

Advanced Studies Mobile Research Center Bremen

RESEARCH

Christof Breckenfelder

# Mobile Schutzassistenten

Grundlagen, Entwurfsmethodik,  
Gestaltanforderungen

**mr<sup>c</sup>**  
Mobile Research Center

 **Springer** Vieweg

---

# **Advanced Studies Mobile Research Center Bremen**

**Edited by**

O. Herzog,

C. Görg,

M. Lawo,

Bremen, Germany

Das Mobile Research Center Bremen (MRC) im Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik (TZI) der Universität Bremen erforscht, entwickelt und erprobt in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft mobile Informatik-, Informations- und Kommunikationstechnologien. Als Forschungs- und Transferinstitut des Landes Bremen vernetzt und koordiniert das MRC hochschulübergreifend eine Vielzahl von interdisziplinären Arbeitsgruppen, die sich mit der Entwicklung und Anwendung mobiler Lösungen beschäftigen. Die Reihe „Advanced Studies“ präsentiert ausgewählte hervorragende Arbeitsergebnisse aus der Forschungstätigkeit der Mitglieder des MRC.

In close collaboration with the industry, the Mobile Research Center Bremen (MRC), a division of the Center for Computing and Communication Technologies (TZI) of the University of Bremen, investigates, develops and tests mobile computing, information and communication technologies. This research cluster of the state of Bremen links and coordinates interdisciplinary research teams from different universities and institutions, which are concerned with the development and application of mobile solutions. The series “Advanced Studies” presents a selection of outstanding results of MRC’s research projects.

**Edited by**

Prof. Dr. Otthein Herzog

Prof. Dr. Carmelita Görg

Prof. Dr. Michael Lawo

Mobile Research Center, Bremen, Germany

---

Christof Breckenfelder

# Mobile Schutzassistentz

Grundlagen, Entwurfsmethodik,  
Gestaltanforderungen

Christof Breckenfelder  
Aachen, Deutschland

Zugl. Dissertation, Universität Bremen, 2012 (redaktionell leicht überarbeitete Fassung)



Printed with friendly support of  
MRC Mobile Research Center, University of Bremen

ISBN 978-3-658-01127-7  
DOI 10.1007/978-3-658-01128-4

ISBN 978-3-658-01128-4 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.  
[www.springer-vieweg.de](http://www.springer-vieweg.de)

## Geleitwort

Der Anwendungsbereich „Persönliche Schutzausrüstung“ steht noch an den Anfängen, was den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie betrifft. Das ist sicher auch dadurch begründet, dass eine ganze Reihe von Qualifikationen zusammenkommen muss, um Aspekte dieses Anwendungsfeldes zum einen wissenschaftlich abzudecken und zum anderen auch sinnvolle Funktionalitäten zu implementieren. Herr Breckenfelder bringt als Elektroingenieur, als ausgewiesener Wissenschaftler in den Bereichen „Wearable Computing“ und „Interaktion“ alle inhaltlichen Voraussetzungen mit, das Gebiet „Persönliche Schutzausrüstung“ mit dem Einsatz von Technologien aus dem Wearable Computing, Gestensteuerung und Kommunikationstechnik auf die nächste inhaltliche Ebene zu heben und ingenieurwissenschaftliche Methoden zur Verfügung zu stellen. Er hat in dieser vorgelegten Studie seine langjährigen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Textil-integrierten Computersysteme aufgearbeitet und abgerundet, so dass weitere Anwendungen sehr viel leichter folgen können.

Zuerst wird das Feld der „Persönlichen Schutzausrüstung“ eingeführt und als assistierendes System beleuchtet, das durch die intelligente Verarbeitung von Informationen aus dem physischen Umfeld des Trägers seine Schutzwirkung entfaltet – hier werden schon Sensoren – Informationsverarbeitung – Kommunikation als die wesentlichen Komponenten von „Cyber-physical Systems“ angesprochen. Dann werden Basistechnologien für die PSA eingeführt und anhand der Statistiken über Arbeitsunfälle in Deutschland und Europa die Wichtigkeit einer Verbesserung der PSA in den verschiedensten Branchen aufgezeigt. Die Ergebnisse einer eigenen Anwenderbefragung zeigen sehr deutlich, dass allein schon in den Arbeitsbereichen Feuerwehr und Forstwirtschaft ein dringender Bedarf besteht für die Prävention, das Monitoring und die Intervention durch PSA.

Es wird der deutliche Trend zu eingebetteten Systemen sichtbar, die sich z. B. als mobile Computer, als Wearable Computer oder sogar als „intelligente Objekte“ manifestieren. Der besonderen Problematik der automatischen Erfassung und Nutzung von Kontextinformationen wird breiter Raum eingeräumt, deren Lösung eine besonders wichtige Rolle für die Funktionen von bekleidungsintegrierten Computern zukommt. Herr Breckenfelder illustriert seine Diskussion mit

vielen Bildern von praktisch einsetzbaren Systemen und zeigt den Beitrag auf, den diese Technologien für die Implementierung von PSA leisten müssen. Dies führt zu einer umfassenden Darstellung der integrationstechnischen Grundlagen für „smarte Bekleidung“, die in die Stufen Adaption, Integration und Kombination eingeteilt werden. Besondere Bedeutung haben in diesem Zusammenhang elektrisch leitfähige Garne, die für flexible Elektroden, Leiterplatten, Sensoren, Antennen und Aktoren bis hin zu Wärmeaktoren als Grundlage dienen können. Die Analyse von Forschungsprojekten aus den Jahren 1998 bis 2010 zeigt sehr deutlich, dass der Anteil von textilen Lösungen für smarte, körpernahe Systeme in den letzten Jahren überdurchschnittlich angewachsen ist.

Im dritten Kapitel diskutiert Herr Breckenfelder intensiv den Modellansatz für die Schutzwirkung durch assistierende Systeme, der Elemente aus dem Wearable Computing, smarterer Bekleidung und „Ambient Assisted Living“ nutzt für das neue Gebiet „Ambient Assisted Protection“. Das Modell betont den integrierten Zusammenhang zwischen Modellen für die Umgebung, für das Risiko der jeweiligen Arbeitsaktionen, den Kontext der Arbeitsprozesse und für den beteiligten Menschen. Es wird zudem unterschieden zwischen den Aktivierungsniveaus durch autonome Sensoren, die nur Gefahrenquellen erkennen, durch die zusätzliche Einbeziehung von Belastungsprofilen und als dritte Stufe die Vernetzung zwischen den Sensoren. Die erweiterten Schutzziele werden an den Beispielen Fahrerassistenz, sensorische Schutzbekleidung in der Forstarbeit, Tracking von Feuerwehrleuten innerhalb von Gebäuden und intelligenter Feuerwehrhandschuh sehr deutlich illustriert.

Nach der Aufarbeitung der technischen Voraussetzungen für PSA wird die neue Qualität der mobilen Schutzassistenz eingehend diskutiert. Dass es hier ein sehr deutliches Potenzial gibt, auch die Nachteile von PSA wie z. B. erhöhte Überwachbarkeit von Arbeitsprozessen zu betrachten, wird anhand der Ergebnisse der Anwenderbefragung PSA deutlich. Herr Breckenfelder stützt sich dabei auf die Ergebnisse des acatech-Projektes „Intelligente Objekte“, in dem diese Problematik eingehend mithilfe von Fragebögen und Experteninterviews behandelt worden war. Daraus kann mit Recht gefordert werden, dass die Anwender von PSA und die Beachtung sozialer Aspekte immer in die Entwicklung mit einbezogen werden müssen und dass auch die Probleme der Erlernbarkeit und des Datenschutzes von vornherein mit berücksichtigt werden müssen. Es wird schnell deutlich, dass für eine solche umfassende Herangehensweise an PSA-

Anwendungen noch kein Entwurfsmodell verfügbar ist, dass sich aber das empirische Analysemodell für Intelligente Objekte mit seinen Kategorien

- Erfassung von Kontext,
- geordneter Zugang,
- erweitertes Handlungsrepertoire,
- automatisierte Funktion und
- Präsenz von Information

als ausgezeichnete Grundlage für die Gestaltung von PSA eignet. Diese Weiterentwicklung eines ursprünglich rein technisch ausgerichteten Entwicklungsprozesses wird durch eine interaktionsorientierte Prozessgestaltung im sogenannten „partizipatorischen Entwurfsmodell“ erreicht, das sich entsprechend in

- Kontextmodellierung,
- Kontexterfassung in Begriffen von Organisation und Rollen,
- Kommunikation im Netzwerk und
- Feedback durch Aktorik

aufteilt.

Damit ist die theoretische Seite abgedeckt, die aber auch noch im Kontext eines exemplarischen Projekts überprüft wird: in einem Projekt über die Gestaltung eines intelligenten Feuerwehrhandschuhs. Schon von der Entwurfsphase an bis nach der Implementierung werden die prospektiven Anwender beteiligt. Von besonderer Wichtigkeit war dabei die Definition der erforderlichen Sensorik für die Temperaturerfassung und die Modellierung der Rollen und der Organisation während eines Feuerwehreinsatzes. Daraus ergaben sich eine Gefährdungsabschätzung und die Bestimmung der Schutzdefinition, insbesondere durch den Einsatz der automatischen Erkennung und Übermittlung von Gesten in einem ad-hoc-Netzwerk. Die Arbeit kulminiert in der Darstellung aller Kriterien für die textil- und bekleidungstechnische Gestaltung von PSA.

In dieser interdisziplinären Arbeit hat Herr Breckenfelder einen sehr weiten Bogen von der Aufarbeitung von technischen Trends für das Wearable Computing über die arbeitssoziologische Betrachtung von Intelligenzen Objekten bis hin zu einer Realisierung einer Ausprägung der PSA in Form eines Feuerwehrhand-

schuhs in einem partizipatorischen Entwurfsprozess geschlagen. Damit wird das Feld einer PSA-Entwicklung sehr weit abgesteckt und es wird der partizipatorische Ansatz in seiner Auswertung für weitere Projekte auf diesem sensiblen Gebiet verallgemeinert. Dieser weit gefasste Ansatz und seine Verallgemeinerung betreten echtes Neuland, besonders auch durch die Einbeziehung sozialer Aspekte und ihrer Integration in den Entwurfsprozess. Damit ist eine solide Grundlage für diese Anwendungsbereiche gelegt, für die es bisher keine Präzedenz gibt. Daher kann ich allen Lesern nur empfehlen, diese Ergebnisse für die Gestaltung von Persönlichen Schutzausrüstungen und darüber hinaus einzusetzen: Herausragende Ergebnisse in der Gestaltung von innovativen Produkten sind dann fast garantiert!

Bremen

Prof. Dr. Otthein Herzog

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik (TZI) der Universität Bremen in den Jahren 2005 bis 2011.

Herrn Prof. Dr. Otthein Herzog danke ich für die Betreuung dieser Doktorarbeit sowie für die vielen konstruktiven Gespräche und Diskussionen. Auch gilt ihm mein Dank für den nötigen Freiraum, eigene Ideen entwickeln und umsetzen zu können. Bei Herrn Prof. Dr. Stefan Mecheels bedanke ich mich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Ganz besonders bedanke ich mich auch bei meiner Lebensgefährtin Katja Friderichs für die Geduld und Unterstützung dieser langjährigen Forschungsarbeit.

Der Umfang der vorliegenden Arbeit hätte nicht beherrscht werden können, ohne auf vielfältige Arbeiten in einer Vielzahl von parallel durchgeführten Forschungsprojekten zu verweisen und deren Ergebnisse zu nutzen. Die Breite des interdisziplinären, wissenschaftlichen Hintergrundes dieser Arbeit, ausgehend von methodischen Überlegungen bis hin zur konkreten Implementierung eines exemplarischen Prototyps, verdeutlicht dies. Den involvierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in den jeweiligen Projekten gilt mein herzlicher Dank, verbunden mit der Hoffnung, das Werk und der damit verbundene Blickwinkel mögen ein interessantes Angebot sein und neue Denkanstöße für die eigene Arbeit liefern.

In Kap. 2.3.3.2 wird auf die elektrische Charakterisierung von Shieldex® leitfähigen Garnen Bezug genommen. Das zugrundeliegende Vorhaben „ELTEX – Qualifizierung leitfähiger textiler Halbzeuge für mobile textilelektrische Produkte“ wurde mit Landesmitteln durch BIA Bremer Innovations-Agentur GmbH unter dem Förderkennzeichen FKZ 2TIME0249B gefördert. Ein besonderer Dank geht an Herrn Hans Werner Seliger von der Firma Statex Produktions und Vertriebs GmbH für die gute Zusammenarbeit, die letztlich in der Verleihung des Wessels-Preises für hohe Innovation im Jahr 2007 seine Bestätigung fand.

In Kap. 4.2 wird auf eine Studie Bezug genommen, die im Rahmen eines Projektes der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) entstanden ist. Das zugrundeliegende Vorhaben „Kontextsensitive Interface-Gestaltung für

AAL-Umgebungen (KOI-AAL)“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen FKZ 16SV3684 gefördert. Ein besonderer Dank geht an Frau Dr. Iris Bockermann und Herrn Dr. Ulrich Glotzbach sowie die Herren Dr. Rainer Heueis, Alexander Schlienzy und Patrick Godefroid vom Institute of Electronic Business in Berlin.

In Kap. 3.3.1 wird auf die Entwicklung einer sensorischen Schnitthutze Bezug genommen. Das zugrundeliegende Vorhaben „Sensorische Schutzausrüstung bei der Forstarbeit mit gefährlichen Maschinen und Geräten (Motorsägen)“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) unter dem Förderkennzeichen 16119 N gefördert. Ein besonderer Dank geht an Herrn Martin Rupp und Frau Angela Mahr-Erhardt vom Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH und Herrn Dmitriy Boll vom Institut für Mikrosensoren, -aktoren und -systeme (IMSAS) der Universität Bremen.

In Kap. 3.3.2 wird auf die Entwicklung eines Tracking-Feuerwehrtiefels Bezug genommen. Das zugrundeliegende Vorhaben „Kombiniertes Indoor-Outdoor Trackingsystem für Rettungs- und Sicherheitskräfte – InoTrack“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi)/ Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) unter dem Förderkennzeichen KF2258702MS9 gefördert. Ein besonderer Dank geht an Herrn Dr. Andreas Ahland von der Selectric Nachrichtensysteme GmbH sowie Herrn Christian Landegger von der HAIX®-Schuhe Produktions- und Vertriebs GmbH und Herrn Andreas Kemnade.

In Kap. 5 werden die theoretischen Vorarbeiten an einer exemplarischen Gestaltungsaufgabe für intelligente Schutzbekleidung nachvollzogen. Das zugrundeliegende Vorhaben „Vernetzter Sensor-Schutzhandschuh für den Feuerwehreinsatz (GloveNet)“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen FKZ 13N9857 gefördert. Ein besonderer Dank geht an die Projektpartner Herrn Hans Wezel der Feuerwehr Reutlingen, Herrn Hannes Junger der W+R GmbH, Herrn Wolfgang Binder der Binder Elektronik GmbH sowie die Herren Dr. Jan Kostelnik und Jürgen Wolf der Würth Elektronik Rot am See GmbH & Co. KG. Auf der Forschungsseite geht mein Dank an Herrn Damian Mrugalavom Institut für Mikrosensoren, -aktoren und -systeme der Universität Bremen, an Herrn Prof. Dr.-Ing. Andreas Timm-

Giel und Herrn Chunlei An von der Technischen Universität Hamburg-Harburg und Herrn Andreas Kemnade.

Für die Überarbeitung und graphisch ansprechende Gestaltung ausgewählter Illustrationen [Abbildung 53, Abbildung 54, Abbildung 62, Abbildung 64, Abbildung 67] möchte ich mich bei Frau Bärbel Timmler bedanken.

Ingenieurinnen und Ingenieure, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sollten ihr Tun ethisch reflektieren. Technik ist nicht „neutral“. Technik ist immer in Form gegossener Zweck von Auftraggebenden oder innovativ Handelnden bestimmt. Der Autor sieht die Entwicklung der intelligenten Schutzbekleidung als eine Fortführung uralter Bekleidungsziele wie das Wärmen oder auch das Schützen ihrer Trägerinnen und Träger vor anderen widrigen Umwelteinflüssen, nunmehr angepasst an die Erfordernisse der modernen, arbeitsteiligen Informationsgesellschaft und ihrer hochspezialisierten Arbeitsformen. Es wäre naiv, nicht zu erkennen, dass intelligente Schutzbekleidung militärische Optionen eröffnet. Dies ist zudem an der internationalen Forschung sehr gut ablesbar. Der Autor ist gegen Forschung für Rüstungszwecke. Gewaltausübung bleibt jedoch vorerst eine Option auch demokratisch verfasster Staaten und es kommt zuvorderst darauf an, die damit verbundenen demokratischen Entscheidungsfindungen aktiv mit zu gestalten und zu beeinflussen.

In der vorliegenden Arbeit wurde in der Regel die maskuline Form personeller Substantivierung verwandt. Dies ist ein Manko hinsichtlich notwendiger Sprachkritik. Durchgängig beide Formen zu verwenden hat verschiedentliche Nachteile. Die Leserin und der Leser mögen bitte gedanklich die feminine Form mit einschließen.

Aachen

Christof Breckenfelder

# Inhaltsverzeichnis

<b>Geleitwort</b> .....	<b>V</b>
<b>Vorwort</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>XV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>XXI</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Basistechnologien für weiterentwickelte persönliche Schutzausrüstung</b> .....	<b>5</b>
2.1 Zu den Grundlagen persönlicher Schutzausrüstung (PSA) .....	5
2.2 Der Trend zu eingebetteten Systemen mobiler Computer .....	14
2.3 Smart Clothes – die integrationstechnischen Grundlagen.....	32
<b>3 Schutzwirkung durch Computerassistentz</b> .....	<b>69</b>
3.1 Technisches Konzept und Zielstellung .....	69
3.2 Illustration der erweiterten Schutzziele am Beispiel Fahrerassistentz .....	72
3.3 Aktuelle Lösungen zur mobilen Schutzassistentz .....	75
<b>4 Zur neuen Qualität der mobilen Schutzassistentz</b> .....	<b>89</b>
4.1 Technikphilosophische Fragen im Zusammenhang mit Intelligenten Objekten.....	89
4.2 Empirische Hinweise zu Intelligenten Objekten .....	95
4.3 Ableitung eines Entwurfsmodells für die mobile Schutzassistentz.....	109

---

<b>5</b>	<b>Der intelligente Feuerwehrhandschuh – eine exemplarische Gestaltungsaufgabe.....</b>	<b>121</b>
5.1	Untersuchungsrahmen.....	121
5.2	Der Entwurf unter besonderer Berücksichtigung der Beiträge des Anwenders.....	123
5.3	Überblick zur technischen Realisierung.....	137
5.4	Bekleidungsaspekte .....	150
<b>6</b>	<b>Textil- und bekleidungstechnische Gestaltungskriterien mobiler Schutzassistenzsysteme.....</b>	<b>173</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>179</b>
	<b>Literatur- und Bildquellenverzeichnis.....</b>	<b>183</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>207</b>

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	PSA-spezifische Vorschriften .....	7
<b>Abbildung 2:</b>	Anwenderbefragung PSA. Welche neuen Ziele wären Ihnen in Verbindung mit einer verbesserten PSA wichtig? (n=23).....	9
<b>Abbildung 3:</b>	Technikdomänen zur Erzielung aktiver Funktionserweiterungen von persönlicher Schutzausrüstung .....	10
<b>Abbildung 4:</b>	Schnittschutzkleidung mit passivem textilen Schutz als Beispiel für persönliche Schutzausrüstung .....	11
<b>Abbildung 5:</b>	Anwenderbefragung PSA. Bitte bewerten Sie folgende Aussagen! (n=23).....	13
<b>Abbildung 6:</b>	Aktuelles Beispiel für energieautarke und kontextsensitive Intelligente-Objekte-Umgebungen: RFID-Sensoren als Feuermelder .....	15
<b>Abbildung 7:</b>	Warenabrufknopf (sog. Call-Button) der Fa. ADE Vertriebs GmbH mit eingebettetem Mikroprozessor (ARM9) und Funkanbindung über WLAN zur Materialflusssteuerung in der Fertigung.....	19
<b>Abbildung 8:</b>	Beispiel einer Kontextanzeige zur Handlungsunterstützung in der Produktionslogistik .....	20
<b>Abbildung 9:</b>	Aufgaben und Prozesse bei der Kontextnutzung .....	21
<b>Abbildung 10:</b>	Ein früher Wearable Computer bestehend aus Head-mounted Display (links), Smartphone (mittig) und Einhandtastatur (rechts) .....	23
<b>Abbildung 11:</b>	Head-mounted Display (HMD) eines Wearable Computers .....	24
<b>Abbildung 12:</b>	WINSPECT-Gestehandschuh als Beispiel für neue Interaktionskonzepte des Wearable Computing in der Arbeitswelt.....	26
<b>Abbildung 13:</b>	Einsatz von Wearable Computern im Arbeitsumfeld .....	27
<b>Abbildung 14:</b>	Beispiele für sensorintegriertes Körper-Monitoring während der Arbeit .....	28
<b>Abbildung 15:</b>	Beispielkonfiguration für eine aktuelle Intelligent Clothing Lösung: Grado Zero Espace LinkVest.....	28
<b>Abbildung 16:</b>	Intelligent Clothing-Computing Komponenten und Bekleidungsbezug .....	29
<b>Abbildung 17:</b>	Intelligent-Clothing-Lösungen für die Wearable-Computer-Interaktion .....	30
<b>Abbildung 18:</b>	Interaktionsunterstützung durch bekleidungsbezogene Kontexterkenntung .....	31
<b>Abbildung 19:</b>	Beiträge von Smart Clothes zu intelligenter Schutzbekleidung mit Beispielen .....	32
<b>Abbildung 20:</b>	Illustration der räumlich geordneten Integrationsansätze .....	33

<b>Abbildung 21:</b>	Anwenderbefragung PSA. Wo würden Sie die sensorischen Systeme am ehesten anordnen? (n=21) .....	35
<b>Abbildung 22:</b>	Anwenderbefragung PSA. Bitte bewerten Sie folgende Aussagen! (n=23) .....	37
<b>Abbildung 23:</b>	Konventionelle Integrationslösungen für Wearable-Computing-Komponenten (links: Navigationstechnik; rechts: Interaktionshandschuh) .....	37
<b>Abbildung 24:</b>	Textilangepasster Aufbau von Elektronikkomponenten durch Miniaturisierung und flexible Substrate .....	38
<b>Abbildung 25:</b>	Garnbasierter (Shieldex®) Dehnungs-Sensorhandschuh für Interaktionsanwendungen .....	41
<b>Abbildung 26:</b>	Textile Leiterbahnen und Herstellungsstrategien .....	42
<b>Abbildung 27:</b>	Verbindung von elektronischen Baugruppen auf flexiblen, dehnbaren Substraten mit Textilien .....	44
<b>Abbildung 28:</b>	Textile Leiterplatte zur direkten Montage elektronischer Komponenten .....	45
<b>Abbildung 29:</b>	Prinzip eines Mehrkomponentengarns mit teilweise leitfähigen Filamenten, das den Elektro-Lumineszenz Effekt zum Leuchten nutzt. „EL“-Garn ©Manchester University .....	46
<b>Abbildung 30:</b>	Beispiele für Verbindungsstrategien von Textil und Elektronik .....	47
<b>Abbildung 31:</b>	Beispiele für Packaging auf textilen Substraten .....	48
<b>Abbildung 32:</b>	Textilintegrierte Mensch-Maschine-Schnittstelle. Ärmelastatur mit metallisierten textilen Kontaktflächen im Inneren .....	48
<b>Abbildung 33:</b>	Beispiele für den Einsatz textilangepasster Sensorik zur Vitalparametererfassung in Bekleidung .....	49
<b>Abbildung 34:</b>	Textiler Schweißsensor mit zwei leitenden und einer isolierenden textilen Fläche .....	51
<b>Abbildung 35:</b>	Textile Trockenelektroden in der Bekleidung .....	52
<b>Abbildung 36:</b>	Gestickter kapazitiver Sensor mit textilintegrierter Elektronikbaugruppe zum Einsatz als kontaktloser EMG-Sensor .....	52
<b>Abbildung 37:</b>	Piezoresistive Sensoren im Textil .....	54
<b>Abbildung 38:</b>	Textile Antenne in einer Karbonfaser-Verbundstruktur .....	58
<b>Abbildung 39:</b>	Beispiele textiler LED-Aufbauten .....	60
<b>Abbildung 40:</b>	Beispiele taktiler Informationsbereitstellung in der Bekleidung .....	61
<b>Abbildung 41:</b>	Entscheidungsbaum zur Projektauswahl und Kategorisierung in der Datenbank .....	65

<b>Abbildung 42:</b>	Internationale Forschungsprojekte mit Nutzerkontext-Sensitivität, systematisiert nach Nähe zum Endnutzer gemäß Abbildung 20, n=166.....	66
<b>Abbildung 43:</b>	Textile Objektverfasstheit von Smart Wearable mit Nutzerkontext-Sensitivität, n=82 .....	68
<b>Abbildung 44:</b>	Aktuelle Technologiethemen und ihre Beiträge zur mobilen Schutzassistent (AAP).....	69
<b>Abbildung 45:</b>	Modellansatz für die mobile Schutzassistent.....	70
<b>Abbildung 46:</b>	Fahrerassistenzsysteme .....	73
<b>Abbildung 47:</b>	Der Aufmerksamkeits-Assistent detektiert den Lidschlag ©Hella .....	74
<b>Abbildung 48:</b>	C3World .....	74
<b>Abbildung 49:</b>	Technische Zeichnung Schnittschutzhose .....	76
<b>Abbildung 50:</b>	Funktionskomponenten der Näherungssensorik Motorsäge und Schutzbekleidung.....	77
<b>Abbildung 51:</b>	Persönliche Schutzausrüstung und intelligente Komponenten .....	78
<b>Abbildung 52:</b>	Systemkomponenten einer schuhintegrierten Ortungstechnik auf Basis des PDR .....	82
<b>Abbildung 53:</b>	Konzept des intelligenten Feuerwehrhandschuhs.....	84
<b>Abbildung 54:</b>	Funktionsschema Sensornetzwerk mit Ad-hoc-Routingverfahren.....	86
<b>Abbildung 55:</b>	Handschuh-integrierte Beschleunigungssensoren als Sensorbasis für die Gestenkommunikation .....	87
<b>Abbildung 56:</b>	Anwenderbefragung PSA (n=23).....	92
<b>Abbildung 57:</b>	Übersicht der inhaltlichen Positionierungen der Experten zur Bedeutung von Bekleidung und Datenschutz für die Mensch-Objekt-Schnittstellengestaltung (n=16).....	99
<b>Abbildung 58:</b>	Beurteilung der Relevanz der Handlungsfelder durch Experten im 4. acatech-Workshop (n=6).....	105
<b>Abbildung 59:</b>	Analyse von neun Forschungsprojekten mit Bezug zu Intelligenten Objekten. Umsetzung von methodischen (grau) und Gestaltmerkmalen (weiß) (n=9).....	107
<b>Abbildung 60:</b>	Handlungsfelder kontextsensitiver Schnittstellengestaltung für Intelligente Ojekte .....	112
<b>Abbildung 61:</b>	Handlungsteilnehmer in einem vernetzten und kontextsensitiven Assistenzsystem mit Schutzaufgaben (Akteure im TOP-Modell) .....	116
<b>Abbildung 62:</b>	Partizipatorischer Systementwurf, aufbauend auf der Analysedimension Intelligenter Objekte .....	118

<b>Abbildung 63:</b>	Originalbild der nach der Methode des partizipatorischen Systementwurfs erarbeiteten Szenario-orientierten Beschreibung eines Feuerwehreinsatzes .....	126
<b>Abbildung 64:</b>	Initialisierungsschema für das Einsatzszenario der Feuerwehr unter Berücksichtigung der Kommandostruktur .....	127
<b>Abbildung 65:</b>	Sichtzeichen (links: „Achtung“; mittig: „Wasser marsch“; rechts: „Sammeln“) der Feuerwehr-Dienstvorschrift 1/1 aus .....	128
<b>Abbildung 66:</b>	Vorschläge für Gestenkommunikation im Feuerwehreinsatz von Forschungsseite .....	130
<b>Abbildung 67:</b>	Beispielkonfiguration für den Informationsfluss innerhalb des Sensornetzwerkes für die Gefahrenarten (a) Notfälle, (b) Entfernung vom Trupp und (c) Temperaturüberschreitung .....	131
<b>Abbildung 68:</b>	Zeitlicher Ablauf des Entwicklungsprozesses im Projekt GloveNet von 2009 bis Anfang 2011 .....	135
<b>Abbildung 69:</b>	Schema der Ortung über die Signalstärke (RSSI) .....	137
<b>Abbildung 70:</b>	Architekturschema zur Softwareimplementierung im Feuerwehrhandschuh .....	139
<b>Abbildung 71:</b>	Ereignissteuerung und Übergabe an die Schutzfunktionssteuerung .....	140
<b>Abbildung 72:</b>	Layout der Hauptplatine zum intelligenten Feuerwehrhandschuh (1. Prototyp) .....	145
<b>Abbildung 73:</b>	Modulintegration in den Handschuh (2. Prototyp) .....	146
<b>Abbildung 74:</b>	Anwenderbefragung PSA (oben: Kontexterfassung nach innen; unten: K. nach außen), n=23 .....	153
<b>Abbildung 75:</b>	Anwenderbefragung PSA .....	155
<b>Abbildung 76:</b>	Anwenderbefragung PSA .....	155
<b>Abbildung 77:</b>	Anwenderbefragung PSA .....	156
<b>Abbildung 78:</b>	Anwenderbefragung PSA .....	157
<b>Abbildung 79:</b>	Anwenderbefragung PSA .....	158
<b>Abbildung 80:</b>	Anwenderbefragung PSA .....	160
<b>Abbildung 81:</b>	Anwenderbefragung PSA .....	161
<b>Abbildung 82:</b>	Feldversuch bei der Feuerwehr Reutlingen .....	162
<b>Abbildung 83:</b>	Parcours zum Test der Gesteninteraktion .....	163
<b>Abbildung 84:</b>	Parcours zum Test der Feedbackfunktion .....	164
<b>Abbildung 85:</b>	Erlernbarkeit der Gesteninteraktion .....	165
<b>Abbildung 86:</b>	Praxistauglichkeit der Gesteninteraktion .....	165

---

<b>Abbildung 87:</b>	Erlernbarkeit des Vibrationsfeedback .....	166
<b>Abbildung 88:</b>	Praxistauglichkeit des Vibrationsfeedback .....	166
<b>Abbildung 89:</b>	Wahrnehmung des Charakters des intelligenten Feuerwehrhandschuhs.....	167
<b>Abbildung 90:</b>	Wahrnehmung zur Kompatibilität des intelligenten Feuerwehrhandschuhs .....	167
<b>Abbildung 91:</b>	Wahrnehmung zur Kompatibilität des intelligenten Feuerwehrhandschuhs .....	168
<b>Abbildung 92:</b>	Wahrnehmung der Vorteile des intelligenten Feuerwehrhandschuhs .....	169
<b>Abbildung 93:</b>	Wahrnehmung zur Komplexität des intelligenten Feuerwehrhandschuhs .....	170

# Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	Höchstleistungs-Sensornetzwerkknoten sind aktuelle Produktbeispiele für Intelligente Objekte (Erhebungsstand 2010) .....	16
<b>Tabelle 2:</b>	Überblick über die Integrationsstufen der Smart-Clothes-Evolution.....	36
<b>Tabelle 3:</b>	Beispiele zur Erreichung leitfähiger Strukturen auf verschiedenen Ebenen der textile Wertschöpfungskette.....	39
<b>Tabelle 4:</b>	Übersicht über textilnahe elektrische Leiter und typische Widerstandswerte.....	40
<b>Tabelle 5:</b>	Auswahlkategorien zur Datenbankrecherche Forschungsprojekte mit Intelligenen Objekten.....	65
<b>Tabelle 6:</b>	Sensorbasis für die kontextbasierte Fahrerassistenz, geordnet nach Reichweite .....	73
<b>Tabelle 7:</b>	Kategorien und Festlegung inhaltsanalytischer Regeln.....	98
<b>Tabelle 8:</b>	Vorgaben der Feuerwehr zur Temperaturspezifikation .....	124
<b>Tabelle 9:</b>	Hierarchische Kommandostruktur des Handschuh-Sensornetzwerkes .....	126
<b>Tabelle 10:</b>	Frühe Spezifikationsvorgaben der Feuerwehr Reutlingen zur Gestenkommunikation und zur Entfernung innerhalb eines Trupps.....	129
<b>Tabelle 11:</b>	Nach der Methode des partizipatorischen Systementwurfs erarbeiteter Schutzfunktionsplan für ein Einsatzzenario der Feuerwehr Reutlingen.....	130
<b>Tabelle 12:</b>	Gesten zur Notfallkommunikation: Jede Geste wird durch einen Doppelschlag eingeleitet .....	131
<b>Tabelle 13:</b>	Art und Umfang der erforderlichen Informationstypen.....	132
<b>Tabelle 14:</b>	Feedback-Konzept reduziert auf vier Vibrationssignale.....	134
<b>Tabelle 15:</b>	Methodische Aspekte von Intelligente-Objekte-Projekten und ihre Umsetzung im Projekt GloveNet .....	136
<b>Tabelle 16:</b>	Erfassung der Handschuhinnentemperatur .....	141
<b>Tabelle 17:</b>	Erfassung der Umgebungstemperatur .....	141
<b>Tabelle 18:</b>	Technische Daten zum finalen Prototyp intelligenter Feuerwehrhandschuh ....	149
<b>Tabelle 19:</b>	Beschreibung der Aufgaben im Gestenparcours .....	163
<b>Tabelle 20:</b>	Beschreibung der Feedback-Signale im Feedbackparcours.....	164
<b>Tabelle 21:</b>	Gestaltungskriterien zur Erschließung textiltechnischer Lösungen für mobile Schutzassistenzsysteme.....	175

<b>Tabelle 22:</b>	Die Gestaltungskriterien in den Beispielprojekten aus Kap. 3.3 zur mobilen Schutzassistenz.....	176
<b>Tabelle 23:</b>	Textiltechnische Lösungen in den Beispielprojekten aus Kap. 3.3 zur mobilen Schutzassistenz und deren Potenziale.....	177

# 1 Einleitung

Persönliche Schutzausrüstung (PSA) und mit ihr die Schutzbekleidung sind im Wandel begriffen. Miniaturisierte, eingebettete Computer eröffnen neue Möglichkeiten der Funktionsgestaltung. Die dafür notwendigen Grundlagen werden im Wearable Computing, in der Mikrosystemtechnik, in der Kommunikationstechnik und im gegenwärtig sich stark entwickelnden Forschungszweig Smart Clothes gelegt. Mit kontextsensitiven und aktorischen Funktionen ausgestattet und im Arbeitseinsatz zu Sensornetzwerken verknüpft, wird die PSA zukünftig intelligent. Der Analysedimension dieser Arbeit liegt zugrunde, dass die elektronisch angereicherte PSA als informationsbasiertes Sicherheits-Assistenzsystem zu betrachten ist, das in der Perspektive von den Merkmalen verteilter und zunehmend autonomer Sensorknoten dominiert wird. Die vielen verteilten und eingebetteten Computerentitäten werden dabei in der Literatur [Her09b] auch als Intelligente Objekte bezeichnet.

PSA wird Teil dieser Intelligente-Objekte-Umwelt. Die Gestaltung der damit verbundenen Mensch-Computer-Interaktion legt völlig neue Maßstäbe, sowohl an den Entwicklungsprozess dieser neuen intelligenten PSA als auch an die Gestaltung der Interaktionsgeräte selbst, da die Schutzfunktion nicht a priori gegeben ist, sondern in ihrer Reichweite und Rückkopplung für den jeweiligen Einsatzzweck verhandelt und festgelegt werden muss. Als „intelligent“ im Sinne dieses Ansatzes gelten somit PSA, die kontextsensitiv und mittels eingebetteter Computer vernetzt einen erweiterten beziehungsweise zusätzlichen Schutz des Nutzers erreichen. Die intelligente Schutzbekleidung erlangt ihre Schutzwirkung vorrangig nicht über die materielle Verstärkung oder die Ausweitung physisch ausgeprägter Schutzanordnungen, sondern zielt auf die Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen im Handlungsumfeld des Nutzenden. Durch die Bereitstellung von relevanter Information über Bedrohungen am richtigen Ort zur richtigen Zeit wird die neue Schutzwirkung erzielt [vgl. DIN11, S. 19].

Ähnlich einem Fahrerassistenzsystem in einem Automobil übernimmt die PSA die Beobachtung und Rückkopplung von Gefährdungen oder sicherheitsrelevanten Ereignissen in einem Arbeitsumfeld. Je nach Vernetzungsgrad und Möglichkeit der zeitlichen Profilbildung können zunehmend komplexe Schutzassistenzniveaus unterschieden werden. Auf dem untersten Schutzniveau findet sich

beispielsweise eine sensorische Näherungsdetektion von gefährlichen Maschinen und Geräten ähnlich der Kollisionserkennung im Automobil. Komplexere Schutzfunktionen ergeben sich durch die Beobachtung und Speicherung von Arbeitshistorien und Gefährdungsparametern zur Erfassung von Gewöhnungseffekten und Gefährdungstoleranzen ähnlich einem Fahrtenstreifen. Auf dem höchsten Schutzniveau ist eine globale Gefahrenanalyse durch Vernetzung und Kumulation von externen Sensordaten möglich, wie sie beispielsweise in Verkehrsleitsystemen umgesetzt wird. Das Automobil als technische Hülle und Träger der Fahrerassistenz wird in Analogie dazu durch die Bekleidung ersetzt. Die Restriktionen im Hinblick auf übliche Mobilitätsanforderungen für Bekleidungslösungen sind evident, wie beispielsweise geringes Gewicht, Tragekomfort oder Flexibilität.

Da die Schutzziele der intelligenten Schutzbekleidung über die Informationsbereitstellung realisiert werden, spielt die Gestaltung der Mensch-Computer-Schnittstelle in der Praxis eine wesentliche Rolle. Jede Information ist nur so viel wert, wie sie beim Empfänger zeitkritisch bereitgestellt, wahrgenommen und in Handlungen umgesetzt werden kann. Intelligente Sensornetzwerke übernehmen dabei zunehmend selbst Routinen der Übermittlung und Entscheidung innerhalb von Gefährdungsanalysen. Die Verteilung dieser Entscheidungshandlungen und die präzise Kopplung an die Teilnehmer im Schutzzusammenhang erfordern hierbei einen neuen interaktionsorientierten Gestaltungsansatz, der über nutzerzentrierte und geschlossen aufgabenorientierte Designkonzepte hinausweist. Dies gilt allein schon deshalb, weil die Informationsverteilung immer an die sich verändernde Organisationsstruktur der handelnden Gruppen angepasst werden muss. Gefahrenabwehr mit intelligenter Schutzbekleidung muss somit immer Rollen und Verantwortlichkeiten in Gruppen mit berücksichtigen.

Die vorliegende Arbeit leitet, ausgehend von der Analyse intelligenter Objekte, ein grundlegendes Konzept für den Aufbau mobiler Schutzassistenzsysteme her und entwickelt einen methodischen Ansatz für den Systementwurf und die Einführung von mobilen Schutzassistenzfunktionen. Grundfragen der guten Gestaltung von intelligenter Schutzbekleidung werden geklärt und das zukünftige Akzeptanzverhalten gegenüber diesen neuen Ausrüstungen soll damit positiv beeinflusst werden.

Durch die praktische Entwicklung eines intelligenten Feuerwehrschutzhandschuhs gemäß dem vorgestellten partizipatorischen Systementwurf erfolgt eine erste Anwendung dieser Methode. Die besondere Bedeutung bekleidungspezi-

---

fischer Aspekte wird durch die Abbildung des Standes der Technik von Smart Clothes und deren Einflussnahme auf die Bekleidungsperspektiven unterstrichen. Die Wirksamkeit der soziologisch-technischen Implikationen von Bekleidung auf die Gestaltung der mobilen Schutzassistenzsysteme wird als Klammerfunktion zwischen Technik und Anwender herausgearbeitet und durch eine abschließende Bewertung des vorliegenden Prototyps durch Anwender im Feldversuch validiert. Im Ergebnis werden die Antworten auf diese Fragen zusammenfassend zu Kriterien für die textil- und bekleidungstechnische Gestaltung mobiler Schutzassistenzsysteme verdichtet.