

# BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Anforderungen und Prüfmethode für die  
Persönlichen Schutzausrüstungen der  
Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz

161

Abschlussbericht

- Teilschritt 1 -

Ständige Konferenz der Innenminister und -Senatoren der Länder, Arbeitskreis  
V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile  
Verteidigung

Ständige Konferenz der Innenminister und -Senatoren der Länder, Arbeitskreis V,  
Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung

Forschungsbericht Nr. 161

Anforderungen und Prüfmethode für die Persönlichen Schutzausrüstungen  
der Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz unter besonderer  
Berücksichtigung des  
Atemschutzes (Persönliche Schutzausrüstung - PSA)

- Teilschritt 1 -

von

Prof. Dr. rer. nat. habil. Reinhard Grabski (Projektleiter),

Dipl.-Ing. Dieter Brein,

Dipl.-Ing. Ulrich Pasch,

M. Sc. Michael Neske

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt

Forschungsstelle für Brandschutztechnik am Karlsruher Institut für Technologie

Heyrothsberge / Karlsruhe

März 2010

ISSN 170-0060

## BERICHTS-KENNBLETT

Nummer des Berichtes:  <div style="text-align: center;">161</div>	Titel des Berichtes  Anforderungen und Prüfmethode für die Persönlichen Schutzausrüstungen der Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes (Persönliche Schutzausrüstung - PSA) - Teilschritt 1 -	ISSN:  <div style="text-align: center;">0170-0060</div>	
Autoren: Prof. Dr. Reinhard Grabski Dipl.-Ing. Dieter Brein Dipl.-Ing. Ulrich Pasch Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann M. Sc. Michael Neske	durchführende Institution: Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt Forschungsstelle für Brandschutztechnik am Karlsruher Institut für Technologie Projektleiter: Prof. Dr. rer. nat. habil. Reinhard Grabski		
Nummer des Auftrages:  	auftraggebende Institution: Arbeitskreis V der Ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder - Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung		
Datum des Berichtes: <div style="text-align: center;">März 2010</div>			
Seitenzahl: <div style="text-align: center;">132</div>	Bilder: <div style="text-align: center;">44</div>	Tabellen: <div style="text-align: center;">28</div>	Literaturverweise: <div style="text-align: center;">43</div>
Kurzfassung:  Unfälle im Feuerwehrdienst durch thermische Einwirkung auf Persönliche Schutzausrüstung und hier insbesondere auf Atemschutztechnik waren der Auslöser für die Initiierung des Forschungsvorhabens. Durch eine deutschlandweite einmalige Umfrage bei Feuerwehren, Unfallversicherungsträgern, Herstellern von PSA etc konnten Schwerpunkte erkannt und Schwachstellen bei thermisch beanspruchter PSA ermittelt werden. Durch umfangreiche Literaturrecherchen, Auswertung von Normen und der Auswertung von Ergebnissen relevanter Forschungsvorhaben sowie mittels Versuchen im Feuerwehrübungshaus, Brandübungscontainer und in der Hotbox konnten die für Brände typischen physikalischen Parameter ermittelt werden. Daraus resultierend wurden thermische Belastungsprofile für den Einsatz (Innenangriff) und den Übungsbetrieb erstellt. Ableitend daraus konnten Vorgaben für die Vereinheitlichung von Prüfverfahren und Prüfbedingungen erarbeitet werden, wodurch künftig praxisrelevantere thermische Beanspruchungen von PSA realisiert werden können. Im Ergebnis der Untersuchungen wurde vorgeschlagen, das Forschungsvorhaben mit Teilschritt 2 fortzuführen.			
Schlagwörter:  Persönliche Schutzausrüstung, PSA, thermische Beanspruchung, Atemschutz, Atemschutzgerät, Atemluftverbrauch, Lungenautomat, thermisches Belastungsprofil, Brandübungscontainer, Hotbox, Feuerwehrübungshaus			

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
1.1	Situationsanalyse .....	6
1.2	Aufgabenstellung .....	7
1.3	Zeitplan.....	9
1.4	Kooperationspartner.....	10
1.5	Sitzungen und Fachtagungen .....	10
2	Literaturrecherche und Analysen .....	12
2.1	Aufgabenstellung gemäß Auftrag .....	12
2.2	Regelwerk (Gesetzlichkeiten, Normen) .....	12
2.2.1	Gesetze, Verordnungen und Richtlinien .....	12
2.2.2	Normative Anforderungen an PSA-Komponenten.....	18
2.2.3	Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BG-Regeln) .....	26
2.2.4	Unfallverhütungsvorschriften .....	27
2.2.5	Feuerwehr - Dienstvorschriften .....	28
2.3	Erhebung von Daten durch Befragung und Recherche zu Unfällen im Feuerwehreinsatz.....	29
2.3.1	Auswertung von Fragebögen der BF .....	30
2.3.2	Auswertung von Fragebögen der FF .....	32
2.3.3	Auswertung von Fragebögen der WF .....	33
2.3.4	Auswertung von Fragebögen der LFS.....	35
2.3.5	Erhebungen bei Brandübungsanlagen .....	37
2.3.6	Erhebungen bei Feuerwehrunfallkassen .....	37
2.3.7	Erhebungen bei Herstellern und Inverkehrbringern von PSA.....	39
2.3.8	Befragung des Deutschen Feuerwehrverbandes (DFV) .....	40
2.3.9	Befragung des Referat 8 der Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb).....	40
2.3.10	Ausgewählte Unfälle im Feuerwehrdienst .....	40
2.4	Auswertung vorliegender Forschungsergebnisse.....	41
2.4.1	Forschungsergebnisse zu Raumbränden und dem Flashover.....	41
2.4.1.1	Vergleichende Analyse .....	42
2.4.2	Forschungsergebnisse zur Persönlichen Schutzausrüstung.....	53

2.4.2.1	Thermische Belastung Persönlicher Schutzausrüstung im Feuerwehrrübungshaus (FÜH).....	53
2.4.2.2	Untersuchungen zu sicherheitsrelevanten thermischen Parametern eines FÜH.....	55
2.4.2.3	Feuerwehr-Einsatzkleidung bei thermischer Beanspruchung unter Feuchte und Nässe .....	57
2.4.2.4	Anforderungsprofil für Schutzkleidung .....	58
2.4.2.5	Ermittlung der Wärmestrahlung einer Jetbrandflamme .....	60
2.5	Schlussfolgerungen.....	62
3	Erfassung der physikalischen Kennwerte .....	64
3.1	Aufgabenstellung gemäß Auftrag.....	64
3.2	Experimentelle Untersuchungen in holzbefeuerten Brandübungsanlagen (HBUEA).....	64
3.3	Auswertung der Untersuchungen.....	67
3.4.	Versuche in der HOTBOX des IdF gemäß Messkonzept.....	74
3.4.1	Kurzbeschreibung der Hotbox.....	74
3.4.2	Vergleich der Messwerte zwischen Brandübungsanlage und Hotbox ..	77
3.5	Schlussfolgerungen.....	78
4	Thermische Belastungsprofile .....	84
4.1	Aufgabenstellung gemäß Auftrag.....	84
4.2	Methodik zur Gewinnung eines Belastungsprofiles .....	84
4.3	Festlegung von maßgeblichen Belastungsprofilen .....	90
5	Prüfkriterien und Prüfverfahren .....	100
5.1	Aufgabenstellung gemäß Auftrag .....	100
5.2	Vergleichende Analyse der Prüfkriterien (unter Berücksichtigung thermischer Belastungsprofile).....	101
5.3	Definition von veränderten Prüfverfahren .....	102
5.3.1	Prüfung 1 - Brennverhalten .....	103
5.3.2	Prüfung 2 – Wärmedurchgangsprüfung bei Flammenexposition (Kurzzeitbelastung).....	103
5.3.3	Prüfung 3 – Wärmedurchgangsprüfung bei Wärmestrahlungsexposition (Kurzzeitbelastung).....	105
5.3.4	Prüfung 4 – Hitzefestigkeit bei konvektiver Wärme und Wärmestrahlung (Langzeitbelastung).....	105

5.3.5	Prüfung 5 – Materialfestigkeit nach Wärmestrahlungsexposition.....	106
5.3.6	Prüfung 6 – Kontaktwärmeprüfung .....	106
5.3.7	Prüfung 7 – Flame-Engulfment-Test.....	107
5.3.8	Prüfung 8 – Hitzefestigkeit bei Strahlungsexposition (Langzeitbelastung).....	108
5.3.9	Prüfung 9 – Materialfestigkeit bei konvektiver Hitze .....	108
5.3.10	Prüfung 10 – Kombination von Kurzzeit- und Langzeitbelastung.....	108
5.3.11	Prüfung 11 – Thermo-Man-Test.....	109
5.4	Probleme der Umsetzbarkeit.....	109
6	Planung zur Fortführung des Projektes mit Teilschritt 2 .....	111
6.1	Einleitung .....	111
6.2	Vorhabensbeschreibung .....	111
6.3	Beteiligte Forschungseinrichtungen.....	112
6.4	Projektleitung.....	112
6.5	Kooperationspartner.....	113
6.6	Ergebnisdokumentation und Bearbeitungszeitraum.....	114
6.7	Kosten- und Terminplan .....	114
7	Zusammenfassung.....	117
	Verzeichnis der Bilder.....	119
	Verzeichnis der Tabellen.....	123
	Literatur- und Quellenangaben.....	126

## **Vorwort**

Der vorliegende Forschungsbericht „Anforderungen und Prüfmethode für die Persönlichen Schutzausrüstungen der Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes (Persönliche Schutzausrüstung - PSA)“ wurde aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit und damit Lesbarkeit untergliedert in den eigentlichen Berichtsteil und einen Anhangteil.

Der Anhang wiederum ist untergliedert in einen Tabellenanhang und einen Bildanhang, wobei sowohl die Tabellen als auch die Bilder, beginnend mit der Ziffer 1 durchnummeriert wurden. Zur Verdeutlichung, dass es sich um Tabellen und Bilder aus dem Anhangteil handelt, wurde der jeweiligen Ziffer der Kennbuchstabe A vorangestellt (z. B. Tabelle A3 oder Bild A16).

Im Berichtsteil wird nach gleichem Muster auf die jeweils relevante Position im Tabellen- bzw. Bildanhang verwiesen. Die im Berichtsteil selbst enthaltenen Tabellen und Bilder wurden ohne Kennbuchstabe, ebenfalls beginnend mit der Ziffer 1, durchnummeriert.

# **1 Einleitung**

## **1.1 Situationsanalyse**

Auf Grund der Entwicklung von verbesserter Feuerwehr-Schutzkleidung zur Brandbekämpfung wurden in den vergangenen Jahren die jeweiligen Einsatz- und Übungstaktiken bei den Feuerwehren geändert. Diese Entwicklung ist u. a. Folge der nationalen Umsetzung der europäischen PSA-Richtlinie (1995) in deutsches Recht durch die 8. GPSGV (Verordnung über das Inverkehrbringen von persönlichen Schutzausrüstungen). Mit dieser Entwicklung stellte sich zugleich die Frage bei den Feuerwehren nach den Einsatzgrenzen bzw. der Wiederverwendbarkeit der Persönlichen Schutzausrüstung (PSA) während bzw. nach extrem hohen thermischen Belastungen im Einsatz- und Übungsbetrieb.

Die Berechtigung nach einer Analyse des aktuellen Ist-Zustandes ist u.a. darin zu sehen, dass die derzeitige Schutzkleidung der Feuerwehren (DIN EN 469, HuPF) hinsichtlich ihrer Wärme- und Flammenbeständigkeit erheblich verbessert wurde und somit den Feuerwehren den Einsatz unter weitaus höheren Wärmebelastungen als bisher ermöglicht. Dabei ist zu klären, inwieweit die unter diesen Bedingungen auch eingesetzten anderen Komponenten der PSA (insbesondere Pressluftatmer) die Leistungsgrenzen der Schutzkleidung erreichen lassen. Trotzdem wurde die derzeitig auf dem Markt befindliche und verwendete PSA heute, gemessen an Erfahrungswerten aus der Praxis, als allgemein ausreichend und sicher für den Schutz der Einsatzkräfte der Feuerwehren bei der Brandbekämpfung angesehen.

Dabei darf jedoch nicht vernachlässigt werden, dass für eine sachgerechte Verwendung der Feuerwehr-PSA unter den aktuellen Einsatzbedingungen und -möglichkeiten eine vertiefte Kenntnis zum taktischen Verhalten im Einsatzfall erforderlich macht, mit der eine gut vorbereitete Einsatzkraft (thermisch) kritische Arbeitsbedingungen erkennen und entsprechende Verhaltensweisen folgen lassen kann (z.B. Deckung, Kühlung oder Rückzug).



Durch das Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt und die Forschungsstelle für Brandschutztechnik am Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) wurde deshalb am 15.01.2008 ein Antrag zur Bearbeitung des Forschungsthemas „Anforderungen und Prüfmethoden für die Persönlichen Schutzausrüstungen der Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes (Persönliche Schutzausrüstung - PSA) im Rahmen der IMK-Forschung eingereicht. Danach erfolgt die Bearbeitung des Forschungsvorhabens in zwei Teilschritten, wobei über die Bearbeitung des 2. Teilschrittes in Abhängigkeit von den Ergebnissen des 1. Teilschrittes erneut zu entscheiden ist.

Aufgrund des Beschlusses des Ausschusses „Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung“ (AFKzV) des Arbeitskreises V der Ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder in der 21. Sitzung am 20. / 21.02.2008 in Kassel erteilte das Innenministerium Baden-Württemberg im Auftrag der Länder am 14.05.2008 dem Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt (IdF) und der Forschungsstelle für Brandschutztechnik (FFB) den Forschungsauftrag zur Realisierung des 1. Teilschrittes dieses Forschungsvorhabens. Die Projektleitung oblag dem IdF Sachsen-Anhalt. Der 1. Teilschritt war im Zeitraum vom 01.07.2008 bis zum 31.12.2009 zu realisieren.

## **1.2 Aufgabenstellung**

### Zielstellung des Forschungsvorhabens

Das Forschungsvorhaben soll die in der Einsatzpraxis zu erwartenden extremen thermischen Belastungen auf die persönliche Schutzausrüstung bei einmaligem und mehrfachem Gebrauch während der Brandbekämpfung (bei Einsätzen und entsprechenden Übungen im Rahmen der Ausbildung in Brandübungsanlagen bei den Feuerwehren) aufzeigen und bewerten.

Die notwendigen technischen und organisatorischen Konsequenzen sind daraus abzuleiten. Aus den zu erwartenden Ergebnissen sollen:

- die jeweiligen Einsatzgrenzen der derzeitig verwendeten persönlichen Schutzausrüstungen aufgezeigt,
- angemessene Prüfkriterien abgeleitet,
- Aspekte für die Ausmusterung aufgestellt und
- Hinweise für die Weiterentwicklung und Optimierung von persönlichen Schutzausrüstungen festgelegt

werden.

Im 1. Teilschritt werden zunächst die im Forschungsantrag ausgewiesenen Arbeitspakete 1 bis 6 bearbeitet.

### ***Arbeitspaket (AP) 1 - Literaturrecherchen und Analysen***

Es werden die derzeitig verfügbaren Daten, wie Prüfbedingungen, Prüfverfahren, physikalische Kennwerte (Wärmestrahlung, Temperatur) im Einsatz und im Übungsbetrieb zusammengefasst und ausgewertet. Es werden auch die verfügbaren relevanten Vorkommnisse aus Feuerwehreinsätzen ausgewertet.

### ***Arbeitspaket (AP) 2 - Erfassung der physikalischen Kennwerte***

Hier werden in Abhängigkeit von den Ergebnissen des AP 1 weitere notwendige physikalische Kennwerte erfasst, die aus Brandversuchen in Brandversuchsanlagen, Feuerwehr-Übungshäusern und Brandübungscontainern erhoben werden. Ergänzt werden die Angaben durch eine Schwachstellenanalyse thermisch belasteter PSA aus tatsächlichen Schadensfällen.

### ***Arbeitspaket (AP) 3 - Definition der thermischen Belastungsprofile***

Die typischen thermischen Belastungsprofile für den Einsatz (Innenangriff) und die Ausbildung aus den Ergebnissen der Arbeitspakete AP 1 und AP 2 werden definiert.

### ***Arbeitspaket (AP) 4 - Festlegung der Prüfkriterien und Prüfverfahren***

Es werden die erforderlichen Prüfkriterien und Prüfverfahren entsprechend der Ergebnisse aus dem AP 3 und unter Berücksichtigung der Wiederverwendbarkeit nach thermischer Belastung von PSA festgelegt.

### **Arbeitspaket (AP) 5 - Vergleichende Betrachtungen**

Vergleich der festgelegten Prüfkriterien und Prüfverfahren mit bestehenden Normen und Abschätzung der Umsetzbarkeit dieser Ergebnisse im Hinblick auf die Herstellbarkeit und Anwendung künftiger PSA.

### **Arbeitspaket (AP) 6 - Planung weiterer Teilvorhaben zur PSA**

Es sollen die weiteren Schritte zur Untersuchung des kompletten Systems PSA geprüft werden. Grundlage hierfür sind die Erkenntnisse aus den AP 1 bis 5. Die Ergebnisse sind in einem Forschungsbericht zu dokumentieren und im Hinblick auf die Fortsetzung des Forschungsvorhabens dem AFKzV vorzulegen.

## **1.3 Zeitplan**

Die Realisierung des Teilschrittes 1 des Forschungsvorhabens erfolgte nach dem Zeitplan gemäß Tabelle 1 mit den darin ausgewiesenen Verantwortlichkeiten (Federführung).

**Tabelle 1:** Zeitplan

<b>Quartal</b>	<b>3. 2008</b>	<b>4. 2008</b>	<b>1. 2009</b>	<b>2. 2009</b>	<b>3. 2009</b>	<b>4. 2009</b>
<b>Arbeitspakete</b>						
<b>AP 1</b>	X	X				
<b>AP 2</b>	X	X	X			
<b>AP 3</b>		X	X	X		
<b>AP 4</b>			X	X	X	
<b>AP 5</b>				X	X	
<b>AP 6</b>					X	X
	<b>Federführung IdF</b>					
	<b>Federführung FFB</b>					

## 1.4 Kooperationspartner

Das Forschungsvorhaben wird von einem Projektbegleitenden Ausschuss (PbA) im Auftrag des AFKzV fachlich begleitet und gesteuert. Tabelle A1 weist die Zusammensetzung des Projektbegleitenden Ausschusses aus.

Zum Umfang der zu führenden Untersuchungen und zur Festlegung der in die Untersuchungen einzubeziehenden PSA-Komponenten wurde durch beide Forschungseinrichtungen eine To do – Liste erstellt, die in zwei Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses präzisiert und bestätigt wurde. In Tabelle A2 wird die To do – Liste ausgewiesen.

Seitens der Forschungseinrichtungen wurde mit folgenden Partnern kooperiert:

### Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt

- Brandschutz- und Katastrophenschutzschule Heyrothsberge
- Berufsfeuerwehr Magdeburg
- Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Hochschule Magdeburg-Stendal

### Forschungsstelle für Brandschutztechnik

- Feuerwehr Karlsruhe
- Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

## 1.5 Sitzungen und Fachtagungen

Zur Informationsgewinnung und zum Informationsaustausch nahmen seitens des Instituts der Feuerwehr Sachsen-Anhalt die Themenbearbeiter im Berichtszeitraum an folgenden Fachtagungen teil.

- Atemschutzunfälle.eu – LIVE 2009 am 25.04.2009 in Eppstein
- FUK – Forum Sicherheit „Vision Schutzausrüstung“, Fachtagung der Feuerwehr-Unfallkassen am 10./11. Dezember 2009 in Hamburg

An den folgenden Sitzungen des PbA nahmen die Vertreter beider Forschungseinrichtungen teil:

- 1. Sitzung für das Forschungsvorhaben „Persönliche Schutzausrüstung“ am 08. August 2008 in Karlsruhe
- 2. Sitzung für das Forschungsvorhaben „Persönliche Schutzausrüstung“ am 15. Mai 2009 in Kassel
- 3. Sitzung für das Forschungsvorhaben „Persönliche Schutzausrüstung“ am 20. April 2010 in Mannheim

Dem Projektbegleitenden Ausschuss gehören an:

<b>Mitglied</b>	<b>Entsendende Institution</b>
LBD Hermann Schröder	Innenministerium Baden-Württemberg
LBD Dr. Peter Ladewig	Ministerium des Innern Sachsen-Anhalt
RBrD Dr.-Ing. Thomas Skrzek	Innenministerium Nordrhein-Westfalen
Dr.-Ing. Dirk Hageböling	Vorsitzender Referat 8 der vfdb Feuerwehr Bochum
BrOAR Reiner Wirth	Feuerwehr Essen
BrD Bernd Dietschke	Berliner Feuerwehr
Dr. Gisbert Rodewald	Vorsitzender der PG FwDV Institut der Feuerwehr NRW
Ltd. BD Hubert Lux	Brandschutz- und Katastrophenschutzschule Heyrothsberge
Tobias Bleyer	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Dr. Stephan Aris	Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung
Dr. Georg W. Mair	Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung
Matthias Drobig	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
Detlef Garz	Fachgruppe "Feuerwehren- Hilfeleistung" der DGUV, FUK Mitte
Tim Pelzl	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
Michael Siebrecht	DEKRA EXAM GmbH
Stephan Finger	DEKRA EXAM GmbH

## **2 Literaturrecherche und Analysen**

### **2.1 Aufgabenstellung gemäß Auftrag**

In diesem Arbeitspaket werden die derzeitig verfügbaren Daten, wie Prüfbedingungen, Prüfverfahren, physikalische Kennwerte (Wärmestrahlung, Temperatur) im Einsatz und im Übungsbetrieb zusammengefasst und ausgewertet. Es werden auch die verfügbaren relevanten Vorkommnisse aus Feuerwehreinsätzen ausgewertet.

### **2.2 Regelwerk (Gesetzlichkeiten, Normen)**

#### **2.2.1 Gesetze, Verordnungen und Richtlinien**

Die PSA der Feuerwehreinsatzkräfte unterliegt einem breiten Spektrum deutscher und europäischer Regelungen, die in diesem Abschnitt entsprechend ihrer Hierarchie dargestellt werden.

##### **a) Richtlinie 2001/95/EG über die allgemeine Produktsicherheit; Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte – Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG)**

In Umsetzung der europäischen Richtlinie 2001/95/EG über die allgemeine Produktsicherheit (Produktsicherheitsrichtlinie) trat in Deutschland das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz in Kraft und löste damit das Produktsicherheitsgesetz und das Gesetz über technische Arbeitsmittel ab. Weitere europäische Richtlinien, darunter die PSA-Richtlinie und die Druckgeräte-Richtlinie, wurden unter dem Dach des GPSG in deutsches Recht überführt [IHK Niederbayern 2008]. Bei der Verwendung von Produkten sind weitere Rechtsvorschriften, wie z.B. das Arbeitsschutzgesetz und die Betriebssicherheitsverordnung, anzuwenden. Stellen europäische Richtlinien, wie z.B. die europäische PSA-Richtlinie, Anforderungen an ein Produkt und wird in diesen Richtlinien die Anbringung eines CE-Kennzeichens verlangt, darf dieses Produkt nur mit CE-Zeichen in Verkehr gebracht werden. Mit der CE-

Kennzeichnung erklärt der Hersteller bzw. sein Bevollmächtigter eigenverantwortlich, dass sein Produkt allen grundlegenden Sicherheitsanforderungen aller anzuwendenden (und die CE-Kennzeichnung fordernden) europäischen Richtlinien genügt und dass das in der Richtlinie vorgegebene Verfahren zur Konformitätserklärung durchgeführt wurde [SSM 2007].

**b) Richtlinie 89/686/EWG für persönliche Schutzausrüstung;  
8. Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz  
(Verordnung über persönliche Schutzausrüstungen)**

Die europäische PSA-Richtlinie wurde in Form der 8. Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz in deutsches Recht überführt [Bayern PSA 2005]. Im Gegensatz zur PSA-Benutzungsverordnung, die Vorgaben zur Bereitstellung und Benutzung von PSA macht und deshalb im Arbeitsschutzrecht angesiedelt ist, werden in der PSA-Richtlinie Anforderungen an die Beschaffenheit von PSA geregelt. Die PSA-Richtlinie gilt entsprechend für das Inverkehrbringen von PSA, den freien Verkehr innerhalb der europäischen Gemeinschaft und für die Festlegung grundlegender Sicherheitsanforderungen (siehe Tabelle A3) [Marschner und Zuther 2007]. Eine PSA muss die Gesundheit des Benutzers schützen und dessen Sicherheit gewährleisten. Erfüllt eine PSA diese Anforderungen nicht, kann das Inverkehrbringen verboten werden bzw. eine Rückrufaktion initiiert werden [SSM 2007]. Im Sinne der PSA-Richtlinie ist eine PSA jede Vorrichtung und jedes Mittel, das dazu bestimmt ist, von einer Person getragen oder gehalten zu werden, um die Person gegen ein oder mehrere Risiken zu schützen. Abhängig vom Grad der Gefahr, vor der die PSA schützen soll, wird die PSA vor dem Inverkehrbringen in eine von drei, in der PSA-Richtlinie genannten Kategorien eingeordnet. Im Innenangriff verwendete PSA, darunter PSA für den Einsatz bei Temperaturen  $\geq 100\text{ °C}$ , sind in Kategorie III eingestuft. In diese Kategorie werden komplexe PSA eingestuft, die vor tödlichen Gefahren oder ernststen irreversiblen Schädigungen der Gesundheit schützen sollen, wie sie z. B. im Innenangriff vorherrschen. Entsprechend fallen auch Pressluftatmer in diese Kategorie III, obwohl sie nur für einen Temperaturbereich von  $-30\text{ °C}$  bis  $60\text{ °C}$  zugelassen sind. Der Konstrukteur geht

bei der Einstufung der PSA in die Kategorie III davon aus, dass der Benutzer die unmittelbare Wirksamkeit gegenüber Risiken nicht rechtzeitig erkennen kann. Zusätzlich zu den technischen Unterlagen und der EU-Konformitätserklärung muss der Hersteller von PSA der Kategorie III von einer akkreditierten Prüfstelle eine EG-Baumusterprüfung durchführen lassen. Darüber hinaus muss die Qualität der PSA durch das EG-Qualitätssicherungssystem sichergestellt werden (siehe Tabelle A4) [Marschner und Zuther 2007].

**c) Richtlinie 97/23/EG über Druckgeräte (Druckgeräterichtlinie);  
14. Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz  
(Druckgeräteverordnung)**

Die europäische Druckgeräterichtlinie (DGRL) ist bei dem Inverkehrbringen von Druckgeräten in die Europäischen Union (EU) und des Europäischen Wirtschaftsraumes (EWR) seit dem 29.05.2002 zwingend anzuwenden. In deutsches Recht wurde sie als 14. Verordnung zum GPSG unter dem Namen Druckgeräteverordnung eingeführt. Die Richtlinie gilt für die Auslegung, Fertigung und Konformitätsbewertung von Druckgeräten und Baugruppen mit einem maximal zulässigen Druck von über 0,5 bar [Bayern Druckgeräte 2005]. Als Bestätigung des Einhaltens der Bestimmungen gilt das Anbringen des CE-Kennzeichens, das Ausstellen einer EG-Konformitätserklärung und das Beilegen einer Gebrauchsanweisung. Die Überwachung und die wiederkehrende Prüfung betriebener Druckgeräte regelt hingegen die Betriebssicherheitsverordnung [Dräger 2002]. Hersteller von Druckgeräten sind gemäß dieser Richtlinie dazu verpflichtet, eine Gefahrenanalyse vorzunehmen, um die druckbedingten Gefahren des Druckgerätes zu ermitteln. Die Gefahrenanalyse muss es dem Hersteller ermöglichen, die potentiellen Versagungsmöglichkeiten, die aufgrund der Belastung des Druckgeräts auftreten können, wenn dieses Gerät eingebaut und unter den nach vernünftigem Ermessen vorhersehbaren Bedingungen betrieben wird, zu ermitteln und zu erkennen. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in die technischen Unterlagen aufzunehmen und beim Bau des Gerätes zu berücksichtigen [Bayern Druckgeräte 2005].



#### **d) Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG**

Die gesetzliche Grundlage für den Arbeitsschutz bildet das ArbSchG. Es dient dazu, Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu sichern und zu verbessern. Der Arbeitgeber bzw. bei Feuerwehren deren Leiter ist gemäß § 3 ArbSchG verpflichtet, die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes unter Berücksichtigung der Umstände zu treffen, die die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit beeinflussen. Sie haben die Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und erforderlichenfalls sich ändernden Gegebenheiten anzupassen. Zur Planung und Durchführung solcher Maßnahmen hat der Arbeitgeber unter Berücksichtigung der Art der Tätigkeit und der Zahl der Beschäftigten für eine geeignete Organisation zu sorgen und die erforderlichen Mittel bereitzustellen. Zusätzlich muss er die Vorkehrungen dazu treffen, dass die Maßnahmen erforderlichenfalls bei allen Tätigkeiten und eingebunden in die betrieblichen Führungsstrukturen beachtet werden und die Beschäftigten ihren Mitwirkungspflichten nachkommen. Die Kosten für Maßnahmen gemäß ArbSchG dürfen nicht dem Beschäftigten auferlegt werden. Gemäß § 5 ArbSchG muss der Arbeitgeber die für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen beurteilen. Ziel der Beurteilung ist es zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind [ArbSchG 2008]. Auf der Grundlage des Arbeitsschutzgesetzes (§18 Verordnungsermächtigungen) wurden zur Konkretisierung der Vorschriften weitere Verordnungen wie z.B. die Betriebssicherheitsverordnung und die PSA-Benutzungsverordnung erlassen [Pannier und Weich 2006].

#### **e) Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV**

Die BetrSichV gilt für die Bereitstellung von Arbeitsmitteln durch den Arbeitgeber, für die Benutzung von Arbeitsmitteln durch Beschäftigte bei der Arbeit und für überwachungsbedürftige Anlagen, wie z.B. Druckgeräte [BetrSichV 2008]. Andere PSA-Bestandteile hingegen fallen in der Regel nicht unter die BetrSichV sondern unter die PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV) [Unfallkasse 2008]. Die bei Feuerwehren in Pressluftatmern eingesetzten Druckgasflaschen sind überwachungsbedürftige Anlagen, die vor der

Inbetriebnahme (§ 14 BetrSichV - Prüfung vor Inbetriebnahme) und im Rahmen wiederkehrender Prüfungen (äußere und innere Prüfung, Festigkeitsprüfung, § 15 BetrSichV - Wiederkehrende Prüfung) geprüft werden müssen. Die maximalen Prüffristen betragen hierfür 5 Jahre [BetrSichV 2008]. Die BetrSichV legt ein umfassendes Schutzkonzept fest. Im ersten Schritt muss jeder Arbeitgeber, der Arbeitsmittel bereitstellt, die damit verbundenen Gefahren systematisch ermitteln und beurteilen, wobei die Wechselwirkungen der Arbeitsmittel untereinander oder mit Arbeitsstoffen sowie mit der Arbeitsumgebung zu berücksichtigen sind. Nach der Gefährdungsbeurteilung werden im zweiten Schritt Schutzmaßnahmen gemäß des „Standes der Technik“ festgelegt, damit die Sicherheit und der Gesundheitsschutz der Beschäftigten sichergestellt sind. Im dritten Schritt muss der Arbeitgeber Art, Umfang und Fristen für erforderliche Prüfungen festlegen [Thüringen 2008].

**f) Richtlinie 89/656/EWG über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung persönlicher Schutzausrüstung – PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV)**

Die Richtlinie legt Mindestanforderungen in Bezug auf die Sicherheit und den Gesundheitsschutz bei der Benutzung von PSA durch Arbeitnehmer bei der Arbeit fest und konkretisiert gleichzeitig das ArbSchG. Jeder Arbeitgeber, also auch der Leiter einer Feuerwehr, muss gemäß des ArbSchG eine Gefährdungsbeurteilung vornehmen und eine der Gefährdung entsprechende PSA zur Verfügung stellen. Es werden die in Tabelle A5 dargestellten Anforderungen an eine PSA gestellt. Der Arbeitgeber muss vor der Auswahl einer PSA eine Bewertung dieser PSA vornehmen. Dies verfolgt das Ziel festzustellen, ob die PSA den in Tabelle A5 dargestellten Anforderungen genügt [Pannier und Weich 2006].

**g) vfdb-Richtlinien**

Die vfdb-Richtlinien sind Handlungsempfehlungen und nicht zwingend anzuwenden. Sie ergänzen jedoch bestehende Gesetze, Richtlinien und Normen. Im Bereich von PSA ist insbesondere das vfdb-Referat 8 federführend bei der Erarbeitung von vfdb-Richtlinien. Besonders für Freiwillige Feuerwehren

wird mit den Richtlinien des Referats 8 die Vereinfachung der Beschaffungsvorgänge von PSA ermöglicht. Bei der Beschaffung geeigneter PSA für den Feuerwehreinsatz können diese Richtlinien als Leitfaden herangezogen werden. Wird gemäß der Richtlinien PSA beschafft, kann davon ausgegangen werden, dass sie für den Einsatz bei deutschen Feuerwehren geeignet ist und geltendem Recht entspricht, da im Vorfeld Gefährdungsbeurteilungen der von Feuerwehreinsätzen ausgehenden Risiken durchgeführt wurden. Generell ist es den Feuerwehren jedoch freigestellt, eigene Gefährdungsbeurteilungen durchzuführen und demgemäß PSA zu beschaffen [Pannier und Weich 2006]. Vom vfdb-Referat 8 wurden für projektrelevante PSA-Komponenten die Richtlinien 0802 – „Auswahl von Atemschutzgeräten für Einsatzaufgaben bei den Feuerwehren“, 0804 – „Wartung von Atemschutzgeräten für die Feuerwehren“ und 0805 – „Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung auf der Basis einer Gefährdungsbeurteilung für Einsätze bei deutschen Feuerwehren“ erarbeitet.

Gemäß der vfdb-Richtlinie 0802 werden an Vollmasken, Masken/Helm-Kombinationen, Pressluftatmer, Regenerationsgeräte und Atemfilter Anforderungen an Anschlüsse bzw. Kupplungen, den Atemluftvorrat, die Abmessungen der Druckgasflasche und des Ventils sowie die Farbgebung gestellt. Bei der Bearbeitung des Forschungsprojektes müssen allerdings PSA-Komponenten aller Hersteller unabhängig von deren wechselseitiger Kompatibilität berücksichtigt werden, so auch jene, die nicht unter den Geltungsbereich der vfdb-Richtlinie 0802 fallen.

Die vfdb-Richtlinie 0804 gibt Hinweise zu Wartungsfristen und durchzuführenden Arbeiten an Atemanschlüssen, Pressluftatmern, Regenerationsgeräten und Atemfiltern und ergänzt damit den Abschnitt „Instandhaltung von Atemschutzgeräten“ der Feuerwehrdienstvorschrift 7. Unbeschadet davon bleiben die Prüffristen der BetrSichV. Werden vom Hersteller der entsprechenden Atemschutzkomponenten strengere Anforderungen an die Wartung gestellt als in der Richtlinie vorgeschrieben, sind die Herstellerangaben zu befolgen. Der Inhalt der vfdb-Richtlinie 0804 wurde als Information des GUV in der GUV-I 8674 (Wartung von Atemschutzgeräten

für die Feuerwehren) übernommen. Textpassagen der empfohlenen Wartungsfristen sind zudem als Regel der GUV in die GUV-R 190 (Benutzung von Atemschutzgeräten) eingeflossen und sind daher bindend anzuwenden. Angaben zu erforderlichen Wartungsarbeiten und -fristen für Vollmasken, Masken/Helm-Kombinationen (MHK) und Pressluftatmern sind in den Tabellen A6 bis A8 dargestellt.

In der vfdb-Richtlinie 0805 werden auf der Basis einer durchgeführten Gefährdungsbeurteilung und damit unter Berücksichtigung der möglicherweise vorhandenen Gefahren, der Wahrscheinlichkeit, dass Feuerwehrangehörige diesen Gefahren ausgesetzt sind, und den möglichen Folgen einer solchen Exposition für verschiedene Einsatzaufgaben bei deutschen Feuerwehren PSA-Komponenten empfohlen. Relevant für das Forschungsprojekt ist das Einsatzszenario „Brandbekämpfung im Innenangriff“. Die gemäß der Richtlinie für Innenangriffe empfohlenen und in Tabelle A9 dargestellten PSA-Komponenten entsprechen vom Grundsatz her den Anforderungen der entsprechenden Unfallverhütungsvorschrift GUV-V C 53, wobei, wie bereits bei der Betrachtung der vfdb-Richtlinie 0802 beschrieben, bei Feuerwehren verwendete Isoliergeräte und Atemanschlüsse nicht zwingend den beschriebenen vfdb-Richtlinien entsprechen müssen.

## **2.2.2 Normative Anforderungen an PSA-Komponenten**

In diesem Abschnitt werden die normativen Anforderungen der jeweiligen Prüfnormen der einzelnen Ausrüstungsgegenstände miteinander verglichen, um Schwachstellen in Bezug auf die thermische Belastbarkeit herauszuarbeiten. Allgemeine Anforderungen, Konditionierungsprozesse und Vorgaben in Bezug auf mechanische Beständigkeit werden nur betrachtet, wenn sie in direktem Zusammenhang mit thermisch relevanten Prüfverfahren stehen. In diesem Kapitel werden zur Veranschaulichung der Normenfestlegungen lediglich kurze Übersichten dargestellt. Der gesamte Umfang der gemäß Norm geforderten Prüfungen kann im Anhang den Tabellen A10 bis A15 entnommen werden. Es sei darauf verwiesen, dass in diesem Abschnitt die gültigen Normen zitiert wurden. Auf die Quellenangabe wird deshalb verzichtet. Einzelheiten zu den

Normen und zum Ausgabedatum können dem Literaturverzeichnis entnommen werden.

Die einbezogenen Prüfungen werden aufgrund der sehr unterschiedlichen Bezeichnungen im Folgenden in Kategorien unterteilt:

- Brennverhalten beziehungsweise die Flammenausbreitung,
- Wärmedurchgang bei Flammenexposition,
- Wärmedurchgang bei Strahlungsexposition,
- Wärmewiderstand beziehungsweise Hitzefestigkeit,
- Materialfestigkeit nach Wärmestrahlungsexposition und
- Kontaktwärme.

**a) Brennverhalten beziehungsweise Flammenausbreitung**

Bei diesen Prüfverfahren wird das Prüfstück in einer speziellen Prüfanordnung für eine vorgegebene Zeit einer in der jeweiligen Norm definierten Flamme ausgesetzt. Hierbei wird nach Oberflächen- und Kantenbeflammung sowie nach der Anzahl der zu verwendenden Brenner unterschieden. Nach dem Entfernen der Flamme werden die Nachbrennzeit und zum Teil auch die Nachglimmzeit bestimmt und dokumentiert. Im Anschluss wird das Prüfmuster auf etwaige Beschädigungen unter anderem auf Blasenbildung, Bruchstellen, Schmelzungen, Nahtöffnung oder Abtropfen untersucht. Tabelle 2 zeigt die wichtigsten, gemäß Norm geforderten Parameter.

**Tabelle 2:** Parameter für Entflammbarkeitsprüfungen

Komponente	Flammen- definition	Expositions- zeit	Nachbrenn- zeit	Nachglimm- zeit
Feuerwehr- schutzkleidung *	def. Flamme [DIN EN ISO 15025]	10 s	≤2 s	-
Feuerwehr- schutzhandschuhe	def. Flamme [DIN EN ISO 6941]	3 s und 15 s	≤2 s	≤5 s
Feuerwehr- schutzschuhwerk	def. Flamme [DIN EN ISO 15025]	10 s	≤2 s	≤2 s
Feuerschutzhaube	def. Flamme [DIN EN ISO 15025]	10 s	≤2 s	-
Vollmaske	(950±50) °C	5 s	≤5 s	-
Pressluftatmer (Bänder und Schnallen)	(800±50) °C	12 s	≤5 s	-
Pressluftatmer (Lungenautomat, Mitteldruckleitung, Atemschlauch)	(950±50) °C	5 s	≤5 s	-
Feuerwehrlhelm (Flame Engulfment Test)	(950±50) °C	10 s	≤5 s	≤5 s
Pressluftatmer (komplettes Gerät, Flame Engulfment Test)	(950±50) °C	10 s	≤5 s	-

\* zusätzlich zur obligatorischen Prüfung des Brennverhaltens kann der Hersteller der Feuerwehreinsatzkleidung eine optionale Prüfung nach ISO 13506 (sog. Thermoman-Test) durchführen lassen

## Fazit

Nach Auswertung der Normen muss festgestellt werden, dass zum Teil gravierende Unterschiede bei den Bezeichnungen der Prüfverfahren, den Flammdefinitionen, den Expositionszeiten, der Anzahl der Prüfmuster, den gestellten Anforderungen und den Vorbehandlungsschritten existieren. Insbesondere durch die voneinander abweichenden Flammdefinitionen und die entsprechend unterschiedlichen Expositionszeiten kann nicht von einem einheitlichen Prüfniveau der einzelnen PSA-Komponenten gesprochen werden. Ein einheitliches Schutzniveau ist dadurch nicht gewährleistet.

## b) Wärmedurchgang bei Flammenexposition

Diese Prüfung wird nur bei Feuerschutzhauben, Feuerwehrschtzhandschuhen und der Schutzkleidung durchgeführt. Bei diesem Test werden die Prüfmuster einer Gasbrennerflamme mit einer Wärmestromdichte von  $80\text{kW/m}^2$  ausgesetzt und müssen gemäß der jeweiligen Norm die in Tabelle 3 dargestellten Anforderungen an den Wärmedurchgang erfüllen. Mit dieser Prüfung soll ermittelt werden, wie die Qualität der Wärmeisolation von PSA-Komponenten im Fall einer Kurzzeitexposition mit einer sehr heißen einzelnen Flamme ist. Im Rahmen der Prüfung wird die Zeit bestimmt, in der die Temperatur nach äußerlicher Hitzeexposition auf der Innenseite der PSA-Komponente um 12K bzw. 24K steigt. Beide Zeitdauern werden als  $\text{HTI}_{12}$  und  $\text{HTI}_{24}$  (Heat Transfer Index) bezeichnet. Der Wert für  $\text{HTI}_{12}$  kann als Zeit interpretiert werden, in der, ausgehend von der Körpertemperatur von  $36\text{ }^\circ\text{C}$ , bei einer Erhöhung um 12K bei  $48\text{ }^\circ\text{C}$  Verbrennungen 1. Grades auftreten. Dieser Wert symbolisiert damit eine Warnschwelle, bei der die Feuerwehreinsatzkraft Schmerzen spürt. Analog treten bei einer Temperaturerhöhung um 24K über der Körpertemperatur bei  $60\text{ }^\circ\text{C}$  Verbrennungen 2. Grades auf. Im Rahmen der Prüfung wird durch Berechnung der Differenz aus  $\text{HTI}_{24}$  und  $\text{HTI}_{12}$  eine Zeit errechnet, die als Rückzugszeit interpretiert werden kann, um zu verhindern, dass bei einer Temperaturerhöhung um 24K Verbrennungen 2. Grades auftreten.

**Tabelle 3:** Parameter für die Wärmedurchgangsprüfung bei Flammenexposition

Komponente	Wärmestromdichte	$\text{HTI}_{24}$	$\text{HTI}_{24} - \text{HTI}_{12}$
Feuerwehrschtzkleidung	$80\text{ kW/m}^2$	$\geq 13\text{ s}$	$\geq 4\text{ s}$
Feuerwehrschtzhandschuhe		$\geq 13\text{ s}$	-
Feuerschtzhaube		$\geq 8\text{ s}$	$\geq 3\text{ s}$

### Fazit

Es ist zu erkennen, dass nur diejenigen PSA-Komponenten der Wärmedurchgangsprüfung bei Flammenexposition unterzogen werden, die im direkten Kontakt mit der Haut stehen. Es ist zu hinterfragen, warum Feuerwehrschtzschuhe von einer derartigen Prüfung ausgenommen werden, obwohl eine Wärmedurchgangsprüfung nach Strahlungsexposition durchgeführt wird. Unterschiede in den Prüfungen bestehen vor allem bei den

Bezeichnungen der Prüfverfahren, den an die Komponenten gestellten Anforderungen und den geforderten Vorbehandlungsschritten. Da in den PSA-spezifischen Normen für Feuerwehrsutzhkleidung, Feuerwehrsutzhandschuhe und Feuerschutzhauben auf die Prüfnorm DIN EN 367 verwiesen wird und die Prüfung nach dieser Norm zu erfolgen hat, sind Flammendefinition, Expositionszeit und die Anzahl der Prüfmuster identisch.

**c) Wärmedurchgang bei Strahlungsexposition**

Alle in Tabelle 4 dargestellten PSA-Komponenten werden bei diesen Prüfungen einer Wärmestrahlungsquelle ausgesetzt und müssen sehr unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Wie auch bei der Wärmedurchgangsprüfung nach Flammenexposition wird auf der, der Hitze abgewandten Seite die Temperaturerhöhung um 24 K und/ oder 12 K gemessen. In Abgrenzung zur Wärmedurchgangsprüfung bei Flammenexposition wird hierbei der Radiation-Heat-Transfer-Index ( $RHTI_{12}$ ,  $RHTI_{24}$ ,  $RHTI_{24}-RHTI_{12}$ ) bestimmt. Pressluftatmer und Vollmasken werden mit einer Wärmestromdichte von  $7,8-8,0kW/m^2$  bestrahlt und müssen u.a. Anforderungen an die Dichtheit erfüllen. Helme werden 480s mit einer Wärmestromdichte von  $14kW/m^2$  beaufschlagt, wobei die Erhöhung der Temperatur des Prüfkopfes gemessen wird. Während der Prüfung darf die Temperaturerhöhung 25K nicht überschreiten.

**Tabelle 4:** Parameter für die Wärmedurchgangsprüfung bei Strahlungsexposition

Komponente	Wärme- stromdichte	$RHTI_{24}$	$(RHTI_{24} - RHTI_{12})$
Feuerwehrsutzhkleidung	40 $kW/m^2$	$\geq 18$ s	$\geq 4$ s
Nackenschutz des Feuerwehrhelms	40 $kW/m^2$	$\geq 10$ s	$\geq 3$ s
Feuerwehr- sutzhandschuhe	40 $kW/m^2$	$\geq 20$ s	-
Feuerwehr- sutzschuhwerk	20 $kW/m^2$	$\geq 40$ s	-
Feuerschutzhaube	20 $kW/m^2$	$\geq 11$ s	$\geq 3$ s



## **Fazit**

Es zeigt sich, dass an die PSA-Komponenten voneinander abweichende Anforderungen gestellt werden, da sich auch die Expositionsbedingungen unterscheiden. Ein Beispiel für die nicht aufeinander abgestimmten Anforderungen ist, wie in Tabelle 4 ersichtlich, die Tatsache, dass zur Charakterisierung des Wärmedurchgangs der Feuerwehrschutzkleidung der Wert für  $RHTI_{24}$  mit  $\geq 18$  s etwas unter dem entsprechenden Wert für Feuerwehrschutzhandschuhe liegt. Allerdings wird der Wert ( $RHTI_{24}-RHTI_{12}$ ) bei Handschuhen nicht bestimmt, während er bei der Feuerwehrschutzkleidung mindestens 4 s betragen muss. Das bedeutet, dass Handschuhe thermisch geringfügig resistenter ausgeführt sein müssen, wobei keine Aussagen zur sogenannten Rückzugszeit (vgl. Prüfung des Wärmedurchgangs bei Flammenexposition) möglich sind. Zusätzlich bestehen gravierende Unterschiede bei den Bezeichnungen für die Prüfverfahren und den Vorbehandlungsschritten.

### **d) Wärmewiderstand beziehungsweise Hitzefestigkeit**

Für einige Bestandteile der PSA gilt, dass das Prüfstück für eine in der jeweiligen Norm angegebene Zeit den Bedingungen in einem Ofen heißer Umluft ausgesetzt wird. Während und nach dieser Prozedur muss die zu prüfende Komponente auf physikalische Veränderungen, unter anderem auf Schrumpfen, Schmelzungen, Abtropfen, Zündung oder Trennung, überprüft werden. Pressluftatmer werden keiner derartigen Prüfung unterzogen, da sie lediglich im Temperaturbereich von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $60^{\circ}\text{C}$  störungsfrei arbeiten müssen. Entsprechend werden diese Pressluftatmer bei deutlich geringeren Temperaturen geprüft und müssen während und nach der Prüfung Anforderungen an die Dichtheit, die Funktionsfähigkeit und die Atemwiderstände erfüllen. Geräte, die speziell für Temperaturen außerhalb dieses Temperaturbereiches konstruiert sind, müssen entsprechend geprüft werden..

**Tabelle 5:** Parameter für die Prüfung des Wärmewiderstands bzw. der Hitzefestigkeit

Komponente	Temperatur	Expositionszeit
Feuerwehrsutzhleidung	(180±5) °C	5 min
Feuerwehrhelm	(90±5) °C	20 min
Nackenschutz des Helmes	(180±5) °C	5 min
Feuerwehrsutzhandschuhe	(180±5) °C	5 min
Feuerwehrsutzhuhwerk	(250±5) °C	20 min
Feuerschutzhaube	(260+10) °C	5 min

## Fazit

Nach Auswertung der in Tabelle 5 dargestellten relevanten Prüfvorschriften muss festgestellt werden, dass nur in wenigen Fällen Übereinstimmungen hinsichtlich der geforderten thermischen Parameter existieren. Die Vergleichbarkeit der thermischen Belastbarkeit ist hierdurch nicht gegeben. Zusätzlich werden z. T. vollkommen unterschiedliche Vorbehandlungsschritte gefordert.

### e) Materialfestigkeit nach Strahlungsexposition

Eine Prüfung der Materialfestigkeit nach Wärmebestrahlung wird nur bei der Feuerwehrsutzhleidung, dem Feuerwehrhelm und der Feuerschutzhaube durchgeführt (siehe Tabelle 6). Bei diesen Prüfungen werden die Muster zunächst einer in der Norm festgelegten Wärmestromdichte ausgesetzt, um diese anschließend einer Materialfestigkeitsprüfung zu unterziehen. Die Materialproben müssen im Anschluss daran die in der jeweiligen Norm angegebenen Anforderungen erfüllen. Vollmasken müssen nach Strahlungsexposition Anforderungen an die Dichtigkeit erfüllen. Zusätzlich müssen bei Pressluftatmern nach der Prüfung Anforderungen an den Atemwiderstand eingehalten werden und es darf während der Prüfung nicht zur Unterbrechung der Atemluftversorgung kommen.

**Tabelle 6:** Parameter für die Prüfung der Materialfestigkeit nach Strahlungsexposition

<b>Komponente</b>	<b>Wärmestromdichte</b>	<b>Expositionszeit</b>
Feuerwehrsutz- kleidung	10 kW/m <sup>2</sup>	3 min
Feuerwehrlhelm	14 kW/m <sup>2</sup>	(480±5) s
Feuerschutzhaube	10 kW/m <sup>2</sup>	3 min
Vollmaske	(7,8-8,0) kW/m <sup>2</sup>	20 min oder 4 min nach dem eine Sichtbeeinträchtigung oder anderes Anzeichen eines Versagens eingetreten ist
Pressluftatmer	(7,8-8,0) kW/m <sup>2</sup>	20 min

### **Fazit**

Nach Auswertung der Prüfvorschriften ist erkennbar, dass keine einheitlichen Prüfbedingungen und Anforderungen definiert wurden, obwohl die PSA-Komponenten im Einsatz gemeinsam als Einheit getragen werden (siehe Tabelle 6 und Tabelle A14 im Anhang). Der wichtigste Kritikpunkt ist, dass für Feuerwehrsutzschuhe und –handschuhe keine entsprechende Prüfung verlangt wird. Aber auch die zugrunde zu legenden Wärmestromdichten sowie die Expositionszeiten für die o.g. Prüfungen sind nicht der Realität entsprechend und bedürfen einer Überarbeitung.

### **f) Kontaktwärmepfung**

Diese Prüfung wird lediglich bei Feuerwehrsutzhandschuhen und Feuerwehrsutzschuhwerk in unterschiedlichen Versuchsaufbauten durchgeführt. Tabelle 7 zeigt eine Übersicht zu diesen Prüfverfahren. Weiterführende Details können Tabelle A15 des Anhangs entnommen werden.

**Tabelle 7:** Parameter für die Prüfung des Wärmedurchgangs bei Kontaktwärme

Komponente	Kontakttemperatur	Schwellenwert	Schwellenwertzeit
Feuerwehrschtutzhandschuhe	250 °C	10 °C (über der Ausgangstemperatur von 20 °C)	≥10 s
Feuerwehrschtutschuhwerk	250 °C	42 °C (über der Ausgangstemperatur von 23 °C)	10 min

## Fazit

Die Auswertung der Prüfnormen zeigt, dass die Feuerwehrschtutzbekleidung einer Prüfung auf Wärmedurchgang bei Kontaktwärme nicht unterzogen wird, obwohl im Brandeinsatz die Möglichkeit besteht, dass diese beispielsweise beim Knien oder beim Seitenkriechgang in Kontakt mit heißen Oberflächen kommt. Eine derartige Prüfung muss daher auch für Feuerwehrschtutzbekleidung vorgesehen werden.

### 2.2.3 Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BG-Regeln)

Die BGR 190 - Benutzung von Atemschutzgeräten [BGR 190] legt im Punkt 6 des Abschnittes 3.1.2 „Rangfolge der Schutzmaßnahmen“ fest, dass die betriebsmäßige Verwendung von Atemschutzgeräten die arbeitstägliche Benutzung eines Atemschutzgerätes von mehr als 30 Minuten ist, für die in der Regel eine Vorsorgeuntersuchung nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen G 26 „Atemschutz“ (BGG 904-26) für den Geräteträger erforderlich ist. Im Abschnitt 3.1.5 „Auswahl von Atemschutzgeräten“ wird gemäß § 2 der PSA-Benutzungsverordnung der Unternehmer zur Bewertung des von ihm vorgesehenen Atemschutzgerätes verpflichtet, um festzustellen, ob es Schutz gegenüber den abzuwehrenden Gefahren bietet, ohne selbst eine größere Gefahr mit sich zu bringen und ob es für die am Arbeitsplatz vorliegenden Bedingungen (beengte Raumverhältnisse, klimatische Verhältnisse) sowie im Zusammenwirken mit anderen persönlichen

Schutzausrüstungen geeignet ist. Dabei ist insbesondere die vorgesehene Tragezeit zu berücksichtigen.

## **2.2.4 Unfallverhütungsvorschriften**

Im § 12 „Persönliche Schutzausrüstungen“ der Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren [GUV-V C 53] ist festgelegt, dass zum Schutz vor den Gefahren des Feuerwehrdienstes bei Ausbildung, Übung und Einsatz folgende persönliche Schutzausrüstungen zur Verfügung gestellt werden müssen:

1. Feuerwehrschanzanzug
2. Feuerwehrhelm mit Nackenschutz
3. Feuerwehrschanzhandschuhe
4. Feuerwehrschanzschuhwerk

Bei besonderen Gefahren müssen spezielle persönliche Schutzausrüstungen vorhanden sein, die in Art und Anzahl auf diese Gefahren abgestimmt sind.

- Spezielle persönliche Schutzausrüstungen sind insbesondere:
- Feuerwehrschanzkleidung gegen erhöhte thermische Einwirkungen
- Feuerwehr-Haltegurt entsprechend DIN 14927 „Feuerwehr-Haltegurt mit Zweidornschnalle und Karabinerhaken mit Multifunktionsöse - Anforderungen, Prüfung“
- Chemikalienschutzanzüge nach vfdb-Richtlinie 0802 entsprechend der Verwaltungsvereinbarung zwischen den Ländern
- Hitzeschutzkleidung
- Kontaminationsschutzkleidung
- Atemschutzgeräte nach vfdb-Richtlinie 0802 entsprechend der Verwaltungsvereinbarung zwischen den Ländern
- Feuerwehrschanzhaube entsprechend DIN EN 13911 „Schutzkleidung für die Feuerwehr – Anforderungen und Prüfverfahren für Feuerschutzhauben für die Feuerwehr
- Augen-, Gesichtsschutz (vgl. GUV-Regel „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“ [GUV-R 192, bisher GUV 20.13]

- Feuerwehrleine gemäß DIN 14920 „Feuerwehrleine; Anforderungen, Prüfung, Behandlung“

Zum Einsatz von Atemschutzgeräten werden in § 27 folgende Festlegungen getroffen:

- (1) Können Feuerwehrangehörige durch Sauerstoffmangel oder durch Einatmen gesundheitsschädigender Stoffe gefährdet werden, müssen je nach der möglichen Gefährdung geeignete Atemschutzgeräte getragen werden.
- (2) Beim Einsatz mit von der Umgebungsatmosphäre unabhängigen Atemschutzgeräten ist dafür Sorge zu tragen, dass eine Verbindung zwischen Atemschutzgeräteträger und Feuerwehrangehörigen, die sich in nicht gefährdetem Bereich aufhalten, sichergestellt ist.
- (3) Je nach der Situation am Einsatzort muss ein Rettungstrupp mit von der Umgebungsatmosphäre unabhängigen Atemschutzgeräten zum sofortigen Einsatz bereitstehen.

Die Forderungen des § 27 sind erfüllt, wenn z. B. die Bestimmungen der FwDV 7 „Atemschutz“ eingehalten werden.

## **2.2.5 Feuerwehr - Dienstvorschriften**

Nach FwDV 7 „Atemschutz“ [FwDV 7] ist die Vollmaske oder Masken-Helm-Kombination der Atemanschluss. Nach Abschnitt 9.2 dieser Feuerwehr-Dienstvorschrift sind Auffälligkeiten oder Störungen am Atemschutzgerät in einem Gerätenachweis zu dokumentieren. Von besonderer Bedeutung ist die Begriffsbestimmung für den Hin- und Rückweg. Danach ist der Hinweg im Sinne der Feuerwehr-Dienstvorschrift 7 diejenige Strecke, die der vorgehende Atemschutztrupp nach Beginn der Atemluftversorgung mit dem Atemschutzgerät bis zu dem Ort zurücklegt, an dem er tätig wird (zum Beispiel: Brandbekämpfung, Öffnen von Fenstern bei Verrauchungen von Gebäuden). Der Rückweg ist diejenige Strecke, die der Atemschutztrupp vom Ort seiner

Tätigkeit bis zum Ort, an dem er gefahrlos den Atemanschluss absetzen kann, zurücklegen muss. Für die Berechnung der voraussichtlich zur Tätigkeit verbleibenden Einsatzzeit ist die für den Hinweg verbrauchte und die für den Rückweg zu erwartende Atemluftmenge der begrenzende Faktor. Für den Rückweg ist in der Regel die doppelte Atemluftmenge einzuplanen, die für den Hinweg verbraucht wurde.

Zur Nutzungsdauer von Isoliergeräten, wie z.B. Pressluftatmer, ist im Abschnitt 1.3.1.1 „Atemschutz“ der FwDV 500 „Einheiten im ABC-Einsatz“ [FwDV 500] festgelegt, dass diese unter Schutzanzügen nur höchstens 30 min benutzt werden dürfen.

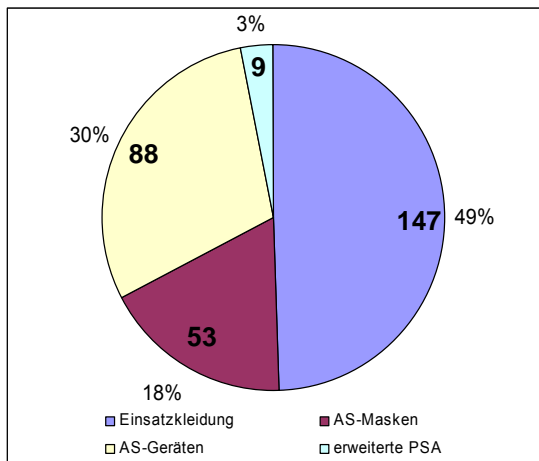
## **2.3 Erhebung von Daten durch Befragung und Recherche zu Unfällen im Feuerwehreinsatz**

Gemäß der vom PbA bestätigten To do-Liste (Tabelle A2) waren Erhebungen zu Unfällen, Beinaheunfällen und sonstigen in Verbindung mit thermischer Belastung stehenden Vorkommnissen mit PSA bei Berufsfeuerwehren (BF), Freiwilligen Feuerwehren (FF), Werkfeuerwehren (WF), Landesfeuerwehrschulen (LFS), Betreibern und Herstellern von Brandübungsanlagen, Feuerwehrunfallkassen (FUK), Herstellern/Inverkehrbringern von PSA, dem Deutschen Feuerwehrverband (DFV) und der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb) durchzuführen. Hierzu wurde ein spezieller Fragebogen (siehe Bilder A1 bis A6) erarbeitet und für jede betreffende Adressatengruppe geringfügig angepasst. Inverkehrbringer von PSA, Feuerwehrunfallkassen, die Hersteller/Inverkehrbringer von PSA, der DFV und die vfdb (insbesondere des Referates 8) wurden in einem Anschreiben gebeten, über derartige Vorfälle zu berichten.

Tabelle A16 zeigt eine Übersicht über die eingegangenen Fragebögen, Antwortschreiben und über durchgeführte „Vor Ort Befragungen“.

### 2.3.1 Auswertung von Fragebögen der BF

Mit Stand vom 28.02.2009 sind beim IdF Sachsen-Anhalt 69 Rückmeldungen eingegangen, die in die Erhebung eingehen konnten. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Befragungen dargestellt. Insgesamt wurden 297 Vorfälle gemeldet, die sich auf die einzelnen Kategorien, wie in Bild 1 dargestellt, aufteilen.



**Bild 1:** Vorfälle nach Kategorien bei BF

Die Ergebnisse zeigen, dass mit 147 von insgesamt 297 Vorfällen bei nahezu der Hälfte der Vorfälle Komponenten der Einsatzkleidung beteiligt waren. Vorfälle mit Atemschutz (AS)-Geräten (Pressluftatmer) und -Masken wurden von 30% bzw. 18% der BF gemeldet. Vorfälle in Verbindung mit erweiterter PSA wurden mit 3% und 9 Vorkommnissen am seltensten genannt. Die häufigsten Beschädigungen aus dem Komplex der Einsatzkleidung wurden bei der Überjacke /-hose gemeldet. Bei den Pressluftatmern traten die häufigsten Probleme bei Lungenautomaten und der Bebänderung auf. Die häufigsten Vorfälle bei Atemschutzmasken wurden im Zusammenhang mit den Sichtscheiben gemeldet. Weiterführende Details können den Tabellen A17 bis A23 entnommen werden.

Die BF meldeten eine Reihe von kritischen Beschädigungen, unter denen solche Beschädigungen zu verstehen sind, die zu lebensbedrohlichen Situationen führen können. Diese Beschädigungen treten zwar seltener auf, sie



führen jedoch im schlimmsten Fall zum Tod von Einsatzkräften. Diese Beschädigungen traten überwiegend an Komponenten der Atemschutztechnik, insbesondere an Lungenautomaten, auf (siehe auch Tabelle A19).

## **Fazit**

### 1. Einsatzkleidung

- a) Es treten eine Reihe von Problemen mit der Einsatzkleidung auf, die häufig mit Verletzungen verbunden sind.
- b) Beschädigungen an Feuerwehreinsatzkleidung sind bei Einsätzen und Übungen mit Feststoffbränden ein relevantes Problem.
- c) Hatte eine BF Probleme mit Feuerwehreinsatzkleidung, dann wurden oft mehr als drei Probleme gemeldet.

### 2. AS-Masken

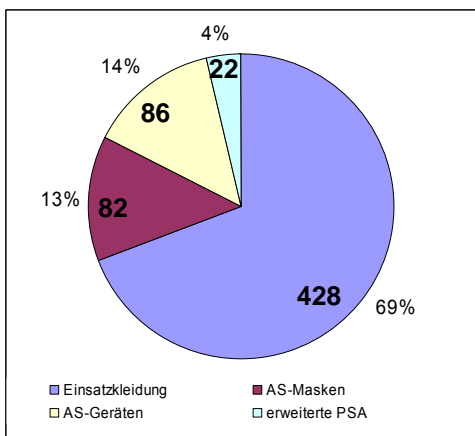
- a) An AS-Masken treten häufig Beschädigungen auf, die bis auf einen Fall nicht mit Verletzungen verbunden waren.
- b) Bei fast 50% der Beschädigungen handelte es sich um Defekte an Sichtscheiben.
- c) Die Mehrzahl der Probleme traten bei Übungen mit Feststoffbränden und Einsätzen auf.

### 3. Pressluftatmer

- a) An Pressluftatmern treten häufig Beschädigungen auf, die bis auf den Göttinger Unfall nicht mit Verletzungen verbunden sind.
- b) Schwerpunkt der beschädigten Komponenten ist die Bebänderung des Pressluftatmers und der Lungenautomaten (LA).
- c) Die Mehrzahl der Probleme trat bei Einsätzen und Übungen mit Feststoffbränden auf, doch auch bei Übungen mit Gasbränden wurden kritische Vorfälle gemeldet.

### 2.3.2 Auswertung von Fragebögen der FF

Mit Schreiben vom 28.10.2008 wurden die Innenministerien und –senatoren der Länder durch den Vorsitzenden des PbA über den AFKzV gebeten, Fragebögen zu Vorfällen mit PSA in Verbindung mit thermischer Belastung an die untergeordneten Stellen weiterzuleiten. Bis zum 28.02.2009 sind beim IdF Sachsen-Anhalt 1147 Fragebögen von FF eingegangen, die in die Auswertung einfließen konnten. Die FF meldeten im Zusammenhang mit thermischer Belastung insgesamt 618 Vorfälle, die sich, wie in Bild 2 dargestellt, auf die einzelnen PSA-Kategorien aufteilen.



**Bild 2:** Vorfälle mit PSA-Komponenten bei FF

Die Auswertung zeigt, dass mit mehr als 2/3 der Vorfälle die Mehrzahl im Bereich der Einsatzkleidung zu verzeichnen waren. Mit 13 bzw. 14% der Vorfälle waren AS-Masken und AS-Geräten (Pressluftatmer) etwa mit gleichen Anteilen repräsentiert. Mit 4% und entsprechend 22 Vorfällen wurden am seltensten Vorkommnisse mit erweiterter PSA genannt. Die häufigsten Vorfälle mit PSA-Komponenten in den Bereichen Einsatzkleidung, Pressluftatmer und Atemschutzmasken wurden mit Überjacke /-hosen, Sichtscheiben und Lungenautomaten gemeldet. Weiterführende Details können den Tabellen A24 bis A30 entnommen werden. Die überwiegende Anzahl von kritischen Beschädigungen und Vorfällen mit Pressluftatmern wurden wie auch bei den BF unter Beteiligung von Lungenautomaten gemeldet.

## **Fazit**

### 1. Einsatzkleidung

- a) Von FF wurden eine ganze Reihe von Beschädigungen gemeldet, die im Vergleich zu BF seltener mit Verletzungen verbunden waren.
- b) Die häufigsten Vorfälle nach thermischer Belastung wurden bei Einsätzen gemeldet.
- c) Meldete eine FF einen Vorfall mit Einsatzkleidung, wurde oft mehr als eine Komponente genannt.

### 2. AS-Masken

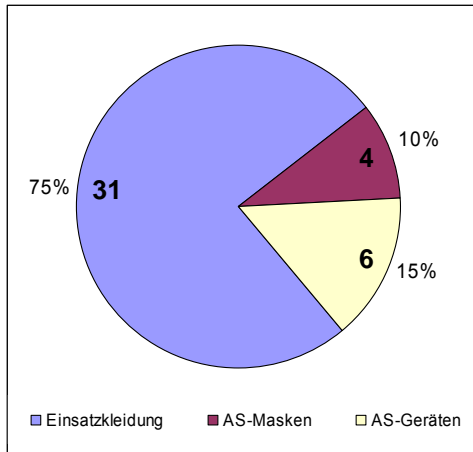
- a) An AS-Masken treten verhältnismäßig selten Beschädigungen auf.
- b) Bei fast 70% der Vorfälle handelte es sich um Beschädigungen an Sichtscheiben.
- c) Die Mehrzahl der Probleme traten bei Einsätzen auf.

### 3. Pressluftatmer

- a) An Pressluftatmern treten verhältnismäßig selten Beschädigungen auf.
- b) Schwerpunkt der beschädigten Komponenten liegt auf dem LA und der Bebänderung des Pressluftatmers.
- c) Die Mehrzahl der Probleme traten bei Einsätzen auf.

## **2.3.3 Auswertung von Fragebögen der WF**

In einem an die Landeswerkfeuerwehrverbände Deutschlands gerichteten Schreiben wurden diese gebeten, über Vorkommnisse und Beschädigungen an PSA in Verbindung mit thermischer Belastung zu berichten und damit das Forschungsvorhaben zu unterstützen. Bis zum 15.05.2009 sind am IdF Sachsen-Anhalt 40 Fragebögen eingegangen, die in die Erhebung einbezogen werden konnten. Die WF meldeten dabei 41 Vorfälle, die sich, wie in Bild 3 dargestellt, auf die PSA-Kategorien aufteilen.



**Bild 3:** Vorfälle mit PSA-Komponenten bei WF

Es wird ersichtlich, dass der Schwerpunkt der Vorfälle im Bereich der Einsatzkleidung liegt, wohingegen Vorkommnisse mit AS-Masken und AS-Geräten (Pressluftatmer) mit vier bzw. sechs Vorfällen selten gemeldet wurden. Vorfälle mit erweiterter PSA wurden von den WF nicht gemeldet. Weiterführende Details können in den Tabellen A31 bis A37 nachgelesen werden. Die Auswertung der Fragebögen ergab einen kritischen Vorfall, bei dem ein Lungenautomat erhöhte Atemwiderstände aufwies und einen zusätzlichen kritischen Vorfall, bei dem eine defekte Dichtung am Druckminderer gemeldet wurde.

## Fazit

### 1. Einsatzkleidung

- Bei WF treten eine ganze Reihe von Beschädigungen auf, die im Vergleich zu BF seltener mit Verletzungen verbunden waren.
- Die häufigsten Vorfälle nach thermischer Belastung wurden bei Übungen mit Feststoffbränden gemeldet.
- Vorfälle mit Beschädigungen sind bei Übungen mit Feststoffbränden ein relevantes Problem.

### 2. AS-Masken

- An AS-Masken treten selten Beschädigungen auf.

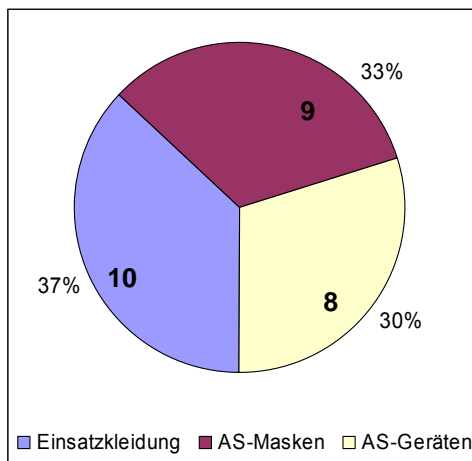
- b) Verletzungen in Verbindung mit beschädigten AS-Masken wurden nicht gemeldet.

### 3. Pressluftatmer

- a) An Pressluftatmern treten selten Beschädigungen auf.  
b) Verletzungen in Verbindung mit Pressluftatmern wurden nicht gemeldet.  
c) Die Mehrzahl der Probleme traten bei Einsätzen auf.

## **2.3.4 Auswertung von Fragebögen der LFS**

Am 24.09.2008 wurden 19 LFS schriftlich gebeten, unter Zuhilfenahme des beigelegten Fragebogens über Vorkommnisse und Beschädigungen an PSA im Zusammenhang mit thermischer Belastung Auskunft zu erteilen. Bis zum 15.05.2009 sind am IdF Sachsen-Anhalt von 13 LFS Antwortschreiben eingegangen, wovon zwei LFS erklärten, dass sie keine Heißausbildungsanlage betreiben. Die übrigen 11 LFS übersandten ausgefüllten Fragebögen, die in die Auswertung einfließen konnten. Danach stellt sich die Situation, wie in Bild 4 zeigt, dar.



**Bild 4:** Vorfälle mit PSA-Komponenten bei LFS

Wie auch bei den übrigen Adressaten der Erhebung nehmen Vorfälle mit Einsatzkleidung den größten Anteil an der Gesamtzahl der gemeldeten Vorfällen ein. Mit jeweils einem Vorfall weniger, wurden AS-Masken und AS-Geräte (Pressluftatmer) genannt. Insgesamt wurden von den LFS in

Verbindung mit thermischer Belastung 27 Vorfälle mit PSA gemeldet, die sich, wie in den Tabellen A38 bis A43 dargestellt, auf die einzelnen PSA-Komponenten aufteilen. Vorfälle mit erweiterter PSA wurden nicht gemeldet. Als kritische Beschädigungen konnte das Abblasen von Lungenautomaten und das vollständige Versagen eines Lungenautomaten gewertet werden. Zusätzlich sprach im Rahmen einer Übung in einer Atemschutzübungsstrecke der Restdruckwarner eines Pressluftatmers nicht an. Dieser Vorfall ging allerdings aufgrund der fehlenden thermischen Belastung nicht in die Statistik ein. Die Tabellen A41, A42 und A43 zeigen, dass vor allem bei Übungen mit Gasbränden Vorfälle gemeldet wurden, weil ein Großteil der von den LFS im Rahmen der Ausbildung verwendeten Heißübungsanlagen, gasbefeuert sind. Verletzungen wurden durch die LFS nicht gemeldet.

## **Fazit**

### 1. Einsatzkleidung

- a) Bei den LFS treten häufig Beschädigungen auf, da dort auch die Benutzungshäufigkeit am höchsten ist.
- b) Es wurden keine Verletzungen gemeldet.
- c) Die häufigsten Vorfälle nach thermischer Belastung wurden bei Übungen mit Gasbränden gemeldet.
- d) Vorfälle mit Beschädigungen sind bei Übungen mit Gasbränden ein relevantes Problem.
- e) Die meisten Beschädigungen wurden im Zusammenhang mit Helmen und Handschuhen gemeldet.

### 2. AS-Masken

- a) An AS-Masken treten häufig Beschädigungen auf.
- b) Verletzungen in Verbindung mit beschädigten AS-Masken wurden nicht gemeldet.
- c) Schwerpunkt der Beschädigungen ist die Sichtscheibe der Maske.

### 3. Pressluftatmer

- a) An Pressluftatmern treten seltener Beschädigungen auf.
- b) Verletzungen in Verbindung mit Pressluftatmern wurden nicht gemeldet.
- c) Die Mehrzahl der Probleme wurden in Bezug auf den LA und die  
Bebänderung des Pressluftatmers gemeldet.

### **2.3.5 Erhebungen bei Brandübungsanlagen**

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden alle 16 LFV Deutschlands angeschrieben. Mit diesem Schreiben wurden sie gebeten, über die im jeweiligen Bundesland befindliche Brandübungsanlagen (BÜA) Auskunft zu erteilen. Bei einigen Antwortschreiben kam es z.T. zu Überschneidungen, da die LFV beispielsweise angaben, dass BF oder LFS Brandübungsanlagen betreiben. Diese Vorfälle wurden bereits in den entsprechenden Kapiteln ausgewertet. Ein Landkreis antwortete dem IdF Sachsen-Anhalt auf die vom LFV weitergeleitete Anfrage. Die in diesem Landkreis betriebene BÜA wurde wegen des hohen Beschädigungsgrades, insbesondere an Helmen, nicht weiter betrieben. Die übrigen LFV gaben an, dass keine Brandübungsanlagen betrieben werden. Zusätzlich wurden 6 dem IdF Sachsen-Anhalt bekannte Hersteller und Betreiber von BÜA angeschrieben und gebeten, sich durch Übersendung von Informationen zu Unfällen, Beinaheunfällen und zu Standorten von BÜA am Forschungsprojekt zu beteiligen. Lediglich drei Betreiber übersandte diesbezüglich Informationen. Tabelle A44 zeigt die gemeldeten Vorfälle. Nach Auswertung der Befragungsergebnisse kann festgestellt werden, dass wie bei den BF, FF und WF der Schwerpunkt mit 13 Vorfällen im Bereich der Einsatzkleidung liegt, wobei 9 Vorfälle allein mit Handschuhen gemeldet wurden.

### **2.3.6 Erhebungen bei Feuerwehrunfallkassen**

Insgesamt liegen die Daten zum Unfallgeschehen bei Feuerwehren von 4 Unfallkassen und Feuerwehrunfallkassen aus dem gesamten Bundesgebiet vor. Die Unfallkassen der Bundesländer Hessen und Sachsen-Anhalt meldeten keine Unfälle im Feuerwehrdienst die im Zusammenhang mit beschädigter PSA

nach thermischer Einwirkung stehen. In Bezug auf die zur Verfügung gestellten Daten war nur bei der Unfallkasse Baden-Württemberg ersichtlich, dass es sich um meldepflichtige (mehr als drei Krankheitstage) Unfälle handelte.

Zusammenfassend lassen sich nach Auswertung der vorliegenden Unfallstatistiken die nachfolgend dargestellten Thesen ableiten (weiterführende Details zu diesen Daten können den Bildern A7 bis A11 sowie den Tabellen A45 und A46 entnommen werden):

1. Die vorliegenden Daten zu Unfällen im Feuerwehrdienst sind nicht detailliert genug, um tiefergehende Aussagen zu den einzelnen Unfallhergängen treffen zu können.
2. Unfälle bei Einsätzen geschehen im Vergleich zu anderen Tätigkeiten im Feuerwehrdienst deutlich seltener.
3. Unfälle bei der Ausbildung und bei Übungen wurden wesentlich häufiger gemeldet.
4. Die Mehrzahl der Unfälle geschahen bei anderen dienstlichen Tätigkeiten, wie z.B. Feuerwehrwettkämpfen/ Dienstsport, dienstlichen Veranstaltungen sowie Arbeits- und Werkstattdienst.
5. Im Rahmen von Einsätzen nehmen Verletzungsarten wie z.B. Verbrennungen, Verbrühungen oder Rauchgasintoxikationen eine eher untergeordnete Rolle ein. Die Mehrzahl der Unfälle geschah durch „Stolpern“, „Getroffen werden“, „Umknicken“ und ähnlichen Ursachen.
6. Die Unfallkasse Brandenburg wies darauf hin, dass Atemschutzunfälle mit einhergehenden Rauchgasvergiftungen trotz getragener umluftunabhängiger Atemschutzgeräte nicht bekannt sind. Die in Tabelle A8 angegebenen 10 Vergiftungen müssen folglich durch das „Weglassen“ des Atemschutzes verursacht worden sein. Auch die HFUK-Nord stützt diese Aussage. Sie geht davon aus, dass die in ihrem Bereich gemeldeten Fälle von Rauchgasintoxikation u.a. durch das verspätete Anlegen bzw. zu frühe



Ablegen der Atemschutzgeräte zurückzuführen sind. Aber auch Undichtigkeiten, insbesondere bei Normaldruckmasken, hält die Hanseatische Feuerwehr Unfallkasse Nord für Gründe von auftretenden Rauchgasintoxikationen.

7. Die Unfallkasse NRW gab an, dass im Jahr 2007 14 Verbrennungen angezeigt wurden. Von den 14 Brandverletzungen standen 11 Fälle im Zusammenhang mit den Händen. Dieser Umstand kann einerseits auf ein unvorsichtiges „Weglassen“ von PSA hinweisen, andererseits aber auch den Handschuh als Schwachstelle der PSA identifizieren.
8. Die von der Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) übersandte Statistik zum Unfallaufkommen aller Bundesländer Deutschlands stützt die o.g. Aussagen zu Unfällen bei Einsätzen und Übungen. Demnach geschehen 40% bis 60% der Unfälle bei Einsätzen und Übungen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass, wie auch bei den von den einzelnen Unfallkassen separat übermittelten Unfallzahlen, ein nicht unerheblicher Anteil der vom DGUV gemeldeten Unfälle mit Verletzungen nach mechanischer Einwirkung verbunden waren. Der Anteil relevanter Unfälle mit z.B. Rauchgasintoxikationen oder Verbrennungen am Gesamtunfallaufkommen ist daher als deutlich geringer anzusehen. Außerdem sind unter dem Punkt Unfälle bei der Brandbekämpfung nicht nur Unfälle bei Innenangriffen in die Statistik eingegangen. Da in den in Tabelle A46 dargestellten Unfallzahlen lediglich die meldepflichtigen Unfälle aufgeführt sind, muss davon ausgegangen werden, dass die Anzahl der sich tatsächlich ereigneten Unfälle deutlich höher ist.

### **2.3.7 Erhebungen bei Herstellern und Inverkehrbringern von PSA**

Nach Anschreiben von 28 Herstellern/Inverkehrbringern von PSA sind am IdF Sachsen-Anhalt lediglich 6 Antwortschreiben eingegangen. Fünf Hersteller von Einsatzkleidung erklären darin, dass ihnen keine Erkenntnisse über Vorkommnisse im Zusammenhang mit thermischer Belastung vorliegen. Lediglich ein Hersteller von Atemschutztechnik antwortete auf das Anschreiben

und teilte darin mit, dass ihm keine Totalausfälle oder Vorfälle mit komplettem Versagen der vertriebenen Schutzausrüstung bekannt sind.

### **2.3.8 Befragung des Deutschen Feuerwehrverbandes (DFV)**

Der DFV wurde mit Schreiben vom 06.04.2009 gebeten, zu Informationen über Unfälle und Beinaheunfälle im Feuerwehreinsatz Auskunft zu erteilen. Mit Stand vom 23.10.2009 sind gemäß der Fragestellung keine Rückmeldungen eingegangen.

### **2.3.9 Befragung des Referat 8 der Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb)**

Das Referat 8 teilte auf Anfrage mit, dass mit Stand vom 20.06.2008 in den vergangenen fünf Jahren 8 Fälle dem Referat gemeldet wurden, die im Zusammenhang mit thermischer Belastung standen. Drei dieser Vorfälle bezogen sich auf Pressluftatmer und die übrigen 5 auf PSA-Komponenten wie Helmvisiere, Kleidung und Stiefel, wobei die zuletzt genannten drei Vorfälle im Wesentlichen auf unsachgemäße Verwendung der Komponenten zurückzuführen waren. Bei den Unfällen, bei denen Probleme mit Pressluftatmern auftraten, handelte es sich um die bereits untersuchten Vorfälle in Göttingen und Tübingen. Informationen zu einem weiteren Fall aus Baden-Württemberg stehen noch aus.

### **2.3.10 Ausgewählte Unfälle im Feuerwehrdienst**

Am 27.07.2006 ereignete sich im Oeconomicum der Georg-August-Universität Göttingen ein Kellerbrand, bei dem mehrere Feuerwehreinsatzkräfte verletzt und ein Kamerad getötet wurde. Bei dem zu Tode gekommenen Truppführer setzte vermutlich die Atemluftversorgung aus. Ein Notruf vom entsprechenden Trupp wurde abgesetzt, eine Rettung war jedoch aufgrund der unübersichtlichen Lage und Architektur erst nach gut 45 Minuten möglich. Bei

der Untersuchung des getragenen Pressluftatmers wurde ein erhöhter Atemwiderstand festgestellt, der durch den verformten Federteller im Lungenautomaten verursacht wurde. Dieser Defekt war nach Einschätzung der DEKRA EXAM GmbH auf eine hohe thermische Beanspruchung während des Einsatzes zurück zu führen.

Die Auswertung der weiteren in der To-do-Liste festgelegten zu untersuchenden Unfälle ergab zur Themenstellung der thermischen Belastung von PSA keine zusätzlichen Erkenntnisse. Einzelheiten zum nicht gemeldeten Unfall bei der BF München konnten nicht recherchiert werden. Zusätzlich zu den auszuwertenden Unfällen konnte kein weiterer Unfall der Themenstellung zugeordnet werden.

## **2.4 Auswertung vorliegender Forschungsergebnisse**

### **2.4.1 Forschungsergebnisse zu Raumbränden und dem Flashover**

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen spiegeln die Erkenntnisse über Raumbrände, Untersuchungen zum Forschungsprojekt Flashover / Backdraft - Ursachen, Auswirkungen, mögliche Gegenmaßnahmen [Kunkelmann 2003], Flashover-Container-Versuchen [Keutel 08] wider. Darüber hinaus werden andere zur Problematik relevante Ergebnisse aktueller nationaler und internationaler Untersuchungen zu den Brandphänomenen und der thermischen Belastung bei Raumbränden dargestellt.

Nachfolgend werden im Text einige Bilder dargestellt. Diese finden sich ebenfalls im Anhang in den Bildern A12 bis A47 in vergrößerter Darstellung wieder. Im Anhang befinden sich weitere Bilder zur vertiefenden Darstellung der Problematik.

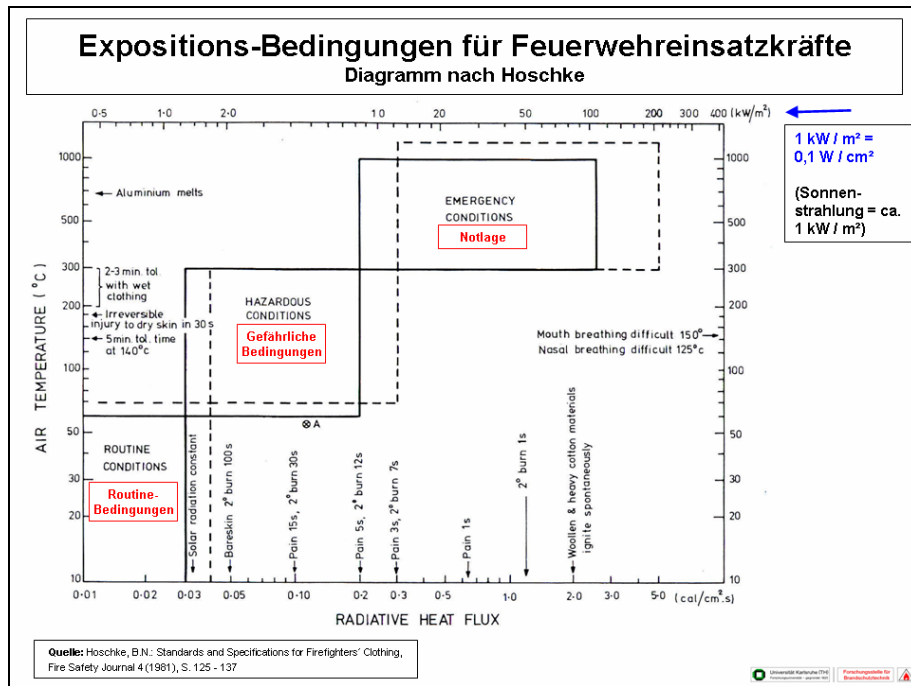
### 2.4.1.1 Vergleichende Analyse

Als ersten Schritt zur Beurteilung der thermischen Belastung von Feuerwehreinsatzkräften wurden die Ergebnisse der Untersuchungen von Hoschke in die Analyse einbezogen [Hoschke 1981]. Das Hoschke-Diagramm zeigt die Expositionsbedingungen für Feuerwehreinsatzkräfte bei Routinebedingungen, gefährlichen Bedingungen und in der Notlage.

- Die Routinebedingungen weisen hierbei eine Wärmestrahlung von max. ca.  $1,2 \text{ kW/m}^2$  und eine Temperatur von max.  $60 \text{ °C}$  auf.
- Die gefährlichen Bedingungen liegen im Bereich zwischen ca.  $1,2 \text{ kW/m}^2$  und ca.  $8 \text{ kW/m}^2$  bei Temperaturen zwischen  $60 \text{ °C}$  und  $300 \text{ °C}$ .
- Die Notlage liegt im Bereich zwischen ca.  $8 \text{ kW/m}^2$  bis über  $100 \text{ kW/m}^2$  bei Temperaturen zwischen  $300 \text{ °C}$  und  $1000 \text{ °C}$ .

Zum Vergleich wurde im Diagramm der Wert der durch die Erdatmosphäre gedämpften Wärmestrahlung für die Sonneneinstrahlung eingefügt. Dieser beträgt bei idealen Wetterbedingungen auf der Erdoberfläche maximal ca.  $1 \text{ kW/m}^2$  (Solarkonstante =  $1,367 \text{ kW/m}^2$ ).

Nach Untersuchungen von Kunkelmann ist der Beginn des Flashovers gekennzeichnet durch eine Temperatur in der Rauchsicht von ca.  $500$  bis  $600 \text{ °C}$  sowie einer Wärmestrahlung im Bodenbereich von ca.  $20 \text{ kW/m}^2$  [Kunkelmann 2003]. Damit stellen diese eine Notlagensituation gemäß der von Hoschke vorgenommenen Definition dar.



**Bild 5:** Expositions-Bedingungen für Feuerwehreinsatzkräfte – Diagramm nach [Hoschke 1981]

In den Untersuchungen von Fire Experimental Unit (FEU) [Foster und Roberts 1994] (siehe auch Bild A14) bei Brandübungen mit der Brandlast Holzkippen (überwiegend), Stroh und Papier wurden folgende maximalen Temperaturen an der Feuerwehreinsatzkraft bei Brandübungen ermittelt: Brust: max. ca. 175 °C, Schulter: max. ca. 165 °C, Taille: max. ca. 75 °C. In einem Fall ergab sich eine maximale an der Versuchsperson gemessene Temperatur von 235 °C für 5 s. Bei den vorgenannten Versuchen ist allerdings anzumerken, dass die Feuerwehreinsatzkraft bei den Versuchen vor direkter Wärmestrahlung mittels Sperrholzplatte mit Aluminiumfolie abgeschirmt wurde. Aus diesem Grund sind die mitgeteilten Temperaturwerte nur begrenzt aussagefähig.

Die Feuerwehr Aachen und die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen [Speth et al. 2002] haben im Flashover-Container während der Ausbildung Raumtemperaturmessungen durchgeführt. Der Brandraum der Containeranlage wurde bei den Untersuchungen mit Holzpaletten beladen und mit einer Innenauskleidung aus Holz versehen. In einem Abstand von 1,62 m vor der Brandraumöffnung wurden in einer Höhe von 1,44 m max. 350 °C gemessen. In einem Abstand von 0,42 m vor der Brandraumöffnung wurden in

einer Höhe von 1,44 m max. 470 °C gemessen. Details zu diesen Untersuchungen können den Bildern A15 bis A17 entnommen werden.

Bei DMT in Dortmund wurden in Zusammenarbeit mit der Bergischen Universität Wuppertal und der DEKRA EXAM Untersuchungen in einem Brandtunnel, einer Rauchdurchzündungsanlage sowie in einer gasbetriebenen Mobilen Trainingseinheit durchgeführt [Stielow, Hoischen und Lottermann 2008] (siehe auch Bilder A18-A20). Die Versuche im Brandtunnel wurden mit einer Brandlast je Versuch von 8 Holzpaletten + 2 PKW-Reifen bzw. zusätzlich 2 Holzpaletten + 1 PKW-Reifen durchgeführt. Hierbei wurden u. a. Raumtemperaturen in 1,5 m Höhe zwischen 100 und 290 °C gemessen. In der Rauchgasdurchzündungsanlage mit der Brandlast „Feststoff“ wurden Temperaturen an der Messstelle M1 in 1,5 m Höhe zwischen 50 °C bis 450 °C bestimmt. Messungen in der gasbetriebenen Mobilen Trainingseinheit zeigten im Vergleich zu den feststoffbefeuereten Heißausbildungsanlagen deutlich geringere Umgebungstemperaturen.

Nach Grimwood und Desmet können Übungsbrände in leerstehenden oder verfallenen Häusern zu sehr unterschiedlichen Szenarien führen [Grimwood und Desmet 2003]. Diese Situationen werden unter den vorliegenden streuenden Randbedingungen als häufig unvorhersehbar angesehen, ihr Ablauf ist zudem nur schwer zu wiederholen oder auch zu steuern. Dies wäre jedoch erforderlich, um ein einheitliches Trainingsprogramm für das Verhalten im Innenangriff anbieten zu können.

Weiterhin sind Trainingseinrichtungen aus einem modularen Aufbau aus Schiffs-Containern nur ein mögliches Szenario zur Simulation der Realität. Mit einem Übungsbrand kann aus Sicherheitsgründen ein „richtiger“ Brand niemals wirklichkeitsgetreu nachgebildet werden. In den Trainingsanlagen werden keine großen Brandlasten verwendet und in der Realität werden die Ereignisse, die man im Simulator erlebt, höchstwahrscheinlich sehr viel schneller ablaufen, und das in einer Umgebung, die in der Realität den Einsatzkräften unbekannt sein wird. Die Verwendung von propangasbefeuereten Übungsanlagen ist nach Grimwood und Desmet nicht zweckmäßig, um das Verhalten im Innenangriff zu

lehren, sie bieten aber eine Trainingsstätte, in der Stahlrohr-Techniken geübt werden können [Grimwood und Desmet 2003]. Diese Anlagen können das Verhalten von Brandgasen nicht realistisch darstellen. Zur Frage, mit welcher der drei Hauptformen Flashover, Backdraft oder Rauchgasexplosion bzw. Rauchgasdurchzündung Einsatzkräfte am häufigsten zu tun haben, kommen die Autoren zum dem Schluss, das wegen fehlender verlässlicher Statistiken keine gesicherte Antwort möglich ist. Ein Flashover ist erfahrungsgemäß das am häufigsten auftretende Ereignis. Ein solcher Flashover ereignet sich jedoch häufig schon, bevor die Feuerwehr eintrifft. Daher ist vermutlich der Backdraft das Ereignis, mit dem Einsatzkräfte der Feuerwehr (*Anmerkung: nach ihrem Eintreffen an der Brandstelle*) am häufigsten zu tun haben.

Von Allen wurde die Verteilung der Verbrennungen an Feuerwehreinsatzkräften bei Brandbedingungen unterhalb des Flashover untersucht (siehe auch Bild A22) [Allen et al. 2008]. Man erkennt in dieser Abbildung, dass die häufigsten Verbrennungen auf der linken Körperseite an den Armen sowie im Schulterbereich auftreten. Es ist zu vermuten, dass dieses Ergebnis durchaus mit dem höheren Anteil von Rechtshändern an der Bevölkerung zusammenhängt: mit der linken Hand wird das Strahlrohr geführt, mit der rechten Hand das Ventil betätigt – die Einsatzkraft nähert sich dem Brandgeschehen in schräggeneigter Haltung, linke Körperhälfte vorgeschoben. Damit ist dieser Körperbereich exponierter als die rechte Körperhälfte.

Bei den Autoren wurden diverse Raumbrände mit Möbeln und Festbrandstoffen durchgeführt und hierbei u .a. das Brandphänomen des Flashovers untersucht. Bild 6 zeigt einen Wohnzimmerbrand mit Flashover, entnommen einem Videofilm (Download: [www.ffb.uni-karlsruhe.de](http://www.ffb.uni-karlsruhe.de)). Aufgrund der, bezogen auf die Raumgrundfläche von 25 m<sup>2</sup>, sehr großen Öffnungsfläche von 10 m<sup>2</sup> (reichlich Verbrennungsluft) ergab sich eine maximale Wärmefreisetzung von ca. 19 MW.



**Bild 6:** Flashover bei einem Wohnzimmerbrand (FFB)



**Bild 7:** Brand in einem Wohnzimmer (FFB) mit Löscheinsatz der Feuerwehr nach dem Flashover

Mit einer Wärmestrahlung in ähnlicher Höhe wie bei Versuch FFB - V8 (6,67 W/cm<sup>2</sup>, siehe Folgeseite) ist zu rechnen, wenn durch die Feuerwehreinsatzkraft die Tür des Brandraumes geöffnet wird und Stichflammen aus der Türöffnung schlagen. Die Bilder 7 und A42 zeigen einen derartigen Fall. Als positiv für die Feuerwehreinsatzkraft erwies sich allerdings die Tatsache, dass der Hallenboden 0,6 m tiefer lag als der Boden des Flures. Somit stand der Feuerwehrangehörige nicht unmittelbar in der Stichflamme.

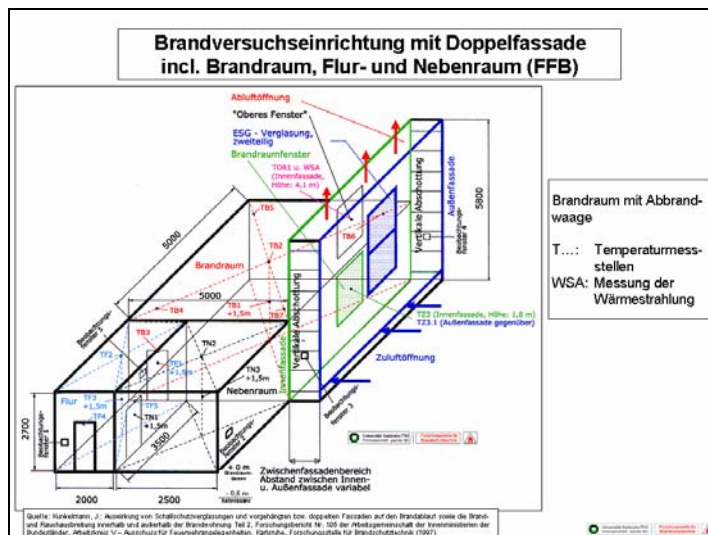
Aus einem mehrjährigen Forschungsprojekt zur Untersuchung der Brandausbreitung bei Gebäuden mit Doppelfassaden (Brandversuchseinrichtung gemäß Bild 8) [Kunkelmann 1998, 1999] werden Ergebnisse von Brandversuchen aufgeführt, zum einen die eines Brandversuchs mit einer Wohnzimmereinrichtung mit 754 kg Möbel (Versuch FFB-V8) sowie die weiteren Versuche (FFB-V4, FFB-V5, FFB-V6, siehe Bilder A26 bis A41) mit einer relativ kleinen Feststoff-Brandlast in Form einer Brandlastpalette von 167 kg (überwiegend Holzkrippen (ca. 90%)). Hierbei wurden u. a. die Temperaturen im Brandraum (Bild 9) und im vorgesetzten Flur (Bild 10) sowie die Wärmestrahlung und Temperaturen an der Außenseite eines über dem Brandraum mittels einer Wand angedeuteten Obergeschossfensters gemessen.

Die Temperaturdiagramme zu den weiteren Versuchen mit vorgesetzter Doppelfassade FFB-V4, FFB-V5, FFB-V6 finden sich in den Bildern A35 bis A41

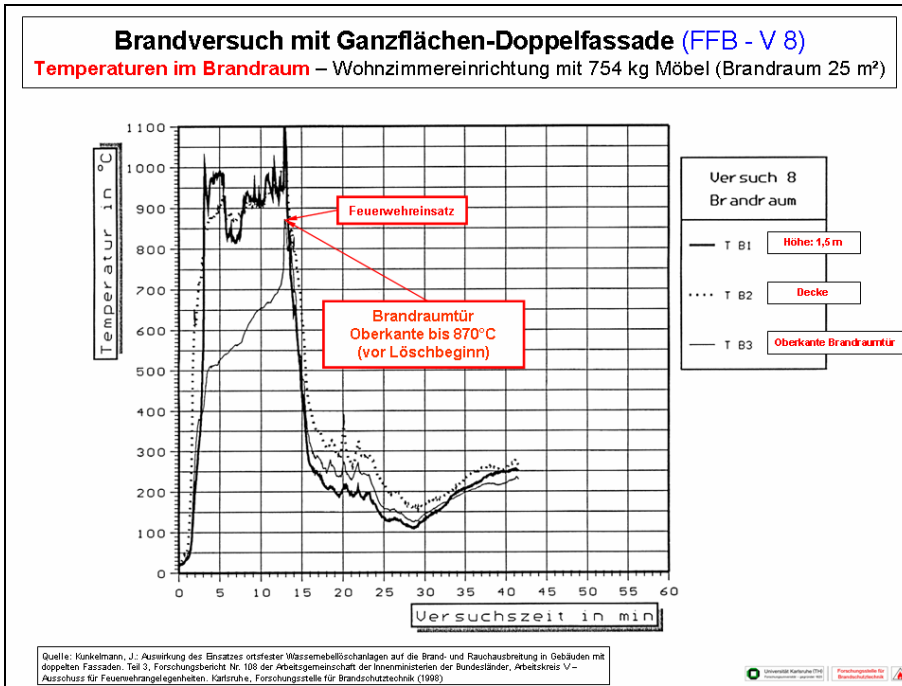


wieder. Es ergaben sich hierbei selbst bei der relativ kleinen Brandlast von 167 kg ohne Feuerwehreinsatz Temperaturen im Flur in 1,5 m Höhe zwischen 250 °C und 450 °C. Bei weiteren Versuchen mit dieser kleinen Brandlast ergaben sich Flurtemperaturen in 1,5 m Höhe zwischen 280 °C und 400 °C bei Versuch V 5 sowie zwischen 250 °C und 300 °C bei Versuch V 6.

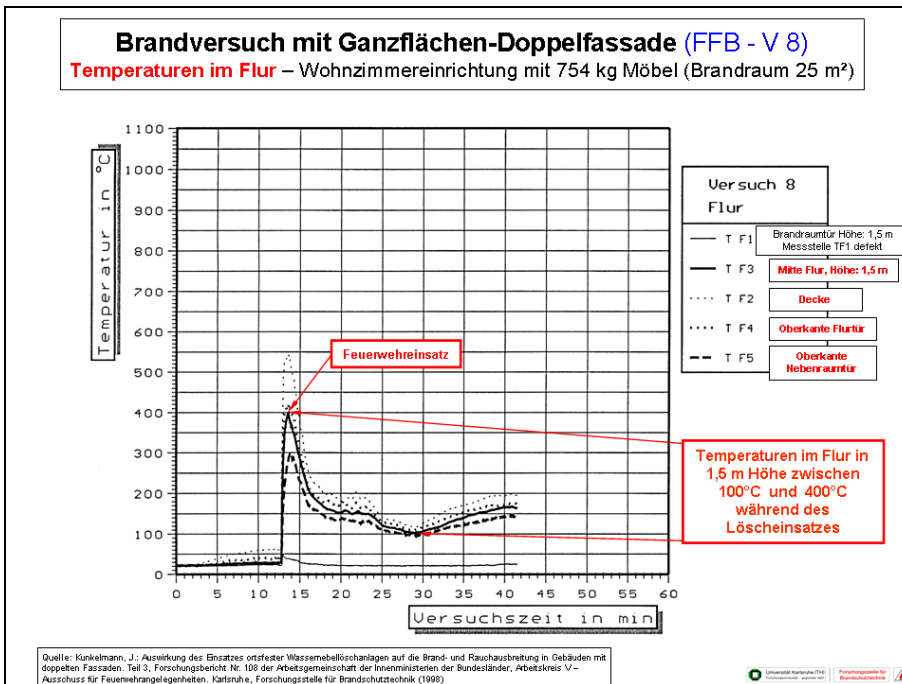
Bei dem durchgeführten Wohnzimmerbrand (FFB – V8) wurde eine vergleichsweise hohe Wärmestrahlung vom 6,67 W/cm<sup>2</sup> gemessen, die sich an einem über dem Brandraum liegenden Geschoss aufgrund aus der Öffnung herausschlagender Flammen ergab. Selbst bei der kleinen Brandlast (167 kg) in FFB-V4 ergibt sich eine Wärmestrahlung von bis zu 2,68 W/cm<sup>2</sup> .



**Bild 8:** Brandversuchseinrichtung mit Brandraum, Flur- und Nebenraum Schemazeichnung



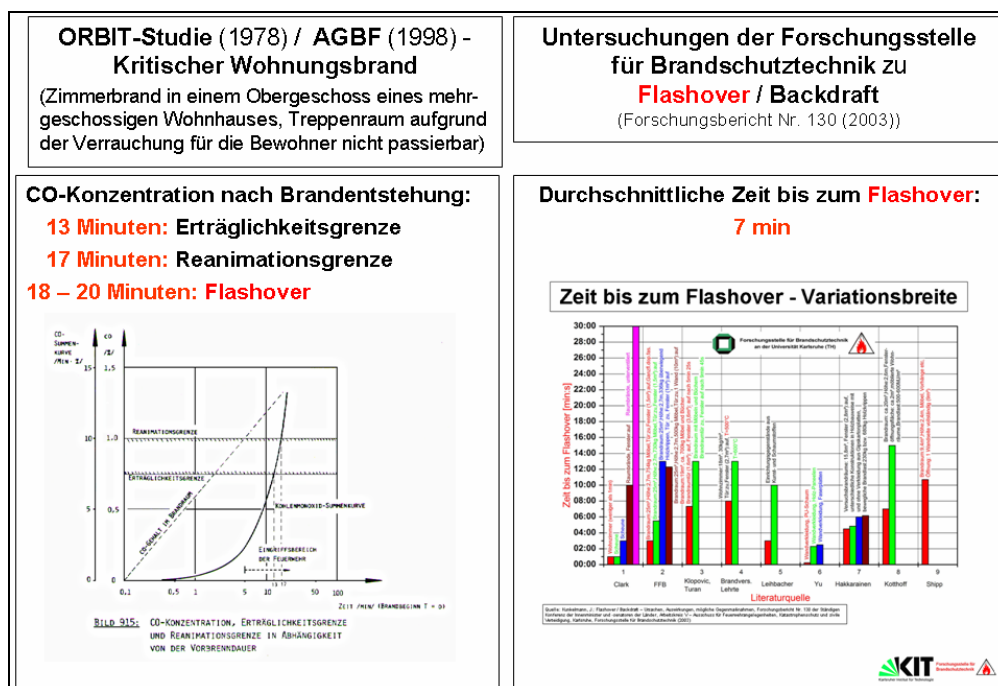
**Bild 9:** Brandversuch mit Ganzflächen-Doppelfassade, Temperaturen im Brandraum - Versuch FFB - V8



**Bild 10:** Brandversuch mit Ganzflächen-Doppelfassade, Temperaturen im Flur - Versuch FFB - V8

In sämtlichen Fällen befindet man sich ohne Löscheinsatz im Bereich der „Notlage“ gemäß Diagramm nach Hoschke [Hoschke 1981].

Überträgt man die bei der Auswertung von Versuchen ermittelte Variationsbreite der Zeit ab Zündung bis zum Flashover [Kunkelmann 2003] im Bereich zwischen 1 min und 30 min (nach ca. 7 min im Durchschnitt) auf die Realität, können sich bereits frühzeitig im Einsatz beträchtliche Gefährdungen für Feuerwehreinsatzkräfte ergeben (Bild 11). Es wird deutlich, dass unter Bezug auf die vorgenannten Daten die Ergebnisse der ORBIT-Studie und die hieraus abgeleiteten AGBF-Empfehlungen (Bilder 11 und A44) für die Qualitätskriterien bei der Bedarfsplanung von Feuerwehren in Städten für den kritischen Wohnungsbrand in einem Obergeschoss eines mehrgeschossigen Wohnhauses von einem später auftretenden Flashover ausgehen [AGBF 1998] [Beyerle et al. 1978]. Dieser ist nach den Quellen ORBIT und AGBF erst nach 18 bis 20 min zu erwarten. Die hierbei auftretende Diskrepanz wartet jedoch noch auf eine schlüssige Erklärung.



**Bild 11:** Zeit bis zum Flashover – Variationsbreite [Kunkelmann 2003] – Vergleich mit ORBIT-Studie [1978] und AGBF-Empfehlung [1998]

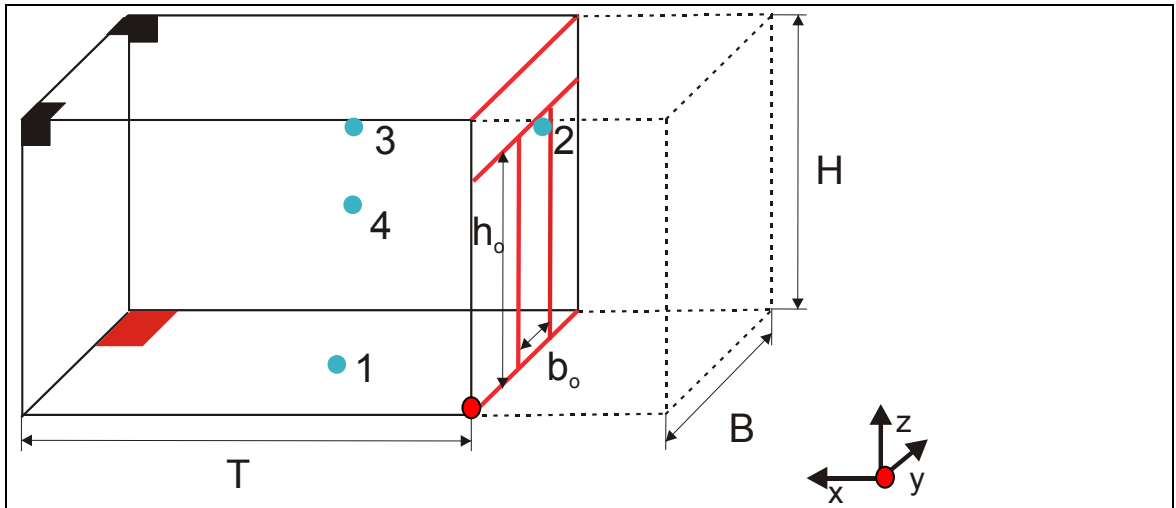
Besondere Risiken wie z.B. die Einwirkung von sehr hohen Temperaturen und Wärmestrahlung eines Leichtmetallbrandes in einer Metallverwertungsanlage in einem Recyclingbetrieb in Wedemark-Bissendorf im Jahr 2008 [Freiwillige Feuerwehr Wedemark und Unfallkasse Niedersachsen 2008] auf die PSA sind hierbei noch nicht berücksichtigt, sollen aber Erwähnung finden.

Erste orientierende Temperaturmessungen, jedoch noch ohne Messung der Wärmestrahlung, wurden in der Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe mit Holzpaletten als Brandgut und mit sowie ohne Löschwassereinsatz während eines Lehrganges im September 2008 durchgeführt. Näheres hierzu findet man in Bild A47. An der Brandraumöffnung in Höhe 1,5 m wurden hierbei Temperaturen bis zu ca. 900 °C gemessen. Diese Temperatur könnte beim Nachlegen der Brandlast zumindest kurzzeitig auf den Trainer einwirken. Im Trainerbereich 1,1 m vor der Öffnung in einer Höhe von 1,5 m traten Temperaturen zwischen 150 °C und 330 °C auf. In der Mitte des Vorraumes traten in einer Höhe von 1,5 m Temperaturen bis zu 290 °C auf. Dies wird im Kapitel 3 weiter vertieft.

Weitere Untersuchungen zu Raumbränden wurden in einem Flashover-Container durchgeführt [Keutel 08]. In einem speziell dafür ausgerüsteten Container-Versuchsstand wurde eine umfangreiche Versuchserie zur Bestimmung der physikalischen Parameter vor dem Auftreten eines Flashover durchgeführt [Keutel 08], [Grabski und Keutel 09]. Hierbei wurde neben anderen Größen das Temperaturfeld bestimmt und zwar bei unterschiedlicher Skalierung.

**Zielstellung:** Ermittlung der thermischen Bedingungen beim Auftreten eines Flashover in einem speziell für diese Problemstellung ausgestatteten Container, der ein Volumen von 17,8 m<sup>3</sup> besitzt. Dazu wurden die Innenseiten des Containers mit Holzspanplatten verkleidet. Eine Ventilationsöffnung mit den Abmaßen 0,665 m·1,742 m ermöglichte den natürlichen Zustrom von Sauerstoff in den Container. Die Initiierung des Brandes erfolgte durch ein Initialfeuer an der im Bild 12 rot gekennzeichneten Containerecke. Bild 12 weist ebenfalls die Geometrie des Brandraumes mit den zur Temperaturmessung installierten

Thermoelementen aus. Die geometrische Anordnung der Thermoelemente innerhalb des Versuchsraumes wird in Tabelle 8 durch die Koordinaten ausgegeben.

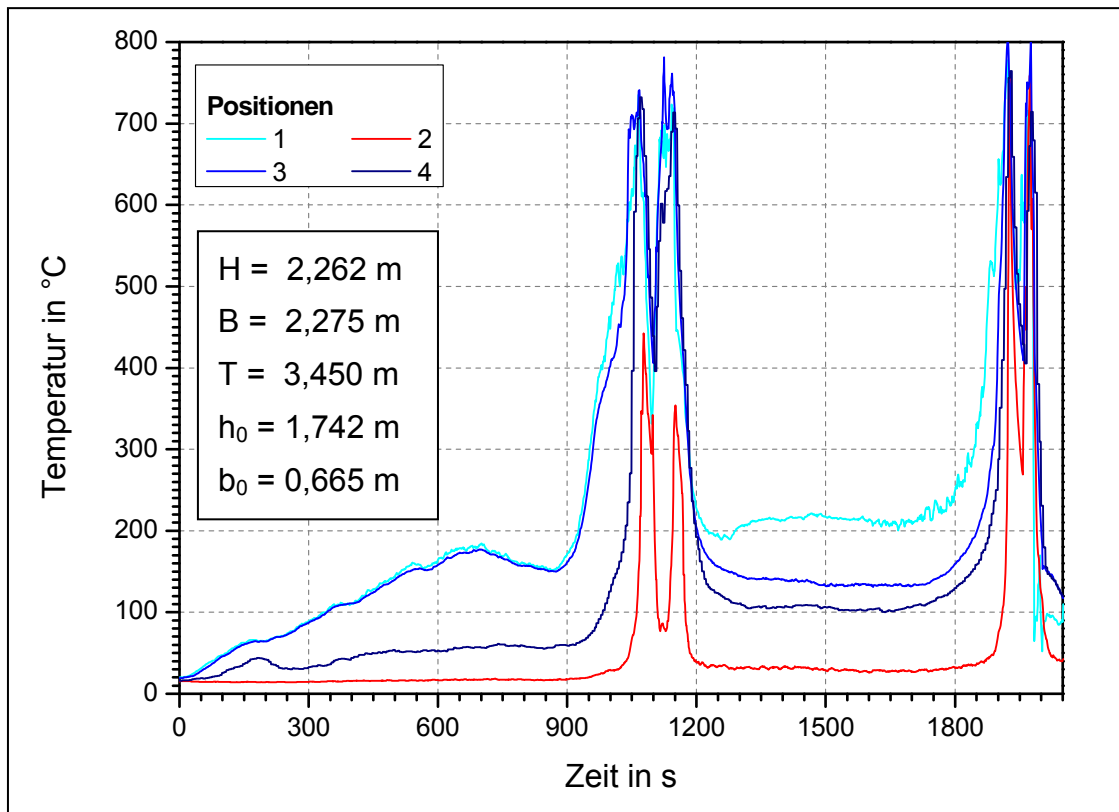


**Bild 12:** Geometrie des Brandraumes und Anordnung der Thermoelemente

**Tabelle 8:** Koordinaten der Positionen der Thermoelemente

Koordinate	Thermoelement Nr.			
	1	2	3	4
x	1.800 m	0.00 m	1,450 m	1,450 m
y	1.105 m	1,445 m	2,175 m	2,175 m
z	0.10 m	1,642 m	1,762 m	1,262 m

**Ergebnisse:** Die Messergebnisse an den Messstellen 1 bis 4 werden grafisch im Bild 13 dargestellt.



**Bild 13:** Ergebnisse der Temperaturmessung

Die höchste Temperatur wurde an Thermoelement Nr. 3 mit ca. 800 °C gemessen. Mit Werten unter dieser Höchsttemperatur folgt mit Ausnahme von Thermoelement 2 die Thermoelemente 4 und 1, wobei diese Temperaturen auch nur um 100 °C bis 150 °C von der Höchsttemperatur abweichen. Die mit dem Thermoelement 2 im Zeitbereich von 1050 s bis 1150 s gemessenen auffallend geringeren Temperaturwerte resultieren aus der Lage dieses Thermoelementes im Türbereich und der damit verbundenen Temperaturabsenkung durch die von außen zuströmende Frischluft.

Die nachfolgende Tabelle 9 zeigt einen Vergleich der bei den bisherigen Untersuchungen bei vergleichbaren Messstellen in ca. 1,5 m Höhe gemessenen maximalen Temperaturen.

**Tabelle 9:** Gegenüberstellung von Temperaturmesswerten gemäß der ausgewerteten Literatur in 1,5 m Höhe

Quelle / Szenario	DIN EN 137	FEU	Feuerwehr Aachen	DMT	FFB	Feuerwehr Karlsruhe (Orientierende Vorversuche)
Feststoffbetriebener Brandübungscontainer	-	235 °C an der Versuchsperson für 5 s (Abschirmung der Versuchsperson vor direkter Wärmestrahlung)	350 °C (1,62 m vor Brandraumöffnung)  470 °C (0,42 m vor Brandraumöffnung)	450 °C	-	Trainerbereich, bis 1,1 m vor der Öffnung: 150 °C - 330 °C,  an der Brandraumtür bis ca. 900 °C
Feststoffbetriebener Brandtunnel	-	-	-	100 °C – 290 °C	-	-
Realbrände mit Feststoffen in Brandräumen	-	-	-	-	250 °C – 450 °C im Flur vor dem Brandraum	-
Realbrände mit Möbel in Brandräumen	-	-	-	-	100 °C – 400 °C im Flur vor dem Brandraum während des Löscheinsatzes, (an der Oberkante der Brandraumtür bis 900 °C)	-
Gasbetriebene Prüf- bzw. Übungsanlage	Vorwärmung: 90 ± 5 °C, Expositionszeit: 15 ± 1 min  Beflammung: 950 ± 50 °C für 10 s	-	-	Im Vergleich zu den feststoffbefeueten Heißausbildungsanlagen deutlich geringere Umgebungstemperaturen.	-	-

## 2.4.2 Forschungsergebnisse zur Persönlichen Schutzausrüstung

### 2.4.2.1 Thermische Belastung Persönlicher Schutzausrüstung im Feuerwehr-Übungshaus (FÜH)

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden die thermische Belastung in dem FÜH der Brandschutz- und Katastrophenschutzschule (BKS) Heyrothsberge untersucht [Pasch 00].

**Aufgabenstellung:** Realisierung von Messkampagnen zu den Ausbildungsinhalten „Wärmegewöhnung“ im Brandraum Garage (HV1 bis HV4 – Tabelle 10) und „Brandbekämpfung“ in den Brandräumen Keller, Garage,

Verkaufsraum, Küche (mit Flashover) und Wohnzimmer im Feuerwehrrübungshaus (VV3 bis VV3-3 – Tabelle 10).

**Zielstellung:** Wie hoch ist die thermische Belastung von Komponenten (Bild 14) der Persönlichen Schutzausrüstung (PSA) im FÜH beim realen Übungsbetrieb und bei verschiedenen Übungsszenarien ? Die Messstellen werden im Bild 14 ausgewiesen.



**Bild 14:** Messstellen an den Komponenten der PSA

**Ergebnisse:** Die Ergebnisse werden in den Tabelle 10 und 11 dargestellt.



**Tabelle 10: Versuchsbezogene Maximaltemperaturen**

Mst-Nr.	Messstellenbezeichnung	Maximaltemperaturen in °C bei den Untersuchungen							
		HV1	HV2	HV3	HV4	VV3	VV3-1	VV3-2	VV3-3
1	Atemschutzmaske frontal	85,20	89,90	93,40	111,00	61,70	65,30	53,00	129,60
2	Lungenautomat	59,70	89,40	68,40	104,40	51,40	66,50	55,00	53,30
3	Druckminderer	23,10	32,10	29,00	26,50	26,60	27,50	29,10	32,30
4	Stahl-Druckluftflasche	49,60	-	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt
	<i>ungeschützt</i>	-	49,60	-	-	-	-	-	-
	<i>geschützt</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Composite-Druckluftflasche	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt	80,60	-	58,40	54,20	41,80	49,90
	<i>ungeschützt</i>	-	-	-	64,40	-	-	-	-
	<i>geschützt</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Helm, vorn oben	125,30	145,50	135,70	161,30	73,30	81,00	82,50	74,70
7	Feuerwehrüberjacke, Schulterbereich außen	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt	174,40	194,90	135,20	92,60	83,50	86,00
8	Feuerwehrüberjacke, Schulterbereich innen	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt	105,40	112,50	75,10	57,40	50,00	55,50
9	Feuerwehrschtzhandschuhe, Oberseite außen	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt	106,30	109,80	78,30	67,50	53,80	50,00
10	Feuerwehrschtzhandschuhe, Oberseite innen	Mst nicht belegt	Mst nicht belegt	54,00	48,70	42,90	45,10	42,40	40,80
11	Umgebungstemperatur	148,70	171,90	152,80	144,80	163,60	81,90	51,90	140,00

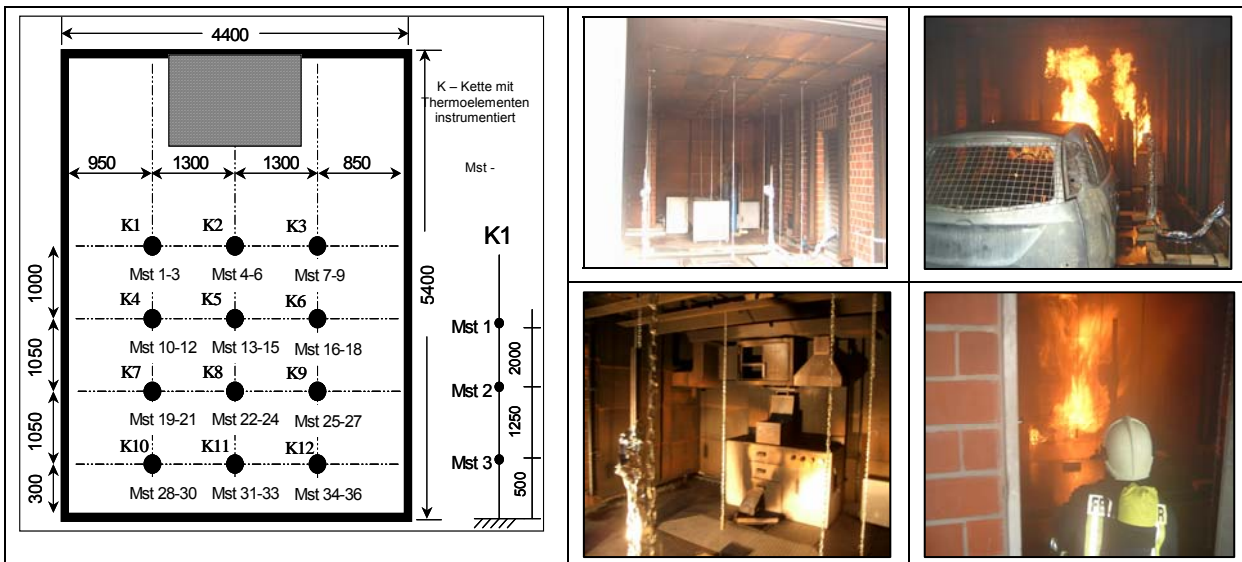
Maximaler Messwert an PSA beim jeweiligen Versuch
 Mst - Messstelle

**Tabelle 11: Bei den Untersuchungen aufgetretene Maximaltemperaturen**

PSA - Komponente	Temperatur in °C
Helm, oben	161,30
Feuerwehrüberjacke, Schulterbereich außen	194,90
Feuerwehrüberjacke, Schulterbereich innen	105,40
Feuerwehrschtzhandschuhe, Oberseite außen	109,80
Feuerwehrschtzhandschuhe, Oberseite innen	54,00
Atemschutzmaske frontal	129,60
Lungenautomat	104,40
Druckminderer	32,30
Stahl-Druckluftflasche – <i>ungeschützt</i>	49,60
Stahl-Druckluftflasche – <i>geschützt</i>	49,60
Composite-Druckluftflasche – <i>ungeschützt</i>	80,60
Composite-Druckluftflasche <i>geschützt</i>	64,40

### 2.4.2.2 Untersuchungen zu sicherheitsrelevanten thermischen Parametern eines FÜH

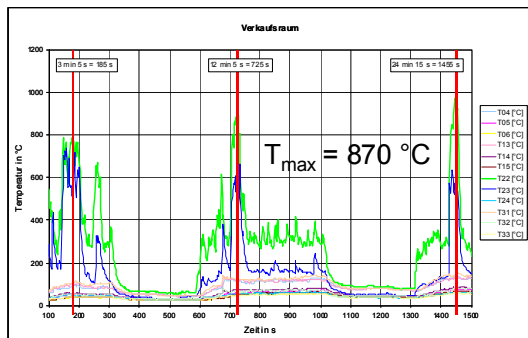
In einem weiteren Projekt wurden die ortsabhängigen sicherheitsrelevanten Parameter eines FÜH bestimmt [Pasch 05].



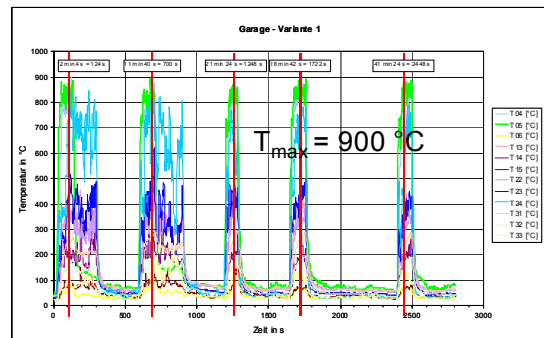
**Bild 15:** Messstellen im FÜH , instrumentierte Räume und Brandszenarien

Bild 15 weist die Positionen der Messstellen im FÜH aus, zeigt an Beispielen die instrumentierten Brandräume und ausgewählte Brandszenarien.

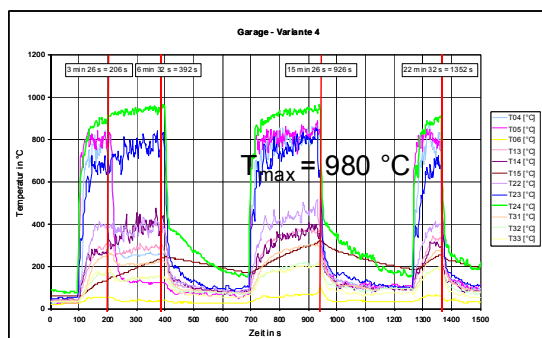
**Ergebnisse:** Die Messergebnisse mit den bei den einzelnen Untersuchungen erzielten Maximaltemperaturen werden in den Bildern 16 bis 19 ausgewiesen.



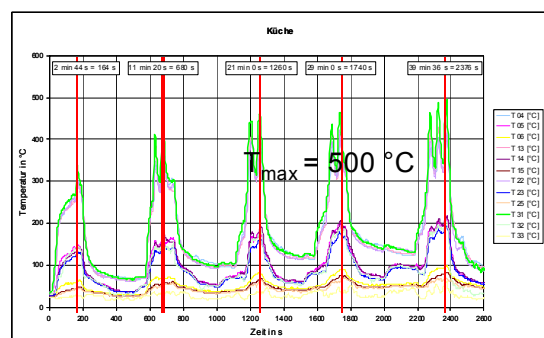
**Bild 16:** Messdaten Verkaufsraum



**Bild 17:** Messdaten Garage (Variante 1)



**Bild 18:** Messdaten Garage (Variante 4)

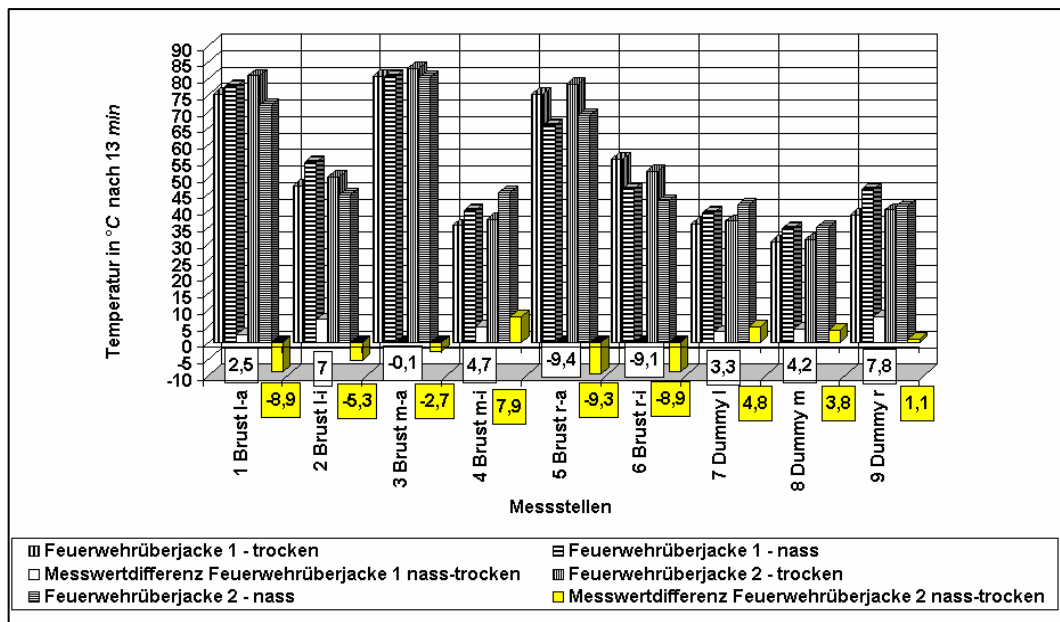


**Bild 19:** Messdaten Küche

### 2.4.2.3 Feuerwehr-Einsatzkleidung bei thermischer Beanspruchung unter Feuchte und Nässe

In einem Projekt wurde das thermische Verhalten von Schutzkleidung unter dem Einfluss Feuchte und Nässe untersucht [Grabski, Pasch und Starke 01].

**Zielstellung:** Ermittlung von Feuerwehrsutzkleidung



**Bild 20:** Temperaturmesswerte nach 13 min bei einer Wärmestrahlung von  $0,1 \text{ W/cm}^2$

Untersucht wurden die auf einem Dummy sich befindenden Feuerwehrüberjacken in trockenem und definiert feuchtem Zustand hinsichtlich ihres unterschiedlichen Verhaltens bei thermischer Einwirkung.

**Ergebnisse:** Die Messergebnisse an den einzelnen Messstellen nach Beaufschlagung der Feuerwehrüberjacken mit einer Wärmestrahlungsintensität von  $10 \text{ kW/m}^2$  über einen Zeitraum von 13 min werden grafisch im Bild 20 dargestellt.

### 2.4.2.4 Anforderungsprofil für Schutzkleidung

In diesem Vorhaben wurde das Anforderungsprofil an Schutzkleidung der Feuerwehr für die Brandbekämpfung untersucht [Pasch 1996].

**Zielstellung:** Nach welchen Zeiten wird an den Messstellen einer mit Wärmestrahlung beaufschlagten Feuerwehrüberjacke (EN 469) auf der Innenseite die aus physiologischer Sicht bereits als kritisch einzustufende Temperatur von 45 °C erreicht?

**Ergebnisse:** Die ermittelten Zeiten bis zum Erreichen der Temperatur von 45 °C an den Messstellen werden in Abhängigkeit von der Intensität der Wärmestrahlung in Tabelle 12 ausgewiesen.

**Tabelle 12:** Zeiten bis zum Erreichen einer Temperatur von 45 °C an den Messstellen

Messstellen							
Einsatz- jacke	1	2	3	4	5	6	19
	Brust links außen	Brust links innen	Brust mitte außen	Brust mitte innen	Brust rechts außen	Brust rechts innen	Dummy Brust mitte
Zeiten in min							
Nr. 37	0,92	4,42	0,92	4,34	0,92	3,50	16,42
Bei Beaufschlagung durch Wärmestrahlung mit einer Wärmestromdichte von 0,4 W/cm <sup>2</sup>							4,34
Bei Beaufschlagung durch Wärmestrahlung mit einer Wärmestromdichte von 0,6 W/cm <sup>2</sup>							3,77

Ermittelt wurden des Weiteren die Temperaturen an den Messstellen, die bei Wärmestrahlungsintensitäten von 0,4 W/cm<sup>2</sup> und 0,6 W/cm<sup>2</sup> nach einer Einwirkzeit von 20 min auftraten. Die Messwerte werden in Tabelle 13 ausgewiesen.

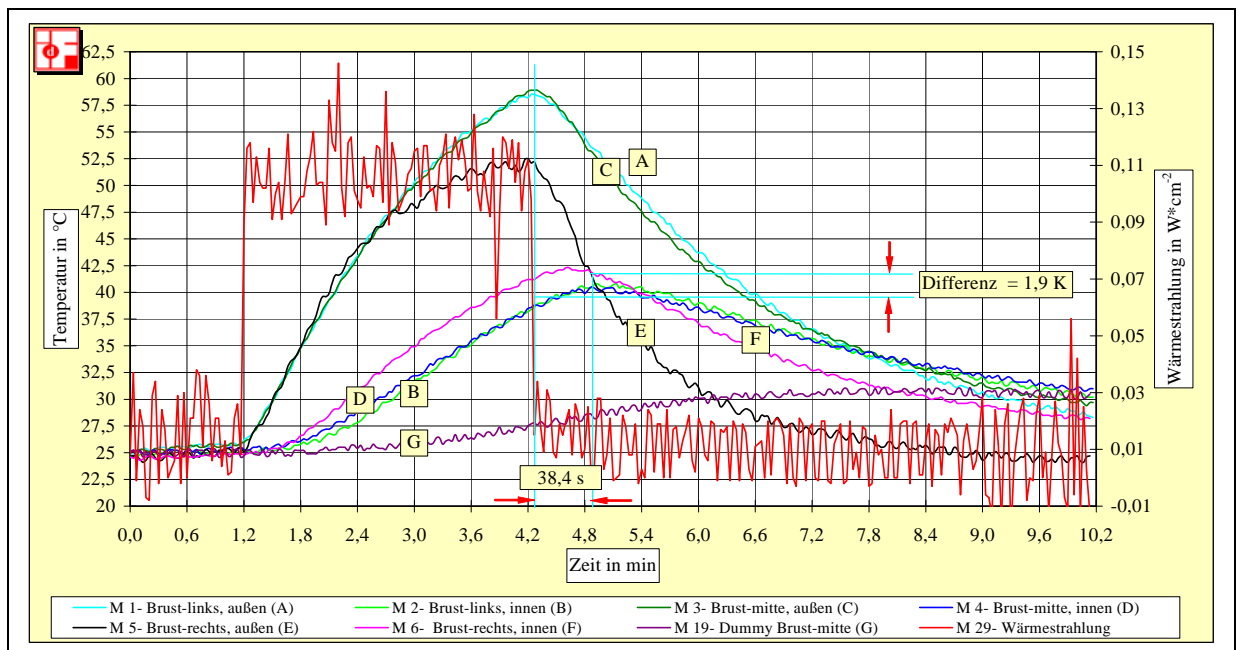
**Tabelle 13:** Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Messstellen 1 bis 6

Messstellen						
	1	2	3	4	5	6
Wärmestrahlung	Brust links außen	Brust links innen	Brust mitte außen	Brust mitte innen	Brust rechts außen	Brust rechts innen
Temperaturen in °C						
0,4 W/cm <sup>2</sup>	162,0	130,3	176,8	133,2	165,6	127,2
0,6 W/cm <sup>2</sup>	193,5	149,5	213,0	154,9	195,4	153,0

**Erkenntnis:** Anstieg der Temperatur nach Entfernung der Wärmequelle

Bei sämtlichen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beaufschlagung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung mit Wärmestrahlung konnte festgestellt werden, dass die Temperaturen an der Innenseite der Feuerwehr-Einsatzjacke auch nach Entfernung der Wärmequelle über einen bestimmten Zeitraum hinweg weiter anstiegen. Dafür verantwortlich sind die auch danach noch ablaufenden Prozesse der Wärmeleitung.

Im Bild 21 wird der geschilderte Sachverhalt grafisch dargestellt.



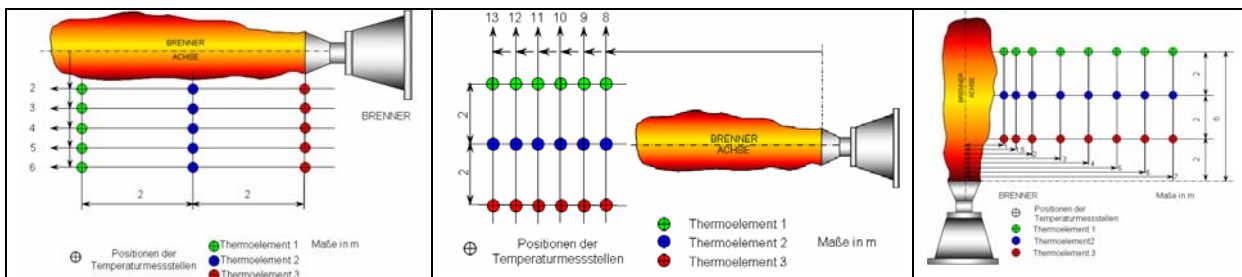
**Bild 21:** Anstieg der Temperaturen auf der Innenseite einer Einsatzjacke nach Entfernung der Wärmequelle mit einer Wärmestromdichte von 0,1 W/cm<sup>2</sup>

## 2.4.2.5 Ermittlung der Wärmestrahlung einer Jetbrandflamme

Eine Jetbrandflamme wurde im Hinblick auf ihre Nutzung in der Aus- und Fortbildung untersucht [Pasch und Wienecke 2006]

**Zielstellung:** Ermittlung der von einer Jetbrandflamme ausgehenden Wärmestrahlung und der Temperaturen an definierten Positionen in Abhängigkeit von der Brennerleistung bzw. der Betriebsparameter der Anlage.

Bild 22 zeigt die gewählten Brennerpositionen und die jeweils zugehörige Anordnung der Messstellen zur Temperaturmessung. Die Anordnung der Radiometer zur Wärmestrahlungsmessung war identisch.



**Bild 22:** Messstellenanordnung - horizontal und vertikal ausgerichtete Jetbrandflamme

Im Bild 23 werden die Real-Flammenbilder bei 100 % Leistung der Anlage dargestellt.



**Bild 23:** Horizontales und vertikales Real - Flammenbild

**Tabelle 14:** Wärmestrahlungsintensitäten – vertikale (Brenner und Radiometer - links) und horizontale (Brenner und Radiometer - rechts) sowie frontale (Radiometer) Anordnung

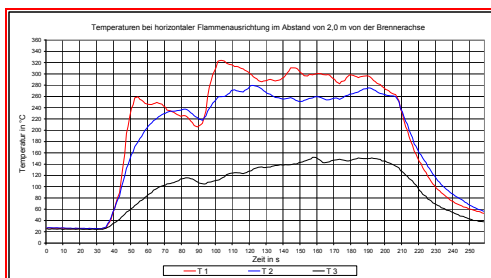
Abstand vom Brennerkopf in m	Brennerleistung								
	20 %			60 %			100 %		
	Radiometer								
	R3	R2	R1	R3	R2	R1	R3	R2	R1
	Wärmestrahlungsintensität in W/cm <sup>2</sup>								
1	0,60	3,5	12,0	-	-	-	-	-	-
1,5	0,70	2,50	6,00	0,70	2,20	4,30	0,70	2,00	4,50
2	0,50	1,30	2,70	0,60	1,80	3,00	0,60	1,60	3,20
3	0,40	0,80	1,40	0,50	1,00	1,70	0,50	1,10	2,00
4	0,30	0,70	0,80	0,40	0,80	1,20	0,50	0,80	1,30
5	0,40	0,70	0,80	0,40	0,70	1,00	0,50	0,70	1,20
6	0,30	0,40	0,40	0,40	0,60	0,70	0,40	0,60	0,80
7	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50	0,80	0,30	0,50	0,60

Abstand vom Brennerkopf in m	Brennerleistung								
	20 %			60 %			100 %		
	Radiometer								
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
	Wärmestrahlungsintensität in W/cm <sup>2</sup>								
2	2,00	2,00	0,75	3,50	2,30	0,80	3,30	2,30	0,80
3	1,70	1,20	0,70	2,50	1,50	0,70	2,50	1,70	0,80
4	1,30	0,80	0,70	1,70	1,30	0,80	1,80	1,30	0,80
5	0,80	0,70	0,50	1,20	0,80	0,70	1,30	0,90	0,70
6	0,70	0,50	0,30	1,00	0,80	0,60	1,00	0,80	0,60

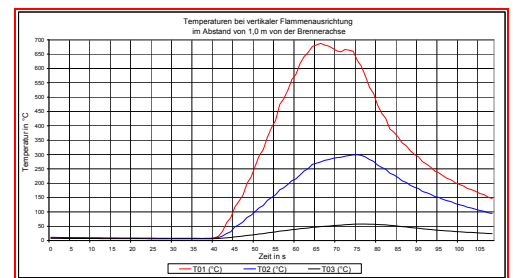
Abstand vom Brennerkopf in m	Brennerleistung								
	20 %			60 %			100 %		
	Radiometer								
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
	Wärmestrahlungsintensität in W/cm <sup>2</sup>								
8	1,30	1,00	0,80	2,00	1,90	1,80	2,50	2,50	1,80
9	1,30	0,80	0,70	1,70	1,40	1,30	2,00	1,70	1,30
10	0,90	0,50	0,50	1,30	0,70	0,70	1,30	0,90	0,90
11	0,90	0,50	0,50	1,30	0,70	0,70	1,30	0,90	0,90
12	0,70	0,40	0,40	1,20	0,70	0,70	1,20	0,75	0,75
13	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

## Ergebnisse:

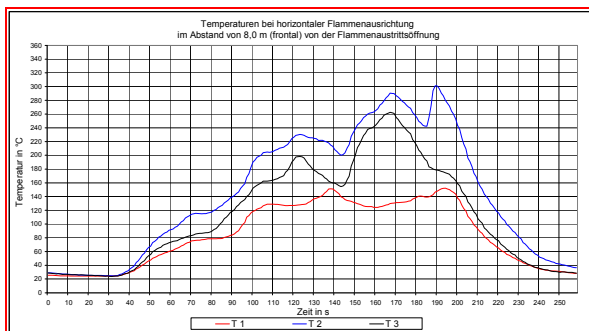
In Tabelle 14 werden jeweils die orts- und leistungsabhängig gemittelten maximalen Wärmestrahlungsintensitäten ausgewiesen. Die Bilder 24 bis 27 zeigen die Temperaturverläufe an den einzelnen Messstellen.



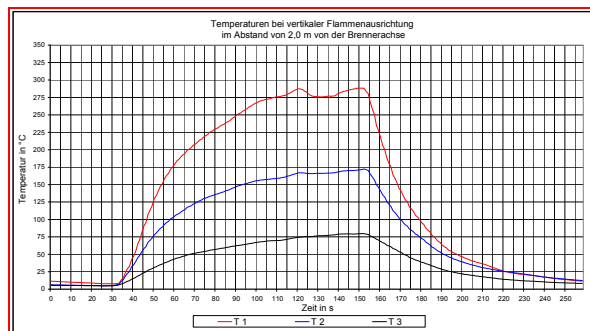
**Bild 24:** Temperaturen horizontal 2,0 m



**Bild 25:** Temperaturen vertikal 1,0 m



**Bild 26:** Temperaturen frontal 8,0 m



**Bild 27:** Temperaturen vertikal 2,0 m

## 2.5 Schlussfolgerungen

Im Kapitel 2 wurden zur Problemstellung der thermischen Belastbarkeit von PSA zahlreiche Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass Verunsicherungen der Feuerwehreinsatzkräfte im Bezug auf die thermische Belastbarkeit ihrer PSA in einigen Fällen nachvollziehbar sind und Fragen aufwerfen. Als Beleg hierfür können insbesondere die Ergebnisse der Befragungen angeführt werden, denn mit mehr als 1300 Einzelmeinungen liegt zur Problemstellung der thermischen Belastbarkeit von PSA-Komponenten erstmalig in Deutschland eine umfassende Datenbasis vor. Die Ergebnisse zeigen, dass bei BF häufiger Beschädigungen an PSA-Komponenten auftraten als bei LFS und WF. Am seltensten treten bei FF Beschädigungen an PSA-Komponenten auf. Schwerpunkte der Beschädigungen im Bereich der Einsatzkleidung waren Überjacken/-hosen, Helme und Handschuhe. Im Komplex der Komponenten der Atemschutztechnik wurden schwerpunktmäßig Beschädigungen bei Sichtscheiben, Lungenautomaten und den Bebänderungen des Pressluftatmers gemeldet. Die überwiegende Mehrzahl dieser Vorfälle können allerdings als unkritisch angesehen werden. Neben solchen Vorfällen wurden jedoch auch als kritisch zu bewertende Vorfälle gemeldet, unter denen solche zu verstehen sind, die zu lebensbedrohlichen Situationen führen können. Diese Beschädigungen traten zwar seltener auf, sie führen jedoch im schlimmsten Fall zum Tod von Einsatzkräften. Derartige Beschädigungen traten überwiegend an Komponenten der Atemschutztechnik, insbesondere an Lungenautomaten auf.



Aber auch die Ergebnisse der Recherchen in Gesetzen, Normen, Richtlinien, Dienstvorschriften und sonstigen Regelungen stützen diese Aussagen. Es zeigt sich ein zum Teil nicht immer abgestimmtes Regelwerk. Aufgrund der darin formulierten unterschiedlichen Prüfparameter und -anforderungen treten zwangsläufig Schwachstellen im Bezug auf die thermische Belastbarkeit einzelner PSA-Komponenten auf. Insbesondere die momentan bei Feuerwehren eingesetzten Pressluftatmer seien an dieser Stelle genannt, die gemäß gültiger Normen lediglich im Temperaturbereich von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $60^{\circ}\text{C}$  störungsfrei arbeiten müssen, aber dennoch für Innenangriffe verwendet werden. An andere im Innenangriff zu tragende PSA-Komponenten werden deutlich höhere Anforderungen gestellt.

Im Rahmen der Literaturlauswertung wurde untersucht, wie hoch die thermischen Belastungen sind, welche im realen Einsatzfall und im Übungsfall nach bisherigem Kenntnisstand auf Feuerwehreinsatzkräfte einwirken können. Die thermische Belastung aufgrund eines Flashovers, eines Backdrafts (mit Druckaufbau) oder einer Rauchgasdurchzündung sind hierbei eine realistische Gefährdung, mit der die Feuerwehreinsatzkraft immer rechnen muss. Hierbei können im Einsatzgeschehen beim dem auf den Flashover bei Temperaturen um  $600^{\circ}\text{C}$  oder einen Backdraft folgenden Vollbrand mit üblichen Brandstoffen kurzfristig Temperaturen im Bereich von bis zu  $1100^{\circ}\text{C}$  einwirken. Temperaturen im Flur vor dem Brandraum können durchaus Werte um  $450^{\circ}\text{C}$  erreichen. Es ist anzufügen, dass die im Realfall tatsächlich auftretenden Temperaturen und die Wärmestrahlung beim Vollbrand einer erheblichen Bandbreite unterliegen können. Diese ist weitgehend von der Brandlast und den Ventilationsbedingungen abhängig. Auch die Umfassungsbauteile können sich auf die Maximaltemperaturen auswirken. Es sei jedoch unterstellt, dass diese Einwirkung nur wenige Sekunden bei einem geplanten Löschangriff und in überschaubarer und bewertbarer Risikosituation anhalten kann. Die thermische Belastung in Übungsanlagen ist offensichtlich derart konzipiert, dass sich kurzfristig – durchaus im Bereich von 1 Minute – Temperaturen im Bereich von rund  $100$  bis  $450^{\circ}\text{C}$  in  $1,5$  m Höhe einstellen können. Dies richtet sich nach der Übungsanlagenkonzeption und dem Übungsziel: mit oder ohne Löscheinatz. Es wird darauf verwiesen, dass nach vielfach geäußerter Auffassung es nicht hinreichend realitätsnah möglich ist, mit flüssiggasbefeueten Übungsanlagen

mehr als die Vorgehensweise beim Einsatz von Löschgeräten zu trainieren, da diese Anlagen die Auswirkung von heißem Brandrauch nicht hinreichend realistisch darstellen können. Es wurde jedoch auch festgestellt, dass der Ablauf von Übungsbränden in zum Beispiel leerstehenden Gebäuden nur begrenzt vorhergesagt werden kann, so dass sich hieraus ein schwer kalkulierbares Risiko ergibt. Bei derartigen Übungsbränden kann es auch durch den Einfluss von wechselnden Umgebungsbedingungen zu unterschiedlichen Situationen im Wiederholungsfalle einer Übung kommen. Diese Situationen können schwierig zu steuern sein.

### **3 Erfassung der physikalischen Kennwerte**

#### **3.1 Aufgabenstellung gemäß Auftrag**

In diesem Arbeitspaket werden in Abhängigkeit von den Ergebnissen des AP 1 weitere notwendige physikalische Kennwerte erfasst, die aus Brandversuchen in Brandversuchsanlagen, Feuerwehr-Übungshäusern und Brandübungscontainern erhoben werden. Ergänzt werden die Angaben durch eine Schwachstellenanalyse thermisch belasteter PSA aus tatsächlichen Schadensfällen.

#### **3.2 Experimentelle Untersuchungen in holzbefeuerten Brandübungsanlagen (HBUEA)**

Diese Untersuchungen wurden vom Karlsruher Institut für Technologie – Forschungsstelle für Brandschutztechnik in der holzbefeuerten Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe (Bild 28) im Rahmen des Projektes unter Mitwirkung des IdF Sachsen-Anhalt durchgeführt. Weitere Details zur Übungsanlage können den Bildern A51 und A52 im Anhang entnommen werden.

Bei dieser Anlage handelt es sich um mehrere ISO-Container (Seefracht-Container). Diese wurden von der Feuerwehr Karlsruhe modifiziert, um sie für Schulungszwecke nutzen zu können.



**Bild 28:** Holzbefeuerte Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe  
 Der Brandraumcontainer, kurz Brandraum genannt, wird zur Befeuern der Anlage mittels Holzpaletten verwendet. Dieser hat die Innenabmessungen: Länge= 2,4 m, Breite= 2,0 m und Höhe= 2,2 m.

Aus Sicherheitsgründen ist dieser Container nicht ebenerdig mit den anderen Containern verbunden, sondern um ca. 0,8 m nach oben versetzt. Hierdurch soll verhindert werden, dass durch eine aus der Brandraumbür schlagende Rauchdurchzündung (Rollover) bzw. extreme Wärmebelastung die Übungsteilnehmer unmittelbar gefährdet werden. Hierdurch wird quasi ein Sicherheitsbereich für die Trainer und Übungsteilnehmer geschaffen. Über die Brandraumbür (Höhe: 1,3 m, Breite: 0,7 m, Unterkante der Tür: 0,8 m über dem Fußboden des Vorraumcontainers) besteht die Verbindung des Brandraumcontainers zum Container für den Aufenthalt der Übungsteilnehmer. Dieser Container wird als Vorraumcontainer bezeichnet und hat die Innenabmessungen Länge: 5,9 m, Breite: 2,3 m, Höhe: 2,2 m. Der Vorraumcontainer ist mit einem weiteren seitlichen Container über eine Tür verbunden. Dieser wurde in den hier beschriebenen Untersuchungen nicht verwendet. Weitere Details zur Lage von Türen und Sichtfenstern sind Bild 28 zu entnehmen. In den Untersuchungen wird der mit Temperatur- und Feuchtesensoren ausgestattete Trainer mit PSA im Übungsbetrieb der thermischen Belastung in der feststoffbefeuerten Brandübungsanlage ausgesetzt (siehe Bild 30). Hierbei wurden kontinuierlich die Messwerte am Trainer an verschiedenen Aufenthaltsorten im Vorraumcontainer, bei unterschiedlichen Körperhaltungen als auch bei trockener Wärme (ohne

Löscheinsatz) und feuchter Wärme (mit Löscheinsatz) aufgezeichnet.

Untersucht wurden die folgenden Aufenthaltsorte und Körperhaltungen:

- Feuerwehrangehöriger in der Mitte des Vorraumcontainers,
- Feuerwehrangehöriger im Trainerbereich unmittelbar nahe der Brandraumöffnung,
- Feuerwehrangehöriger stehend,
- Feuerwehrangehöriger kniend,
- Feuerwehrangehöriger Bauchlage,
- Feuerwehrangehöriger Rückenlage.



**Bild 29:** Messstellen in der Brandübungsanlage



**Bild 30:** Messstellen am Feuerwehrmann

Die Versuche wurden überwiegend bei trockener Wärme als auch in ausgewählten Positionen bei feuchter Wärme durchgeführt. Gleichzeitig wurden kontinuierliche Temperatur- und Wärmestahlungsmessungen im Raum durchgeführt (siehe Bild 29).

Besondere Bedeutung haben die Messstellen in 1,5 m Höhe. Diese Höhe entspricht ungefähr der Position des Lungenautomaten eines stehenden Feuerwehrangehörigen mittlerer Körpergröße und wird daher als Referenzgröße zur Beurteilung der maximalen Belastung der PSA herangezogen. Die weiteren Messstellen (Raumtemperaturen, Wärmestahlung) in 0,8 m Höhe (Position des kriechenden Feuerwehrangehörigen) und im Deckenbereich des Brandübungscontainers werden zum Vergleich erfasst.

Als Messfühler wurden

- Thermoelemente vom Typ K,
- Medtherm Wärmestrahlungsaufnehmer Typ Gardon ohne Fenster
- mit Wasserkühlung sowie
- Thermo/Hygro Buttons zur Messung der relativen Feuchtigkeit

verwendet.

Die im Brandübungscontainer am Feuerwehrangehörigen erfassten Messwerte wurden drahtlos über WLAN (siehe Bilder A48, A49 und A54) zum außerhalb des Containers aufgestellten PC-Messsystem übertragen. Die Übertragung der stationär im Container erfassten Messwerte erfolgte über Kabel zum PC-Messsystem.

Die Versuche wurden mit 3 Videokameras dokumentiert:

- 1 Kamera am Beobachtungsfenster in der Stirnwandtür des Vorraumcontainers,
- 1 Kamera frontal auf die Stirnwandtür des Vorraumcontainers ausgerichtet,
- 1 Kamera seitlich auf die Eingangstür des Vorraumcontainers neben dem Brandraumcontainer ausgerichtet.

Bei den Untersuchungen wurden 3 Vorversuche zur Orientierung und Überprüfung von Mess- und Videotechnik sowie 6 Hauptversuche (V 4, V 4.1, V5, V6, V7, V8) durchgeführt.

### **3.3 Auswertung der Untersuchungen**

In den nachfolgenden Auswertungen werden nur die Hauptversuche betrachtet. Im Anhang werden die Ergebnisse der ausgewerteten Hauptversuche in der Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe ausführlich dargestellt (siehe hierzu die Tabellen 15 und 16). Zum einen werden hierbei in tabellarischer

Form der zeitliche Verlauf der einzelnen Versuche, zum anderen wichtige Aufenthaltsorte und Tätigkeiten der Feuerwehrmänner in der Brandübungsanlage in Form von Datenblättern mit Videoprints und Messwerten von ausgewählten Temperaturen, Wärmestrahlung und Feuchtigkeit dargestellt sowie in Diagrammform wiedergegeben.

Die Videoprints in den Datenblättern sollen ein möglichst aussagekräftiges Bild der durchgeführten Tätigkeit (z. B. Bauchlage) zum aktuellen Zeitpunkt zeigen. Die Tätigkeit erstreckt sich jedoch zum Teil über einen größeren Zeitraum mit zeitlich sich verändernden Messwerten. Die in den Datenblättern aufgeführte Temperatur entspricht einem maximalen ggf. gemittelten Messwert in diesem Zeitraum und nur im Ausnahmefall dem Messwert zum aktuellen Zeitpunkt des Videoprints. An dieser Stelle soll bemerkt werden, dass reine Maximalwerte z. B. der Temperatur und Wärmestrahlung, die nur kurzfristig auftreten bzw. starken Schwankungen unterworfen sind, nur bedingt aussagekräftig für die thermische Belastung sind. Vielmehr ist auch die Dauer der Einwirkung von entscheidender Bedeutung. Die Auswertung der Thermo/Hygro-Buttons hat ergeben, dass die erfassten Temperaturen im Vergleich mit Thermoelementen an ähnlichen Messorten wesentlich geringer waren. Ein Vergleich der Messwerte der relativen Feuchtigkeit mit einem anderen Feuchtemessgerät wurde bisher noch nicht durchgeführt.

**Tabelle 15:** Versuchsauswertung Teil 1 – Verweise auf Details im Anhang

<b>Versuch</b>  (Versuche 4, 4.1, 5 und 6: Feuerwehrangehöriger Nr.1, PA mit Stahlflasche ohne Hülle; <b>Versuch 7:</b> Feuerwehrangehöriger Nr.2, PA mit Stahlflasche ohne Hülle; <b>Versuch 8:</b> Feuerwehrangehöriger Nr.2, PA mit Compositeflasche ohne Hülle)	<b>Zeitlicher Verlauf der Versuche, dargestellt in Tabelle</b>	<b>Videoprints ausgewählter Orte und Tätigkeiten des Feuerwehrangehörigen 1 bei verschiedenen Szenarien im Vorraumcontainer mit hierbei auftretenden Maximalwerten für Temperatur und relative Feuchtigkeit am Feuerwehrangehörigen sowie für Temperaturen und Wärmestrahlung im Raum – dargestellt im Anhang durch die Bilder</b>	<b>Zeitlicher Verlauf ausgewählter Temperaturmessstellen sowie der Wärmestrahlung im Container, dargestellt im Anhang durch die Bilder</b>
<b>4</b>	A47	A55 bis A58	A59
<b>4.1</b>	A48	A61 bis A66	A67
<b>5</b>	A49	A69 bis A74	A75
<b>6</b>	A50	A77 bis A87	A88
<b>7</b>	A51	A90 bis A 101	A102
<b>8</b>	A52	A104 bis A111	-

**Tabelle 16:** Versuchsauswertung Teil 2 – Verweise auf Details im Anhang

<b>Versuch</b>  (Versuche 4, 4.1, 5 und 6: Feuerwehrangehöriger Nr.1, PA mit Stahlflasche ohne Hülle; <b>Versuch 7:</b> Feuerwehrangehöriger Nr.2, PA mit Stahlflasche ohne Hülle; <b>Versuch 8:</b> Feuerwehrangehöriger Nr.2, PA mit Compositeflasche ohne Hülle)	<b>Zeitlicher Verlauf ausgewählter Temperaturmessstellen am Feuerwehrangehörigen - dargestellt in den Bildern</b>	<b>Maximalwerte der während des Versuches aufgetretenen Temperaturen und relativen Luftfeuchten am Feuerwehrangehörigen sowie der Temperaturen und der Wärmestrahlung im Vorraumcontainer – dargestellt in Tabelle</b>	<b>Aufgetretene Maximaltemperaturen am Feuerwehrangehörigen</b>
<b>4</b>	A60	A53	96 °C an Messstelle TM6 (Gehäuse Lungenautomat außen), 45 °C an Messstelle TM8 (im Atemanschluss)
<b>4.1</b>	A68	A53	147 °C an Messstelle TM6 (Gehäuse Lungenautomat außen), 67 °C an Messstelle TM8 (im Atemanschluss)
<b>5</b>	A76	A53	152 °C an Messstelle TM6 (Gehäuse Lungenautomat außen), 70 °C an Messstelle TM8 (im Atemanschluss)
<b>6</b>	A89	A53	124 °C an Messstelle TM6 (Gehäuse Lungenautomat außen), 99 °C an Messstelle TM8 (im Atemanschluss)
<b>7</b>	A103	A53	148 °C an Messstelle TM6 (Gehäuse Lungenautomat außen), 93 °C an Messstelle TM8 (im Atemanschluss)
<b>8</b>	A113	A53	168 °C an Messstelle TM6 (Gehäuse Lungenautomat außen), 84 °C an Messstelle TM8 (im Atemanschluss)

Ergänzung zu Tabelle 16, Versuch 5:



Man erkennt, dass die Temperatur TM8 im Atemanschluss kontinuierlich auf den Maximalwert von ca. 70 °C anstieg.

Der Sprühstoß über ca. 2 s nach 5 min 12 s hat auf diesen Temperaturanstieg keinen positiven, sprich keinen nachhaltig erkennbar kühlenden Einfluss, obwohl bei der Temperatur TM6 außen am Lungenautomat ein Abfall zu verzeichnen ist.

Der unerwartete Abfall des Verlaufes der Messstellen W3 (Wärmestrahlung, Vorraum Mitte, Höhe: 1,5 m) und TB9 (Vorraum Mitte, Höhe 1,5 m) im Bereich zwischen ca. 3 min 19 s und 5 min 12 s kann gegenwärtig nicht erklärt werden. Möglicherweise waren die Messstellen durch eine Person abgeschirmt, was allerdings nicht unmittelbar aus den Videoauswertungen abzuleiten ist.

#### Ergänzung zu Tabelle 16, Versuch 6:

Man erkennt, dass die Temperatur TM8 im Atemanschluss kontinuierlich auf den Maximalwert von ca. 99 °C anstieg.

Die beiden Sprühstöße über ca. 2 s und 1 s nach 10 min 53 s haben auf den Temperaturanstieg an TM8 –Atemanschluss- einen geringen positiven, sprich nachhaltig erkennbar kühlenden Einfluss. Die Temperatur TM 12 unter dem Nackenschutz dagegen stieg schlagartig bis auf ca. 140 °C an.

#### Ergänzung zu Tabelle 16, Versuch 7:

Man erkennt, dass die Temperatur TM8 im Atemanschluss kontinuierlich auf den Maximalwert von ca. 93 °C anstieg.

Der Sprühstoß über ca. 2 s nach 7 min 38 s hat auf diesen Temperaturanstieg an TM8 –Atemanschluss- einen nur geringen positiven, sprich nachhaltig erkennbar kühlenden Einfluss.

#### Ergänzung zu Tabelle 16, Versuch 8:

Man erkennt, dass die Temperatur TM8 im Atemanschluss kontinuierlich auf den Maximalwert von ca. 84 °C anstieg.

Der Sprühstoß über ca. 2 s Dauer nach 4 min 59 s Versuchszeit hat auf diesen Temperaturanstieg einen nur sehr geringfügig positiven, kaum erkennbar nachhaltig kühlenden Einfluss.

Das folgende Bild 31 (Bild A108 des Anhangs) zeigt beispielhaft einen Rollover in der Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe mit der Bewegungsposition des Feuerwehrangehörigen im Trainerbereich und den entsprechenden Messwerten.

**Versuch 8 - Messwerte (Momentaufnahme)**  
**Feuerwehrmann Nr. 2, PSA mit Compositflasche ohne Hülle**



**Temperaturen\_Feuerwehrmann (max.-Werte)**  
**TM1** = 152 °C Druckbehälter, oben, außen  
**TM6** = 188 °C Gehäuse Lungenautomat, außen  
**TM8** = 77 °C Atemlufttemperatur im Atemanschluss, Brillenhalter unterer Bereich

**zusätzlich gegenüber Messkonzept vom Feb. 2009:**  
**TM12** = 105 °C unter dem Nackenschutz  
**TM13** = 40 °C Handrücken auf der Haut

**Feuchtesensoren am Feuerwehrmann**  
**F1** = 35 % r. F. unter der Rückentrageplatte  
**zusätzlich gegenüber Messkonzept vom Feb. 2009:**  
**F2** = 55 % r. F. unter dem rechten Schultergurt

**Temperaturen\_Brandübungsanlage (max.-Werte)**  
**TB3** = 758 °C Öffnung in 1,5 m Höhe über dem Fußboden, Mitte  
**TB6** = 140 °C Trainerbereich, 50 cm vor der Öffnung in 1,5 m Höhe über dem Fußboden, Mitte  
**TB8** = 440 °C Vorraum Mitte, Decke zentral  
**TB9** = 111 °C Vorraum Mitte in 1,5 m Höhe

**Wärmestrahlung\_Brandübungsanlage (max.Werte)**  
**W1** = 0,68 W/cm<sup>2</sup> Vorraum Mitte in 0,8 m Höhe auf die Brandraumöffnung gerichtet  
**W2** = 1,14 W/cm<sup>2</sup> Vorraum Mitte in 0,8 m Höhe zur Decke gerichtet  
**W3** = 1,96 W/cm<sup>2</sup> Vorraum Mitte in 1,5 m Höhe zur Decke gerichtet

**Versuchszeit: 4 min 7 s \*)**  
nach Betreten des Containers

Feuerwehrmann im Trainerbereich vor der Brandraumöffnung in Übergangsbewegung von stehender zu kniender Position.

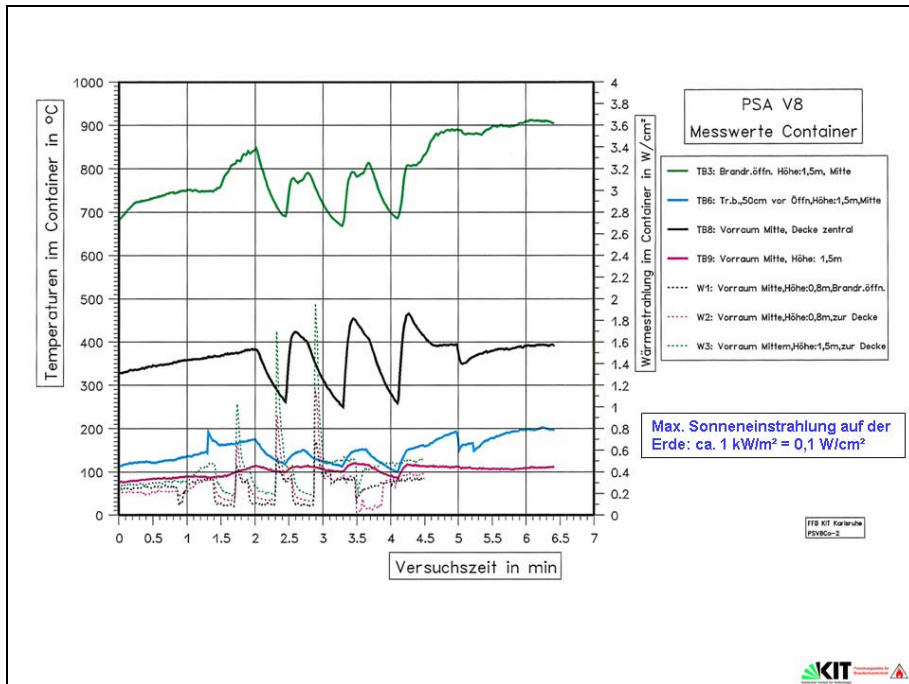
**Rauchgasdurchzündung (Rollover)**

\*) Aufnahmezeit des Videopoints. Die während der im Bild dargestellten Tätigkeit auftretenden Maximalwerte der Messwerte weichen zeitlich hiervon ab.



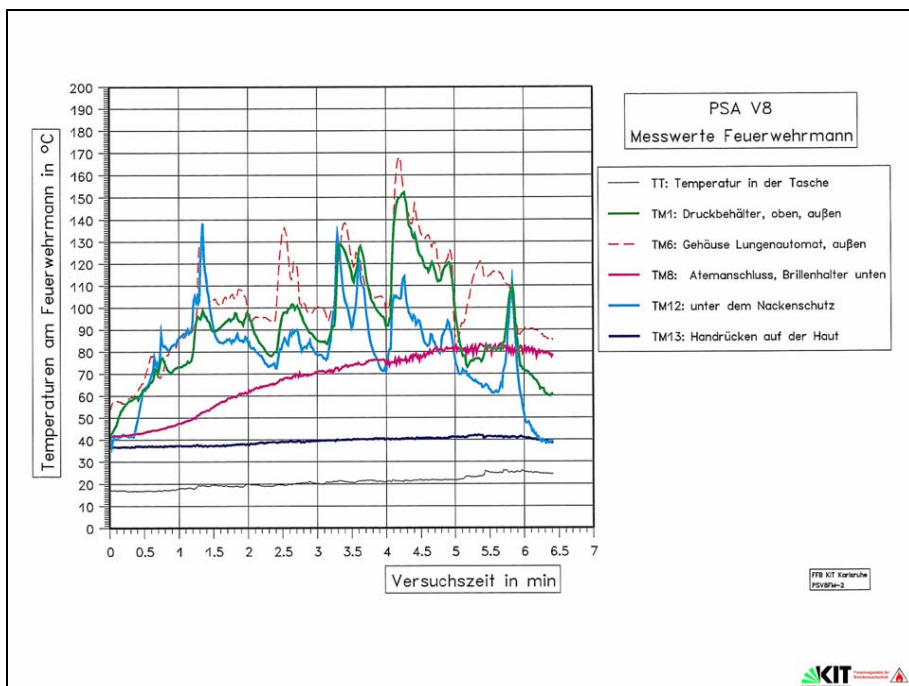
**Bild 31:** Versuch 8 – Versuchszeit: 4 min 7 s

Bild 32 (Bild A112 des Anhangs) zeigt den zeitlichen Verlauf ausgewählter Temperaturmessstellen sowie der Wärmestrahlung im Container.



**Bild 32:** Versuch 8 – Ausgewählte Messstellen - Container

Bild 33 (Bild A113 des Anhangs) zeigt den zeitlichen Verlauf ausgewählter Temperaturmessstellen am Feuerwehrangehörigen.



**Bild 33:** Versuch 8 – Ausgewählte Messstellen - Feuerangehöriger

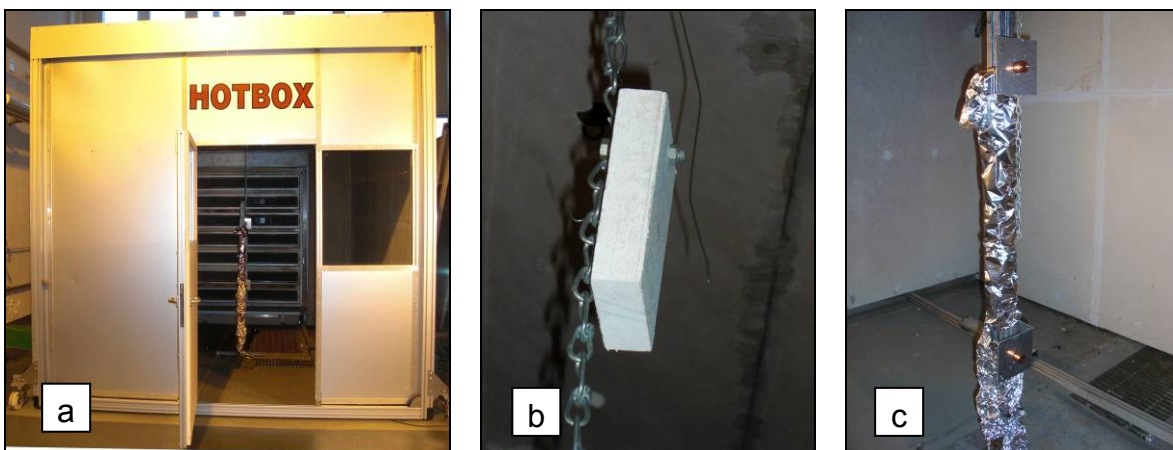
In den Bildern 32 und 33 ist der Temperaturanstieg und –abfall beim Öffnen und Schließen der Brandraumtür deutlich erkennbar.

### 3.4. Versuche in der HOTBOX des IdF gemäß Messkonzept

Auf der Grundlage des vom Projektbegleitenden Ausschuss bestätigten Messkonzeptes zur Realisierung der im Arbeitspaket 2 getroffenen Festlegungen wurden nach Durchführung der Untersuchungen im Brandübungscontainer (Forschungsstelle für Brandschutztechnik) gemäß Punkt 2 e des Messkonzeptes Untersuchungen in der Hotbox (IdF) durchgeführt. Zielstellung war hier, wenn möglich, die thermischen Rahmenbedingungen der Brandübungscontainer – Versuche nachzustellen, um die dort erzielten Ergebnisse reproduzierbar und statistisch sicherer zu gestalten. Die für die Untersuchungen festgelegten Messstellen an Atemschutzausrüstung, Feuerwehrschutzkleidung und innerhalb der Hotbox sind aus Tabelle A55 ersichtlich.

#### 3.4.1 Kurzbeschreibung der Hotbox

Die Hotbox ist ein wärmegegedämmter und geschlossener Raum der Größe  $B \times L \times H = 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  mit einer in die Stirnseite der Hotbox integrierten propangasbetriebenen Wärmestrahlerwand. Die Hotbox ist im Bild 34a dargestellt. Mittels der Wärmestrahlerwand wird durch die von ihr abgegebene Wärmeenergie die Hotbox aufgeheizt, wodurch die thermischen Bedingungen verschiedener Phasen eines Raumbrandes simuliert werden können.



**Bild 34:** Hotbox mit Wärmestrahlerwand, Thermoelementen und Radiometer

Für die durchzuführenden Untersuchungen wurden zur Ermittlung der im Raum auftretenden Temperaturen und Wärmestromdichten Thermoelemente und Radiometer installiert. Je ein Thermoelement (Messstellen 14 und 15 nach Tabelle A55) wurde mittig vor der Wärmestrahlerwand im Abstand von 2,0 m von dieser in einer Höhe ab Boden von 2,40 m installiert. Eines dieser beiden Thermoelemente wurde durch eine Promatplatte vor der auftreffenden Wärmestrahlung geschützt. Bild 34b zeigt diese beiden Messstellen. Eine weitere Temperaturmessstelle (Messstelle 16 nach Tabelle A55) wurde in einer Höhe ab Boden von 0,80 m mittig vor der Wärmestrahlerwand in einem Abstand von 2,0 m zu dieser installiert. Zur Messung der von der Wärmestrahlerwand ausgehenden Wärmestromdichte wurde ein Messständer mit zwei wassergekühlten Radiometern mittig der Wärmestrahlerwand in einem Abstand von 2,0 m zur Wärmestrahlerwand positioniert (siehe Bild 34c). Das Radiometer 1 (Messstelle R1 nach Tabelle A55) befand sich in einer Höhe von 0,80 m ab Boden. Hier war zugleich die vorgenannte Temperaturmessstelle T16 positioniert. Das Radiometer 2 (Messstelle R2 nach Tabelle A55) wurde am Messständer in einer Höhe von 1,50 m installiert.

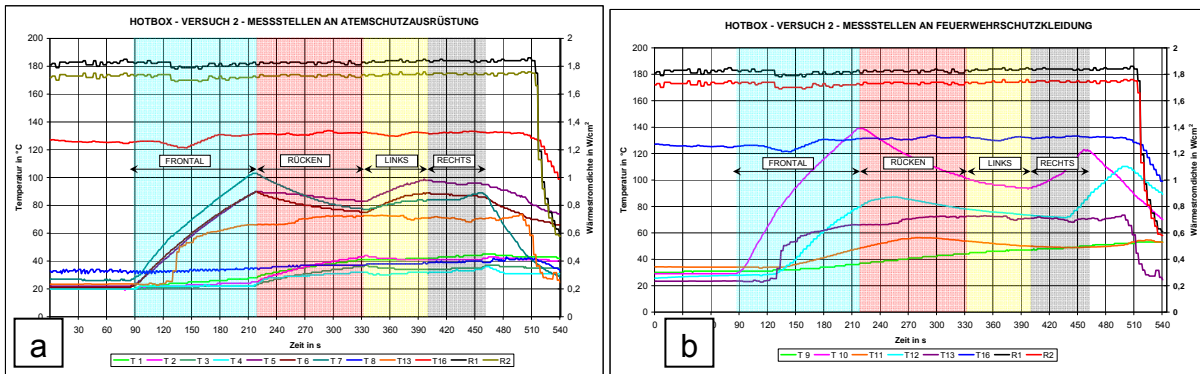
Die Untersuchungen in der Hotbox wurden durch drei Versuche (bezeichnet mit 1 bis 3) realisiert. In den Bildern 35 und 36 werden der Messplatz und der instrumentierte Proband vor der Wärmestrahlerwand dargestellt. Während der Versuche befand sich der Proband in einem Abstand von 2,0 m zur Wärmestrahlerwand, direkt neben dem Messständer mit den Radiometern. Er wechselte in bestimmten Zeitabständen seine Position (frontal und mit dem Rücken zur Wärmestrahlerwand sowie mit der rechten bzw. linken Körperseite zur Wärmestrahlerwand). Beispielhaft werden für den Versuch 2 im Bild 37 diese Positionen zeitbezogen dargestellt. Die Gesamtheit der Messergebnisse in der Hotbox wird grafisch durch die Bilder A114 bis A120 im Anhang ausgewiesen.



**Bild 35:** Hotbox mit Messplatz und Proband



**Bild 36:** Proband vor Strahlerwand



**Bild 37:** Beispiel Messwerte Hotbox-Versuch 2

Aus der Gesamtheit der in den Bildern A114 bis A120 dargestellten Messwerte resultieren die in Tabelle A56 für die Versuche 1 bis 3 jeweils für die Messstellen 1 bis 16 sowie R1 und R2 ausgewiesenen Maximalwerte. Zum Vergleich dieser Messwerte mit denen in der Brandübungsanlage werden in Tabelle A57 die gemessenen Maximalwerte an den Messstellen der Versuche in der Brandübungsanlage ausgewiesen. Es ist in diesem Zusammenhang festzustellen, dass die in den Tabellen A56 und A57 dargestellten Messwerte der Temperaturen und der Wärmestrahlung Maximalwerte darstellen, die teilweise nur zeitlich begrenzt auftraten und die, bezogen auf die Werte in Tabelle A57, auch unter unterschiedlichen Versuchsbedingungen ermittelt wurden. Dennoch spiegeln sie die objektiven Gegebenheiten der thermischen Belastung der einzelnen Komponenten der PSA unter den jeweiligen Versuchsbedingungen wider.

### 3.4.2 Vergleich der Messwerte zwischen Brandübungsanlage und Hotbox

Ein direkter Vergleich der bei der Brandübungsanlage einerseits und der Hotbox andererseits gemessenen Daten, insbesondere zur Wärmestrahlung, ist wegen unterschiedlicher Einbausituation in Relation zu Raumgröße, Abständen und Abmessungen der jeweiligen Wärmequellen (Brandcontainertür und Wärmestrahlerwand) nicht möglich. Es kann jeweils nur auf Unterschiede in den erreichten Niveaus hingewiesen werden. Der Vergleich der maximalen Messwerte in Bezug auf die Wärmestrahlung ergibt bei der Gegenüberstellung der Werte, die in 0,8 m Höhe über dem Boden gemessen wurden, mit W2 nach Tabelle A57 ( $1,43 \text{ W/cm}^2$ ) und R1 nach Tabelle A56 ( $1,84 \text{ W/cm}^2$ ) somit nur scheinbar eine ungefähre Übereinstimmung, da W2 hierbei auf die Raumdecke, R1 jedoch auf die Wärmestrahlerwand ausgerichtet waren. An der Position der Messstelle W1 (in Richtung auf die Brandraumöffnung) nach Tabelle A57 liegt die gemessene Wärmestromdichte bei gleicher Höhe über dem Boden bei nur  $0,75 \text{ W/cm}^2$ , während sie bei gleicher Position, jedoch in 1,5 m Höhe (auf die Raumdecke ausgerichtet), bei  $2,75 \text{ W/cm}^2$  liegt. Bei den Hotbox-Versuchen wurde nach Tabelle A56 in 1,5 m Höhe eine maximale Wärmestromdichte von  $1,76 \text{ W/cm}^2$  erreicht, wobei die Messfühler auf die Wärmestrahlerwand ausgerichtet waren. Während bei den Hotbox-Versuchen die Wärmestromdichten an den Messstellen R1 und R2 jeweils über die gesamten Versuchszeiträume konstant waren und aufgrund ihrer Ausrichtung auf die Wärmestrahlerwand auch sehr nahe beieinander lagen, variierten die Wärmestromdichten beim Versuch 7 (Rollover) in der Brandübungsanlage in einem Zeitfenster von ca. 4 min vor und nach dem Erreichen der Maximalwerte sehr stark, lagen hier aber im Bereich der in der Hotbox gemessenen Wärmestromdichten. Es wird jedoch unter Bezug auf die oben gemachten Feststellungen über den Einfluss der Positionierung der jeweiligen Messfühler im Raum darauf verwiesen, dass die im Brandraumcontainer positionierten Wärmestrahlungsaufnehmer eine aus Raumstrahlung und Flammenstrahlung der Stichflamme kombinierte Strahlung registrierten, während hingegen R1 und R2 nahezu ausschließlich Strahlung von der Wärmestrahlerwand empfangen.



Der Vergleich der maximalen Messwerte an den Temperaturmessstellen in der Brandübungsanlage (TB3, TB6, TB8 und TB9 nach Tabelle A57) mit denen in der Hotbox (T14 bis T16 nach Tabelle A56) hat ergeben, dass auch bei Auftreten scheinbar annähernd gleicher Wärmestromdichten die Temperaturen in der Brandübungsanlage wesentlich höher als die in der Hotbox waren und damit direkt nicht vergleichbar sind. Auch der Vergleich der an den Messstellen der PSA aufgetretenen Maximaltemperaturen bei den Versuchen in der Brandübungsanlage und in der Hotbox zeigt, dass mit Ausnahme der Temperaturen an den Messstellen T1 (Tabelle A56) und TM1 (Tabelle A57) sowie T7 (Tabelle A56) und TM7 (Tabelle A57) an allen anderen Messstellen der PSA in der Brandübungsanlage mindestens doppelt so hohe Maximaltemperaturen wie an den gleichen Messstellen der PSA in der Hotbox gemessen wurden. Zieht man als Vergleich nicht nur die aufgetretenen Maximaltemperaturen heran, so relativieren sich die vorgenannten Aussagen allerdings.

### **3.5 Schlussfolgerungen**

Die nachfolgende Tabelle 17 zeigt anhand ausgewählter Messstellen die in der Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe aufgetretenen maximalen Temperaturen und Wärmestrahlungen sowie die am Feuerwehrangehörigen aufgetretenen maximalen Werte für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit.



**Tabelle 17: Maximalen Werte für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit**

<b>Temperaturen am Feuerwehrangehörigen</b>	
<b>TM1 = 152 °C</b> Druckbehälter, oben, außen.....	V8, 4 min 16 s, Trainerbereich, FM stehend, Rollover
<b>TM6 = 168 °C</b> Gehäuse Lungenautomat, außen.....	V8, 4 min 12 s, Trainerbereich, FM stehend, Rollover
<b>TM8 = 99 °C</b> Atemlufttemperatur im Atemanschluss, Brillenhalter unterer Bereich...	V6, 9 min 56 s, Trainerbereich, FM kniend, Rollover
zusätzlich gegenüber Messkonzept vom Feb. 2009:	
<b>TM12 = 154 °C</b> unter dem Nackenschutz.....	V4.1, 1 min 34 s, Containermitte, FM stehend
<b>TM13 = 48 °C</b> Handrücken auf der Haut.....	V4.1, 4 min 45 s, Containermitte, FM Rückenlage; V6, 11 min 29 s, Trainerbereich, FM Bauchlage
<b>Feuchtesensoren am Feuerwehrangehörigen</b>	
<b>F1 = 83 % r. F.</b> unter der Rückentrageplatte.....	V4.1, 1 min 33 s, Containermitte, FM stehend
zusätzlich gegenüber Messkonzept vom Feb. 2009:	
<b>F2 = 90 % r. F.</b> unter dem rechten Schultergurt....	V4.1, 1 min 28 s, Containermitte, FM stehend; V5, 1 min 1 s, Containermitte, FM kniend
<b>Temperaturen in der Brandübungsanlage</b>	
<b>TB3 = 944 °C</b> Öffnung in 1,5 m Höhe über dem Fußboden, Mitte .....	V5, 4 min 19 s
<b>TB6 = 266 °C</b> Trainerbereich, 50 cm vor der Öffnung in 1,5 m Höhe über dem Fußboden, Mitte.....	V5, 6 min 31 s
<b>TB8 = 480 °C</b> Vorraum Mitte, Decke zentral.....	V7, 6 min 16 s, Rollover
<b>TB9 = 210 °C</b> Vorraum Mitte in 1,5 m Höhe.....	V4.1, 3 min 32 s
<b>Wärmestrahlung in der Brandübungsanlage</b>	
<b>W1 = 0,75 W/cm<sup>2</sup></b> Vorraum Mitte in 0,8 m Höhe auf die Brandraumöffnung gerichtet.....	V7, 5 min 6 s, Rollover
<b>W2 = 1,43 W/cm<sup>2</sup></b> Vorraum Mitte in 0,8 m Höhe zur Decke gerichtet.....	V7, 5 min 6 s, Rollover
<b>W3 = 2,75 W/cm<sup>2</sup></b> Vorraum Mitte in 1,5 m Höhe zur Decke gerichtet.....	V7, 5 min 6 s, Rollover

In Verbindung mit den maximal ermittelten Messwerten sämtlicher Messstellen in Tabelle A53 erkennt man, dass der in der DIN EN 137 „Atemschutzgeräte – Behältergeräte mit Druckluft (Pressluftatmer) mit Vollmaske – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung“ angegebene Temperaturbereich von –30 °C bis 60 °C (Gerät muss in diesem Bereich störungsfrei arbeiten) bei den Versuchen mehrfach überschritten wurde.

Nachfolgend werden zwei Temperaturen ausgewählt, die sowohl die maximale Belastung der PSA von außen (Messstelle TM6: Gehäuse Lungenautomat außen) als auch von innen (Messstelle TM8: Atemlufttemperatur im Atemanschluss, Brillenhalter unterer Bereich) zeigen. Es wird hierbei sowohl die Zeit angegeben, bei der der Maximalwert der Temperatur gemessen wurde, als auch die gesamte Versuchszeit.

**Tabelle 18:** Maximale Temperaturen an der Temperaturmessstelle TM6 (Gehäuse Lungenautomat)

V4:	TM6= 96 °C, Temperatur nach 1 min 35 s erreicht	Versuchszeit gesamt: 7 min 10 s
V4.1:	TM6= 147 °C, Temperatur nach 1 min 28 s erreicht	Versuchszeit gesamt: 6 min 31s
V5:	TM6= 152 °C, Temperatur nach 3 min 32 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 5 min 30 s
V6:	TM6= 124 °C, Temperatur nach 5 min 31 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 12 min 44 s
V7:	TM6= 148 °C, Temperatur nach 5 min 11 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 7 min 54 s
V8:	TM6= 168 °C, Temperatur nach 4 min 12 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 5 min 50 s

Am Gehäuse des Lungenautomaten trat somit eine maximale Temperatur von bis zu 168 °C (siehe Tabelle 18) auf. Insbesondere die Temperaturen an Messstelle TM8 im Atemanschluss weisen nicht nur kurzzeitige Temperaturerhöhungen auf, diese steigen kontinuierlich während aller durchgeführten Versuche an (siehe Tabelle 19).

**Tabelle 19:** Maximale Temperaturen an der Temperaturmessstelle TM8 (Atemlufttemperatur im Atemanschluss)

V4:	TM8= 45 °C, Temperatur nach 3 min 18 s erreicht	Versuchszeit gesamt: 7 min 10 s
V4.1:	TM8= 67 °C, Temperatur nach 3 min 2 s erreicht	Versuchszeit gesamt: 6 min 31s
V5:	TM8= 70 °C, Temperatur nach 5 min 30 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 5 min 30 s
V6:	TM8= 99 °C, Temperatur nach 9 min 56 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 12 min 44 s
V7:	TM8= 93 °C, Temperatur nach 6 min 13 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 7 min 54 s
V8:	TM8= 84 °C, Temperatur nach 5 min 40 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 5 min 50 s

Weiterhin treten unter dem Nackenschutz beträchtliche Temperaturen (Messstelle TM12) von bis zu 154 °C auf, wie die Tabelle 20 zeigt.

**Tabelle 20:** Maximale Temperaturen an der Temperaturmessstelle TM12 (unter dem Nackenschutz)

V4:	TM12= 123 °C, Temperatur nach 1 min 39 s erreicht	Versuchszeit gesamt: 7 min 10 s
V4.1:	TM12= 154 °C, Temperatur nach 1 min 34 s erreicht	Versuchszeit gesamt: 6 min 31s
V5:	TM12= 106 °C, Temperatur nach 4 min 47 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 5 min 30 s
V6:	TM12= 147 °C, Temperatur nach 5 min 28 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 12 min 44 s
V7:	TM12= 150 °C, Temperatur nach 6 min 25 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 7 min 54 s
V8:	TM12= 138 °C, Temperatur nach 1 min 21 s erreicht	Versuchszeit gesamt : 5 min 50 s

Bei den Messwerten liegt die Tendenz vor, dass die maximalen Messwerte am Feuerwehrangehörigen in der Position stehend, jedoch auch in kniender Position, Bauch- und Rückenlage, aber immer nur im Trainerbereich, auftreten.

Die höheren Temperaturen treten überwiegend auf der Körpervorderseite auf. Der Pressluftatmer auf dem Rücken wird daher, mit Ausnahme des Druckbehälters oben außen, geringer thermisch belastet.

Betrachtet man nach Tabelle 19 die relativ kurzen Versuchszeiten vom Eintreten in den Container bis zum Wiederverlassen des Containers bei den durchgeführten Versuchen und die Zeit, bei der die maximale Temperatur im Atemanschluss aufgetreten ist, so erkennt man, dass in kurzer Zeit die zulässige Temperatur von 60 °C selbst innerhalb des Atemanschlusses, mit Ausnahme bei Versuch 4, überschritten wird, wobei eine maximale Temperatur bis zu 99 °C auftrat.

Zum Vergleich wurde im Bild 5 der Wert der durch die Erdatmosphäre gedämpften Wärmestrahlung für die Sonneneinstrahlung eingefügt. Dieser beträgt bei idealen Wetterbedingungen auf der Erdoberfläche maximal ca.  $0,1 \text{ W/cm}^2$ ; Solarkonstante =  $0,1367 \text{ W/cm}^2$ .

Der maximale Wert für die Bestrahlungsstärke lag nach Tabelle A53 des Anhangs bei allen Versuchen über diesem Vergleichswert. Die Wärmestrahlung

beim Rollover wies in 0,8 m Höhe (Aufnehmer W1, auf den Brandraum gerichtet) einen maximalen Wert von  $0,75 \text{ W/cm}^2$  ( $\triangleq 7,5 \text{ kW/m}^2$ ) und in 1,5 m Höhe (Aufnehmer W3, auf die Decke des Vorraumcontainers gerichtet) einen maximalen Wert von  $2,75 \text{ W/cm}^2$  ( $\triangleq 27,5 \text{ kW/m}^2$ ) auf.

Dieser in der Brandübungsanlage gemessene Maximalwert der Wärmestrahlung kann jedoch z. B. bei einem realen Wohnzimmerbrand nach dem Flashover, wie Untersuchungen an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik gezeigt haben (siehe AP1), um mindestens das Doppelte überschritten werden.

Die Bestrahlungsstärke, bei der Selbstentzündung auftritt, liegt bei Holz und Holzfaserverleimungen im Bereich zwischen  $2,5$  und  $3,4 \text{ W/cm}^2$  und bei Textilien und Baumwolle im Bereich zwischen  $2,4$  und  $3,4 \text{ W/cm}^2$ , bei Fremdentzündung ab ca.  $1 \text{ W/cm}^2$ .

Berücksichtigt man jetzt noch die Tatsache, dass es sich um Messwerte aus dem relativ unkritischen Übungsbetrieb in einer feststoffbefeuelten Brandübungsanlage handelt und nur bedingt die real mögliche Gefährdung durch Flashover auftreten kann, was hinsichtlich des kurzfristig auftretenden Belastungsniveaus dem Backdraft entspricht, sind die in diesen Untersuchungen ermittelten thermischen Belastungen (Temperatur und Wärmestrahlung) als untere Grenze für die Belastung der Feuerwehreinsatzkräfte im realen Einsatz anzusehen. Nach den Ergebnissen im Arbeitspaket 1 tritt der Flashover im Bereich von 1 min bis 30 min (im Durchschnitt nach 7 min) auf.

Die mit den Untersuchungen in der Hotbox verfolgte Zielstellung, die thermischen Rahmenbedingungen der Brandübungscontainer-Versuche nachzustellen, um die dort erzielten Ergebnisse reproduzierbar und statistisch sicherer zu gestalten, konnte auf Grund der thermischen Rahmenbedingungen in der Hotbox nicht im angestrebten Umfang erreicht werden. Dennoch waren diese Untersuchungen sehr aufschlussreich. Durch den Einsatz des Probanden bei den Versuchen in der Hotbox wurden die durch die thermischen

Einwirkungen sichtbar werdenden physischen Grenzen des Probanden aufgezeigt. Die Versuche in der Hotbox wurden nicht einfach nach einer gewissen Zeit abgebrochen, sie wurden beendet auf Grund des Erreichens des Limits der thermischen Belastbarkeit des Probanden. Das war in der Regel nach 6 bis 7 min der Fall. Diese Grenze der thermischen Belastbarkeit wurde offenbar bei den Versuchen in der Brandübungsanlage trotz des Auftretens höherer Temperaturmaximalwerte bei den an den Übungen als „Auszubildende“ teilnehmenden Feuerwehrangehörigen mit Trainerausbildung und dem Trainer selbst (instrumentiert und in regelmäßig exponierter Position) während der Dauer der Belastung durch trockene Wärme noch nicht erreicht. Jedoch wurden die Werte unmittelbar nach erfolgtem Löscheinsatz durch die feuchte Wärme mit erheblich höherem Wärmeübergang rasch überschritten. Gründe für die Feststellungen der unterschiedlichen Belastungen bei trockener Wärme könnten eine kürzere Verweildauer in der Brandübungsanlage sein. Außerdem könnte die Zeitdauer der Einwirkung der Temperaturen an den Messstellen der PSA vergleichsweise geringer sein als die bei den Versuchen in der Hotbox. Ursache für das doch relativ schnelle Erreichen des Limits der thermischen Belastbarkeit des Probanden in der Hotbox kann, trotz der geringeren Brandraumtemperaturen in der Hotbox gegenüber denen in der Brandübungsanlage, die während der gesamten Aufenthaltsdauer des Probanden in der Hotbox vorherrschende konstant hohe Intensität der Wärmestrahlung (siehe Bilder A114 bis A120) sein. Dies war bei den Versuchen in der Brandübungsanlage nicht der Fall.

Hinsichtlich der verschiedenen möglichen Materialbelastung der PSA im realen Einsatz oder in der feststoffbefeueten Brandübungsanlage einerseits und in der Hotbox andererseits sind Beurteilungen noch nicht abschließend möglich. Im Ausblick auf weitere Untersuchungen ist es erforderlich, die Auswirkungen von hohen, kurzfristig auftretenden Spitzenwerten von Temperatur und Wärmestrahlung in Verbindung mit einem vergleichsweise niedrigen Basisniveau der Belastung beim realen Einsatz, wie er sich aus den in Kapitel 2 beschriebenen Literaturwerten ableiten lässt, zu bewerten. Ebenso muss eine Bewertung der Bedingungen im Brandübungscontainer mit hohen Spitzen und vergleichsweise niedrigem Basisniveau im Vergleich zu dem in der Hotbox zwar

insgesamt länger andauernden, aber höheren Basisniveau ohne Temperatur- und Wärmestrahlungsspitzen erfolgen. Dies ist bezüglich der Komponenten der PSA eine Aufgabe, die eine umfangreichere Nutzung wissenschaftlicher Grundlagen erfordert, als dies im Rahmen des hier durchgeführten Teilprojekts bisher möglich war.

## **4 Thermische Belastungsprofile**

### **4.1 Aufgabenstellung gemäß Auftrag**

In diesem Arbeitspaket werden die typischen thermischen Belastungsprofile für den Einsatz (Innenangriff) und die Ausbildung aus den Ergebnissen der Arbeitspakete AP 1 und AP 2 definiert.

### **4.2 Methodik zur Gewinnung eines Belastungsprofils**

Nachfolgend wird auf die Empfehlungen der AGBF [AGBF 1998] sowie auf Untersuchungen in der O.R.B.I.T-Studie [Beyerle et al. 1978] eingegangen. Im In- und Ausland gilt als „kritisches“ Schadensereignis der Brand, der regelmäßig die größten Personenschäden fordert. In deutschen Städten ist dies der Wohnungsbrand im Obergeschoß eines mehrgeschossigen Gebäudes bei verrauchten Rettungswegen.

Bisher geht man von folgenden Randbedingungen für die Gefährdung von Personen aus (ohne PSA, also betroffene Nutzer):

- Erträglichkeitsgrenze für eine Person im Brandrauch: ca. 13 min,
- Reanimationsgrenze für eine Person im Brandrauch: ca. 17 min,
- Zeit vom Brandausbruch bis zum Flashover: 18 bis 20 min.

Die Zeitdauer vom Brandausbruch bis zum Wirksamwerden der Feuerwehrmaßnahmen setzt sich generell aus verschiedenen Zeitabschnitten zusammen (Tabelle 21).

**Tabelle 21:** Zeitdauer vom Brandausbruch bis zum Wirksamwerden der Feuerwehrmaßnahmen

	<b>Zeitpunkt</b>	<b>Bezeichnung des Zeitabschnitts</b>	
1	Brandausbruch	> Entdeckungszeit	3 min
2	Brandentdeckung	> Meldezeit	
3	Betätigung einer Meldeeinrichtung (Telefon, Notrufmelder usw.)	> Aufschaltzeit	
4	Beginn der Notrufabfrage in der zuständigen Notrufabfragestelle	> Gesprächs- und Dispositionszeit	1,5 min
5	Alarmierung der Einsatzkräfte	> Ausrückezeit	8 min
6	Ausrücken der Einsatzkräfte	> Anfahrzeit	
7	Eintreffen an der Einsatzstelle	> Erkundungszeit	4 min
8	Erteilung des Einsatzauftrages	> Entwicklungszeit	
9	Wirksamwerden der Einsatzmaßnahmen		

Zur Definition der Hilfsfrist eignen sich nur solche Zeitabschnitte, die von der Feuerwehr beeinflussbar und dokumentierbar sind.

Hierunter fallen

- die Gesprächs- und Dispositionszeit,
- die Ausrückezeit sowie
- die Anfahrzeit.

Die Hilfsfrist ist in der Regel die Zeitdifferenz zwischen dem Beginn der Notrufabfrage - möglichst ab der ersten Signalisierung des ankommenden Notrufes - in der Notrufabfragestelle und dem Eintreffen des ersten Feuerwehrfahrzeuges an der Einsatzstelle. Es ist jedoch darauf zu verweisen, dass selbst in Deutschland kein einheitlicher Gebrauch dieses Begriffes erfolgt.

In Ermangelung genauer statistischer Daten wird in der AGBF-Empfehlung angenommen, dass beim kritischen Wohnungsbrand die Entdeckungs-, die Melde- und die Aufschaltzeit in Städten ca. 3 min sowie die Erkundungs- und Entwicklungszeit ca. 4 min betragen. In der AGBF-Empfehlung wird jedoch angemerkt, dass hierzu eine wissenschaftliche Untersuchung noch notwendig ist. Es scheint überhaupt fraglich zu sein, ob sich exakte Werte wissenschaftlich begründen lassen.

Entsprechend der AGBF-Empfehlung setzt sich die Hilfsfrist aus folgenden Zeitabschnitten zusammen:

- 1,5 min für die Gesprächs- und Dispositionszeit sowie
- 8 min für die Ausrücke- und Anfahrzeit.

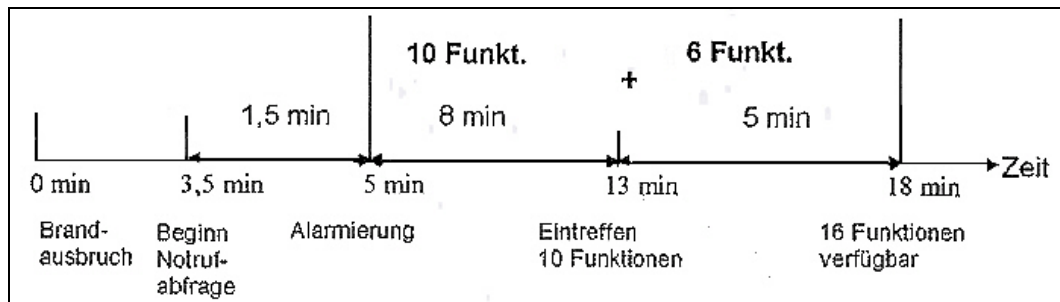
Ähnliche Fristen werden auch international für den Brandschutz, die technische Hilfeleistung und die Notfallrettung angewendet.

Beim „Kritischen Wohnungsbrand“ müssen entsprechend der AGBF-Empfehlung zur Menschenrettung und zur Brandbekämpfung mindestens 16 Einsatzfunktionen zur Verfügung stehen. Diese 16 Einsatzfunktionen können als eine Einheit oder durch Addition mehrerer Einheiten sichergestellt werden. Die Kombination von Berufs- und freiwilliger Feuerwehr ist möglich. Sofern die Einheiten nicht gleichzeitig eintreffen, kann mit zumindest 10 Funktionen in der Regel nur die Menschenrettung unter vorübergehender Vernachlässigung der Eigensicherung eingeleitet werden.

Um die Menschenrettung noch rechtzeitig durchführen zu können, sind beim „Kritischen Wohnungsbrand“ die ersten 10 Funktionen innerhalb von 8 min nach Alarmierung erforderlich. Nach weiteren 5 min (das sind also 13 min nach Alarmierung) müssen vor einem möglichen „Flashover“ mindestens 16 Funktionen vor Ort sein. Diese weiteren 6 Funktionen sind zur Unterstützung bei der Menschenrettung, zur Brandbekämpfung, zur Entrauchung sowie zur Eigensicherung der Einsatzkräfte erforderlich. Die Aufgaben der Funktionen richten sich nach den örtlichen Festlegungen. Nach örtlichen Gegebenheiten



und den Risikobetrachtungen sind gegebenenfalls die Funktionszahlen zu erhöhen und die Zeitwerte zu reduzieren. Der zeitliche Ablauf stellt sich nach der AGBF-Empfehlung entsprechend Bild 38 dar.



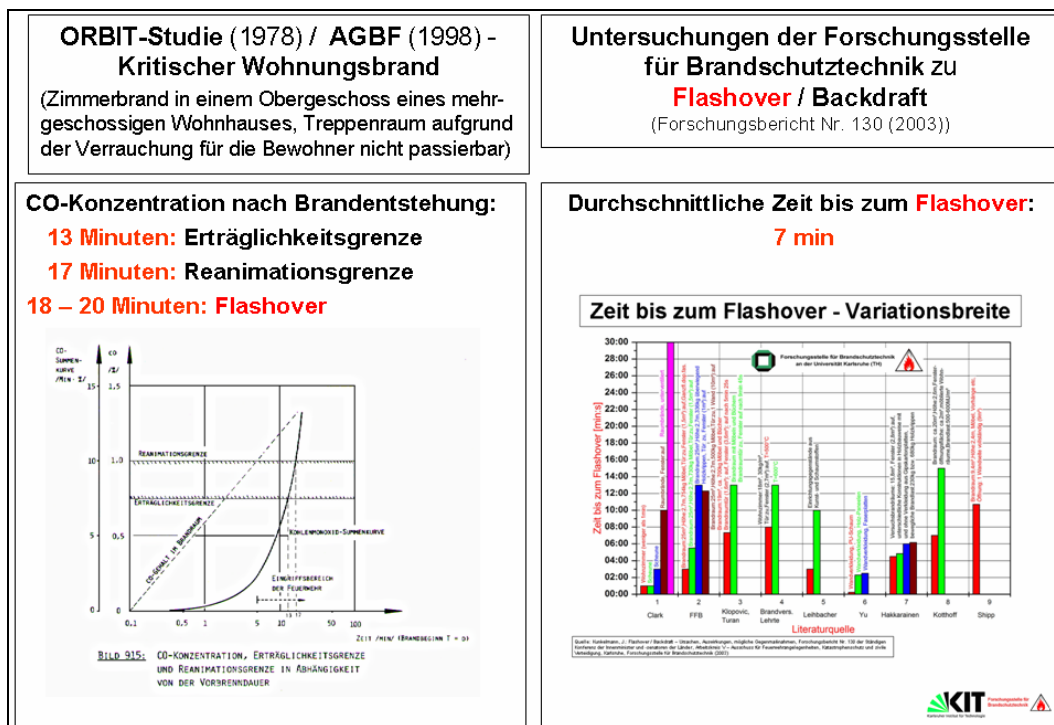
**Bild 38:** Zeitlicher Ablauf eines Feuerwehreinsatzes gemäß AGBF

Nach Knorr sind bei deutschen Feuerwehren nach vfdb-Richtlinie 0802 nur solche Pressluftatmer zu verwenden, deren Atemluftvorrat mindestens 1600 l beträgt [Knorr 2008]. Es ergeben beispielsweise bei zwei 4 l - Flaschen mit einem Fülldruck von 200 bar 1600 l Atemluft ( $2 \cdot 4 \cdot 200$ ) oder bei einer 6 l - Flasche mit 300 bar Fülldruck 1800 l Atemluft ( $1 \cdot 6 \cdot 300$ ). Allerdings ist letztere Berechnung nicht ganz korrekt, da Luft bei so hohen Drücken nicht mehr als ideales Gas angesehen werden kann, sodass sich nur ein nutzbarer Luftvorrat von knapp 1650 l ergibt. Für einen Einsatz, bei dem im Durchschnitt mittelschwere Arbeit verrichtet wird (Luftverbrauch 30 bis 40 l/min nach den Angaben von [Knorr 2008]) kann daher eine Gebrauchsdauer von 40 bis 50 min angesetzt werden. Hiervon sind aber noch die Zeiten für den Rückzug sowie eine Reserve für unvorhergesehene Ereignisse abzuziehen. Realistisch ist daher eine Einsatzzeit von 30 bis maximal 40 min. Es ist jedoch zu beachten, dass bei sehr schweren Tätigkeiten wie zum Beispiel Arbeiten im Chemikalienschutzanzug sich diese Zeit noch einmal deutlich verringern kann.

Von Louhevaara wurde die maximale Leistungsfähigkeit von 12 gesunden Feuerwehrmännern auf einem Laufband ohne und mit mehrlagiger Feuerwehreinsatzkleidung nach EN 469 bei normalen Umgebungsbedingungen untersucht [Louhevaara et al. 1995]. Die Abnahme der Leistungsfähigkeit mit Feuerwehrkleidung lag bei den Versuchen bei 18 bis 34 % bei einem Sauerstoffverbrauch von 2,70 bis 5,86 l/min. Diese Werte können zum Vergleich

mit an anderem Ort verwendeten oder vorgeschlagenen Anhaltswerten für die Atemluftkapazität von Pressluftatmern herangezogen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass in [Louhevaara et al. 1995] der Sauerstoffverbrauch und nicht den Luftverbrauch (etwa das fünffache) angegeben wird. Dies wären dann etwa 15 bis 30 l/min Luft.

Zur Verifizierung dieser Aussagen wurden in den Arbeitspaketen AP1 und AP2 des Forschungsprojektes untersucht, wie hoch die thermischen Belastungen sind, welche im realen Einsatzfall und im Übungsfall nach bisherigem Kenntnisstand auf Feuerwehreinsatzkräfte einwirken können (siehe Bild 39).



**Bild 39:** Zeit bis zum Flashover – Variationsbreite [Kunkelmann 2003] – Vergleich mit ORBIT-Studie [Beyerle et al. 1978] und AGBF-Empfehlung [AGBF 1998]

Die Tabelle 22 zeigt einen Vergleich aus verschiedenen nationalen und internationalen Untersuchungen von in ca. 1,5 m Höhe gemessenen maximalen Temperaturen bei unterschiedlichen Übungs- und Brandszenarien, wofür vergleichbare Messstellen herangezogen wurden.

**Tabelle 22:** Gegenüberstellung von Temperaturmesswerten gemäß der ausgewerteten Literatur in 1,50 m Höhe

Quelle / Szenario	DIN EN 137	FEU	Feuerwehr Aachen	DMT	FFB	Feuerwehr Karlsruhe (Orientierende Vorversuche)
<b>Feststoffbetriebener Brandübungscontainer</b>	-	<b>235 °C</b> an der Versuchsperson für 5 s (Abschirmung der Versuchsperson vor direkter Wärmestrahlung)	<b>350 °C</b> (1,62 m vor Brandraumöffnung)  <b>470 °C</b> (0,42 m vor Brandraumöffnung)	<b>450 °C</b>	-	Trainerbereich, bis 1,1 m vor der Öffnung: <b>150 °C - 330 °C</b> ,  an der Brandraumentür bis <b>ca. 900 °C</b>
<b>Feststoffbetriebener Brandtunnel</b>	-	-	-	<b>100 °C – 290 °C</b>	-	-
<b>Realbrände mit Feststoffen in Brandräumen</b>	-	-	-	-	<b>250 °C – 450 °C</b> im Flur vor dem Brandraum	-
<b>Realbrände mit Möbel in Brandräumen</b>	-	-	-	-	<b>100 °C – 400 °C</b> im Flur vor dem Brandraum während des Löscheinsatzes, (an der Oberkante der Brandraumentür bis <b>900 °C</b> )	-
<b>Gasbetriebene Prüf- bzw. Übungsanlage</b>	Vorwärmung: <b>90 ± 5 °C</b> , Expositionszeit: 15 ± 1 min  Beflammung: <b>950 ± 50 °C</b> für 10 s	-	-	<b>Im Vergleich zu den feststoffbefeierten Heißausbildungsanlagen deutlich geringere Umgebungstemperaturen.</b>	-	-

Die thermische Belastung aufgrund eines Flashovers, eines Backdrafts (mit Druckaufbau) oder einer Rauchgasdurchzündung sind stets eine realistische Gefährdung, mit der die Feuerwehreinsatzkraft immer rechnen muss.

Im Einsatzgeschehen können bei einem Vollbrand mit üblichen Brandstoffen, der auf einen Flashover (Beginn des Flashovers bei 500 bis 600 °C) oder auf einen Backdraft bzw. einer Rauchgasdurchzündung folgt, zum Beispiel bei einer Wohnungseinrichtung, kurzfristig Temperaturen aus Heißgasen im Bereich von bis zu 1100 °C einwirken. Temperaturen im Flur vor dem Brandraum können durchaus Werte um 450 °C erreichen.

Aufgrund der Variationsbreite der Zeit bis zum Flashover [Kunkelmann 2003] im Bereich zwischen 1 min und 30 min (nach ca. 7 min im Durchschnitt) können sich frühzeitig im Einsatz beträchtliche Gefährdungen für Feuerwehreinsatzkräfte ergeben. Es ist anzufügen, dass die im Realfall tatsächlich auftretenden Temperaturen und Wärmestrahlungen beim Vollbrand einer erheblichen Bandbreite unterliegen können. Diese ist weitgehend von der Brandlast und den Ventilationsbedingungen abhängig. Auch die Umfassungsbauteile können sich auf die Maximaltemperaturen auswirken. Es ist jedoch unterstellt, dass diese Einwirkung nur wenige Sekunden bei einem geplanten Löschangriff in überschaubarer und bewertbarer Risikosituation anhalten kann.

Die thermische Belastung in Übungsanlagen ist offensichtlich derart konzipiert, dass sich kurzfristig – durchaus im Bereich von 1 min – Temperaturen im Bereich von rund 100 bis 450 °C in 1,5 m Höhe einstellen können. Dies richtet sich nach der Übungsanlagenkonzeption und dem Übungsziel (mit oder ohne Löscheintritt).

### **4.3 Festlegung von maßgeblichen Belastungsprofilen**

Aufgrund der Tatsache, dass die Ausbildung in Brandübungsanlagen dem richtigen Verhalten der Feuerwehreinsatzkräfte bei realen Bränden dienen soll, wird nachfolgend die thermische Belastung für den Innenangriff beim Standardszenario „Kritischer Wohnungsbrand“ dargestellt.

Gemäß der Feuerwehr-Dienstvorschrift FwDV 7 „Atemschutz“ ergeben sich für den Hin- und Rückweg folgende Definitionen [FwDV 7 2004]:

- Der Hinweg ist diejenige Strecke, die der vorgehende Atemschutztrupp nach Beginn der Atemluftversorgung mit dem Atemschutzgerät bis zu dem Ort zurücklegt, an dem er tätig wird (z. B.: Brandbekämpfung, Öffnen von Fenstern bei Verrauchungen von Gebäuden).

- Der Rückweg ist diejenige Strecke, die der Atemschutztrupp vom Ort seiner Tätigkeit bis zum Ort, an dem er gefahrlos den Atemanschluss absetzen kann, zurücklegen muss.

Für die Berechnung der voraussichtlich zur Tätigkeit verbleibenden Einsatzzeit ist die für den Hinweg verbrauchte und die für den Rückweg zu erwartende Atemluftmenge der begrenzende Faktor. Für den Rückweg ist in der Regel die doppelte Atemluftmenge einzuplanen, die für den Hinweg verbraucht wurde [FwDV 7 2004].

Nach Eintreffen an der Einsatzstelle stehen entsprechend AGBF-Empfehlungen für die Erkundungszeit und die Entwicklungszeit bis zum Wirksamwerden der Einsatzmaßnahmen 4 min zur Verfügung. Der Brand entwickelt sich nach AGBF vor diesem Zeitraum bereits 12,5 min. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Dauer bis zum Flashover von 7 min entsprechend den Erkenntnissen aus AP1 folgt, dass die Feuerwehr unter Vollbrandbedingungen mit den entsprechend hohen Temperaturen den Brand bekämpfen muss und die PSA dementsprechend je nach Brandbekämpfungstaktik thermisch mehr oder weniger hoch belastet wird. Zum einen spielen die Grenzen der thermischen Belastbarkeit des Feuerwehrangehörigen eine Rolle. Durch kurz oder länger einwirkende Temperatur über 50 °C (Flammeneinwirkung, heiße Gase und Flüssigkeiten) entstehen bereits Gewebeschädigungen [Mommsen 1990]. Zum anderen stellen die Materialkennwerte der PSA-Bauteile eine Grenze für das Versagen der Bauteile der PSA dar. Die Tabelle 23 zeigt beispielhaft einige maximale Einsatztemperaturen von verschiedenen Gummi- und Kunststoffwerkstoffen. Für genauere Beurteilungen müssten die entsprechenden Werte der Hersteller der PSA herangezogen werden.

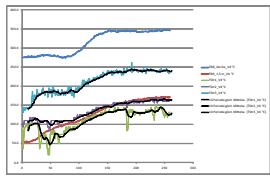
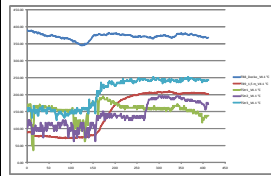
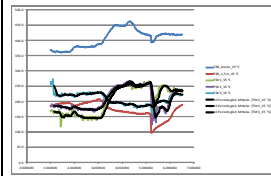
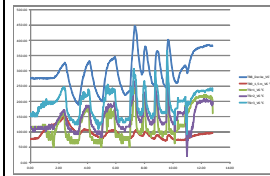
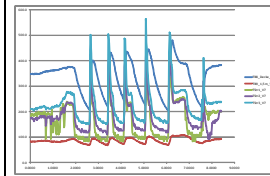
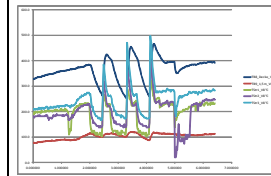
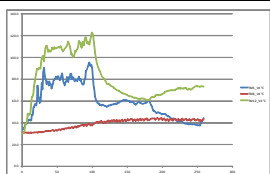
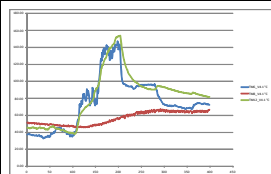
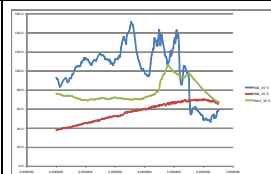
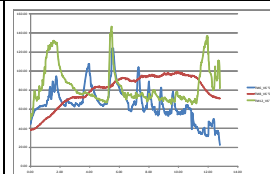
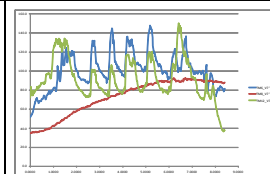
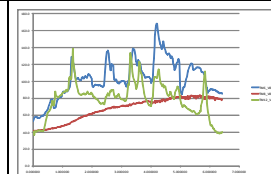
**Tabelle 23:** Auswahl Gummi und Kunststoffe für Dichtungswerkstoffe, Visiere, Kleidung etc

Werkstoff	Max. Temperatur in °C
Naturkautschuk	80
BunaN®	100
EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Monomer)	110
Polycarbonat	130
Polyamid	140
Silikon-Kautschuk	150
Viton®	205
Teflon®	260
Nomex®	kurzfristig bis 360

In Abhängigkeit von der Brandentwicklung, der Wärmefreisetzung und der Effektivität des Löscheinsatzes kann mehr oder weniger schnell die thermische Belastbarkeit von Feuerwehrangehörigem und PSA erreicht werden. Insbesondere haben die Bildung der Menge an Wasserdampf beim Löschvorgang und die Durchnässung der Feuerwehrkleidung ganz entscheidenden Einfluss auf die Einsatzfähigkeit des Feuerwehrangehörigen.

Aufgrund der Verrauchung (Orientierung) und Wärmeentwicklung im Gebäude sowie der Gebäudestruktur (enge Treppenträume etc.) ist es nur sehr bedingt möglich, einen genormten zeitlichen Ablauf des Feuerwehreinsatzes (Hinweg zum Brandraum, Brandbekämpfung und Menschenrettung, Rückweg, evtl. Notlagen (Flashover, Backdraft, Rauchgasdurchzündung, Druckbehälterzerknall, Bewegungslosigkeit oder Bewusstlosigkeit des Feuerwehrangehörigen)) anzugeben, der die möglichen zu erwartenden Spitzenbelastungen auf der sicheren Seite beschreibt.

**Tabelle 24:** PSA Versuche in HBUEA bei der Feuerwehr Karlsruhe

Messstelle	_V4 Zeitraum 7,15 min △ Bild 12	_V4.1 Zeitraum 6,5 min △ Bild 20	_V5 Zeitraum 5,5 min △ Bild 28	_V6 Zeitraum 12,8 min △ Bild 41	_V7 Zeitraum 7,9 min △ Bild 55	_V8 Zeitraum 5,8 min △ Bild 65
	Mittelwerte [°C] / Maximalwerte [° C]/ Abweichung [%]	Mittelwerte [°C] / Maximalwerte [° C]/ Abweichung [%]	Mittelwerte [°C] / Maximalwerte [° C]/ Abweichung [%]	Mittelwerte [°C] / Maximalwerte [° C]/ Abweichung [%]	Mittelwerte [°C] / Maximalwerte [° C]/ Abweichung [%]	Mittelwerte [°C] / Maximalwerte [° C]/ Abweichung [%]
TB8_Decke	315 / 348 / 10 %	371 / 382 / 3 %	405 / 463 / 14 %	299 / 446 / 49 %	335 / 480 / 43 %	366 / 466 / 27 %
TB9_1,5 m	124 / 172 / 39 %	172 / 210 / 22 %	172 / 207 / 20 %	95 / 151 / 59 %	86 / 107 / 24 %	102 / 121 / 19 %
TStr1	109 / 150 / 38 %	157 / 210 / 34 %	203 / 267 / 32 %	128 / 280 / 119 %	162 / 336 / 107%	213 / 322 / 51 %
TStr2	135 / 171 / 27 %	153 / 195 / 27 %	208 / 267 / 28 %	146 / 316 / 116 %	180 / 439 / 144%	211 / 401 / 90%
TStr3	211 / 261 / 24 %	227 / 252 / 11 %	209 / 272 / 30 %	192 / 365 / 90 %	227 / 564 / 148 %	245 / 497 / 103 %
TM6	60 / 96 / 60 %	90 / 147 / 63 %	102 / 152 / 49 %	65 / 124 / 91 %	101 / 148 / 46 %	103 / 168 / 63 %
TM8	39 / 44 / 13 %	59 / 67 / 14 %	57 / 70 / 23 %	80 / 99 / 24 %	72 / 93 / 29 %	67 / 84 / 25 %
TM12	81 / 122 / 51 %	97 / 154 / 59 %	78 / 106 / 36 %	84 / 147 / 75 %	92 / 150 / 63 %	79 / 138 / 75 %
Diagramm Raum						
Diagramm Proband						
Zeitraum	7,15 min	6,5 min	5,5 min	12,8 min	7,9 min	5,8 min
<b>Wärmestrahlung Maximalwerte</b>						
W1 [kW/m²]	1,5	2,4	4,5	5	7,5	6,8
W2 [kW/m²]	1,9	2,4	4,5	6,5	14,3	11,4
W3 [kW/m²]	4,3	4	4,7	9,1	27,5	19,6

Die Tabelle 24 zeigt sowohl die über den jeweiligen Versuchszeitraum gemittelten als auch die maximalen in der Brandübungsanlage aufgetretenen Temperaturen an den hierfür ausgewählten Messstellen. Dies sind TB8 (Vorraum Mitte, Decke, zentral) und TB9 (Vorraum Mitte in 1,5 m Höhe) im Vorraumcontainer sowie die Temperaturmessstellen TM6 (Gehäuse Lungenautomat außen), TM 8 (Atemlufttemperatur im Atemanschluss am Brillenhalter, im unteren Bereich der Maske) und TM12 (unter dem Nackenschutz) am Feuerwehrangehörigen. Zusätzlich sind die Unterschiede zwischen Maximalwert und Mittelwert in Prozent angegeben, um insbesondere für die Versuche 6 bis 8 das Ausmaß der durch die Rauchgasdurchzündungen beim Öffnen und Schließen der Brandraumtür verursachten Signalschwankungen aufzuzeigen. Diese sind weiterhin auf den der Tabelle 24 beigelegten Diagrammen pauschal gut zu erkennen.

Zusätzlich werden die mittleren und die maximalen aus den Signalen der Wärmestahlungsaufnehmer (Gesamtwärmestrom aus Strahlung und Konvektion) W1 bis W3 errechneten Schwarzkörpertemperaturen TStr1 bis TStr3 sowie die Maximalwerte der aufgetretenen Wärmestahlung angegeben. Die Schwarzkörpertemperatur ist ein Maß für die Belastung der Oberflächen von Komponenten der PSA und natürlich auch der Probanden. Hierbei umfasst die auftreffende Wärmestahlung alle Anteile strahlender Festkörperoberflächen und heißen Brandrauchs einschließlich Flammen aus dem Halbraum oberhalb des Sensorelementes. Es ist somit der jeweilige Strahlungsanteil aus der geöffneten Brandraumtür, die Strahlungsabgabe aufgeheizter Umgebungsbauteile im genannten Halbraum und die aus dem Brandraum im Zuge von Rauchgasdurchzündungen (Rollover) für das Sensorelement sichtbare Flammenstrahlung enthalten. Die hieraus errechnete Schwarzkörpertemperatur liegt notwendigerweise deutlich oberhalb von Thermoelementmesswerten an derselben Position, z. B. TB9 und TStr3. Dies ist dadurch zu erklären, dass das Thermoelement Wärme durch Abstrahlung an den relativ kalten Boden abgibt, und außerdem infolge der Materialeigenschaften des Thermoelementmantels einen Teil der Strahlung reflektiert.



Für die thermische Belastung des Feuerwehrangehörigen und der PSA sind die Mittelwerte der Temperaturmessungen unter Berücksichtigung des Übungsbetriebsablaufes nicht aussagekräftig. Die Maximalwerte sind hingegen entscheidend für die Charakterisierung der extrem thermischen Belastung von Feuerwehrangehörigem und PSA. Hierbei ist jedoch festzuhalten, dass im Rahmen dieses Vorhabens eingehende Untersuchungen zu Auswirkungen der im Übungsbetrieb zu verzeichnenden zeitlichen Abläufe auf das Materialverhalten noch nicht durchgeführt werden konnten.

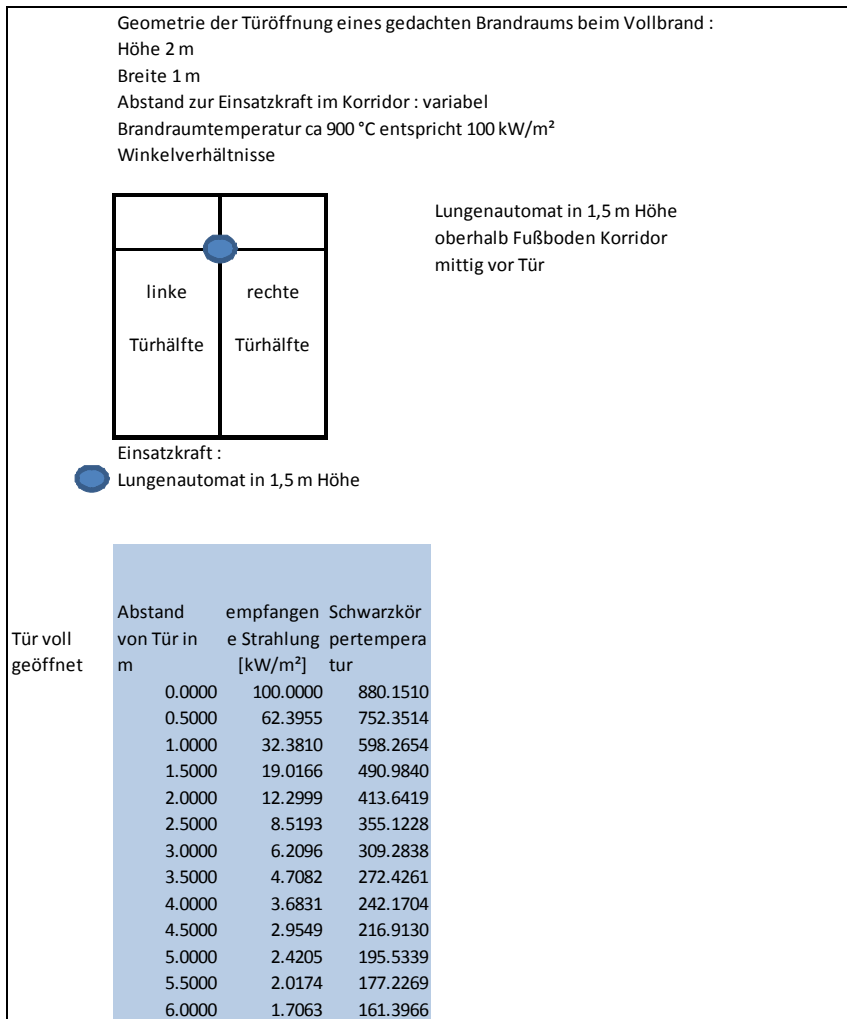
Der zeitliche Ablauf bei der Übung wird zum Beispiel durch gewollte Rauchgasdurchzündungen bestimmt. Bei den hier durchgeführten Versuchen wurde festgestellt, dass die Rauchgasdurchzündung (Rollover) maximal 9 s andauerte. Dabei traten in der Vorraumcontainermitte an der Decke Maximalwerte bis zu 480 °C auf. Dieser Wert wurde fast auch bei den Temperaturmessungen im direkt an den Brandraum angrenzenden Korridor bei voll geöffneter Verbindungstür beim Löscheinsatz eines in Vollbrand befindlichen Brandraums, jedoch in 1,5 m Höhe, erreicht. Dies zeigt, dass der Übungseinsatz auch im Vergleich kurzzeitiger Spitzenbelastung geringere Beanspruchungen als der reale Einsatz zur Folge haben kann (siehe Kapitel 2.4).

Vergleicht man die in DIN EN 137 genannte Zeitdauer des „Flame-Engulfment-Tests“ von 10 s mit dem hier festgestellten Wert von 9 s, so findet man gute Übereinstimmung. Unmittelbar an der Brandraumöffnung schlagen die Flammen mit nahezu Brandraumtemperatur aus der Öffnung, also mit ca. 900 °C. Dies war auch bei den Realbrandversuchen in diesem Projekt nicht anders, so dass die Flammenbelastung von ca. 950 °C für eine Dauer von 10 s entsprechend DIN EN 137 realistisch ist.

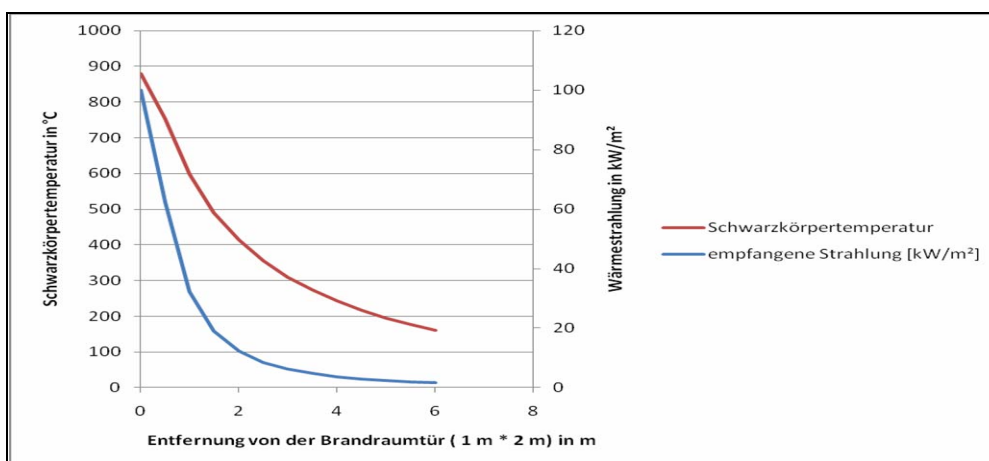
Auch im realen Fall nach dem zum Vollbrand führenden Flashover (im Mittel entsprechend Literaturlauswertung nach 7 min) ist mit diesem Temperaturniveau beim Öffnen der Brandraumtür zu rechnen. Nach dem Flashover treten im Unterschied zur kurzfristig wirksam werdenden

Rauchgasdurchzündung im Raum Temperaturen von über 1000 °C über einen Zeitraum von mehreren Minuten (bis zum Abklingen des Brandes) auf.

Im Folgenden werden die Wärmebelastungen durch einen realen Vollbrand den Belastungen im Übungsbetrieb gegenübergestellt und bewertet. Die bei einem Vollbrand zu erwartende Wärmestrahlung aus dem Brandraum durch eine geöffnete Tür (Türgröße beispielsweise 2 m \* 1 m) (siehe Bild 40) in einen Flur wird in Bild 41 wiedergegeben und bezieht sich auf eine Position mittig vor der Tür in 1,5 m Höhe, bei variiertem Abstand. Die Höhenlage 1,5 m wurde als Vergleichswert zur angenommenen Position des in den Versuchen besonders hoch belasteten Lungenautomaten festgelegt. Der Vergleich mit den Werten nach Tabelle 24 zeigt, dass im Brandraumnahbereich die alleinige Belastung durch Strahlung von – in Temperatur umgerechnet - ca. 220 °C (Mittelwert aus allen Versuchen, Rechenwerte TStr 3) einer Entfernung von ca. 4,5 m im Realfall entspricht, während die bei Kurzzeitbelastung gemessenen Maxima von ca. 500 °C (Versuche 6 bis 8, TStr 3) einer Entfernung von 1,5 m im Realfall entsprechen. Hierbei ist jedoch noch nicht berücksichtigt, dass die im Realfall aus dem Brandraum bei geöffneter Tür schlagenden Flammen oder Heißgase eine in Türnähe und für den Löscheinsatz vorbereitete Feuerwehreinsatzkraft zusätzlich durch Konvektion aus der Strömung und durch Strahlung belasten. Insoweit ist also im realen Einsatzgeschehen eine höhere Spitzenbelastung als im Übungsablauf zu erwarten, wobei allerdings der Übungsablauf auch eine „trockene“ Langzeitbelastung (ohne Löscheinsatz) einschließt, die im Realfall abseits des Brandnahbereichs ebenfalls auftreten kann. Im Brandnahbereich wird hingegen eine kurzzeitige Spitzenbelastung als maßgebend angesehen, da das Brandgeschehen die Feuerwehreinsatzkraft nicht unvorbereitet trifft. Dies trifft in gleicher Weise auf die Ergebnisse der Hotbox zu.



**Bild 40:** Modellberechnung

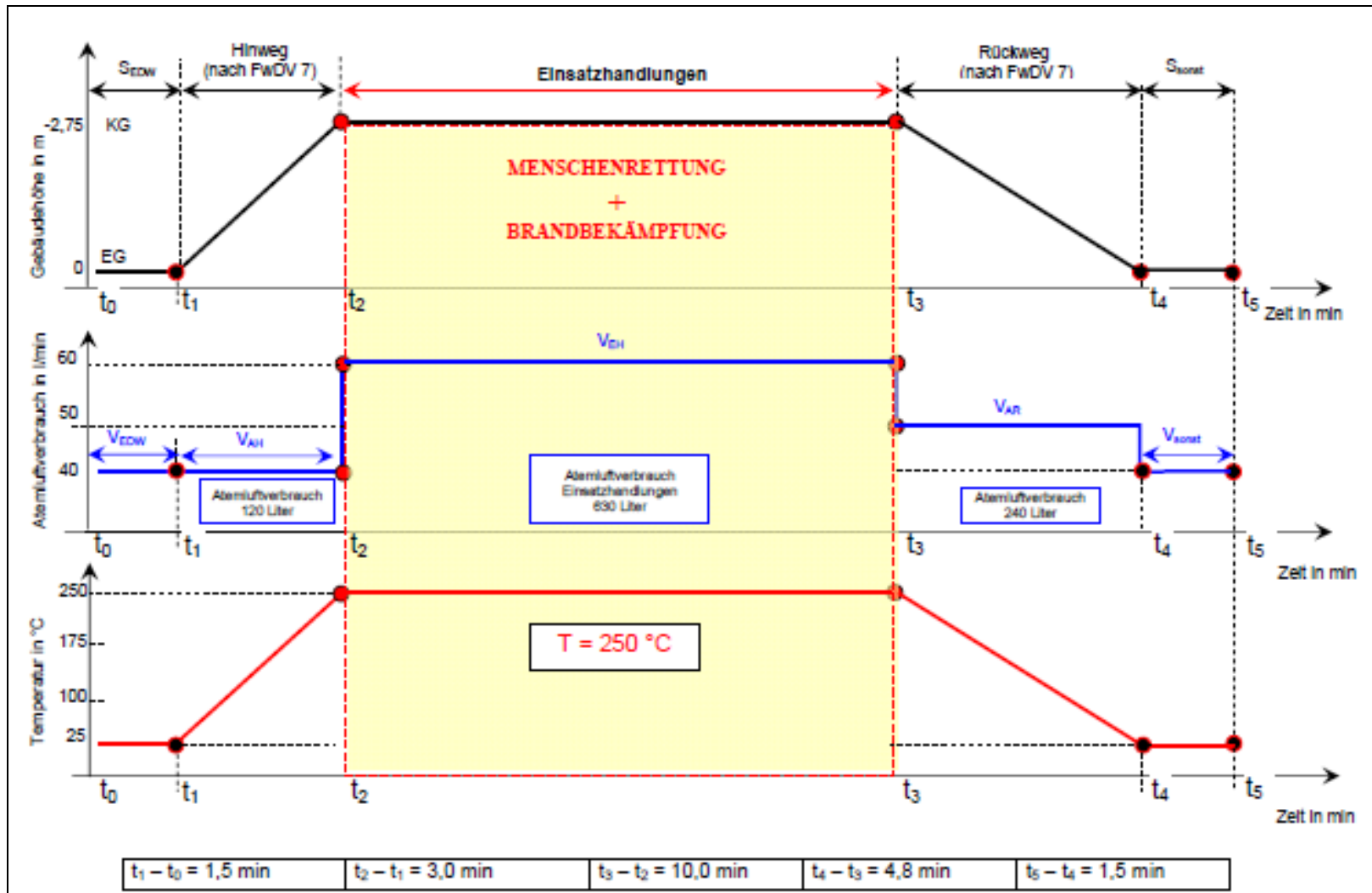


**Bild 41:** Gegenüberstellung von Schwarzkörpertemperatur und empfangener Strahlung

Nach den oben dargestellten Erörterungen ist nicht auszuschließen, dass im Realfall die bei den Brandübungen im HBUEA und in der Hotbox festgestellten

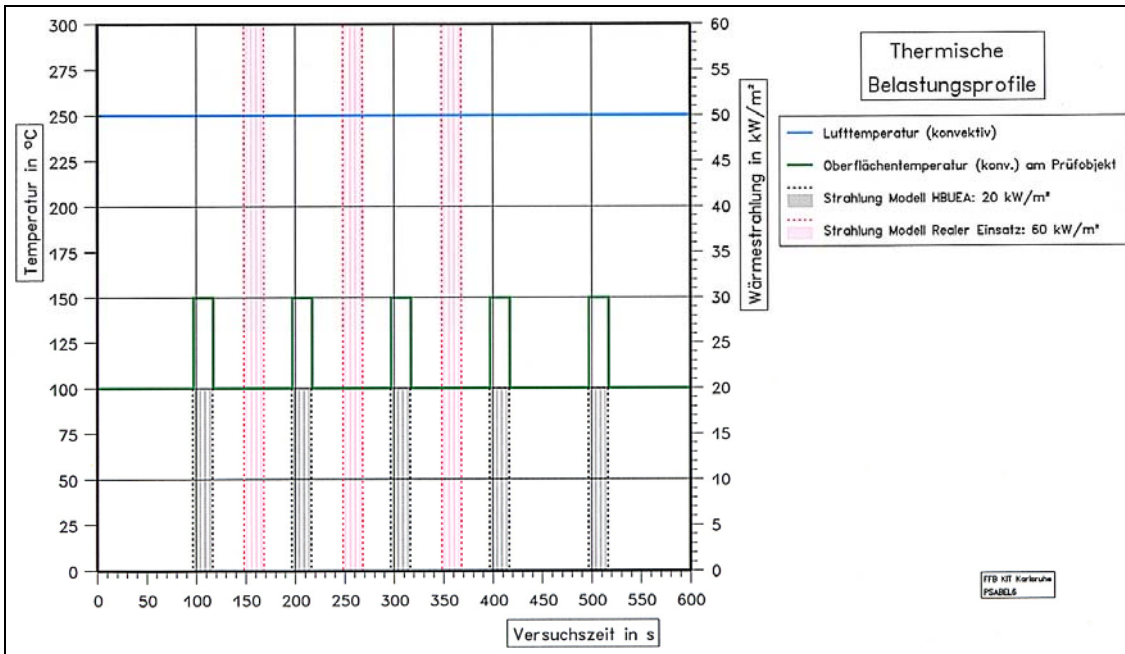
Belastungen zumindest kurzfristig erheblich überschritten werden. Hieraus ist abzuleiten, dass die Kurzzeitbelastung nach DIN EN 137 nicht überschritten werden sollte, jedoch über eine Überprüfung der Dauereinsatztemperatur nachzudenken ist. Die Feststellung, dass im Bereich sensibler Komponenten der PSA (Lungenautomat, Einatemtemperatur) auch im Übungsbetrieb die zulässige Temperatur von 60 °C regelmäßig über einige Minuten überschritten wurde und wird, legt nahe, das Beanspruchungsprofil zumindest für diese Komponenten der PSA neu festzulegen, sofern nicht in den entsprechenden Prüfnormen berücksichtigt. Dabei sollte eine Dauertemperatur am Prüfobjekt von 100 °C (Oberflächentemperatur) über einen Zeitraum von 10 min, mit 5 kurzfristigen Spitzen von 150 °C (Oberflächentemperatur) über jeweils 15 s erzeugt werden. Das Verfahren ist dahingehend zu kalibrieren, dass die genannten Materialtemperaturen zuverlässig erreicht werden. Aufgrund der in AP1 und AP2 beschriebenen und hier tabellarisch zusammengefasst dargestellten Untersuchungsergebnisse scheint dies bezüglich der Dauerbelastung über 10 min mit 250°C Lufttemperatur, bei kurzzeitigem (15 s) 5-maligem Zuschalten von Wärmestrahlung von ca. 20 kW/m<sup>2</sup> für Versuche in HBUEA und kurzzeitigem (15 s) 3-maligen Zuschalten von ca. 60 kW/m<sup>2</sup> im Falle eines realen Einsatzes erreichbar zu sein. Der genannte Strahlungswert von 20 kW/m<sup>2</sup> kennzeichnet übrigens auch die nach Literaturlauswertung auftretende Wärmestrahlung am Boden kurz vor dem Flashover. Das Bild 43 zeigt diese Belastungsprofile für die HBUEA und den realen Einsatz. Hierbei handelt es sich um eine idealisierte Darstellung. In der Realität ergibt sich bei der Oberflächentemperatur und der Wärmestrahlung aufgrund der Wärmeträgheit beim Aufheizen und Abkühlen eine mehr "weichere" Darstellung. Dieses muss bei den festzulegenden Prüfbedingungen beachtet werden.

Gemäß den Ausführungen zur Berechnung der Atemluftverbräuche und der Einsatzabschnitte (Anlage S. 132) für das thermische Belastungsprofil für den Einsatzfall ergibt sich unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse der vorangestellten Abschnitte das im Bild 42 dargestellte thermische Belastungsprofil.



**Bild 42:** Grafische Darstellung des thermischen Belastungsprofils

Umgesetzt auf Prüfbedingungen und –verfahren zeigt das folgende Bild 43 die auf die Prüfobjekte zu beziehenden thermischen Belastungsprofile für Übungen in HBUEA und bei Einsätzen.



**Bild 43:** Thermische Belastungsprofile für HBUEA und Einsätze

Aufgrund der Tatsache, dass die thermische Beanspruchung im Einsatz (Innenangriff) weitaus kritischer zu bewerten sind, müssen im Rahmen der Prüfung die im Bild 43 dargestellten Bedingungen des Einsatzes angewandt werden (siehe Abschnitt 5.3.4).

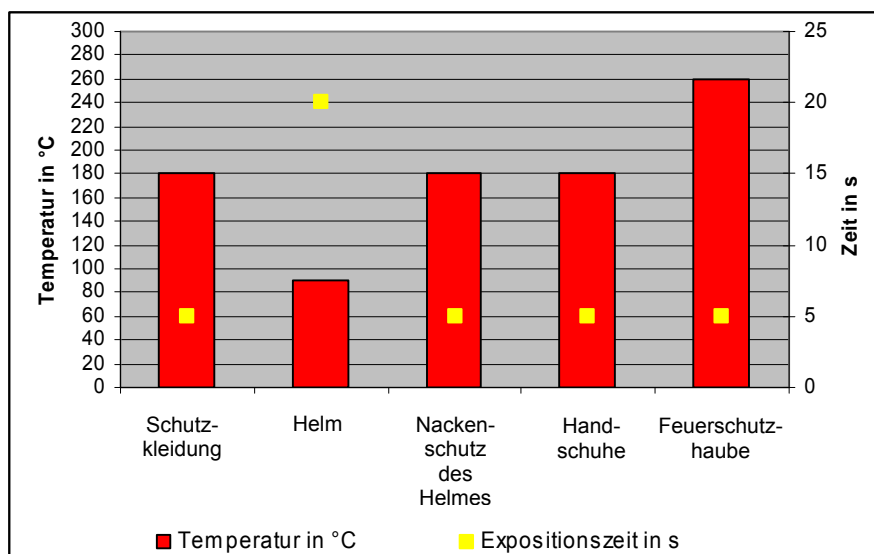
## 5 Prüfkriterien und Prüfverfahren

### 5.1 Aufgabenstellung gemäß Auftrag

Im Arbeitspaket AP4 werden die erforderlichen Prüfkriterien und Prüfverfahren entsprechend der Ergebnisse aus dem AP 3 und unter Berücksichtigung der Wiederverwendbarkeit nach thermischer Belastung von PSA festgelegt. Darauf aufbauend werden im AP5 die festgelegten Prüfkriterien und Prüfverfahren mit bestehenden Normen verglichen, und es wird eine Abschätzung der Umsetzbarkeit dieser Ergebnisse im Hinblick auf die Herstellbarkeit und Anwendung künftiger PSA durchgeführt.

## 5.2 Vergleichende Analyse der Prüfkriterien (unter Berücksichtigung thermischer Belastungsprofile)

Nach Auswertung aller PSA relevanten Normen, die im Zusammenhang mit thermischer Belastung stehen, muss festgestellt werden, dass aufgrund unterschiedlicher Normen zum Teil deutlich voneinander abweichende Prüfkriterien und -anforderungen an die einzelnen PSA-Komponenten gestellt werden. Unterschiede bestehen dabei vor allem im Bereich von Expositionsbedingungen und -zeiten sowie bei den an die PSA-Komponenten gestellten Anforderungen. Weitere deutliche Unterschiede wurden bei Vorbehandlungsschritten, der Anzahl der geforderten Prüfmuster, dem Umfang der in Prüfungen einbezogenen PSA-Komponenten und der Bezeichnung der Prüfverfahren festgestellt.



**Bild 44:** Gegenüberstellung thermischer Parameter gemäß geltender Normen

Bild 44 verdeutlicht diese Diskrepanz am Beispiel der Normenfestlegungen für die Prüfung der Hitzefestigkeit einzelner PSA-Komponenten. Sichtbar wird, dass sich nicht nur die Expositionszeiten sondern auch die Prüftemperatur deutlich unterscheiden. Zusammenfassend muss daher konstatiert werden, dass es erforderlich ist, dass die Prüfverfahren unter Berücksichtigung der im Kapitel 3 festgelegten thermischen Belastungsprofile überarbeitet bzw. überprüft werden müssen. Ziel dieser Überarbeitung ist es, die Prüfbedingungen aller im Innenangriff zu tragenden PSA-Komponenten auf ein

angeglichenes Prüfniveau zu bringen, um damit mögliche bestehende Schwachstellen zu schließen.

### **5.3 Definition von veränderten Prüfverfahren**

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der AP1 bis AP3 werden für die gemäß der Normen vorgeschriebenen Prüfverfahren nachfolgend dargestellte Änderungen vorgeschlagen. Die vorgeschlagenen Prüfungen stellen ein theoretisches Soll dar und müssen im Teilschritt 2 des Forschungsprojektes weiter auf Realisierbarkeit überprüft werden. Berücksichtigt werden müssen dabei die Grenzen der Materialeigenschaften der aktuell bei PSA verwendeten Werkstoffen und die Grenzen der physiologischen Leitungsfähigkeit von Atemschutzgeräteträgern. Im Rahmen der hier erörterten vorgeschlagenen Prüfungen sollen wie bei den momentan vorgeschriebenen Prüfvorschriften vorgegeben auch weiterhin folgende Eigenschaften geprüft werden:

- Brennverhalten,
- Wärmeübergang bei Flammenexposition (Kurzzeitexposition),
- Wärmeübergang bei Wärmestrahlungsexposition (Kurzzeitexposition),
- Hitzefestigkeit bei konvektiver Wärme (Langzeitbelastung),
- Materialfestigkeit nach Wärmestrahlungsexposition,
- Anforderungen bei Kontaktwärme.

Darüber hinaus sollen aber auch bisher nicht einbezogene Prüfparameter im Rahmen neuer Prüfvorschriften Berücksichtigung finden. Hierzu zählt z. B. die dann obligatorische Prüfung der Materialfestigkeit nach konvektiver Wärmebeaufschlagung. Zudem muss in Normen aber auch der Tatsache Rechnung getragen werden, dass die PSA thermischen Kurzzeit- und Langzeitbelastungen ausgesetzt ist. Aber auch die Abfolge von thermischer Kurzzeit- und Langzeitbelastung muss in Prüfungen Berücksichtigung finden. Der Flame-Engulfment-Test sollte darüber hinaus auf alle PSA-Komponenten angewandt werden. Es sollte geprüft werden, wie der momentan verwendete Versuchsaufbau hierzu modifiziert werden kann. Zusätzlich werden Vorschläge für einheitlich durchzuführende Vorbehandlungsschritte aufgezeigt. Nachfolgend werden die Vorschläge für veränderte Prüfverfahren dargelegt, die



den Untersuchungen im folgenden Teilschritt 2 zugrunde gelegt werden sollen. Eine Abschließende Bewertung kann aber erst nach Abschluss des Teilschrittes 2 des Forschungsvorhabens abgegeben werden. Details zu diesen Prüfungen können den Tabellen A58 bis A65 des Anhangs entnommen werden.

### **5.3.1 Prüfung 1 - Brennverhalten**

Im Rahmen dieser Prüfung soll das Brennverhalten der PSA-Komponenten geprüft werden, indem aus textilen PSA-Komponenten Materialien, Nähte, Beschlagteile und Bündchen einer mit Propan betriebenen Brennerflamme ausgesetzt werden. Alle verwendeten Materialien werden sowohl einer Oberflächen-, als auch einer Kantenbeflammung unterzogen, wohingegen Bündchenmaterialien lediglich einer Kantenbeflammung unterzogen werden. Materialzusammenstellungen einschließlich der verwendeten Nähte werden 10 s in einer Prüfanordnung auf der Innen- und der Außenseite oberflächenbeflammt. Beschlagteile werden einer Oberflächenbeflammung unterzogen. Nicht textile PSA-Komponenten werden mit einer Prüfapparatur geprüft, die aus 6 mit Propan betriebenen Brennern besteht. In die Prüfung müssen jegliche Bestand- und Anbauteile einbezogen werden. Die beschriebenen Brennerflammen sind so einzustellen, dass die Flammentemperatur von  $(950\pm 50)$  °C sicher erreicht wird. Die Beflammungszeit bei der Prüfung des Brennverhaltens für nicht textile PSA-Komponenten beträgt ebenfalls 10 s.

### **5.3.2 Prüfung 2 – Wärmedurchgangsprüfung bei Flammenexposition (Kurzzeitbelastung)**

Mit dieser Prüfung soll simuliert werden, wie die Qualität der Wärmeisolation von PSA-Komponenten im Fall einer Kurzzeitexposition mit einer sehr heißen einzelnen Flamme (Wärmestromdichte beträgt  $80 \text{ kW/m}^2$ ) ist. Im Rahmen der Prüfung wird die Zeit bestimmt, in der die Temperatur nach äußerlicher Hitzeexposition auf der Innenseite der PSA-Komponente um 12K bzw. 24K

steigt. Beide Zeitdauern werden als  $HTI_{12}$  und  $HTI_{24}$  (Heat Transfer Index) bezeichnet. Der Wert für  $HTI_{12}$  kann als Zeit interpretiert werden, in der, ausgehend von der Körpertemperatur, bei einer Erhöhung um 12K Verbrennungen 1. Grades auftreten. Dieser Wert symbolisiert damit eine Warnschwelle, bei der die Feuerwehreinsatzkraft Schmerzen spürt. Analog treten bei einer Temperaturerhöhung um 24K über der Körpertemperatur Verbrennungen 2. Grades auf. Im Rahmen der Prüfung wird durch Berechnung der Differenz aus  $HTI_{24}$  und  $HTI_{12}$  eine Zeit errechnet, die als Rückzugszeit interpretiert werden kann, bevor bei einer Temperaturerhöhung um 24K Verbrennungen 2. Grades auftreten.

Insgesamt steht die Fragestellung im Raum, ob der gemäß Norm geforderte Wert für  $(HTI_{24} - HTI_{12})$  insbesondere für die Feuerwehrsutzhkleidung der Leistungsstufe 2 mit 4 s derzeit nicht ausreichend hoch dimensioniert ist. In dieser Zeitspanne muss die Einsatzkraft die Hitzeeinwirkung realisieren, die momentan ausgeübte Tätigkeit abbrechen und den Rückzug antreten. Untersuchungen der Autoren [Grabski et al.10] mit konfektionierter Einsatzkleidung und Wärmebeaufschlagung zeigten, dass nach Entfernen der Wärmequelle, die Temperatur auf der Innenseite der Kleidung weiter ansteigt. Das bedeutet, dass selbst nachdem die Einsatzkraft den Rückzug antritt, die Temperatur auf der Innenseite der Kleidung weiter ansteigen wird und Verbrennungen trotz rechtzeitigem Rückzug aus hitzeexponierten Bereichen auftreten können. Es wird daher festgelegt, dass der Wert für  $(HTI_{24} - HTI_{12})$  mindestens um 2 s auf 6 s erhöht wird. Bei dem, gegenüber der derzeit gültigen Norm, gleich bleibenden Wert für  $HTI_{12}$  von mindestens 10 s ergibt sich daraus für den Wert für  $HTI_{24}$  eine Erhöhung um 2 s auf 16 s. Diese Anforderungen gelten entsprechend für alle einzubeziehenden PSA-Komponenten mit Ausnahme des Pressluftatmers, des Nackenschutzes und der Feuerschutzhaube (siehe Anhang Tabelle A59). Der Nackenschutzes und die Feuerschutzhaube sollten bei dieser Prüfung gemeinsam getestet werden. In der Summe sollten beide PSA-Komponenten die an Feuerwehrsutzhkleidung gestellten Anforderungen erfüllen. Mit Ausnahme des Feuerwehrhelmes sollten alle genannten PSA-Komponenten sowohl im nassen, als auch im trockenen Zustand untersucht werden.

### **5.3.3 Prüfung 3 – Wärmedurchgangsprüfung bei Wärmestrahlungsexposition (Kurzzeitbelastung)**

Bei dieser Prüfung wird, ebenfalls wie bei der o.g. Prüfung 2, die Qualität der Wärmeisolationswirkung einzelner PSA-Komponenten mit dem Unterschied überprüft, dass eine Wärmestrahlungsquelle statt einer Brennerflamme verwendet wird. Gemessen werden in Analogie zur Prüfung 2 die Werte für  $RHTI_{12}$  und  $RHTI_{24}$  (Radiation Heat Transfer Index), die der Temperaturerhöhung um 12 K bzw. 24 K entsprechen. Auch die Differenz beider Werte ( $RHTI_{24}-RHTI_{12}$ ) wird errechnet. Wie auch in Prüfung 2, ist der Wert für ( $RHTI_{24}-RHTI_{12}$ ) mit 4 s gemäß der derzeit gültigen Norm deutlich zu niedrig angesetzt. Die Erhöhung um 50% auf 6 s sollte angestrebt werden. Bei gleich bleibendem Wert für  $RHTI_{12}$  von mindestens 14 s darf die Temperaturerhöhung um 24K damit erst nach mindestens 20s erreicht sein. Entsprechend der Prüfung 2 sollten der Nackenschutz des Helmes und die Feuerschutzhaube gemeinsam geprüft werden und die genannten Anforderungen an den Wärmedurchgang erfüllen. Mit Ausnahme des Feuerwehrhelmes sollten alle zu prüfenden PSA-Komponenten sowohl im nassen, als auch im trockenen Zustand geprüft werden.

### **5.3.4 Prüfung 4 – Hitzefestigkeit bei konvektiver Wärme und Wärmestrahlung (Langzeitbelastung)**

Nach Auswertung der relevanten Prüfnormen zur Hitzefestigkeit und in Verbindung mit den Ergebnissen der Kapitel 3 und 4 muss festgestellt werden, dass die derzeit geforderten Expositionsbedingungen die thermischen Bedingungen eines Innenangriffes nicht adäquat wiedergeben. Die Prüfung sollte den durchgeführten Untersuchungen zufolge im Prüfofen bei einer Temperatur von 250 °C und einer Expositionszeit von 10 min durchgeführt werden. Das Verfahren wird ergänzt durch ein kurzzeitiges Zuschalten einer Wärmestrahlungsquelle entsprechend dem thermischen Belastungsprofil nach

Bild 43. Einbezogen werden müssen sämtliche im Innenangriff zu tragenden PSA-Komponenten, also auch Pressluftatmer und Vollmasken. Feuerwehrsutzkleidung, Feuerwehrsutzhandschuhe und Feuerwehrsutzschuhwerk müssen nach dem hier zugrunde liegenden Konzept neben Anforderungen an den Schrumpf und weiteren Parametern künftig auch Anforderungen an den Wärmedurchgang erfüllen. Pressluftatmer und Vollmasken müssen voll funktionsfähig bleiben und unter anderem Anforderungen an die Dichtheit und den Atemwiderstand erfüllen.

### **5.3.5 Prüfung 5 – Materialfestigkeit nach Wärmestrahlungsexposition**

Die Prüfung sollte nach jetzigem Erkenntnisstand grundsätzlich überarbeitet werden. Künftig sollten zusätzlich Feuerwehrsutzhandschuhe und -schuhe in diese Untersuchungen einbezogen werden. Die zugrunde gelegte Wärmestromdichte sollte für alle PSA-Komponenten mit  $15 \text{ kW/m}^2$  identisch sein. Bei der Prüfung von Pressluftatmern empfiehlt sich die Verwendung eines von seinen Abmessungen her deutlich größeren Keramikstrahlers, wodurch es möglich ist, Pressluftatmer großflächig mit Wärmestrahlung zu beaufschlagen. Der Keramikstrahler sollte quadratisch mit einer Kantenlänge von 0,6 m ausgeführt sein. Insbesondere an Pressluftatmer werden gemäß der vorgeschlagenen Änderungen nach der Prüfung zusätzliche Anforderungen, wie z.B. an die Zugfestigkeit von Atemschläuchen und Kupplungen gestellt. In welcher Größenordnung die Anforderungen, insbesondere an die Zugfestigkeit, bei den neu zu prüfenden PSA-Komponenten liegen sollten, kann abschließend nur in Kooperation mit Textilforschungsinstituten und Prüfstellen geklärt werden.

### **5.3.6 Prüfung 6 – Kontaktwärmepfung**

Da die Kontaktwärmepfung bisher lediglich bei Feuerwehrsutzhandschuhen und Feuerwehrsutzschuhen durchgeführt wird, sollte die Feuerwehrsutzkleidung künftig ebenfalls dieser Prüfung unterzogen werden. Schließlich besteht im Einsatz, insbesondere beim Knien oder im

Seitenkriechgang, die Möglichkeit der direkten Exposition mit heißen Oberflächen. Die Kontakttemperatur bei der Prüfung der Handschuhe und der Schutzkleidung sollte auch in Anlehnung an die Prüfung der Hitzebeständigkeit (Prüfung 4) bei konvektiver Wärme 250 °C betragen. Die Schwellenwerttemperatur, gemessen auf der Innenseite des Kleidungsstücks, sollte in Analogie zu den Prüfungen des Wärmeübergangs bei konvektiver Wärme und Strahlungswärme bei 12 K liegen. Ausgehend von der Körpertemperatur würde das bedeuten, dass bei dieser Temperaturerhöhung die Warnschwelle erreicht ist und ggf. Verbrennungen 1. Grades auftreten. Nachdem die Einsatzkraft die Temperaturerhöhung registriert hat, können rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen werden, um die weitere Temperaturerhöhung und schwerwiegendere Verbrennungen zu verhindern. Die Zeit, in der es zur beschriebenen Temperaturerhöhung auf der kommt, sollte 10 s nicht unterschreiten. Bei der Kontaktwärmeproofung der Feuerwehrschutzschuhe soll das Betreten heißer Glutnester simuliert werden. Entsprechend sollte die Prüfung bei deutlich höheren Kontakttemperaturen erfolgen als momentan gefordert, also im Bereich von 500 °C liegen. Auch hier sollte die Schwellenwerttemperatur bei 12 °C liegen. Die Schwellenwertzeit sollte durch den unvermeidbar längeren Kontakt mit Glutnestern 10 min betragen.

### **5.3.7 Prüfung 7 – Flame-Engulfment-Test**

Der Flame-Engulfment-Test dient der Simulation einer Stichflammenbelastung. Dieses Verfahren sollte entgegen der momentanen Prüfpraxis nicht auf Feuerwehrhelme und Pressluftatmer beschränkt bleiben und sollte daher auf alle im Innenangriff zu tragenden PSA-Komponenten ausgeweitet werden. Atemschutzkomponenten sollten unter Beatmung geprüft werden. Die an die einzelnen PSA-Komponenten gestellten Anforderungen gleichen weitestgehend denen der Prüfung des Brennverhaltens gemäß Prüfung 1. Bei der durchzuführenden Fallprüfung darf sich kein Bauteil des Pressluftatmers trennen oder derart verlagern, dass sich das Gerät löst.

### **5.3.8 Prüfung 8 – Hitzefestigkeit bei Strahlungsexposition (Langzeitbelastung)**

Die Prüfung erfolgt in Übereinstimmung mit Prüfung 4 „Hitzefestigkeit bei konvektiver Wärme (Langzeitbelastung)“ mit dem Unterschied, dass die Wärmebeaufschlagung durch einen Keramikstrahler realisiert wird, der an der Probe eine Wärmestromdichte von  $15\text{kW/m}^2$  erzeugt. Für die Prüfung empfiehlt sich die Verwendung eines quadratischen Keramikstrahlers mit der Kantenlänge von 0,6 m.

### **5.3.9 Prüfung 9 – Materialfestigkeit bei konvektiver Hitze**

Diese Prüfung erfolgt in Analogie zur Prüfung 5 „Materialfestigkeit nach Wärmestrahlung“ mit dem Unterschied, dass die Wärmebeaufschlagung in einem Ofen durchgeführt wird, in dem eine Temperatur von Luft  $250\text{ °C}$  herrscht.

### **5.3.10 Prüfung 10 – Kombination von Kurzzeit- und Langzeitbelastung**

Ziel der Prüfung ist es, die Aufeinanderfolge von Belastungsszenarien zu prüfen, die im Einsatz auftreten. Diese nacheinander durchzuführenden Prüfungen sollen zeigen, ob die PSA-Komponenten trotz einer erheblichen thermischen Vorbelastung einer Rauchgasdurchzündung standhalten können. Im Einzelnen bedeutet dies, dass eine mit konvektiver Wärme vorbelastete (Prüfung 4) PSA-Komponente einer anschließenden Prüfung gemäß des Flame- Engulfment-Tests unterzogen wird. Entsprechendes gilt für mittels Wärmestrahlung vorbelastete (Prüfung 8) PSA-Komponenten. Nach den Prüfungen müssen die PSA-Komponenten die Anforderungen erfüllen, die an die PSA-Komponenten bei der Prüfung 7 „Flame-Engulfment-Test“ gestellt werden. Zur statistischen Absicherung sollten je 3 Proben geprüft werden. Es wird eine Prüfdauer der thermischen Langzeitvorbehandlung von 8 min vorgeschlagen.

### **5.3.11 Prüfung 11 – Thermo-Man-Test**

Dieser Test sollte für alle im Innenangriff zu tragenden PSA-Komponenten, mit Ausnahme der Feuerwehrschiene, obligatorisch sein und entsprechenden Eingang in die DIN EN 469 finden. Feuerwehrschiene ist von dieser Prüfung ausgenommen, da die entsprechende Prüfpuppe im Bereich der FüÙe nicht mit Sensoren ausgestattet ist. Im Rahmen der Prüfung soll die thermische Belastung einer Rauchgasdurchzündung o. ä. Phänomenen simuliert werden, wobei, in Abgrenzung zum Flame-Engulfment-Test, allerdings auch Ort, Ausdehnung und Schwere der Verbrennung detektiert werden können. Der Dummy sollte für den Innenangriff gemäß GUV-V C53 vollständig bekleidet sein. Ziel der vollständigen Bekleidung, einschließlich des Pressluftatmers ist die Tatsache, dass durch das gemeinsame Tragen von Komponenten die Schutzwirkung der PSA z. B. durch Überlappung einiger Bereiche verstärkt wird. In anderen Bereichen kann die Schutzwirkung durch das Tragen des Pressluftatmers im Bereich der Beibänderung teilweise eingeschränkt werden, da in der Kleidung eingeschlossene isolationswirksame Luftpolster ggf. zusammengedrückt werden. Die Anforderungen an die Feuerwehrschiene sollten denen der aktuell gültigen Fassung der HuPF entsprechen (siehe Tabelle A65).

## **5.4 Probleme der Umsetzbarkeit**

Die in den vorangestellten Abschnitten aufgeführten Empfehlungen zur Veränderung von Prüfbedingungen und –verfahren zeigen, dass sich die vorgeschlagenen Änderungen vorrangig in den Expositionsbedingungen von den ursprünglichen Prüfungen unterscheiden. Der apparative Aufbau bleibt bei den meisten Prüfungen bestehen. Die Installation zusätzlicher Prüfgeräte, wie z. B. der beschriebene Keramikstrahler mit den Abmessungen 60 cm · 60 cm ist aus Sicht der Autoren relativ einfach zu realisieren. Lediglich durch die künftig zusätzlich in die Prüfungen einzubeziehenden PSA-Komponenten können Prüfeinrichtungen von ihren Abmessungen zu klein sein. Im Vorfeld der Bearbeitung des Teilschritts 2 muss aufgrund der begrenzten Bearbeitungszeit und der Finanzmittel eine Abschätzung vorgenommen werden, welche Prüfung bzw. welche Prüfungen aus Sicht der Autoren besondere Priorität besitzt.

Vorrangig sollte daher die Prüfung 4 „Hitzefestigkeit bei konvektiver Wärme und Wärmestrahlung (Langzeitbelastung)“ auf Pressluftatmer sowie Überjacken und –hosen angewandt werden. Als wichtigste Neuerung und gleichzeitig die größte Schwierigkeit im Rahmen dieser Prüfung ist die Bestimmung des Wärmedurchgangs durch die Kleidungsbestandteile. Aber auch die Installation der Wärmestrahlungsquelle im Prüfofen ist nicht trivial aber realisierbar.

Es ist davon auszugehen, dass eine im Voraus nicht näher zu definierende Anzahl von Pressluftatmern, die gemäß Prüfung 4 geprüft werden, diese nicht besteht, dies zeigt ein von der DEKRA EXAM GmbH zum Göttinger Unfall erstelltes Gutachten. Darin wurde bei zwei von acht durchgeführten Messungen mit einer Veratmung von 50 l/min bis 65 l/min hohe Atemwiderstände festgestellt, die ein Atemschutzgeräteträger als ein Blockieren empfinden kann [Göttingen 2007].

Ob Überjacken/ –hosen bei Prüfungen nach Prüfung 4 bestehen kann abschließend nicht abgeschätzt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass eine nicht unerhebliche Anzahl von Bekleidungsensembles eine derartige Prüfung nicht besteht. Es sei darauf verwiesen, dass in hochwertiger Feuerwehrschutzkleidung beispielsweise bereits Nässesperrern eingesetzt werden, die bei Temperaturen von 260 °C über 5 min funktionsfähig bleiben [Seibert und Stephan 2007].

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die in diesem Kapitel 5.3 gemachten Aussagen und Vorschläge zu Prüfbedingungen und –verfahren durch weitere Untersuchungen bestätigt und konkretisiert werden müssen. Die Zusammenfassung einzelner hier beschriebener Prüfungen ist daher nicht ausgeschlossen, Alternativ werden sich im zweiten Teil des Forschungsberichtes neue Erkenntnisse ergeben, die die im Kapitel 5.3 Feststellungen relativieren könnten.



## **6 Planung zur Fortführung des Projektes mit Teilschritt 2**

### **6.1 Einleitung**

Die Ergebnisse der Bearbeitung des Teilschrittes 1 (Arbeitspakete 1 bis 5) zum Forschungsvorhaben „Persönliche Schutzausrüstung“ haben die Notwendigkeit der Fortsetzung des Forschungsvorhabens nachdrücklich bestätigt. Auf der 2. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses (PbA) am 15. Mai 2009 in Kassel wurde deshalb beschlossen, dem AFKzV vorzuschlagen, das Forschungsvorhaben auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse mit Teilschritt 2 fortzuführen. Der AFKzV bestätigte in seiner 24. Sitzung am 09./10.09.2009 in Münster die Fortsetzung des Forschungsvorhabens und beauftragte das IdF und die FFB, den im Antrag zum Forschungsvorhaben ausgewiesenen 2. Teilschritt (Arbeitspakete 7 und 8) vorzubereiten. Als Teilschritt 2 (Arbeitspaket 7) ist die Prüfung der Eigenschaften aktuell verwendeter Atemschutzgeräte bzw. anderer Teile der PSA auf der Grundlage der in Teilschritt 1, Arbeitspaket 4, erarbeiteten Prüfkriterien und -bedingungen vorgesehen.

### **6.2 Vorhabensbeschreibung**

In Abhängigkeit von der Entscheidung des AFKzV wird die erforderliche Prüftechnik für Atemschutzgeräte aufgebaut bzw. es werden vorhandene Anlagen genutzt. Es ist davon auszugehen, dass dazu existierende Prüftechnik eine Anpassung erfährt. Weiterhin wird eine vom Referat 8 der vfdb vorgeschlagene und vom Projektbegleitenden Ausschuss zu beschließende Auswahl repräsentativer Pressluftatmer - einschließlich deren Komponenten - nach einheitlichen Vorgaben (Anlage) geprüft. Um eine umfassende Aussagen zu erhalten werden 11 unterschiedliche Pressluftatmermodelle von vier verschiedenen deutschen Herstellern und in entsprechender Anzahl Vollmasken untersucht. Zur statistischen Absicherung sollten je Gerätetyp maximal fünf Neugeräte untersucht werden (maximal 55 Pressluftatmer und maximal 55 Vollmasken). Die Pressluftatmer sollen nach Möglichkeit durch die

Länder beschafft werden. Ergänzend werden begleitende Untersuchungen mit textilen PSA-Komponenten durchgeführt. Festlegungen zu vorzusehenden Messstellen werden in einem gesonderten Messkonzept vereinbart.

Die Ergebnisse sind im Hinblick auf Einsatzgrenzen und Wiederverwendbarkeit der Pressluftatmer nach Einsätzen unter thermischen Belastungen zu bewerten. Die Ergebnisse dieser Überprüfung sind anonymisiert zu dokumentieren. Bei anderen Teilen der PSA ist gegebenenfalls entsprechend zu verfahren.

### **6.3 Beteiligte Forschungseinrichtungen**

Die Bearbeitung des Teilschrittes 2 zum Forschungsvorhaben kann durch das Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt (IdF) und die Forschungsstelle für Brandschutztechnik (FFB) realisiert werden. Für Leistungen, die durch die vorgenannten Forschungseinrichtungen selbst nicht erbracht werden können, werden bei Erfordernis folgende weitere Kooperationspartner in die Untersuchungen einbezogen:

- DEKRA/ EXAM,
- DMT,
- BAM,
- Forschungsinstitute Hohenstein und
- Sächsisches Textilforschungsinstitut.

Zur Finanzierung der zu erbringenden Leistungen werden die im „Kostenplan – Aufteilung der Gesamtkosten“ veranschlagten Kosten für Fremdleistungen in Anspruch genommen.

### **6.4 Projektleitung**

Die Leitung des Projektes obliegt weiterhin dem IdF Sachsen-Anhalt.

Das Projekt „Teilschritt 2“ wird begleitet durch den bereits für Teilschritt 1 des Forschungsvorhabens eingesetzten Projektbegleitenden Ausschuss. Aufgabe

des Projektbegleitenden Ausschusses ist es, im Auftrag des AFKzV das Projekt fachlich zu begleiten und zu steuern. Die Projektleitung bzw. die jeweils für die einzelnen Aktivitäten im Arbeitspaket 7 federführenden Forschungseinrichtungen und Kooperationspartner berichten dem Ausschuss über den aktuellen Arbeitsstand, geben mündliche Teilberichte zu den Ergebnissen des Arbeitspaketes 7 (AP 7) und schlagen die weiteren Arbeitsschritte vor. Der Ausschuss nimmt den Arbeitsstand zur Kenntnis, gibt Empfehlungen und entscheidet über die Inhalte der erforderlichen weiteren Arbeitsschritte.

## **6.5 Kooperationspartner**

Seitens der beteiligten Forschungseinrichtungen wird mit folgenden Partnern kooperiert:

### Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt

- Brandschutz- und Katastrophenschutzschule Heyrothsberge
- Berufsfeuerwehr Magdeburg
- Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Hochschule Magdeburg-Stendal

### Forschungsstelle für Brandschutztechnik

- Feuerwehr Karlsruhe
- Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

## 6.6 Ergebnisdokumentation und Bearbeitungszeitraum

Der Abschlussbericht und seine Veröffentlichungen erfolgen anonymisiert und sind öffentlich. Das gesamte Forschungsvorhaben (Teilschritte 1 und 2) findet seinen Abschluss mit der Bearbeitung des Arbeitspaketes 8, der Erstellung des Abschlussberichtes. Der vorliegende Bericht zum Teilschritt 1 ist Bestandteil dieses Berichtes, auf den sich die zusammenfassenden Aussagen beziehen. Die Bearbeitung des Teilschrittes 2 des Forschungsvorhabens erstreckt sich über den Zeitraum vom 01. Januar 2010 bis zum 31. Januar 2011.

## 6.7 Kosten- und Terminplan

**Tabelle 25:** Kostenplan für Teilschritt 2

<b>Aufteilung</b>	<b>Kosten in EUR</b>	
<b>Gesamtbudget</b>	<b>250.000,--</b>	
<b><i>Davon:</i></b>		
Projektleitung sowie Projektmanagement (einschließlich Bewirtschaftung)	20.000,--	
Minimale Sachkosten für Prüflinge und Verwaltungskosten	28.000,--	
Fremdleistungen (z.B. Laboreinmietung bei EXAM, BAM, DMT)	40.000,--	
Personalkosten zur wissenschaftlichen Bearbeitung	162.000,--	
<b>Budget der Personalkosten in Jahresscheiben</b>	<b><i>Jahr 2010</i></b>	<b><i>Jahr 2011</i></b>
<b>Personalkosten gesamt</b>	<b>75.750,--</b>	<b>86.250,--</b>
<b><i>Davon:</i></b>		
<i>Befristete Drittmittelstelle (IdF)</i>	<i>25.000,--</i>	<i>25.000,--</i>
<i>Wissenschaftliche Mitarbeiter</i>	<i>40.750,--</i>	<i>51.250,--</i>
<i>Forschungsfacharbeiter, Techniker, Laboranten</i>	<i>10.000,--</i>	<i>10.000,--</i>

**Tabelle 26:** Sach- und Verwaltungskosten

<b>Position</b>	<b>Kosten in EUR</b>
<b>Sach- und Verwaltungskosten gesamt (FFB und IdF)</b>	<b>28.000,--</b>
<b>davon:</b>	
Pressluftatmer	11.700,--*
Feuerwehrrüberjacken (Premium + Medium) 9 Stück a 350,-- EUR	3.150,--
Material Feuerwehrrüberjacken	600,--
Verbrauchsmaterialien (Thermoelemente, Boschsystem mit Zubehör, Propangas, Labormaterialien)	5.800,--
Verwaltungskosten, Entsorgung, Betrieb der Anlagen, Reisekosten, Porto, Telefongebühren, Schreibmaterial etc	6.750,--

\* Kosten für die Beschaffung der 55 Pressluftatmer und der 55 Vollmasken (Abschnitt 6.2) über die veranschlagte Summe hinaus, müssten durch die Länder zusätzlich getragen werden

Die Sachkosten sind vom Innenministerium Baden-Württemberg zu bewirtschaften, mit Ausnahme der Position „Verwaltungskosten, ....“, die anteilig zwischen den bearbeitenden Einrichtungen aufgeteilt werden muss.

Die Verteilung der Aufgabenschwerpunkte (Federführung) wird bei hälftiger Aufteilung der Personalkosten für befristete Mitarbeiter zwischen IdF und FFB nach Tabelle 27 vorgeschlagen. Im Terminplan ist außerdem durch die Legende die entsprechende Aufteilung dokumentiert (Tabelle 28).

Sämtliche Arbeitsschwerpunkte werden grundsätzlich in Kooperation der beteiligten Einrichtungen bearbeitet. Die federführende Einrichtung leitet den jeweiligen Arbeitsschwerpunkt.

**Tabelle 27:** Aufgabenschwerpunkte und mögliche Verantwortlichkeiten

Arbeitspaket/ Untergliederung	Federführung
<b>Arbeitspaket 7</b>	
7.1 Erstellung eines Messplanes	FFB
7.2 Auswahl und Beschaffung der Prüflinge	IdF
7.3 Experimentelle Untersuchung der anonymisierten Proben nach thermischen Belastungsprofilen	IdF
7.4 Ermittlung von weiteren Materialkennwerten zur thermischen Beständigkeit	FFB
7.5 Versuchsauswertung und vergleichende Betrachtungen	IdF
7.6 Allgemeine Gefährdungsbeurteilung und Ableitung von Empfehlungen	FFB
<b>Arbeitspaket 8</b>	
8.1 Erstellung des Abschlussberichtes	IdF

**Tabelle 28:** Terminplan Teilschritt 2

Arbeitspakete \ Quartal	2010				2011			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
<b>AP 7</b>								
AP 7.1	X	X						
AP 7.2	X	X						
AP 7.3			X	X	X			
AP 7.4			X	X				
AP 7.5				X	X	X	X	
AP 7.6					X	X	X	X
<b>AP 8</b>								
AP 8.1							X	X
	Federführung IdF			Federführung FFB				

## 7 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens "Anforderungen und Prüfmethoden für die Persönlichen Schutzausrüstungen der Feuerwehreinsatzkräfte im Brandeinsatz unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes (Persönliche Schutzausrüstung - PSA)" – Teilschritt 1 sind im IMK-Forschungsbericht Nr. 161 dargelegt. Sie wurden auf der Basis der im Forschungsauftrag vorgegebenen Aufgabenstellung und der Festlegungen des Projektbegleitenden Ausschusses erarbeitet.

Zusammenfassend liegen folgende Ergebnisse vor:

- In Auswertung der Daten einer umfassende Analyse zu Unfällen und Beinaheunfällen werden Schwerpunkte und Schwachstellen bei thermisch belasteter Persönlicher Schutzausrüstung aufgezeigt.
- Die Unfallanalyse gibt keinen Anlass, die Verwendung von PSA auf bestimmte Einsatzszenarien einzuschränken.
- Die derzeit existierenden Prüfungen der einzelnen PSA – Komponenten stehen in keinem fachlichen Zusammenhang. Es wurden deshalb erste Vorschläge für vereinheitlichte Prüfungen der Einzelkomponenten gemacht.
- Thermische Belastungsprofile auf der Basis durchgeführter Untersuchungen wurden für eine HBUEA - Anlage und für Feuerwehreinsätze erstellt, woraus sich u. a. das Erfordernis für eine Evaluation der Prüfverfahren und Prüfbedingungen ableiten lässt.
- Es hat sich gezeigt, dass die kritischen Bedingungen durch den Einsatz (Innenangriff) vorgegeben werden. Die thermischen Bedingungen in HBUEA – Anlagen sind nachweislich unkritischer als die bei Einsätzen.
- Für Prüfungen wurden die für Einsätze entsprechend härteren thermischen Bedingungen, gegenüber denen in HBUEA angesetzt.
- Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Bewertung des Einflusses einer thermischen Langzeitbelastung repräsentativ vor allem durch

Prüfung 4 „Hitzebeständigkeit bei konvektiver Wärme und Wärmestrahlung (Langzeitbelastung)“ beurteilt werden kann.

- Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, bei Fortsetzung des Projektes mit Teilschritt 2 die Prüfung auf Prüfung 4 zu beschränken.
- Um im Rahmen der Prüfungen umfassende Aussagen zu erhalten, wird vorgeschlagen, 11 unterschiedliche Pressluftatmermodelle (Neugeräte) von vier verschiedenen deutschen Herstellern zu untersuchen. Zur statistischen Absicherung sollten je Gerätetyp maximal fünf Geräte untersucht werden.
- Zusätzlich werden begleitenden Untersuchungen mit textilen PSA-Komponenten durchgeführt.
- Insgesamt wird die Empfehlung ausgesprochen, das Forschungsvorhaben mit Teilschritt 2 fortzuführen. Damit erst wird es möglich, fundierte Aussagen zur thermischen Belastbarkeit der PSA in Deutschland treffen zu können. Notwendige Entscheidungen können somit wissenschaftlich begründet werden.
- Grundlage der Untersuchungen kann nicht der Worst case sein, sondern eine für die Einsatzkräfte zumutbare thermische Belastung.



## Verzeichnis der Bilder

<b>Bild Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
1	Vorfälle nach Kategorien bei BF	30
2	Vorfälle mit PSA-Komponenten bei FF	32
3	Vorfälle mit PSA-Komponenten bei WF	34
4	Vorfälle mit PSA-Komponenten bei LFS	35
5	Expositions-Bedingungen für Feuerwehreinsatzkräfte – Diagramm nach [Hoschke 1981]	43
6	Flashover bei einem Wohnzimmerbrand (FFB)	46
7	Brand in einem Wohnzimmer (FFB) mit Löscheinsatz der Feuerwehr nach dem Flashover	46
8	Brandversuchseinrichtung mit Brandraum, Flur- und Nebenraum Schemazeichnung	47
9	Brandversuch mit Ganzflächen-Doppelfassade, Temperaturen im Brandraum - Versuch FFB - V8	48
10	Brandversuch mit Ganzflächen-Doppelfassade, Temperaturen im Flur - Versuch FFB - V8	48
11	Zeit bis zum Flashover – Variationsbreite [Kunkelmann 2003] – Vergleich mit ORBIT- Studie [1978] und AGBF-Empfehlung [1998]	49
12	Geometrie des Brandraumes und Anordnung der Thermoelemente	51
13	Ergebnisse der Temperaturmessung	52

<b>Bild Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
14	Messstellen an den Komponenten der Persönlichen Schutzausrüstung	54
15	Messstellen im FÜH, instrumentierte Räume und Brandszenarien	56
16	Messdaten Verkaufsraum	56
17	Messdaten Garage (Variante 1)	56
18	Messdaten Garage (Variante 4)	56
19	Messdaten Küche	56
20	Temperaturmesswerte nach 13 min bei einer Wärmestrahlung von $0,1 \text{ W/cm}^2$	57
21	Anstieg der Temperaturen auf der Innenseite einer Einsatzjacke nach Entfernung der Wärmequelle mit einer Wärmestromdichte von $0,1 \text{ W/cm}^2$	59
22	Messstellenanordnung - horizontal und vertikal ausgerichtete Jetbrandflamme	60
23	Horizontales und vertikales Real - Flammenbild	60
24	Temperaturen horizontal 2,0 m	61
25	Temperaturen vertikal 1,0 m	61
26	Temperaturen frontal 8,0 m	62
27	Temperaturen vertikal 2,0 m	62
28	Holzbefeuerte Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe	65

<b>Bild Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
29	Messstellen in der Brandübungsanlage	66
30	Messstellen am Feuerwehrangehörigen	66
31	Versuch 8 – Versuchszeit: 4 min 7 s	72
32	Versuch 8 – Ausgewählte Messstellen - Container	73
33	Versuch 8 – Ausgewählte Messstellen - Feuerwehrangehöriger	73
34	Hotbox mit Wärmestrahlerwand, Thermoelementen und Radiometer	74
35	Hotbox mit Messplatz und Proband	76
36	Proband vor Strahlerwand	76
37	Beispiel Messwerte Hotbox-Versuch 2	76
38	Zeitlicher Ablauf eines Feuerwehreinsatzes gemäß AGBF	87
39	Zeit bis zum Flashover – Variationsbreite [Kunkelmann 2003] – Vergleich mit ORBIT- Studie [Beyerle et al. 1978] und AGBF - Empfehlung [AGBF 1998]	88
40	Modellberechnung	97
41	Gegenüberstellung von Schwarzkörpertemperatur und empfangener Strahlung	97
42	Grafische Darstellung des thermischen Belastungsprofils	99

<b>Bild Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
43	Thermische Belastungsprofile für HBUEA und Einsätze	100
44	Gegenüberstellung thermischer Parameter gemäß geltender Normen	101

## Verzeichnis der Tabellen

<b>Tabellen Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
1	Zeitplan	9
2	Parameter für Entflammbarkeitsprüfungen	20
3	Parameter für die Wärmedurchgangsprüfung bei Flammenexposition	21
4	Parameter für die Wärmedurchgangsprüfung bei Strahlungsexposition	22
5	Parameter für die Prüfung des Wärmewiderstands bzw. der Hitzefestigkeit	24
6	Parameter für die Prüfung der Materialfestigkeit nach Strahlungsexposition	25
7	Parameter für die Prüfung des Wärmedurchgangs bei Kontaktwärme	26
8	Koordinaten der Positionen der Thermoelemente	51
9	Gegenüberstellung von Temperaturmesswerten gemäß der ausgewerteten Literatur in 1,50 m Höhe	53
10	Versuchsbezogene Maximaltemperaturen	55
11	Bei den Untersuchungen aufgetretene Maximaltemperaturen	55
12	Zeiten bis zum Erreichen einer Temperatur von 45 °C an den Messstellen	58
13	Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Messstellen 1 bis 6	59

<b>Tabellen Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
14	Wärmestrahlungsintensitäten – vertikale (Brenner und Radiometer - links) und horizontale (Brenner und Radiometer - rechts) sowie frontale (Radiometer) Anordnung	61
15	Versuchsauswertung Teil 1 – Verweise auf Details im Anhang	69
16	Versuchsauswertung Teil 2 – Verweise auf Details im Anhang	70
17	Maximalen Werte für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	79
18	Maximale Temperaturen an der Temperaturmessstelle TM6 (Gehäuse Lungenautomat	80
19	Maximale Temperaturen an der Temperaturmessstelle TM8 (Atemlufttemperatur im Atemanschluss)	80
20	Maximale Temperaturen an der Temperaturmessstelle TM12 (unter dem Nackenschutz)	81
21	Zeitdauer vom Brandausbruch bis zum Wirksamwerden der Feuerwehrmaßnahmen	85
22	Gegenüberstellung von Temperaturmesswerten gemäß der ausgewerteten Literatur in 1,50 m Höhe	89
23	Auswahl Gummi und Kunststoffe für Dichtungswerkstoffe, Visiere, Kleidung etc	92

<b>Tabellen Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
24	PSA Versuche in HBUEA bei der Feuerwehr Karlsruhe	93
25	Kostenplan für Teilschritt 2	114
26	Sach- und Verwaltungskosten	115
27	Aufgabenschwerpunkte und mögliche Verantwortlichkeiten	116
28	Terminplan Teilschritt 2	116

## Literatur- und Quellenangaben

[AGBF 1998]	AGBF: Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren für Qualitätskriterien für die Bedarfsplanung von Feuerwehren in Städten vom 16. September 1998
[Allen et al. 2008]	Thermal Capacity of Fire Fighter Protective Clothing. Final Report Quincy, MA USA, 2008 <a href="http://www.nfpa.org/assets/files/PDF/Research/PPE_Thermal_Energy.pdf">http://www.nfpa.org/assets/files/PDF/Research/PPE_Thermal_Energy.pdf</a>
[ArbSchG 2008]	Bundesministerium der Justiz; Arbeitsschutzgesetz; Stand 17.06.2008
[Bayern Druckgeräte 2005]	Sicherheit von Druckgeräten, Merkblatt zur EU-Richtlinie 97/23/EG; Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie; Ausgabe März 2005; S. 2
[Bayern PSA 2005]	Persönliche Schutzausrüstungen, Merkblatt zur EU-Richtlinie 89/686/EWG; Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie; Ausgabe März 2005; S. 2
[Bertsch und Thorns 2009]	Dachstuhlbrand im Altenpflegeheim: erfolgreiche Menschenrettung Brandschutz, Deutsche Feuerwehrzeitung, 4/09, S. 294 – 298
[BetrSichV 2008]	Information der TÜV Süd Industrieservice GmbH; BetrSichV – Gefährdungsbeurteilung für Arbeitsmittel in der Fördertechnik; S. 1



[Beyerle et al. 1978]	Feuerwehrsystern – O.R.B.I.T. – Entwicklung eines Systems zur optimierten Rettung, Brandbekämpfung mit Integrierter Technischer Hilfeleistung. Forschungsbericht KT 7612 des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Weissach, Düsseldorf 1978
[BGR 190]	Benutzung von Atemschutzgeräten (bisher ZH 1/701) Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften Fachausschuss "Persönliche Schutzausrüstungen" der BGZ (April 2004)
[DIN EN 137 2007]	Atemschutzgeräte - Behältergeräte mit Druckluft (Pressluftatmer) mit Vollmaske – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung Stand Januar 2007
[Dräger 2001]	Flame-Engulfment-Test nach DIN EN 137 Drägerheft 372, 6/01, <a href="http://www.draeger.com/ST/internet/pdf/Master/De/draegerheft/DH372Flameengulfment AT.pdf">http://www.draeger.com/ST/internet/pdf/Master/De/draegerheft/DH372Flameengulfment AT.pdf</a> )
[Dräger 2002]	iPunkt; Informationen der Dräger Safety AG & Co. KGaA; Informationen zur Druckgeräterichtlinie und zur Betriebssicherheitsverordnung bezüglich Druckgasflaschen als überwachungsbedürftige Anlage; Ausgabe November 2002; S. 1
[Foster und Roberts 1994]	Measurement of the Firefighting Environment, Research Report Number 61, Department for Communities and Local Government, London, 1994 <a href="http://www.communities.gov.uk/documents/fire/pdf/154728.pdf">http://www.communities.gov.uk/documents/fire/pdf/154728.pdf</a>

[Freiwillige Feuerwehr Wedemark 2008]	Einsatz im Recyclingbetrieb im Gewerbegebiet Wedemark-Bissendorf (Leichtmetallbrand in einer Metallverwertungsanlage) <a href="http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C54260225_L20.pdf">http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C54260225_L20.pdf</a> , 2008
[FwDV 5009]	Einheiten im ABC-Einsatz (August 2004)
[FwDV 7 2004]	Atemschutz (August 2004)
[Göttingen 2007]	Abschlussbericht der Unfallkommission zum Einsatz am 27.07.2006; Kellerbrand Oeconomicum Georg-August-Universität Göttingen; Druckfassung 02.10.2007, <a href="http://www.feuerwehr.de/download/Unfall_Goettingen_Bericht_der_Unfallkommission.pdf">http://www.feuerwehr.de/download/Unfall_Goettingen_Bericht_der_Unfallkommission.pdf</a>
[Grabski et al. 2001]	Grabski, Reinhard; Pasch, Ulrich; Starke, Horst: Verhalten moderner Feuerwehr-Einsatzkleidung bei thermischer Beanspruchung unter Feuchte und Nässe. IMK Brandschutzforschung, Forschungsbericht Nr. 124, Institutsbericht Nr. 394, Heyrothsberge, 2001
[Grimwood und Desmet 2003]	Taktische Brandbekämpfung – Ein umfassendes Handbuch zur Innenangriffs- und Realbrandausbildung, Version 1.1 aus dem Englischen übersetzt von Adrian Rider (Englischer Titel: Tactical Firefighting – A comprehensive Guide to Compartment Firefighting & Live Fire Training [CFBT]) <a href="http://www.atemschutzunfaelle.de/download/cfbt.pdf">http://www.atemschutzunfaelle.de/download/cfbt.pdf</a> , 2003

[GUV-V C 53]	Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren vom Mai 1989, in der Fassung vom Januar 1997 mit Durchführungsanweisungen (Juli 2003)
[Hoischen, Lottermann und Stielow 2008]	Thermische Beanspruchung der Persönlichen Schutzausrüstung während der Heißgasausbildung, Brandschutz - Deutsche Feuerwehr-Zeitung, 4/08, S. 265 – 272
[Hoschke 1981]	Standards and Specifications for Firefighters' Clothing, Fire Safety Journal 4 (1981), S. 125 – 137
[IHK Niederbayern 2008]	Industrie- und Handelskammer Niederbayern; Merkblatt zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz; Ausgabe 1/2008; S. 1
[Keutel 08]	Experimentell bestimmte Temperaturen bei Raumbränden (Flashover-Container-Versuche)
[Knorr 2008]	Atemschutz. Rotes Heft 15, 14. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2008
[Kordina und Meyer-Ottens 1994]	Holz Brandschutz Handbuch. 2. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V., München 1994
[Kunkelmann 1998]	Auswirkung des Einsatzes ortsfester Wassernebel- löschanlagen auf die Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden mit doppelten Fassaden. Teil 3: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Literaturlauswertung (Wassernebellöschanlagen – Entwicklung, Löschrinzipien, Einsatzgebiete, Anwendungsgrenzen, Anlagentechnik, Normung)</li> <li>- Brand- und Löschrersuche in einem Gebäudeausschnitt mit einer Ganzflächendoppelfassade</li> </ul> Forschungsbericht Nr. 108 der Arbeitsgemeinschaft der

	<p>Innenministerien der Bundesländer.</p> <p>Arbeitskreis V – Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten.</p> <p>Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1998)</p>
[Kunkelmann 1999]	<p>Auswirkung von Schallschutzverglasungen und vorgehängten bzw. doppelten Fassaden auf den Brandablauf sowie die Brand- und Rauchausbreitung innerhalb und außerhalb der Brandwohnung.</p> <p>Teil 2</p> <p>Forschungsbericht Nr. 105 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V – Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1997)</p>
[Kunkelmann 2003]	<p>Flashover / Backdraft.</p> <p>Ursachen, Auswirkungen, mögliche Gegenmaßnahmen.</p> <p>Forschungsbericht Nr. 130 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2003)</p>
[Lawson et al. 2005]	<p>Estimates of Thermal Properties for Fire Fighters' Protective Clothing Materials.</p> <p>NISTIR, 7282, National Institute of Standards and technology, 2005</p> <p><a href="http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire05/PDF/f05108.pdf">http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire05/PDF/f05108.pdf</a></p>

[Louhevaara et al. 1995]	Maximal physical work performance with European standard based fire-protective clothing system and equipment in relation to individual characteristics.  European Journal of Applied Physiology, Volume 71, Number 2-3, 1995  <a href="http://www.springerlink.com/content/r2qk757752326442/fulltext.pdf">http://www.springerlink.com/content/r2qk757752326442/fulltext.pdf</a>
[Marschner und Zuther 2007]	BVH Info-Reihe 2; Der Gesetzgeber fordert...; Marschner, Birgit; Zuther, Frank; Bundesverband Handschutz e.V.; Ausgabe September 2007
[Pannier und Weich 2006]	<a href="http://www.atemschutzunfaelle.eu">www.atemschutzunfaelle.eu</a> ; Pannier, Christian; Weich, Rüdiger; Der Atemschutzeinsatz – Eine Betrachtung im Umfeld von Richtlinien, Normen und Vorschriften; S. 2; 2006
[Pasch 00]	Pasch, Ulrich; Wienecke, Friedrich: Thermische Belastung Persönlicher Schutzausrüstung im Feuerwehrübungshaus (FÜH) der BKS Heyrothsberge. Institutsbericht Nr. 445, Heyrothsberge, 2000
[Pasch 05]	Pasch, Ulrich; Koch, Mario; Wienecke, Friedrich: Untersuchungen zu sicherheitsrelevanten thermischen Parametern des Feuerwehr-Übungshauses auf dem Ausbildungs- und Übungsgelände. Institutsbericht Nr. 423/1, Heyrothsberge, 2005
[Pasch 06]	Pasch, Ulrich; Wienecke, Friedrich: Ermittlung der Wärmestrahlung einer Jetbrandflamme für die Nutzung in der Aus- und Fortbildung in Abhängigkeit von den Betriebsparametern der Jetbrandanlage. Institutsbericht Nr. 438, Heyrothsberge, 2006
[Pasch 96]	Pasch, Ulrich: Anforderungsprofil für Schutzkleidung der

	Feuerwehr für die Brandbekämpfung. IMK Brandschutzforschung, Forschungsbericht Nr. 99, Institutsbericht Nr. 343, Heyrothsberge, 1996
[Pasternack 2002]	374 Drägerheft 11/02; Die Druckgeräte-Richtlinie (DGRL) – Auswirkungen auf Atemschutzgeräte;
[Seibert und Stephan 2007]	Was muss Feuerwehrsutzhleidung können?; Brandschutz; Deutsche Feuerwehrzeitung; April 2007; S. 255 – 262
[Speth et al. 2002]	Betriebsverhalten von Flashover-Containern - Untersuchungen zum Temperaturverhalten von Flashover-Containern am Beispiel des Containers der Feuerwehr Aachen. vfdb-Zeitschrift, 2/2002; S. 53 – 58
[SSM 2007]	Herstellen und Inverkehrbringen von Produkten; Hinweise für Hersteller, Importeure und Händler; Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit, Thüringer Ministerium für Soziales Familie und Gesundheit; Ausgabe Oktober 2007; 3. überarbeitete Fassung, S. 2, 16
[Thüringen 2008]	Information des Thüringer Landesbetriebes für Arbeitsschutz und technischen Verbraucherschutz; Die Betriebssicherheitsverordnung – Regelungen für den betrieblichen Arbeitsschutz; Ausgabe Juli 2008; S. 2
[Unfallkasse 2008]	Informationsschrift Nr. 08/02 – Die Betriebssicherheitsverordnung; Unfallkasse des Bundes; Ausgabe Mai 2008; S. 1