen\_hupf=(delta\_ellbogen\_mittel\_hupf / referenz\_ellbogen\_mittel) \* 38.0950 .  
 VARIABLE LABELS SUse\_normiert\_ellbogen\_hupf 'Normierte Einschränkung Ellbogen\_hupf'.  
 RECODE SUse\_normiert\_ellbogen\_hupf  
 (Lowest thru 4.05=1)(4.06 thru 8.10=2)(8.11 thru 12.15=3)(12.16 thru 16.20=4)(16.21 thru Highest=5)  
 INTO SUse\_hupf\_B\_ellbogen.  
 VARIABLE LABELS SUse\_hupf\_B\_ellbogen 'Bewegungseinschränkung Bewertung Ellbogen\_hupf'.

\*Kniehöhe  
 \*COMPUTE referenz\_kniehoehe\_mittel=km\_kniehoehe . EXECUTE.  
 COMPUTE SUse\_normiert\_kniehoehe\_hupf=(delta\_hupf\_kniehoehe / km\_kniehoehe ) \* 109.8800 .  
 VARIABLE LABELS SUse\_normiert\_kniehoehe\_hupf 'Normierte Einschränkung Kniehöhe\_hupf'.  
 RECODE SUse\_normiert\_kniehoehe\_hupf  
 (Lowest thru 4.62=1)(4.63 thru 9.24=2)(9.25 thru 13.86=3)(13.87 thru 18.48=4)(18.49 thru Highest=5)  
 INTO SUse\_hupf\_B\_kniehoehe.  
 VARIABLE LABELS SUse\_hupf\_B\_kniehoehe 'Bewegungseinschränkung Bewertung Kniehöhe\_hupf'.  
 EXECUTE.

\*Beweglichkeit gesamt B  
 COMPUTE SUse\_hupf\_B=  
 (0.85\*(MEAN(SUse\_hupf\_B\_kopffrotation,SUse\_hupf\_B\_kopfneigung\_hinten,SUse\_hupf\_B\_kopfneigung\_vorne,SUse\_hupf\_B\_kopfneigung\_seite))  
 +0.95\*(MEAN(SUse\_hupf\_B\_reichweite\_seite,SUse\_hupf\_B\_reichweite\_hinten,SUse\_hupf\_B\_reichweite\_oben, SUse\_hupf\_B\_ellbogen))+0.88\*SUse\_hupf\_B\_kniehoehe)/2.68.  
 VARIABLE LABELS SUse\_hupf\_B 'Summenmaß Beweglichkeit\_hupf'.  
 EXECUTE.

\*Schnittstellenbeweglichkeit

\*Jacke\_Hose  
 RECODE hupf\_jackhose\_maxmax  
 (Lowest thru 7,3=1)(7,4 thru 14,4=2)(14.5 thru 21.6=3)(21.7 thru 28.8=4)(28.9 thru Highest=5)  
 INTO SUse\_hupf\_S\_rumpf.  
 VARIABLE LABELS SUse\_hupf\_S\_rumpf 'Schnittstellenbeweglichkeit Bewertung Rumpf\_hupf'.

\*Handschuhe\_Jacke

RECODE hupf\_handschuhejacke\_maxmax  
 (Lowest thru 2.4=1)(2.5 thru 4.8=2)(4.9 thru 7.2=3)(7.3 thru 9.6=4)(9.7 thru Highest=5)  
 INTO SUse\_hupf\_S\_arm.  
 VARIABLE LABELS SUse\_hupf\_S\_arm 'Schnittstellenbeweglichkeit Bewertung Arm\_hupf'.

## \*Hose\_Stiefel

```

RECODE hupf_hosestiefel_maxmax
(Lowest thru 4.9=1)(5.0 thru 9.8=2)(9.9 thru 14.7=3)(14.8 thru 19.6=4)(19.7 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_S_bein.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_S_bein 'Schnittstellenbeweglichkeit Bewertung Bein_hupf'.
COMPUTE SUse_hupf_S=Mean(SUse_hupf_S_arm,SUse_hupf_S_bein,SUse_hupf_S_rumpf).
VARIABLE LABELS SUse_hupf_S 'Summenmaß Schnittstellenbeweglichkeit_hupf'.
EXECUTE.

```

## \*Mikroklima

## \*Hautoberflächentemperatur 6;12;25

```

RECODE huheiss_Tgewicht6
(Lowest thru 34.00=1)(34.0001 thru 34.5=2)(34.5001 thru 35.3=3)(34.3001 thru 36.2=4)
(36.2001 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_T_heiss_Tgewicht6.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_T_heiss_Tgewicht6 'Bewertete Hautoberflächentemperatur heiss 6_hupf'.
RECODE huheiss_Tgewicht12
(Lowest thru 34.00=1)(34.0001 thru 34.5=2)(34.5001 thru 35.3=3)(34.3001 thru 36.2=4)
(36.2001 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_T_heiss_Tgewicht12.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_T_heiss_Tgewicht12 'Bewertete Hautoberflächentemperatur heiss 12_hupf'.
RECODE huheiss_Tgewicht25
(Lowest thru 34.00=1)(34.0001 thru 34.5=2)(34.5001 thru 35.3=3)(34.3001 thru 36.2=4)
(36.2001 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_T_heiss_Tgewicht25.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_T_heiss_Tgewicht25 'Bewertete Hautoberflächentemperatur heiss 25_hupf'.
COMPUTE SUse_hupf_T_heiss=
MEAN(SUse_hupf_T_heiss_Tgewicht6,SUse_hupf_T_heiss_Tgewicht12,SUse_hupf_T_heiss_Tgewicht25).
VARIABLE LABELS SUse_hupf_T_heiss 'Hautoberflächentemperatur Bewertung_hupf'.
EXECUTE.

```

## \*Zwischenschichtenfeuchte 6;12;25

```

RECODE mittel_huheiss_Rf_6
(Lowest thru 32.0=1)(32.0001 thru 50.0=2)(50.0001 thru 61.0=3)(61.0001 thru 68.0=4)(68.0001 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_T_heiss_Rfmittel6.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_T_heiss_Rfmittel6 'Bewertete Zwischenschichtenfeuchte heiss 6_hupf'.
RECODE mittel_huheiss_Rf_12
(Lowest thru 32.0=1)(32.0001 thru 50.0=2)(50.0001 thru 61.0=3)(61.0001 thru 68.0=4)(68.0001 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_T_heiss_Rfmittel12.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_T_heiss_Rfmittel12 'Bewertete Zwischenschichtenfeuchte heiss 12_hupf'.
RECODE mittel_huheiss_Rf_25
(Lowest thru 32.0=1)(32.0001 thru 50.0=2)(50.0001 thru 61.0=3)(61.0001 thru 68.0=4)(68.0001 thru Highest=5)
INTO SUse_hupf_T_heiss_Rfmittel25.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_T_heiss_Rfmittel25 'Bewertete Zwischenschichtenfeuchte heiss 25_hupf'.
COMPUTE SUse_hupf_Rf_heiss=
MEAN(SUse_hupf_T_heiss_Rfmittel6,SUse_hupf_T_heiss_Rfmittel12,SUse_hupf_T_heiss_Rfmittel25).
VARIABLE LABELS SUse_hupf_Rf_heiss 'Zwischenschichtenfeuchte Bewertung_o'.
COMPUTE SUse_hupf_M=MEAN(SUse_hupf_T_heiss,SUse_hupf_Rf_heiss).
VARIABLE LABELS SUse_hupf_M 'Summenmaß Mikroklima_hupf'.

```

## \*Klimaempfinden

```

RECODE huheiss_Befinden6
(0=1)(1=2)(2=3)(3=4)(4=4)(5=5)(9=5)
INTO SUse_hupf_E_heiss_Befinden6.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_E_heiss_Befinden6 'Bewertetes Klimaempfinden heiss 6_hupf'.
RECODE huheiss_Befinden12
(0=1)(1=2)(2=3)(3=4)(4=4)(5=5)(9=5)
INTO SUse_hupf_E_heiss_Befinden12.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_E_heiss_Befinden12 'Bewertetes Klimaempfinden heiss 12_hupf'.

RECODE huheiss_Befinden25
(0=1)(1=2)(2=3)(3=4)(4=4)(5=5)(9=5)
INTO SUse_hupf_E_heiss_Befinden25.
VARIABLE LABELS SUse_hupf_E_heiss_Befinden25 'Bewertetes Klimaempfinden heiss 25_hupf'.
COMPUTE SUse_hupf_E=
MEAN(SUse_hupf_E_heiss_Befinden6,SUse_hupf_E_heiss_Befinden12,SUse_hupf_E_heiss_Befinden25).
VARIABLE LABELS SUse_hupf_E 'Summenmaß Klimaempfinden_hupf'.

```

\*Summenmaß gesamt SUse je Proband

```
COMPUTE SUse_hupf = (0.95 * SUse_hupf_B + 0.76 * SUse_hupf_S + 0.75 * SUse_hupf_K + 0.82 * SUse_hupf_M + 0.85 * SUse_hupf_E) / 4.13.
```

```
VARIABLE LABELS SUse_hupf 'Summenmaß Gebrauchstauglichkeit_hupf.'
```