

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Simulation der Alterung von Feuerwehr-Schutzklei-
dung durch ausgewählte Belastungssituationen

134

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN,
KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG

Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer

Arbeitskreis V

Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung

Forschungsbericht Nr. 134

Simulation der Alterung von Feuerwehr-
Schutzkleidung durch ausgewählte
Belastungssituationen

von

Dipl.-Ing. Ulrich Pasch

Dipl.-Phys., Dipl.-Wirt.-Ing.(FH) Mario Koch

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt

Heyrothsberge

Februar 2004

BERICHTS-KENNBLATT

Nummer des Berichtes:		Titel des Berichtes		ISSN:	
134		Simulation der Alterung von Feuerwehr-Schutzkleidung durch ausgewählte Belastungssituationen		0170-0060	
Autoren:			durchführende Institution:		
Dipl.-Ing. Ulrich Pasch Dipl.-Phys., Dipl.-Wirt.-Ing.(FH) Mario Koch			Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt Biederitzer Straße 5 D-39175 Heyrothsberge Direktor: Prof. Dr. rer. nat. habil. Reinhard Grabski		
Nummer des Auftrages:			auftraggebende Institution:		
39 (2/2002)H			Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V – Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung		
Datum des Berichtes:					
Februar 2004					
Seitenzahl:	Bilder:	Tabellen:	Literaturverweise:		
81 (Anlagen: 37)	39 *)	21	48		
Kurzfassung:					
<p>Zielstellung des Forschungsvorhabens war, nachzuweisen, inwieweit sich die Schutzeigenschaften von Feuerwehr-Schutzkleidung durch Alterungsprozesse verändern können. In die Untersuchungen wurden verschieden konfektionierte Feuerwehr-Schutzkleidung (Feuerwehrrüberjacken) und Materialproben, die vom Lagenaufbau der konfektionierten Kleidung entsprachen, einbezogen. Da Alterungsprozesse durch eine Vielfalt von Parametern beeinflusst werden und eigentlich Langzeitprozesse darstellen, mussten diese im Rahmen der Realisierung des Vorhabens simuliert werden. Das bedeutete, dass die Vielzahl der Einfluss habenden Parameter reduziert und der Alterungsprozess insgesamt zeitlich gestaffelt und gerafft abzulaufen hatte. Die Alterungsprozesse und ihre zeitliche Abfolge wurden simuliert durch thermische, mechanische sowie Reinigungsprozesse der sachgemäßen und der unsachgemäßen Art. Entwickelt wurde ein Auswerteverfahren zum Nachweis geringfügiger Veränderungen des thermischen Verhaltens von Materialien, wie sie möglicherweise durch Alterungsprozesse auftreten können. Im Ergebnis der simulierten Alterungsprozesse wurden die belasteten Materialien noch hinsichtlich ihres Zug-Dehn-Verhaltens untersucht und bewertet. Im Ergebnis der Untersuchungen kann konstatiert werden, dass durch die bei den Untersuchungen angewandten Methoden der Alterung die erwarteten negativen Auswirkungen in Bezug auf die thermischen Eigenschaften ausblieben, statt dessen sogar Verbesserungen im thermischen Verhalten der Materialien der Feuerwehr-Schutzkleidung nachweisbar waren.</p>					
Schlagwörter:					
<p>Feuerwehr-Schutzkleidung, Feuerwehrrüberjacke, Materialproben, Alterung, Simulation, Reinigen, thermische Beanspruchung, mechanische Beanspruchung, Dummy, Versuchspuppe, Wärmeflussensor, Wärmefluss, Temperaturmessung, Reibung, Zug, Dehnung, Wärmestrahlung, Transmissionskoeffizient.</p>					

*) Farbseiteninformationen des Forschungsberichtes auf CD-ROM können bei Kostenerstattung von 5 € beim Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Biederitzer Str. 5, 39175 Heyrothsberge, abgefordert werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	6
2	Materialauswahl	8
3	Alterungskonzept	10
3.1	Kritische Belastungssituationen	13
3.2	Zeitlich relevante Faktoren	13
3.3	Pflegefaktoren	14
3.4	Simulationsverfahren	17
3.4.1	Thermische Simulationsverfahren	17
3.4.1.1	Verfahren für konfektionierte Feuerwehr-Schutzkleidung mittels Wärmestrahlerwand	18
3.4.1.2	Verfahren zur Untersuchung von Materialproben mittels Gasstrahler	19
3.4.2	Mechanische Simulationsverfahren	20
3.4.2.1	Verfahren zur Ermittlung der Scheuerfestigkeit	20
3.4.2.2	Verfahren zur Ermittlung des Zug-Dehnverhaltens	21
4	Voruntersuchung Wärmedurchlassgrad	23
5	Simulation Alterungsprozesse der Feuerwehr-Schutzkleidung durch Reinigung....	30
6	Konzipierung eines Verfahrens zur Feststellung geringfügiger Veränderungen der thermischen Eigenschaften textiler Materialien.....	35
6.1	Das Messverfahren.....	36
6.2	Der Versuchsaufbau	38
6.3	Instrumentierung der Versuchspuppe.....	40
7	Untersuchungen zum Einfluss von Alterungsprozessen.....	44
7.1	Untersuchung konfektionierter Feuerwehrüberjacken	44
7.2	Untersuchung von Materialproben der Feuerwehrüberjacken	45
8	Messergebnisse zum thermischen Verhalten von gealterter Feuerwehr- Schutzkleidung.....	49
8.1	Ergebnisse untersuchter Materialproben die den Prozessen der Alterung durch Reinigung unterzogen wurden	49
8.1.1	Erläuterungen zu den Ergebnistabellen.....	49
8.1.2	Ergebnisse untersuchter Materialien, die den Simulationsprozessen der Alterung durch Reinigung unterzogen wurden	56

8.2	Ergebnisse untersuchter Materialproben die den Prozessen der Alterung durch Reinigung und zusätzlich durch Scheuern unterzogen wurden	62
8.2.1	Erläuterungen zur Ergebnistabelle	63
8.2.2	Auswertung der Messergebnisse.....	65
9	Untersuchungen zur Ermittlung des Zug-Dehnverhaltens	67
9.1	Erläuterungen zu den Ergebnisübersichten	67
9.2	Auswertung der Messergebnisse des Zug-Dehn-Verhaltens der Materialien	69
10	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	73
11	Literaturverzeichnis.....	76
12	Anlagenverzeichnis	81

Verzeichnis der Bilder

Bild 1:	Waschschleuderautomat WS 5141.....	15
Bild 2:	Trockenautomat T 6351	15
Bild 3:	Dosiersystem	15
Bild 4:	Wärmestrahlerwand in Hotbox	18
Bild 5:	Propan – Gasstrahler	19
Bild 6:	Reibechtheitsprüfer	20
Bild 7:	Druckkammern.....	20
Bild 8:	Gummimembrane.....	20
Bild 9:	Testometric Micro 350.....	21
Bild 10:	Prüfgerät Wärmedurchgang Strahlung.....	24
Bild 11:	Kalorimeter	24
Bild 12:	Mittelwerte bei 10 kW/m ²	26
Bild 13:	Mittelwerte bei 25 kW/m ²	26
Bild 14:	Grafische Darstellung der Wärmedurchflussgrade	28
Bild 15:	Medtherm-Wärmeflussensor	36
Bild 16:	Energiebilanz	36
Bild 17:	Eindimensionaler planarer Sensor	37
Bild 18:	Thermosäule für Differenztemperaturmessung.....	37
Bild 19:	Thermosäule im Wärmeflussensor	38
Bild 20:	Infrarotbild der Aluminiumplatte bei t=25 s	39
Bild 21:	Vergleich der Sensorwerte auf Messingadapter und Wärmeleitfolie.....	40
Bild 22:	Plane Messstelle mit Bohrungen.....	41
Bild 23:	Aufgeklebter Sensor.....	41
Bild 24:	Prinzipielle Anordnung der Wärmeflussensoren auf der Oberfläche.....	42
Bild 25:	Innenansicht der Versuchspuppe nach der Instrumentierung.....	43
Bild 26:	Versuchspuppe mit Sensoren und deren Bezeichnung	43
Bild 27:	Fluktuationen der Messsignale durch freie Konvektion	45
Bild 28:	Wärmeflussensoren mit Abstandshaltern	46
Bild 29:	Schichtaufbau der Feuerwehrsutckleidung mit Wärmeelüssen	48
Bild 30:	Tabellenausschnitt zur Interpretation der Ergebnisse	49
Bild 31:	Messergebnisse kompletter Lagenaufbau	60
Bild 32:	Differenzen der Messergebnisse kompletter Lagenaufbau	60

Bild 33: Messergebnisse Einzellagen.....	61
Bild 34: Differenzen der Messergebnisse Einzellagen	61
Bild 35: Grafische Darstellung der Ergebnisse für Materialprobe A.....	64
Bild 36: Zug-Dehnungs-Diagramm sowie Messdaten des Zugversuches mit Materialien vom Typ A	67
Bild 37: Zugversuch Außenschicht.....	68
Bild 38: Zugversuch Zwischenschicht	68
Bild 39: Zwischenschicht nach Zugversuch.....	69

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	In die Untersuchungen einbezogene Feuerwehr-Überjacken	8
Tabelle 2:	Ergebnisse der Verfahrensanwendung nach DIN EN 366 zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades – Material A	27
Tabelle 3:	Ergebnisse der Verfahrensanwendung nach DIN EN 366 zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades – Material B.....	27
Tabelle 4:	Ergebnisse der Verfahrensanwendung nach DIN EN 366 zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades – Material C	27
Tabelle 5:	Ergebnisse der Verfahrensanwendung nach DIN EN 366 zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades – Material D	27
Tabelle 6:	Rangfolge thermisches Verhalten - 10 kW/m ²	29
Tabelle 7:	Rangfolge thermisches Verhalten - 25 kW/m ²	29
Tabelle 8:	Zyklen der Simulation der Alterungsprozesse durch Reinigung.....	30
Tabelle 9:	Technische Daten des Wärmeflussensors.....	38
Tabelle 10:	Messergebnisse zum thermisches Verhalten der Feuerwehr-Überjacke Typ A..	52
Tabelle 11:	Messergebnisse zum thermisches Verhalten der Feuerwehr-Überjacke Typ B ..	53
Tabelle 12:	Messergebnisse zum thermisches Verhalten der Feuerwehr-Überjacke Typ C ..	54
Tabelle 13:	Messergebnisse zum thermisches Verhalten der Feuerwehr-Überjacke Typ D..	55
Tabelle 14:	Auswertung alterungsbezogenes thermisches Verhalten Materialtyp A	58
Tabelle 15:	Auswertung alterungsbezogenes thermisches Verhalten Materialtyp B	58
Tabelle 16:	Auswertung alterungsbezogenes thermisches Verhalten Materialtyp C	58
Tabelle 17:	Auswertung alterungsbezogenes thermisches Verhalten Materialtyp D	59
Tabelle 18:	Dem Scheuerprozess unterworfenen Materialproben	62
Tabelle 19:	Transmissionskoeffizienten im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen..	64
Tabelle 20:	Bewertung der gescheuerten Proben	65
Tabelle 21:	Bruchlasten in <i>N</i>	70

1 Vorwort

Feuerwehr-Schutzkleidung hat in der harten Praxis des Feuerwehreinsatzes einer Vielzahl unterschiedlicher Belastungen standzuhalten. Das können beispielsweise mechanische, chemische und thermische Belastungen sein. Grundlegende diesbezügliche Anforderungen und Prüfverfahren regeln die Herstellung von Feuerwehr-Schutzkleidung beschreibenden Vorschriften, wie z. B. die Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine universelle Feuerwehr-Schutzkleidung (HuPF) [HuPF 99]. Damit wird sichergestellt, dass Feuerwehr-Schutzkleidung entsprechend des wissenschaftlich-technischen Erkenntnisstandes auf diesem Gebiet durch die Art der Konfektionierung, verbunden mit dem Einsatz entsprechender Materialien sowie unter Einhaltung einer vorgeschriebenen Trageweise den Feuerwehrmann vor den aus den unterschiedlichsten Einsatzsituationen resultierenden Gefahren schützt. Es ist wiederum auch eine Tatsache, dass die für die Feuerwehr-Schutzkleidung eingesetzten Materialien sich auf Grund der Einsatzbelastungen über die Tragezeit der Kleidung oder möglicherweise sogar durch Alterungserscheinungen verändern können, wodurch die Parameter Veränderungen erfahren könnten, die für Schutzfunktion des Kleidungsstückes stehen. In diesem Zusammenhang ist es von nicht unerheblichem Interesse, ob denn im Verlauf der Nutzung der Feuerwehr-Schutzkleidung durch den Feuerwehrmann solch gravierende Parameterveränderungen auftreten können, die möglicherweise eine weitere Nutzung der Feuerwehr-Schutzkleidung aus Sicherheitsgründen verbieten könnten. Neben diesen sicherheitsrelevanten Fragen verbergen sich hinter der gesamten Problematik auch handfeste ökonomische Aspekte, denn es dürfte bei einer in Deutschland erforderlichen Ausrüstung von mehr als eine Million Feuerwehrmännern mit Feuerwehrsutzkleidung schon interessant sein, ob die Tragezeiten der Kleidung nicht wie angedacht 6 Jahre, sondern nur 5 Jahre betragen.

Sinn und Zweck oder auch Zielstellung des Forschungsvorhabens „Simulation der Alterung von Feuerwehr-Schutzkleidung durch ausgewählte Belastungssituationen“ war, nachzuweisen, ob, und wenn ja, welche für den Schutz des Feuerwehrmannes sicherheitsrelevanten Veränderungen der Feuerwehr-Schutzkleidung im Ergebnis derartiger Belastungssituationen auftreten können.

Wenn an dieser Stelle von „Simulation der Alterung“ gesprochen wird, dann soll darunter das Verhalten von Feuerwehr-Schutzkleidung unter ausgewählten reproduzierbaren Belastungssituationen über einen definierten, unter dem Simulationsaspekt jedoch zeitlich

gerafften, Trage- und Beanspruchungszeitraum verstanden werden. Der „normale“ Prozess der Alterung im Sinne eines langjährigen Beobachtens und Beurteilens des Verhaltens von Materialien unter „Umweltbedingungen“ ist damit also nicht gemeint, wäre auf Grund der veranschlagten Tragezeiten von Feuerwehr-Schutzkleidung sicher auch nicht untersuchungswürdig.

Entsprechende quantitative Aussagen zu den mit Alterungsprozessen von Feuerwehr-Schutzkleidung einhergehenden Veränderungen der Funktionsparameter von Feuerwehr-Schutzkleidung lassen sich nur erzielen mittels reproduzierbarer Untersuchungsverfahren. Das bedeutet, dass vergleichende Untersuchungen zwischen neuer, d. h. unbelasteter, und im o. g. Sinne „gealterter“ Feuerwehr-Schutzkleidung durchzuführen sind.

Als Äquivalent für die Alterung von Feuerwehr-Schutzkleidung kamen ausgewählte verschiedenartige und zeitlich differenzierte Belastungen, wie sie sowohl in Einsatzsituationen als auch beim alltäglichen Umgang und bei der Pflege der Kleidung auftreten, zur Anwendung.

Belastungsart, Belastungsdauer und Belastungszyklen wurden in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Einsatzgeschehen und der Einsatzhäufigkeit sowie dem Gebrauchsverhaltens festgelegt. In die Untersuchungen einbezogen wurden in diesem Zusammenhang verfahrensbedingt sowohl Materialproben, als auch fertig konfektionierte Feuerwehr-Schutzkleidung.

2 Materialauswahl

In die Untersuchungen wurden vier verschiedenen konfektionierte Feuerwehr-Überjacken nach HuPF – Teil 1 [HuPF 99] gemäß Tabelle 1 einbezogen. Feuerwehr-Überjacken wurden deshalb ausgewählt, da diese erfahrungsgemäß den höchsten Beanspruchungen in der Praxis des Feuerwehreinsatzes ausgesetzt sind und insbesondere auch den aus der Brandbekämpfung resultierenden thermischen Belastungen zu widerstehen haben. Die Auswahl erfolgte auf der Grundlage der „Bescheide für Feuerwehrüberjacken, Feuerwehrhosen und Feuerwehrjacken gemäß HuPF“ der Zertifizierungsstelle des Forschungsinstitutes Hohenstein [Hohenstein 02].

Tabelle 1: In die Untersuchungen einbezogene Feuerwehr-Überjacken

Typ Bezeichnung	Lagenaufbau ^{*)}
Feuerwehr- Überjacke A	Außenschicht: <i>Obermaterial: NOMEX Delta TA, ca. 195 g/m²</i> Zwischenschicht: <i>Nässesperre: GORE-TEX Fireblocker, PTFE Membran</i> Innenschicht: <i>Isolationslage: 100 % Aramid-Vlies 200 g/m², versteppt mit Innenfutter</i> <i>Innenfutter: 50 % NOMEX, 50 % Viskose FR 135 g/m²</i>
Feuerwehr- Überjacke B	Außenschicht: <i>Obermaterial: NOMEX Delta TA, 195 g/m²</i> Zwischenschicht: <i>Nässesperre: GORE-TEX Fireblocker, PTFE Membran</i> Innenschicht: <i>Isolationslage: 100 % Aramid-Vlies 150 g/m², versteppt mit Innenfutter</i> <i>Innenfutter: 50 % NOMEX, 50 % Viskose FR 135 g/m²</i>
Feuerwehr- Überjacke C	Außenschicht: <i>Obermaterial: NOMEX Delta C 230 g/m², Ripstop</i> Zwischenschicht: <i>Nässesperre: GORE-TEX AIRLOCK mit Silikonabstandshalter</i> Innenschicht: <i>Innenfutter: 50 % NOMEX, 50 % Viskose FR 115 g/m², Ripstop</i>
Feuerwehr- Überjacke D	Außenschicht: <i>Obermaterial: NOMEX Delta TA 195 g/m²</i> Zwischenschicht: <i>Nässesperre: FR-Liner, Artikel 469 2lg, GORE, PTFE Membran</i> Innenschicht: <i>Isolationslage: 100 % Aramid-Vlies 150 g/m²</i> <i>Innenfutter: 50 % NOMEX, 50 % Viskose FR 135 g/m²</i>

^{*)} gemäß Herstellerangaben

Von jedem Jackentyp wurden für die Untersuchungen sieben Stück beschafft. Außerdem standen jeweils Materialbahnen der Größe $1,4\text{ m} \times 2,0\text{ m}$ als komplette Baumuster (einseitig vernäht) mit typenidentischem Lagenaufbau für Materialuntersuchungen zur Verfügung.

3 Alterungskonzept

Generelle Aussagen zum Verhalten von Feuerwehr-Schutzkleidung in Folge der „Alterung“ im definierten Sinne sind schon deshalb nicht zu erwarten, da aus den jeweils zum Einsatz gelangenden Materialien, dem damit verbundenen Lagenaufbau und der Anzahl der Lagen konfektionierter Feuerwehr-Schutzkleidung logischerweise auch unterschiedliche Verhaltenssymptome zu erwarten sind. Zudem spielen auch solche Fragen wie Einsatzhäufigkeiten, Einsatzarten sowie Beanspruchungsarten und -häufigkeiten, denen die Feuerwehr-Schutzkleidung ausgesetzt ist, eine wichtige Rolle. Insofern ist es natürlich erst recht schwierig, den Prozess der natürlichen Alterung von Feuerwehr-Schutzkleidung unter Berücksichtigung der vielfältigen Beanspruchungsarten, wie sie im täglichen Einsatz vorkommen können, durch Simulation in ihrer Gesamtheit umfassend nachzuvollziehen.

Um dennoch Aussagen über das Verhalten von Feuerwehr-Schutzkleidung durch „Alterung“ zu bekommen, vor allem hinsichtlich des Einflusses von Alterungsfaktoren auf die Schutzfunktion der Feuerwehrsutzkleidung, gilt es zunächst, repräsentative und simulationswürdige, vor allem aber auch reproduzierbare Faktoren zu definieren. Zwangsläufig führt eine solche Betrachtungsweise von selbst zu einer Minimierung der an sich beim Alterungsprozess zu berücksichtigenden Faktoren und damit zu einer vereinfachten, aber dennoch aussagefähigen Bewertungsmethode. Dabei ist natürlich eine gewisse Wichtung in Bezug auf den Grad der möglichen Auswirkungen der Faktoren zu berücksichtigen.

Neben den tatsächlich eine Alterung bedingenden Faktoren müssen unter dem Simulationsaspekt zudem Annahmen getroffen werden, die die Wiederholbarkeit des Einwirkens der Alterungsfaktoren betreffen. Darunter kann beispielsweise die vorgenannte Einsatzhäufigkeit in Verbindung mit der Tragedauer der Feuerwehr-Schutzkleidung verstanden werden. Es ist schließlich einsehbar, dass durch eine hohe Einsatzhäufigkeit und eine längere Tragedauer der Kleidung sich die durch Alterung im definierten Sinne einstellenden Veränderungen, in welcher Hinsicht auch immer, potenzieren können.

Wenn davon ausgegangen werden kann, dass durch Alterungsprozesse die Schutzwirkung von Feuerwehr-Schutzkleidung beeinflusst werden kann und wenn zu entscheiden ist, welche dieser Prozesse denn im Rahmen des zu bearbeitenden Vorhabens simulationswürdig und reproduzierbar gestaltbar sind, dann ist zunächst eine Aussage darüber zu treffen, welche Anforderungen durch diese zu erfüllen sind.

Neben dem Tragekomfort und der Tages- und Nachtauffälligkeit sind folgende grundlegende Anforderungen an Feuerwehr-Schutzkleidung zu stellen:

- Nässeschutz (Regen- und Löschwasser)
- Hitzeschutz (Wärmestrahlung, Flammen, Kontaktwärme)
- Kälteschutz
- Mechanischer Schutz
- Chemikalienschutz.

Eine zunehmend wichtige, in der Praxis bisher leider oft unterschätzte Anforderung, ist die des allgemeinen Umgangs und der richtigen Pflege der Feuerwehr-Schutzkleidung. Deshalb war es nur logisch, diese Problematik in die Untersuchungen einzubeziehen, vor allem auch deshalb, weil diese komplexe Betrachtungsweise des Zusammenwirkens von einsatzrelevanten Belastungen und pflegerelevanten Belastungen bislang nicht ausreichend untersucht wurde.

Unter Beachtung der vorgenannten Anforderungen, die deutlich machen, welchen Belastungen Feuerwehr-Schutzkleidung neben der allgemein möglichen Verschmutzung ausgesetzt ist, und deren Einflüsse in ihrer Wirkung die Faktoren der Alterung ausmachen, musste entschieden werden, welche Belastungsformen im Rahmen der zu führenden Untersuchungen reproduzierbar durch geeignete Verfahren simuliert werden können.

Dabei war von vornherein klar, dass nicht alle möglichen Belastungsformen Eingang finden konnten in die Betrachtungen, da dies den zur Verfügung stehenden Zeitfond im Rahmen der Bearbeitung des Vorhabens weit überschreiten würde.

In Vorbereitung der Bearbeitung des Vorhabens mussten folgende grundsätzliche Fragestellungen beantwortet werden:

1. Was für Belastungssituationen können als die für den Feuerwehrmann kritischsten eingeschätzt werden?

Als Folge dieser Einschätzung ergeben sich zwangsläufig die schützenswertesten Eigenschaften der Feuerwehr-Schutzkleidung. Daraus resultiert zugleich die Erkenntnis, dass die diesen Belastungen widerstehenden Eigenschaften der Feuerwehr-Schutzkleidung sich nicht in negativer Hinsicht in einem Maß verändern dürfen, welches den Feuerwehrmann gefährden könnte.

2. Welche zeitlich relevanten Faktoren, die im Zusammenwirken mit den auftretenden Belastungen zu sehen sind, müssen Berücksichtigung finden?

Für das bei Feuerwehreinsätzen grundsätzlich anzunehmende diskontinuierliche Einwirken der Belastungen müssen Annahmen für Belastungsdauer und Häufigkeit des Auftretens der Belastungssituationen über den Zeitraum der Nutzung der Feuerwehr-Schutzkleidung getroffen werden.

Hier sind beispielsweise zu berücksichtigen die Fragen der Tragezeiten der Feuerwehrsutzkleidung, die Einsatzarten und die Einsatzfrequenzen. Dies sind Faktoren, die wiederum gegenseitig voneinander abhängig sind. Deshalb kann es hierauf pauschal sicherlich keine Antwort geben. Hier ist ein Maß anzusetzen, welches einen annähernden Durchschnitt darstellen wird.

3. In welcher Art und Weise kann dem Problem der Pflege von Feuerwehrsutzkleidung Rechnung getragen werden?

Hier sollten die Fragen einer sachgemäßen und einer unsachgemäßen Pflege der Feuerwehr-Schutzkleidung Berücksichtigung finden.

4. Welche Verfahren zur Simulation der Belastungssituationen und des Pflegeverhaltens, die im Ergebnis der Auswahlverfahren gemäß 1. bis 3. bestimmt werden, können eingesetzt werden?

Zu berücksichtigen waren hier Verfahren, die einerseits möglichst praxisnah die Belastungssituationen simulieren können, andererseits sich nach Möglichkeit aus dem vorhandenen institutseigenen Gerätepark rekrutierten, um Kosten zu sparen.

5. Welche möglichen Untersuchungsverfahren zum Nachweis relevanter Veränderung der Schutzwirkung der Feuerwehr-Schutzkleidung auf dem jeweiligen Belastungssektor bieten sich im Ergebnis der Anwendung der nach 4. selektierten bzw. ausgewählten Simulationsverfahren an?

In Unkenntnis darüber, ob überhaupt und wenn ja, in welchem Maße sich im Ergebnis der belasteten gegenüber der unbelasteten Feuerwehr-Schutzkleidung

messbare Veränderungen der definierten Schutzwirkung einstellen, waren Nachweisverfahren anzuwenden, die hinreichend genau auch sich einstellende geringe Veränderungen ausweisen konnten.

Nachfolgend wird auf die vorangegangenen Aspekte der Fragestellungen 1 bis 5 näher eingegangen, um daraus ableitend die konkreten Festlegungen auszuweisen, die die Basis bildeten für die im vorliegenden Bericht dargelegten Untersuchungsergebnisse.

3.1 Kritische Belastungssituationen

Ausgehend von den o. a. Anforderungen, die ja ihren Ursprung in der Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine universelle Feuerwehr-Schutzkleidung haben, kann aus eigenen und den Erfahrungen der Feuerwehren eingeschätzt werden, dass Anforderungen in Bezug auf den

- Hitzeschutz und den
- Mechanischen Schutz

in besonderem Maße Beachtung zu schenken ist. Damit werden im Wesentlichen die bei den Einsatzarten Brandbekämpfung und Hilfeleistung doch wesentlichsten Belastungssituationen weitestgehend berücksichtigt. Die genannten anderen Anforderungen bzw. Belastungssituationen sollen deshalb bei weitem nicht unterschätzt werden, müssen bei den angestrebten Untersuchungen jedoch aus Kapazitätsgründen und aus den im Abschnitt 3.4 bezüglich der Frage der Reproduzierbarkeit zu simulierender Parameter zunächst zurückstehen. Es sei jedoch in diesem Zusammenhang darauf verwiesen, dass es sich im Rahmen diverser Untersuchungen, die ein definiertes Verschmutzen bzw. Aufbringen flüssiger Chemikalien auf Feuerwehr-Schutzkleidung oder deren Materialien zum Ziel hatten, als erfolglos erwies, das jeweilige Aufbringerverfahren und damit den Verschmutzungs- bzw. Verseuchungsgrad reproduzierbar zu gestalten. Deshalb wurden derartige Untersuchungen, da sie keine Vergleichbarkeit untereinander ermöglichen, von vornherein außer Acht gelassen.

3.2 Zeitlich relevante Faktoren

Unter Berücksichtigung der anzuwendenden Verfahren und des damit verbundenen Material- und Zeitaufwandes wurde die Festlegung getroffen, für die Untersuchungen der konfektionierten Feuerwehr-Überjacken deren Tragezeit mit drei Jahren festzulegen, obwohl

in der Feuerwehrpraxis mit einer durchschnittlichen Tragezeit von ca. sechs Jahren zu rechnen ist. Dabei wurde vom Grundsatz her aber auch davon ausgegangen, dass es möglich sein kann, die sich einstellenden Veränderungen der Schutzwirkung über einen Zeitraum von drei Jahren auf den Tragezeitraum von 6 Jahren hochzurechnen. Die Option, dass bei sich einstellenden gravierenden Veränderungen der Schutzwirkung zusätzliche Versuche, die eine über die 3 Jahre hinausgehende Tragezeit simulieren sollen, durchzuführen sind, wurde deshalb offen gelassen.

Diverse Materialuntersuchungen, die im vorliegenden Bericht beschrieben und ausgewertet werden, basieren, was die zeitliche Relevanz betrifft, ebenfalls auf den für konfektionierte Feuerwehr-Schutzkleidung festgelegten Tragezeiten. Darüber hinaus wurden aber auch, und dieses trifft für mechanische und thermische Belastungen zu, deren Einwirkzeiten auf Materialproben oder konfektionierte Feuerwehr-Überjacken mehr oder weniger willkürlich festgelegt. Das jedoch mit der Maßgabe, dass auf jeden Fall praxisrelevante Einwirkzeiten nicht unterschritten werden, um auftretende Effekte in Bezug auf mögliche Veränderungen der Schutzwirkung durch die genannten Belastungen nicht unberücksichtigt zu lassen.

3.3 Pflegefaktoren

Unter Pflege soll hier in erster Linie das Säubern bzw. Reinigen von Feuerwehr-Schutzkleidung verstanden werden. Andere Aspekte, wie beispielsweise die Art der Aufbewahrung oder Lagerung, können oder müssen schon wegen der ihr zugrundeliegenden subjektiven Verhaltensweisen außer Acht gelassen werden.

Für die Reinigung der Feuerwehr-Schutzkleidung werden durch die Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine universelle Feuerwehr-Schutzkleidung (HuPF) und in der Regel auch durch die Hersteller entsprechende Pflegehinweise gegeben, die eine lange Lebensdauer der Feuerwehr-Schutzkleidung sowie die ihr in jeder Hinsicht zugeordnete Schutzwirkung während dieses Zeitraumes gewährleisten sollen. Grundsätzlich sind danach zwei Möglichkeiten gegeben, die Kleidung zu reinigen. Erstens durch entsprechende Wasch- und Trockenverfahren in Waschmaschinen und Trocknern und zweitens durch Chemischreinigen. Chemischreinigungen der Feuerwehr-Schutzkleidung fanden jedoch im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen nicht statt.

Unter Reinigung soll in diesem Zusammenhang grundsätzlich das Waschen und das Trocknen der Kleidung als Einheit verstanden werden. Dazu kamen bei den geführten Untersuchungen die im Bild 1, Bild 2 und Bild 3 dargestellten Geräte zum Einsatz. Das sind der

Waschschleuderautomat WS 5141, der Trockner T 6351 sowie das an den Waschschleuderautomaten angeschlossene Dosiersystem.

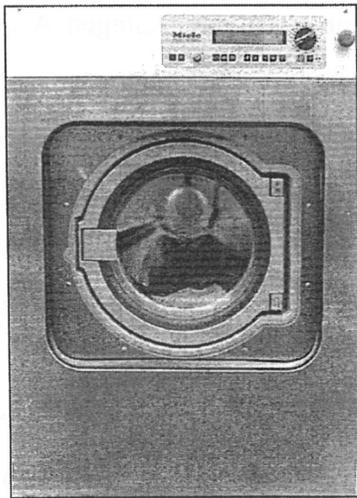


Bild 1: Waschschleuderautomat WS 5141

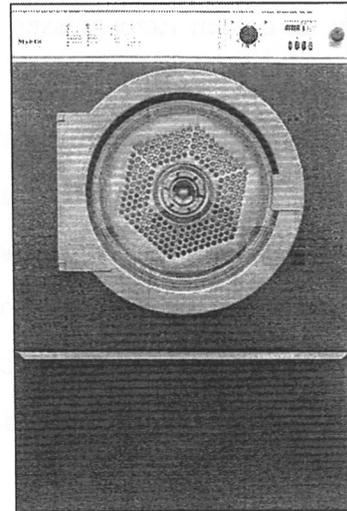


Bild 2: Trockenautomat T 6351

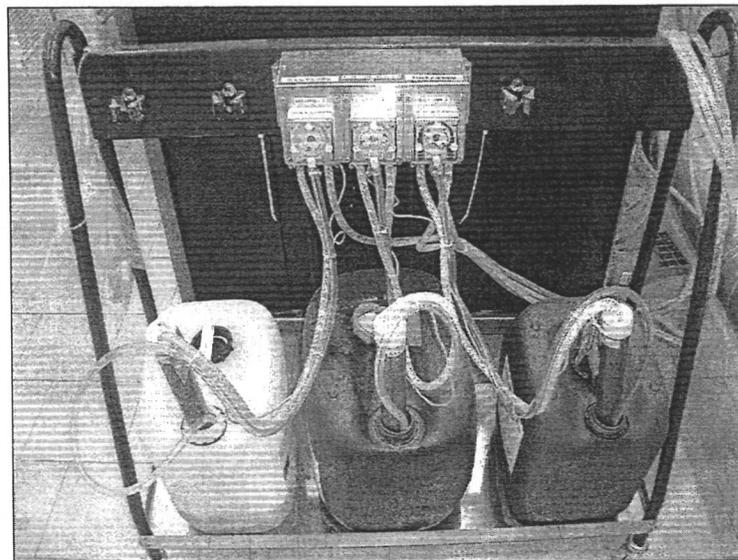


Bild 3: Dosiersystem

Der Waschschleuderautomat WS 5141 ist ein elektrobeheizter Waschschleuderautomat, welcher programmabhängig ein Trockenwäsche-Füllgewicht von 7 bis 9 kg bzw. 14 kg zulässt. Entsprechende Waschprogramme sind vorprogrammiert, können zusätzlich aber auch frei programmiert werden.

Das an den Waschschleuderautomaten angekoppelte Dosiersystem gestattet, je nach eingestelltem Programm des Waschschleuderautomaten, die automatische und dosiermengengesteuerte Zuführung von Flüssigwaschmitteln, flüssigen Imprägnier- und Hydrophobiermitteln sowie flüssigen Bleich- und Desinfektionsmitteln über Dosierpumpen.

Bei den Untersuchungen kamen als Flüssigwaschmittel *Usana-Liquid*, ein flüssiges Fein- und Wollwaschmittel, und als Hydrophobiermittel *Saprit protect Plus (SPP 20)* zum Einsatz. Die Produktdaten zu beiden Erzeugnissen sind aus den Datenblättern der Anlagen A und B zu ersehen.

Bleich- und Desinfektionsmitteln kamen nicht zum Einsatz.

Der elektrisch beheizbare Trockenautomat T 6351 mit einem Trommelinhalt von 350 l lässt in Abhängigkeit von den zu trocknenden Geweben/Materialien unterschiedliche Wäsche-Füllgewichte (Trockenwäsche) zu. So wird beispielsweise ein maximales Füllgewicht bei Koch- Buntwäsche von 14 kg vorgegeben.

Auf die den Waschvorgängen zugrunde liegenden Parameter wird im Abschnitt 5 verwiesen. Verständlich ist, dass diese Parameter jedoch mit dafür entscheidend sein können, inwieweit sich dadurch wiederum die die Schutzwirkung der Feuerwehr-Schutzkleidung bestimmenden Parameter möglicherweise verändern. In dieser Hinsicht sind eigentlich schon vielerlei Meinungen und Ansichten geäußert worden, - samt und sonders eigentlich immer unter dem Aspekt, dass eine nicht vorschriftsgemäße Reinigung zu Lasten der Lebensdauer der Kleidung und zu Lasten ihrer Schutzwirkung geht.

Insofern war es auch Anliegen der zu führenden Untersuchungen, solche Standpunkte auf den Prüfstand zu stellen, um zu erfahren, ob dem denn tatsächlich so ist. Deshalb wurden die zu absolvierenden Reinigungsvorgänge mit Feuerwehr-Schutzkleidung in zwei Varianten bei sonst gleichen Bedingungen bzw. Parametern durchgeführt.

- a) Reinigung unter den sachgemäßen Bedingungen, d. h. Waschen nach Vorgaben.
- b) Reinigung unter unsachgemäßen Bedingungen, d. h. Waschen entgegen der Vorgaben nach a).

Der Variante b) liegt der begründete Sachverhalt zu Grunde, dass oftmals, zumindest bei den Angehörigen der freiwilligen Feuerwehren, Feuerwehr-Schutzkleidung zum Zwecke ihrer Reinigung mit nach Hause genommen wird, um dort in einer normalen Haushaltwaschmaschine, durch deren Einsatz objektiv nicht die formulierten sachgemäßen Bedingungen zu erreichen sind, gewaschen zu werden. Vom erforderlichen sachgemäßen Trocknungsprozess, der natürlich, vor allem in Hinblick auf die im Zusammenhang mit der Imprägnierung der Feuerwehrsutzkleidung zu sehenden Fragen eine nicht unbedeutende Rolle spielt, ganz zu schweigen.

Die zu absolvierenden Wasch- und Trockenzyklen orientierten sich an den Tragezeiten der Kleidung und der je Tragejahr angesetzten Anzahl von Waschvorgängen.

Der Belastungsfall „Reinigung“ stellt im Vergleich zu den anderen Belastungssituationen, die doch im Rahmen der Untersuchungen mehr oder weniger „simuliert“ wurden, keine Simulation dar, sondern Realität.

Dabei muss einschränkend, unter Hinweis auf die Begründung im Abschnitt 3.1 konstatiert werden, dass unter Reinigung im Sinne des bei den Untersuchungen praktizierten Wasch- und Trockenvorganges kein Prozess des Säuberns der Feuerwehr-Schutzkleidung angestrebt oder erreicht werden sollte. Nein, aus den bereits genannten Gründen, die nicht realisierbare Reproduzierbarkeit von bewusst und zielgerichtet herbeizuführenden Verschmutzungen betreffend, wurde lediglich nicht verschmutzte Kleidung dem Regime des Waschvorganges bzw. der Reinigung unterzogen.

Erwähnt werden soll an dieser Stelle noch, dass mit dem Belastungsfall „Reinigung“ die Basis geschaffen wurde für alle weitergehenden Untersuchungen. Das ist insofern einschbar, als beispielsweise andere Belastungsfälle auch nach angenommenen Tragezeiten von 1 oder 2 Jahren zu simulieren waren, in denen die Feuerwehr-Schutzkleidung schon mehrfach den Prozessen der Reinigung unterzogen wurde. Verwiesen wird in Zusammenhang mit der Reinigungsproblematik schon jetzt auf Abschnitt 5, in welchem im Rahmen der Darlegungen zur Simulation der Alterungsprozesse der Feuerwehr-Schutzkleidung durch Reinigung, der Begriff der „Reinigung“ noch weiter gefasst wird.

3.4 Simulationsverfahren

Im Abschnitt 3.1 - Kritische Belastungssituationen - wurde auf die in dieser Hinsicht relevanten Belastungen der Feuerwehr-Schutzkleidung in Form von Wärme und mechanischen Einwirkungen verwiesen.

Für diese Belastungsarten kamen die nachfolgend beschriebenen Simulationsverfahren zum Einsatz.

3.4.1 Thermische Simulationsverfahren

Die thermischen Simulationsverfahren werden angewendet zur Untersuchung sowohl konfektionierter Feuerwehr-Schutzkleidung als auch zur Untersuchungen von Materialproben. Die Verfahren werden nachfolgend im Einzelnen erläutert.

3.4.1.1 Verfahren für konfektionierte Feuerwehr-Schutzkleidung mittels Wärmestrahlerwand

Dieses Verfahren hat zum Ziel, definierte Wärmestrahlung auf die thermisch zu belastende Feuerwehr-Schutzkleidung über einen festgelegten Zeitraum aufzubringen. Zugleich heizt die von der Wärmestrahlerwand ausgehende Wärmestrahlung den Raum, in dem sie integriert ist, auf ein von der Betriebszeit der Wärmestrahlerwand abhängiges Maß auf. Das Verfahren kam in zweierlei Hinsicht zur Anwendung.

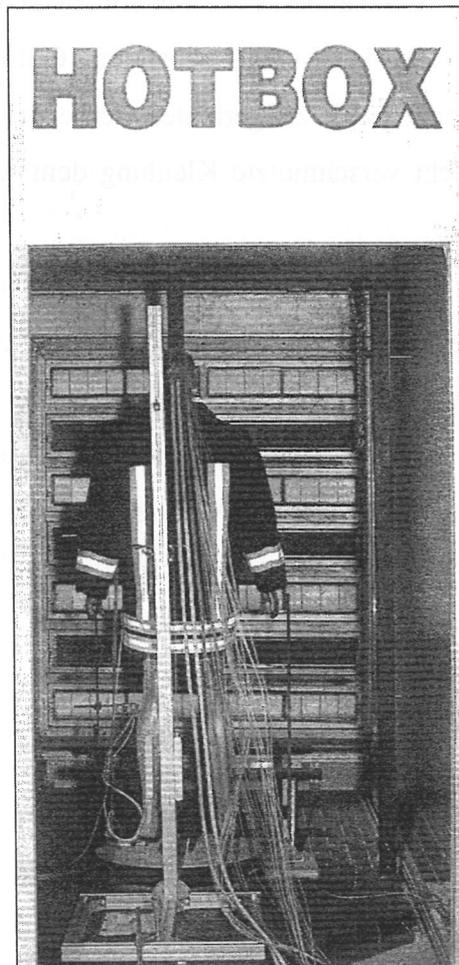


Bild 4: Wärmestrahlerwand in Hotbox

Zunächst wurde es eingesetzt, um einsatztypische Wärmestrahlungsbelastungen und Brandraumtemperaturen über ebenfalls einsatztypischen Aufenthaltszeitraum zu simulieren. Diese Variante wurde in Verbindung mit dem im Abschnitt 5 näher beschriebenen Belastungsprozess „Reinigung“ realisiert. Ihr liegt der Gedanke zugrunde, dass zwischen den Reinigungszyklen der Feuerwehr-Schutzkleidung diese durch das Einsatzgeschehen und hier insbesondere durch die Einsatzart „Brandbekämpfung“ thermisch in bestimmten Maße

wiederholt belastet wird. Insofern schloss sich jedem Reinigungsprozess der Feuerwehr-Schutzkleidung der Prozess der thermischen Belastung an.

Der zweite Anwendungsfall des Einsatzes der Wärmestrahlerwand diente der Auswertung des Verhaltens konfektionierter Feuerwehr-Überjacken, die bereits der Prozedur der Reinigung und der wiederholten thermischen Belastung ausgesetzt waren. Dazu wurden die Feuerwehr-Überjacken einem mit Wärmeflussensoren ausgestatteten Dummy angezogen und erneut mittels der Wärmestrahlerwand einer definierten Wärmestrahlung ausgesetzt. Bild 4 zeigt den Versuchsaufbau für diesen Anwendungsfall.

Ermittelt werden sollte hier, ob und inwieweit sich in Abhängigkeit vom Grad der Alterung der Feuerwehr-Schutzkleidung der aus einer externen thermischen Belastung resultierende Wärmefluss innerhalb des Schutzkleidungsmaterials ändert.

3.4.1.2 Verfahren zur Untersuchung von Materialproben mittels Gasstrahler

Mittels dieses Verfahrens werden thermisch zu belastende Materialproben einer definierten Wärmestrahlung von $0,25 \text{ W/cm}^2$ über einen Zeitraum bis zum Erreichen des Beharrungszustandes der Wärmeströme an allen durch die Materialproben überdeckten Wärmeflussensoren ausgesetzt. Das Verfahren wurde eingesetzt zur Ermittlung der Wärmeströme im gesamten Lagenaufbau bzw. in den Einzellagen belasteter bzw. gealterter Materialproben der Feuerwehr-Überjackentypen A bis D.

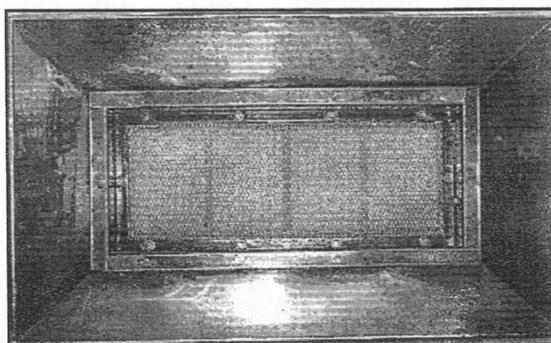


Bild 5: Propan – Gasstrahler

Das Strahlerfeld des Gasstrahlers hat die Abmessungen $380 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$. Es ist allseitig mit einer 100 mm breiten Reflexionsfläche umgeben. Im Bild 5 ist das Strahlerfeld mit Reflexionsfläche dargestellt. Der Abstand des Strahlerfeldes des Gasstrahlers zum Untersuchungsobjekt beträgt zur Realisierung der vorgenannten Wärmestromdichte 600 mm .

3.4.2 Mechanische Simulationsverfahren

Die nachfolgend kurz beschriebenen Verfahren werden angewandt einmal in Bezug auf das Simulieren von einsatzbedingten mechanischen Belastungen des Außenmaterials von Feuerwehr-Schutzkleidung in Form von Scheuer- bzw. Reibprozessen. Hierfür kommen bereits durch die nach Abschnitt 5 simulierten „Reinigungsprozesse“ unterschiedlich belasteten Materialproben zum Einsatz. Die so mechanisch behandelten Materialproben werden danach tragezeitabhängig den weiteren Verfahren zur Bewertung der thermischen Stabilität unterzogen.

Durch ein weiteres Verfahren soll nachgewiesen werden, ob sich das Zug-Dehnungsverhalten der Materialien in Abhängigkeit von den Tragezeiten und den während dieser Zeiten aufgetretenen Belastungssituationen verändert.

Beide Verfahren wurden nicht als Verfahren im Sinne der Umsetzung normgerechter Festlegungen eingesetzt. Sie fanden Anwendung unter jeweils gleichen Bedingungen mit der Zielstellung des Vergleiches der jeweiligen Ergebnisse.

3.4.2.1 Verfahren zur Ermittlung der Scheuerfestigkeit

Die Anwendung dieses Verfahrens hat zum Ziel, einen durch Gegeneinanderreiben gleicher Materialien bedingten Scheuerprozess, wie er bei Einsatzhandlungen durch Bewegungen des Feuerwehrmannes auftritt, zu realisieren. Damit soll das Aneinanderreiben des Außenmaterials von Feuerwehr-Schutzkleidung simuliert werden.

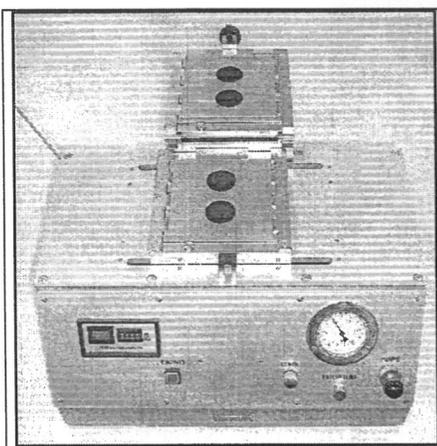


Bild 6: Reibechtheitsprüfer

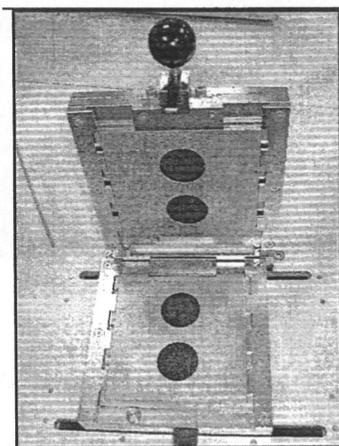


Bild 7: Druckkammern

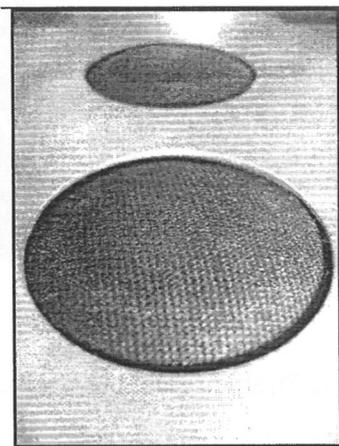


Bild 8: Gummimembrane

Erhofft wurde sich dadurch eine Materialschwächung, die eine Beeinflussung der Schutzwirkung, auch aus thermischer Sicht, erwarten ließ. Zum Einsatz kamen Materialproben, die bereits den Beanspruchungen der Reinigungsprozesse und der in diesem Zusammenhang erfolgten thermischen Belastungen unterzogen wurden.

Zur Realisierung der Scheuerprozesse wurde sich des in Bild 6 dargestellten Universal-Reibechtheitsprüfers nach Dr. Ruf bedient.

In Abwandlung des dem Gerät ursprünglich zugedachten Verwendungszweckes der Feststellung der Widerstandsfestigkeit der Farbe von Textilien jeder Art gegen das Abreiben und Anschmutzen anderer Textilien beim Gebrauch, wurde es hier zur Simulation der Scheuerprozesse eingesetzt.

Herzstück des Gerätes bilden die in Bild 7 dargestellten zwei Druckkammern mit Einspannvorrichtungen für Rundproben von 113 mm Durchmesser, was einer Fläche von 100 cm² entspricht. Die untere Druckkammer ist beweglich und gleitet in gehärteten Linearführungen 75 mal pro Minute hin und her. Die Anzahl der ausgeführten Doppelhübe lässt sich am eingebauten Zählwerk direkt ablesen. Jede Druckkammer besitzt eine pneumatisch belastbare Gummimembrane, die bei der Prüfung das eingelegte Prüfgut durch die Öffnung einer Stahlblende gemäß Bild 8 hindurchwölbt und zugleich festhält. Der erforderliche Anpressdruck von 0,4 bar wird von einer Handpumpe erzeugt.

Die Untersuchungen wurden mit 1500 und 3000 Doppelhüben geführt.

3.4.2.2 Verfahren zur Ermittlung des Zug-Dehnverhaltens

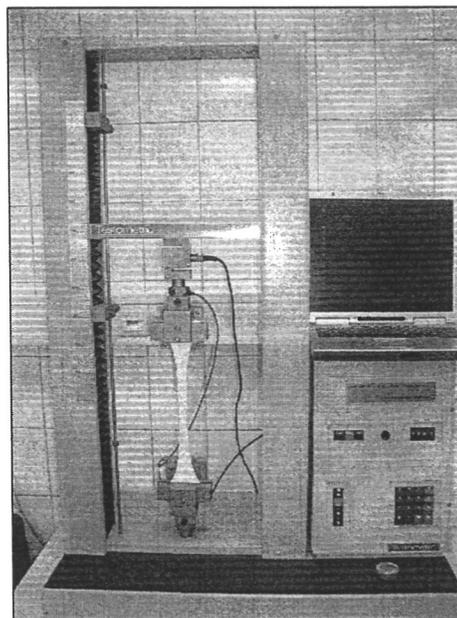


Bild 9: Testometric Micro 350

Dieses Gerät fand seinen Einsatz nicht zur Simulation von Alterungsprozessen, sondern zum Nachweis alterungsbedingter mechanischer Materialveränderungen. Dazu wurde das Elektronische Universal-Prüfgerät „Testometric Micro 350“ eingesetzt. Dieses Gerät, welches im Bild 9 dargestellt ist, gestattet unter anderem die Ermittlung des Zug-Dehnverhaltens

textiler Flächengebilde. In das Gerät werden Materialproben mit den Abmessungen $230\text{ mm} * 70\text{ mm}$ eingespannt und den entsprechend einprogrammierten Belastungssituationen ausgesetzt. Im vorliegenden Fall kam das Belastungsprogramm 7 – Normal Test - zur Anwendung, welches die eingespannten Materialproben mit einer Vorspannkraft von 0 N , einer Zuggeschwindigkeit von $v=50\text{ mm} * \text{min}^{-1}$ und einer Krafteinwirkung von $5000\text{ N} * \text{Zug}^{-1}$ bis zum Versagen des Materials dehnt. Das Gerät besitzt eine Schnittstelle, so dass die ermittelten Daten mittels einer speziellen Software aufgezeichnet und auch grafisch in Form eines Zug-Dehnungs-Diagramms dargestellt werden können.

Untersucht wurden mittels dieses Verfahrens die Außenschichten und Zwischenschichten der Materialproben der Feuerwehr-Überjackentypen A bis D, nachdem diese die tragezeitabhängigen Verfahren der Reinigung inklusive der zwischen den Reinigungsverfahren angewandten thermischen Belastung durchlaufen hatten.

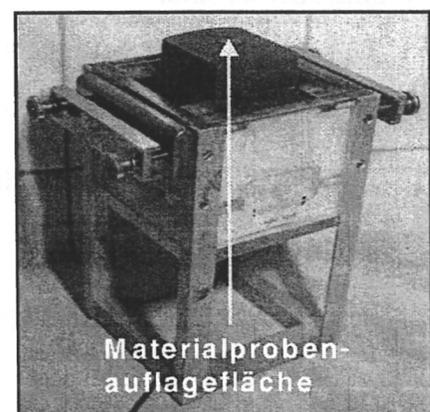
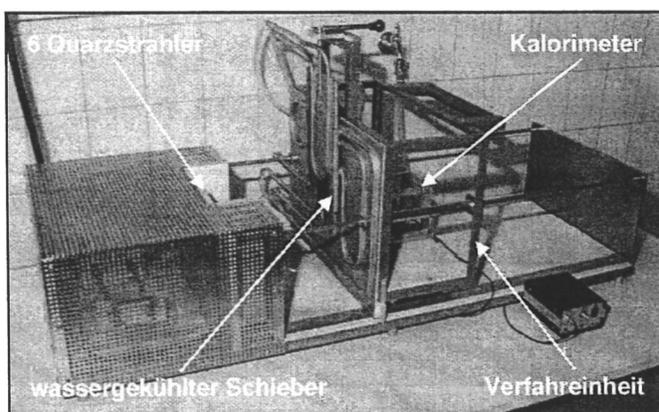
4 Voruntersuchung Wärmedurchlassgrad

Im Rahmen einer Voruntersuchung sollte zunächst festgestellt werden, wie die Materialien bzw. der Lagenaufbau, aus welchen die Feuerwehr-Schutzkleidung konfektioniert wurde, aus thermischer Sicht zu bewerten sind. Damit wird ein grundsätzlicher Vergleich der unbelasteten Materialien der Feuerwehrüberjacken A bis D nach Abschnitt 2 zunächst untereinander in Bezug auf deren thermische Schutzwirkung möglich. Notwendig wird dieser Vergleich aber auch deshalb, da vorab nicht absehbar ist, in welche Richtung sich die Schutzeigenschaften durch die zu simulierenden Alterungsprozesse verschieben, weswegen nur durch Vergleich der Parameter der belasteten zu den unbelasteten Materialien objektive diesbezügliche Aussagen möglich sind.

Diese Bewertung wurde in Auswertung von Untersuchungen mittels des Verfahrens zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades, Methode B, nach DIN EN 366 vorgenommen. Es sei darauf hingewiesen, dass die Norm DIN EN 366 zwischenzeitlich ersetzt wurde durch die [DIN EN ISO 6942], die nunmehr ein analoges Untersuchungsverfahren unter technisch abweichenden Voraussetzungen und Bedingungen festschreibt. Da diese Voraussetzungen gegenwärtig am IdF LSA noch nicht realisiert sind, wurde auf das „alte“ Prüfverfahren zum Zwecke der Vergleichsuntersuchungen zurückgegriffen.

Bei dem Prüfverfahren nach DIN EN 366 wird eine Materialprobe definiert mit Wärmestrahlung beaufschlagt und der Wärmedurchgang der Materialprobe ermittelt bzw. berechnet. Das Prüfgerät ist im Bild 10 dargestellt.

Als Wärmestrahlungsquelle dienen 6 elektrisch betriebene Quarzstrahler (Siliziumkarbid-Heizstäbe). Diese bestrahlen eine auf ein Kalorimeter (siehe Bild 11) gespannte Materialprobe mit den Abmaßen $230\text{ mm} * 70\text{ mm}$. Die Kalorimeternauplagefläche selbst beträgt $60\text{ mm} * 60\text{ mm}$.



Die Wärmestrahlungsintensität kann mittels einer Verfahrenheit durch Veränderung des Abstandes der Materialprobenoberfläche zur Wärmestrahlungsquelle reguliert werden. Für die Untersuchungen wurden die zwei Wärmestromdichten 10 kW/m^2 und 25 kW/m^2 gewählt. Das entspricht einem Abstand der Materialprobenoberfläche zur Wärmestrahlungsquelle von 463 mm für 10 kW/m^2 bzw. von 279 mm für 25 kW/m^2 bei Heizstufe 2 des Prüfgerätes. Diese beiden von der Größenordnung her sich deutlich unterscheidenden Wärmestromdichten wurden gewählt, um deren Einfluss auf den Wärmedurchflussgrad der gleichen Probenart bzw. des gleichen Materialtyps daraus ableiten zu können. Die gewählten Größenordnungen fielen dennoch maßvoll aus, da eine Materialveränderung oder gar Materialschädigung von vornherein ausgeschlossen werden musste, um, wie nachfolgend dann noch erläutert wird, im Rahmen der Auswertung die Methode B anwenden zu können. Eine thermische Beaufschlagung der Materialprobe bis zum Erreichen des Beharrungszustandes der Quarzstrahler wird durch einen wassergekühlten Schieber verhindert. Der Versuch wird solange durchgeführt, bis auf der Rückseite der Materialprobe eine Temperaturdifferenz (Kalorimeter-Auflagefläche) von 10 K erreicht wird. Die Erfassung der Messwerte erfolgt über einen Datalogger, die anschließende Auswertung wird in Verbindung mit der Software AMR DOS - Control der Firma Ahlborn mittels PC über die Berechnungsvorschrift nach [DIN EN 366] realisiert. Die Auswertung erfolgt nach Methode B. Sie ist nur dann möglich, wenn der Temperatur-Zeit-Verlauf linear ist, anderenfalls hätte man keinen stationären Zustand. Dies kann der Fall sein, wenn während des Versuches Materialveränderungen oder Materialzerstörungen auftreten.

Die Wärmestromdichte auf der Innenseite der Probe wird über

$$q_c = \frac{C}{S} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

bestimmt. Hierbei sind:

- C - Wärmekapazität des Kalorimeters in J/K
- S - Fläche der Kalorimetervorderseite (25 cm^2)
- $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ - Steigung im linearen Teil des Temperaturverlaufs des Kalorimeters in K/s .

Nach einer weiteren Formel lässt sich der Wärmedurchlassgrad $TF(q_0)$ über

$$TF(q_0) = \frac{q_c}{q_0} \quad (2)$$

berechnen. Dieser Kennwert ist das Verhältnis der Wärmestromdichte auf der Rückseite der Probe zur Dichte der einfallenden Wärmestrahlung. Der Kennwert trifft eine Aussage über das Isolationsverhalten der Probe. Daraus können dann unmittelbar Schlussfolgerungen zur, durch das jeweilige Material bewirkten, thermischen Schutzwirkung gezogen werden. Ebenso wird damit der direkte diesbezügliche Vergleich der verschiedenen Materialien untereinander möglich.

Im Rahmen der Auswertung der Untersuchungsergebnisse war die Zulässigkeit der Anwendung von Methode B gegeben, da es während der Untersuchungen zu keinen Materialveränderungen oder zu Materialzerstörungen kam und deshalb die ermittelten Temperatur-Zeit-Verläufe auch einen deutlich linearen Bereich aufwiesen. Dieses wird belegt durch Bild 14 und Bild 16. Darin sind die Mittelwerte der Temperaturdifferenzmesswerte der Materialproben A, B, C und D im Materialzustand 0 (unbelasteter Zustand), jeweils wärmestromdichtebezogen, grafisch dargestellt. Der lineare Verlauf der Kurven wird auch verdeutlicht durch die die dargestellten Trendlinien beschreibenden linearen Gleichungen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades nach Methode B sind für die Materialien A bis D der Tabelle 2, Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 im Detail zu entnehmen. Aus den genannten Tabellen ist ersichtlich, dass mit jedem Materialtyp mindestens zwei Untersuchungen, im Höchstfalle jedoch auch vier Untersuchungen vorgenommen wurden. Die Entscheidung über die Anzahl der Untersuchungen wurde jeweils ergebnisbezogen getroffen, das heißt, bei größeren Abweichungen der Einzelergebnisse wurde die Versuchsanzahl erhöht, um so aus statistischer Sicht auf der sicheren Seite zu liegen. Die Untersuchungsergebnisse resultieren dann aus den Mittelwerten der Ergebnisse der Einzeluntersuchungen zu jedem Materialtyp.

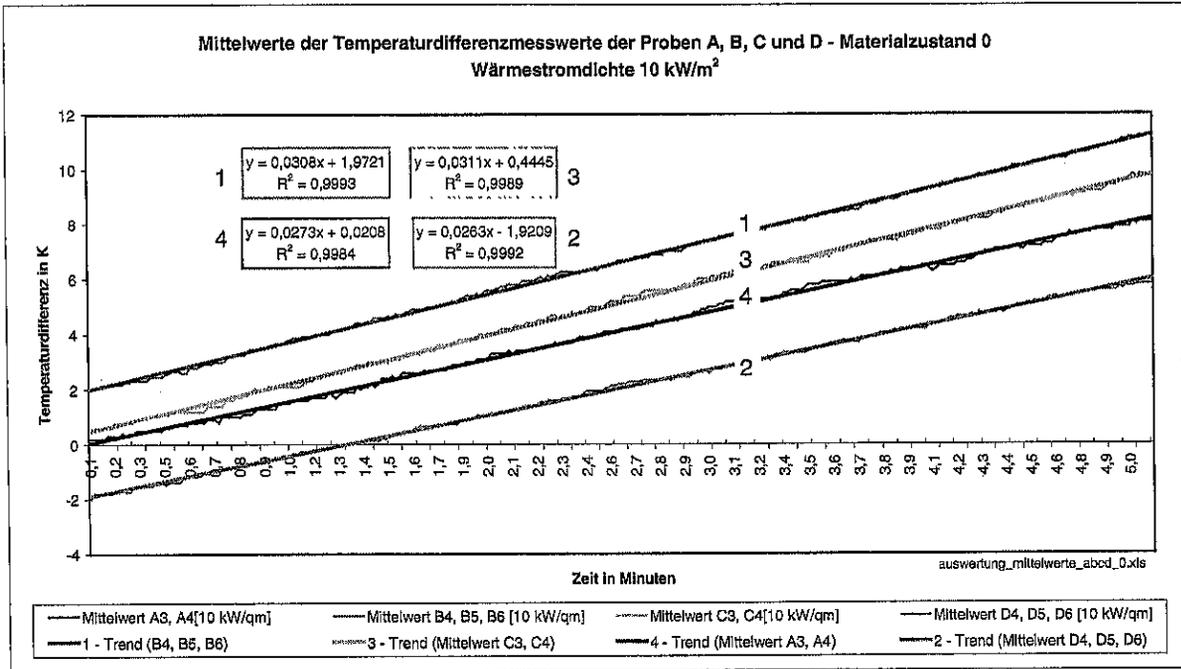


Bild 12: Mittelwerte bei 10 kW/m²

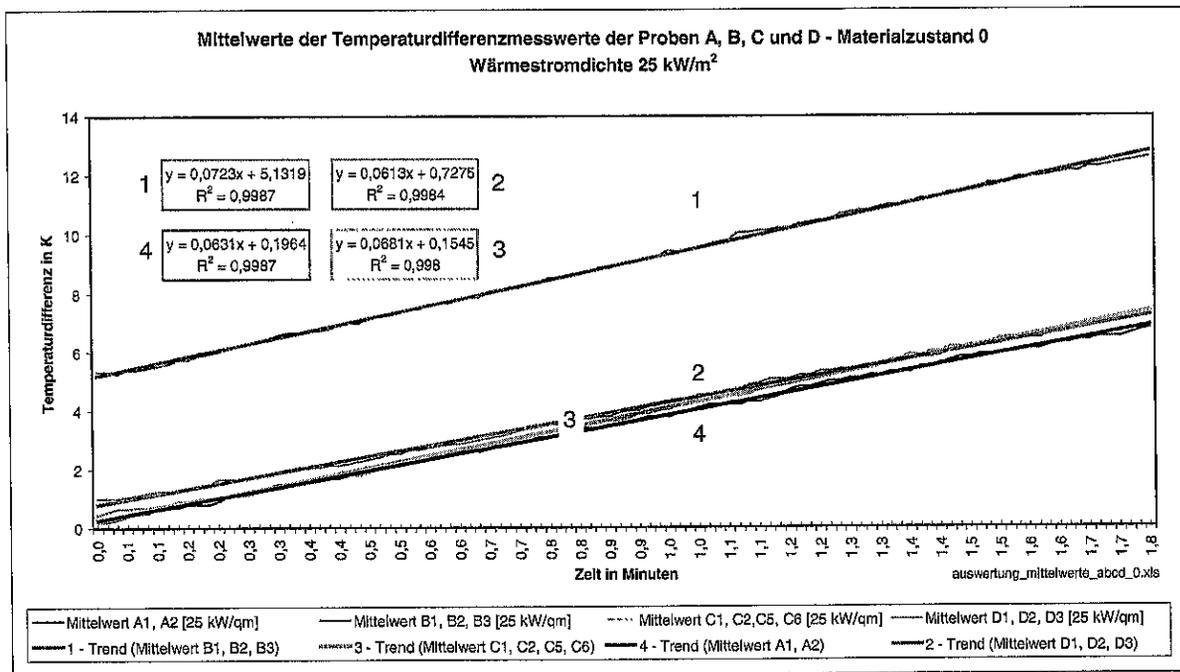


Bild 13: Mittelwerte bei 25 kW/m²

Tabelle 2: Ergebnisse der Verfahrensanwendung nach DIN EN 366 zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades – Material A

Probe [Wärmestromdichte]	Anstieg $m = dT/dt$	Gradzahl des Anstlegs	Berechnung von q_c		Wärmedurchlassgrad TF (q_0)	
			mit $C/S=19,475556$	$q_0 = 10 \text{ kW/m}^2$	$q_0 = 25 \text{ kW/m}^2$	
			$q_c = dT/dt \times 19,475556$	TF(q_0) = q_c / q_0		
A3 [10 kW/m ²]	0,027827129	1,593965716	0,541948813	0,541948813	*	
A4 [10 kW/m ²]	0,02826057	1,618780503	0,550390305	0,550390305	*	
Mittelwert A3, A4 [10 kW/m ²]	0,028043849	1,606373185	0,546169559	0,546169559	*	
A1 [25 kW/m ²]	0,06147917	3,518069001	1,19734101	*	0,478936404	
A2 [25 kW/m ²]	0,061489077	3,518634499	1,197533956	*	0,479013582	
Mittelwert A1, A2 [25 kW/m ²]	0,061158572	3,49976895	1,191097203	*	0,476438881	

Tabelle 3: Ergebnisse der Verfahrensanwendung nach DIN EN 366 zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades – Material B

Probe [Wärmestromdichte]	Anstieg $m = dT/dt$	Gradzahl des Anstiegs	Berechnung von q_c		Wärmedurchlassgrad TF (q_0)	
			mit $C/S=19,475556$	$q_0 = 10 \text{ kW/m}^2$	$q_0 = 25 \text{ kW/m}^2$	
			$q_c = dT/dt \times 19,475556$	TF(q_0) = q_c / q_0		
B4 [10 kW/m ²]	0,029731608	1,702993973	0,579039595	0,579039595	*	
B5 [10 kW/m ²]	0,031123261	1,782656058	0,606142814	0,606142814	*	
B6 [10 kW/m ²]	0,031913747	1,827902594	0,62153796	0,62153796	*	
Mittelwert B4, B5, B6 [10 kW/m ²]	0,030922872	1,771185643	0,602240123	0,602240123	*	
B1 [25 kW/m ²]	0,072876036	4,168120863	1,41930132	*	0,567720528	
B2 [25 kW/m ²]	0,071081442	4,065828197	1,384350603	*	0,553740241	
B3 [25 kW/m ²]	0,072802479	4,163928588	1,417868752	*	0,567147501	
Mittelwert B1, B2, B3 [25 kW/m ²]	0,072253319	4,132628692	1,407173558	*	0,562869423	

Tabelle 4: Ergebnisse der Verfahrensanwendung nach DIN EN 366 zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades – Material C

Probe [Wärmestromdichte]	Anstieg $m = dT/dt$	Gradzahl des Anstiegs	Berechnung von q_c		Wärmedurchlassgrad TF (q_0)	
			mit $C/S=19,475556$	$q_0 = 10 \text{ kW/m}^2$	$q_0 = 25 \text{ kW/m}^2$	
			$q_c = dT/dt \times 19,475556$	TF(q_0) = q_c / q_0		
C3 [10 kW/m ²]	0,031748896	1,818466924	0,618327407	0,618327407	*	
C4 [10 kW/m ²]	0,032544874	1,864026032	0,633829525	0,633829525	*	
Mittelwert C3, C4 [10 kW/m ²]	0,032146885	1,841246769	0,626078466	0,626078466	*	
C1 [25 kW/m ²]	0,067759982	3,876435458	1,319663323	*	0,527865329	
C2 [25 kW/m ²]	0,070594567	4,038071586	1,374868438	*	0,549947375	
C5 [25 kW/m ²]	0,06987013	3,996768147	1,360759627	*	0,544303851	
C6 [25 kW/m ²]	0,067915955	3,885331118	1,322700985	*	0,529080394	
Mittelwert C1, C2, C5, C6 [25 kW/m ²]	0,069035158	3,949157466	1,344498093	*	0,567799237	

Tabelle 5: Ergebnisse der Verfahrensanwendung nach DIN EN 366 zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades – Material D

Probe [Wärmestromdichte]	Anstieg $m = dT/dt$	Gradzahl des Anstiegs	Berechnung von q_c		Wärmedurchlassgrad TF (q_0)	
			mit $C/S=19,475556$	$q_0 = 10 \text{ kW/m}^2$	$q_0 = 25 \text{ kW/m}^2$	
			$q_c = dT/dt \times 19,475556$	TF(q_0) = q_c / q_0		
D4 [10 kW/m ²]	0,026184132	1,499897508	0,50995052	0,50995052	*	
D5 [10 kW/m ²]	0,026386735	1,511497816	0,513896335	0,513896335	*	
D6 [10 kW/m ²]	0,027340223	1,566089258	0,532466045	0,532466045	*	
Mittelwert D4, D5, D6 [10 kW/m ²]	0,02663703	1,525828583	0,518770966	0,518770966	*	
D1 [25 kW/m ²]	0,063270189	3,620289156	1,232222117	*	0,492888847	
D2 [25 kW/m ²]	0,063935337	3,658245748	1,245176233	*	0,498070493	
D3 [25 kW/m ²]	0,057550207	3,29375082	1,12082227	*	0,448328908	
Mittelwert D1, D2, D3 [25 kW/m ²]	0,061585244	3,52412371	1,199406873	*	0,479762749	

Zur besseren Verdeutlichung der Ergebniswerte der Wärmedurchflussgrade für die einzelnen Materialien sind diese im folgenden Bild 14 dargestellt.

Erläuternd sei an dieser Stelle zunächst darauf aufmerksam gemacht, dass ein vom Wert her größerer Wärmedurchlassgrad Ausdruck eines schlechteren thermischen Verhaltens einer Materialprobe gegenüber einer anderen Materialprobe mit einem geringeren Wärmedurchflussgrad ist.

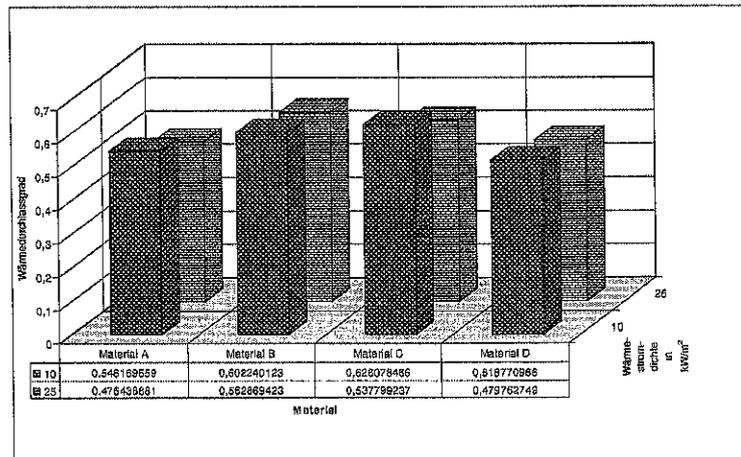


Bild 14: Grafische Darstellung der Wärmedurchflussgrade

Betrachtet man zunächst die Untersuchungsergebnisse der gleichen Materialien unter dem Aspekt ihrer Beaufschlagung durch Wärmestrahlung unterschiedlicher Wärmestromdichten, so ist erstaunlicher Weise festzustellen, dass jedes der untersuchten Materialien unter dem Einfluss einer geringeren Wärmestromdichte ein ungünstigeres thermisches Verhalten aufwies als bei der Beaufschlagung mit einer höheren Wärmestromdichte. Eine interessantes, eigentlich nicht vermutetes Verhalten.

Zur Bewertung der Ergebnisse der Materialien untereinander kann konstatiert werden, dass, bezogen auf die Wärmestromdichten von 10 kW/m^2 und 25 kW/m^2 , sich folgende Rangfolgen in Richtung eines jeweils ungünstigeren thermischen Verhaltens der Materialien ergibt.

Tabelle 6: Rangfolge thermisches Verhalten - 10 kW/m²

Rangfolge	Materialtyp	Wärmedurchflussgrad
1	Material D	0,518770966
2	Material A	0,546169559
3	Material B	0,602240123
4	Material C	0,626078466

Tabelle 7: Rangfolge thermisches Verhalten - 25 kW/m²

Rangfolge	Materialtyp	Wärmedurchflussgrad
1	Material A	0,476438881
2	Material D	0,479762749
3	Material C	0,537799237
4	Material B	0,562869423

Als endgültiges Bewertungsergebnis des thermischen Verhaltens der Materialien A bis D nach der Methode B der Bestimmung des Wärmedurchlassgrades nach DIN EN 366 muss vom ungünstigeren thermischen Verhalten bei der geringeren Wärmestromdichte von 10 kW/m² ausgegangen werden.

Insofern kann man die Bewertung bzw. Rangfolge gemäß Tabelle 6 als die maßgebende ansehen, wonach demzufolge die Aussage getroffen werden kann, dass der Feuerwehrüberjackentyp D sich als am thermisch stabilsten erwiesen hat.

5 Simulation Alterungsprozesse der Feuerwehr-Schutzkleidung durch Reinigung

Einbezogen in die Untersuchungen wurden die im Abschnitt 2 mit den Bezeichnungen A bis D aufgeführten Feuerwehrüberjacken. Ursprünglich wurde von der realistischen Annahme ausgegangen, dass im Durchschnitt eine Feuerwehrüberjacke maximal 6 Jahre in Gebrauch ist und pro Jahr dreimal einer Reinigung unterzogen wird. Wegen des mit der Realisierung dieser Annahmen verbundenen Aufwandes bei vier zu reinigenden Jacken wurde die sechsjährige Gebrauchsdauer verworfen und diese statt dessen auf drei Jahre festgelegt. Damit war die Überlegung verbunden, dass sich, wenn überhaupt, relevante Veränderungen der Materialien der Feuerwehr-Schutzkleidung durch die Wasch- und Belastungsprozesse auch schon nach diesem dreijährigen Nutzungszeitraum zeigen müssten. Optional hätte im gegebenen Fall immer noch entschieden werden können, den einen oder anderen Typ der zu reinigenden Feuerwehrüberjacken weiteren Belastungen zu unterziehen.

Tabelle 8 sowie Anlage C weisen die getroffenen Annahmen für die Simulation der Alterung durch den sachgemäßen und den unsachgemäßen Reinigungsprozess unter Berücksichtigung einer jeweils zwischen den Reinigungszyklen liegenden thermischen Belastung aus.

Tabelle 8: Zyklen der Simulation der Alterungsprozesse durch Reinigung

Simulation Alterungsprozesse durch sachgemäße Reinigung der Feuerwehr-Überjacken Typen A bis D nach Abschnitt 2							
Jahr	Maschinenbefrachtung	Waschen	Trocknen	Trocknen	Thermische Behandlung	Prüfen	Zustand
1	A1, A2, A3	1x	1x	1x	1x		Überjacke A1 nach einem Jahr Einsatzzeit
	B1, B2, B3 C1, C2, C3 D1, D2, D3	1x	1x	1x	1x	A1-1x	
	Anzahl Prozesse nach 1 Jahr	3x	3x	3x	3x	A1-1x	
2	A2, A3+X1	1x	1x	1x	1x		Überjacke A2 nach zwei Jahren Einsatzzeit
	B2, B3+X1 C2, C3+X1 D2, D3+X1	1x	1x	1x	1x	A2-1x	
	Anzahl Prozesse nach 2 Jahren	6x	6x	6x	6x	A2-1x	
3	A3+X1, X2	1x	1x	1x	1x		Überjacke A3 nach drei Jahren Einsatzzeit
	B3+X1, X2 C3+X1, X2 D3+X1, X2	1x	1x	1x	1x	A3-1x	
	Anzahl Prozesse nach 3 Jahren	9x	9x	9x	9x	A3-1x	
Simulation Alterungsprozesse durch unsachgemäße Reinigung der Feuerwehr-Überjacken Typen A bis D nach Abschnitt 2							
1	A4, A5, A6	1x	1x	1x	1x		Überjacke A1 nach einem Jahr Einsatzzeit
	B4, B5, B6 C4, C5, C6 D4, D5, D6	1x	1x	1x	1x	A4-1x	
	Anzahl Prozesse nach 1 Jahr	3x	3x	3x	3x	A4-1x	
2	A5, A3+X1	1x	1x	1x	1x		Überjacke A2 nach zwei Jahren Einsatzzeit
	B5, B3+X1 C5, C3+X1 D5, D3+X1	1x	1x	1x	1x	A5-1x	
	Anzahl Prozesse nach 2 Jahren	6x	6x	6x	6x	A5-1x	
3	A6+X1, X2	1x	1x	1x	1x		Überjacke A3 nach drei Jahren Einsatzzeit
	B6+X1, X2 C6+X1, X2 D6+X1, X2	1x	1x	1x	1x	A6-1x	
	Anzahl Prozesse nach 3 Jahren	9x	9x	9x	9x	A6-1x	

Wie bereits erwähnt, wird durch diese thermische Belastung der Einsatzfall „Brand“ simuliert. Zur Definition der sachgemäßen und der unsachgemäßen Reinigung noch folgende Erläuterungen.

Unter einer sachgemäßen Reinigung wird der Prozess des sachgemäßen Waschens und des sachgemäßen Trocknens von Feuerwehr-Schutzkleidung nach den Empfehlungen der Herstellungsrichtlinien verstanden. Zur Umsetzung dieser Empfehlungen bzw. in Ermangelung derartiger Festlegungen wurden spezielle Pflegeprogramme für das Waschen und Trocknen von Feuerwehr-Schutzkleidung entwickelt. Ein solches Programm, welches in entsprechend schonender Weise die Schutzkleidung wäscht, kam in Umsetzung der Forderung nach einer sachgemäßen Reinigung zur Anwendung. Das Programm mit der Programmnummer 12 „Einsatz-Schutzbekleidung Waschen / Imprägnieren“ ist nach Herstellerangaben ein Programm zum Waschen und anschließendem Imprägnieren von Feuerwehranzügen und realisiert eine Vorwäsche bei 40 °C, eine Hauptwäsche bei 60 °C und zwei Spülgänge mit kaltem Wasser sowie einen zusätzlichen Spülgang für die Imprägnierung bei 40 °C. Die konkreten Parameter dieses Programms sind aus Anlage D ersichtlich.

Der Prozess des sachgemäßen Trocknens wurde realisiert mittels des Programms B 7 Pflegeleicht, Schranktrocken+.

Unter einer unsachgemäßen Reinigung wird der Prozess des unsachgemäßen Waschens und des unsachgemäßen Trocknens von Feuerwehr-Schutzkleidung, entgegen den Empfehlungen der Herstellungsrichtlinien verstanden.

Als unsachgemäße Reinigung unter dem Aspekt des Waschens wurde das Gewerbewaschprogramm 1 für Koch- und Buntwäsche mit einer Vorwäsche bei 60 °C, einer Hauptwäsche bei 95 °C und drei Spülgängen mit kaltem Wasser ausgewählt. Eine Imprägnierung der Feuerwehr-Schutzkleidung erfolgt hierbei nicht. Die Programmparameter für das Gewerbewaschprogramm 1 enthält Anlage E.

Als Wasch- und Imprägniermittel kamen für die sachgemäße Reinigung die im Abschnitt 3.3 genannten und in den Anlagen A und B spezifizierten Erzeugnisse zum Einsatz. Für die unsachgemäße Reinigung nur das diesbezügliche Waschmittel.

Der Prozess des unsachgemäßen Trocknens wurde mit dem Programm A 1, Koch-Buntwäsche, extratrocken realisiert.

Nachfolgend wird am Beispiel der Feuerwehrüberjacke A (grau unterlegte Felder in Tabelle 8) das Schema der Simulation und das Handling des Prozesses der sachgemäßen Reinigung erläutert.

Vorgesehen war die Befrachtung des Waschschleuderautomaten WS 5141 mit jeweils 3 Feuerwehrüberjacken (beispielhaft hier die Feuerwehrüberjacken des Jackentyps A, also, bezogen auf die sachgemäße Reinigung, die Jacken A1, A2 und A3), die einzeln vor dem Waschprozess, also im trockenen Zustand, zunächst gewogen wurden. Vor dem Waschen wurden die Reißverschlüsse und Klettverschlüsse verschlossen. Die Feuerwehrüberjacken wurden auf der rechten Seite, das heißt mit dem Oberstoff nach außen, gewaschen. Nach dem ca. einstündigen Waschprozess mit anschließendem Schleudergang wurde von jeder Jacke wiederum das Gewicht ermittelt. Vor dem Beladen des Trockenautomaten T 6351 für den ersten Trockengang wurden die Feuerwehrüberjacken auf links gedreht, so dass das Innenfutter nun außen war. Auch hier wurden vorher Reißverschlüsse und Klettverschlüsse verschlossen. Dem ersten Trockengang schloss sich ein zweiter Trockengang an. Davor wurde zunächst wieder das Gewicht der Jacken ermittelt und die Feuerwehrüberjacken wurden wieder nach rechts, also mit dem Oberstoff nach außen, gedreht. Danach wurde der Trocknungsvorgang mit dem gleichen Programm wiederholt, um auch den Oberstoff zu trocknen und die Imprägnierung der Feuerwehrüberjacken zu aktivieren. Nach diesem zweiten Trocknungsvorgang wurden die Feuerwehrüberjacken in offenem Zustand auf Bügel gehängt und über einen Zeitraum von 24 Stunden im Labor unter definierten Bedingungen (20 °C, 60 % rel. Luftfeuchte) belassen. Der folgenden erneuten Gewichtsermittlung der Jacken schloss sich nun eine thermische Behandlung der Jacken an, um damit eine einsatzrelevante thermische Belastung durch Wärmestrahlung und das Einwirken von Brandraumtemperaturen zu simulieren. Dazu wurde jede Feuerwehrüberjacke innerhalb einer Hotbox (siehe hierzu Bild 4) in einem Abstand von 1,50 m von der Oberfläche der in die Hotbox integrierten Wärmestrahlerwand positioniert. Aktiviert wurden die Strahler 1, 3, 5 und 7 der Wärmestrahlerwand mit jeweils 50 % ihrer maximalen Leistung. Jede Feuerwehrüberjacke wurde der thermischen Belastung über einen Zeitraum von 20 Minuten ausgesetzt. Die Wärmestromdichte betrug im Zentrum der Feuerwehrüberjacke bei dem vorgegebenen Abstand zur Wärmestrahlerwand $0,25 \text{ W/cm}^2$. Die gemessene maximale Raumtemperatur an der Position der Feuerwehrüberjacke wurde mit 56 °C ermittelt. Unmittelbar nach der vollzogenen thermischen Belastung erfolgte wiederum eine Wägung der Feuerwehrüberjacken. Die ermittelten Massen der den Prozessen der sachgemäßen Reinigung ausgesetzten Feuerwehrüberjacken enthält Anlage F.

Die soeben beschriebenen Vorgänge wurden zunächst noch zweimal wiederholt, so dass danach jede der Jacken A1, A2 und A3 insgesamt dreimal gewaschen, sechsmal getrocknet

und dreimal thermisch behandelt wurden. Das entspricht den gewählten Vorgaben der Simulation des Alterungsprozesses durch sachgemäße Reinigung für jeweils 1 Jahr simulierte Tragezeit der Feuerwehrüberjacken.

Nach diesen Behandlungen wurde die Feuerwehrüberjacke A1 von weiteren Reinigungsprozessen ausgeschlossen, - sie repräsentierte die Tragezeit von einem Jahr und konnte demzufolge den Verfahren zum Nachweis möglicher tragezeitbedingter Veränderungen ihrer Materialeigenschaften respektive ihrer Schutzeigenschaften unterzogen werden.

Bevor die Feuerwehrüberjacken A2 und A3 den weiteren Verfahren der Reinigung unterzogen wurden, wurden sie wiederum in offenem Zustand auf Bügel gehängt und über einen Zeitraum von 24 Stunden im Labor unter definierten Bedingungen (20 °C, 60 % rel. Luftfeuchte) belassen.

In Analogie zur geschilderten Verfahrensweise des Verfahren der Simulation der sachgemäßen Reinigung für das erste Tragejahr erfolgte nun mit den Jacken A2 und A3 und unter Beisein einer sogenannten Befrachtungsjacke der gleiche Ablauf für das zweite Tragejahr. Die Befrachtungsjacke diente dem Ausgleich der durch den Wegfall der Jacke A1 fehlenden textilen Masse im Waschschleuderautomaten und im Trockenautomat, was möglicherweise ansonsten zu anderem Verhalten des Materials der Feuerwehrüberjacken hätte führen können. Im Verlaufe der simulierten Tragezeit von zwei Jahren wurden die Jacken demzufolge sechsmal gewaschen, zwölfmal getrocknet sowie sechsmal thermisch behandelt.

Nach diesen Behandlungen wurde auch hier dann die Feuerwehrüberjacke A2 von weiteren Reinigungsprozessen ausgeschlossen, - sie repräsentierte die Tragezeit von zwei Jahren und konnte demzufolge auch den Verfahren zum Nachweis möglicher tragezeitbedingter Veränderungen ihrer Materialeigenschaften respektive ihrer Schutzeigenschaften unterzogen werden.

In Fortsetzung dessen erfolgte mit der Jacke A3 und dann aber zwei Befrachtungsjacken der analoge Ablauf für das dritte Tragejahr. Damit war dann letztendlich die Feuerwehrüberjacke A3 nach dreijährig simulierter Tragezeit neunmal gewaschen, 18mal getrocknet und neunmal der thermischen Behandlung unterzogen worden.

Der beispielhaft für den Jackentyp A dargestellte Ablauf der Simulation des Alterungsprozesses durch sachgemäße Reinigung der Feuerwehrüberjacken wiederholte sich in gleicher Weise und unter Anwendung der gleichen Verfahren für die Jackentypen B, C und D.

Auch die Simulation der Alterungsprozesse durch unsachgemäße Reinigung der Feuerwehrüberjacken, die mit den Jacken A4, A5 und A6 durchgeführt wurde, lief nach dem gleichen Schema des geschilderten Ablaufes der Simulation der Alterungsprozesse durch sachgemäße Reinigung ab.

Veränderungen gegenüber des sachgemäßen Verfahrens waren hier, bedingt durch die zur Anwendung gelangten spezifischen Programme für den Waschschleuderautomaten und den Trockenautomaten (siehe hierzu die Anlagen D und E) beispielsweise kritischere Temperaturparameter und der Wegfall des Imprägniervorganges der Feuerwehrüberjacken. Die ermittelten Massen der den Prozessen der unsachgemäßen Reinigung ausgesetzten Feuerwehrüberjacken enthält Anlage E.

6 Konzipierung eines Verfahrens zur Feststellung geringfügiger Veränderungen der thermischen Eigenschaften textiler Materialien

Die im Abschnitt 4 ausgewiesenen Ergebnisse der Voruntersuchungen zur Bewertung des thermischen Verhaltens der Feuerwehrüberjacken der Materialtypen A bis D mittels des Verfahrens zur Bestimmung des Wärmedurchlassgrades belegen, dass im Prinzip nur relativ geringfügige graduelle Unterschiede in Hinblick auf das thermische Verhalten der verschiedenen Feuerwehrüberjacken feststellbar waren. Inwieweit diese eine Staffelung der Schutzwirkung dieser Jacken in Bezug auf damit verbundene wirklich spürbar veränderte Trageeigenschaften aus thermischer Sicht direkt zulassen, sei dahingestellt.

Zu erwarten in Hinblick auf die Zielstellung des Forschungsvorhabens war aber zumindest, dass ein solches, auch in der Prüfpraxis als „unscharf“ geltendes Verfahren, wie das bei den Voruntersuchungen praktizierte, dann erst recht nicht dazu geeignet sein kann, die in Folge von Alterungserscheinungen der Materialien zu erwartenden möglicherweise noch kleineren Unterschiede im thermischen Verhalten aufzulösen.

Daraus erwuchs die Konsequenz, ein Verfahren zu entwickeln, das den vorgenannten Ansprüchen genüge.

Die Entwicklung dieses Verfahrens soll nachfolgend beschrieben werden. Sie basiert auf Voruntersuchungen, die u. a. auch in [Pasch 01] und [Nicolai 01_2] bereits umfänglich beschrieben wurden. Zielstellung war es, eine Versuchspuppe mit Wärmeflussensoren, die in der Lage sind, geringste Veränderungen von Wärmeflüssen zu detektieren, zu instrumentieren. Dieser Versuchspuppe sollte dann die zu untersuchende Feuerwehr-Schutzkleidung angezogen werden. Im Verlaufe einer äußerlichen thermischen Belastung der Feuerwehr-Schutzkleidung durch Wärmestrahlung sollten dann mittels der Wärmeflussensoren die Wärmeflüsse an den Messstellen quantitativ erfasst werden, um so Rückschlüsse auf veränderte thermische Eigenschaften der Materialien der Feuerwehrsutzkleidung infolge der Anwendung der Prozeduren zur Simulation von Alterungserscheinungen ziehen zu können.

Die zu verwendenden Wärmeflussensoren sind im Bild 15 dargestellt.

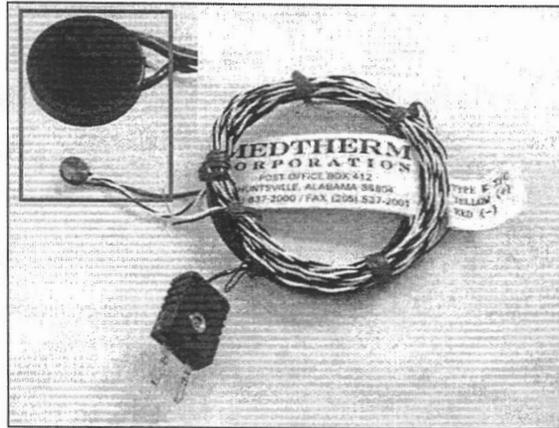


Bild 15: Medtherm-Wärmeflussensor

Nachfolgend soll kurz auf die Grundprinzipien des mit den Wärmeflussensoren zu realisierenden Messverfahrens eingegangen werden.

6.1 Das Messverfahren

Bei der Bestrahlung eines beliebigen Materials erfolgt der Wärmeeintrag in der Regel über die drei Komponenten Wärmeleitung, Wärmekonvektion und Wärmestrahlung.

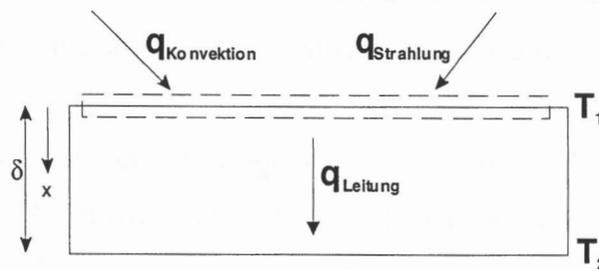


Bild 16: Energiebilanz

$$mC \frac{\partial T}{\partial t} = q_{\text{Leitung}} + q_{\text{Konvektion}} + q_{\text{Strahlung}} \quad (3).$$

Ausgehend von dem vorgesehenen realen Versuchsaufbau lässt sich der Eintrag von Wärme durch Wärmekonvektion und Wärmeleitung auf die Feuerwehreinsatzkleidung vernachlässigen, so dass hier im Wesentlichen die Komponente Wärmestrahlung zu berücksichtigen ist. Dadurch erfolgt ein Wärmeeintrag von außen auf das Material, der einen Wärmeleitprozess innerhalb des Materials nach sich zieht. Für die Messung des durch die Wärmeleitung innerhalb des Materials bedingten Wärmefflusses werden Wärmefflussensoren der Firma Medtherm genutzt. Dies sind planare Wärmefflussensoren, die im Wesentlichen den Wärmeffluss senkrecht zur Oberfläche messen.

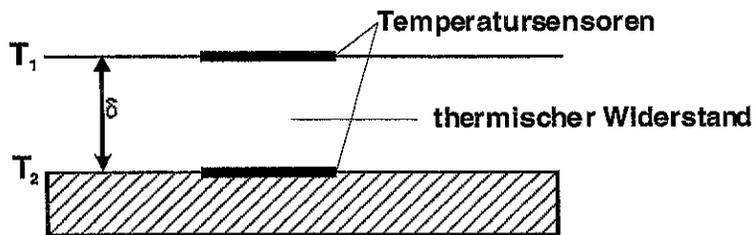


Bild 17: Eindimensionaler planarer Sensor

Der eindimensionale Wärmefluss ergibt sich somit zu:

$$q'' = \frac{k}{\delta}(T_1 - T_2) \quad (4).$$

Die Dicke des Sensors δ und die Wärmeleitfähigkeit k sind nicht mit entsprechender Genauigkeit für jeden Sensor bekannt. Somit muss jeder Sensor kalibriert werden, was bereits durch den Hersteller geschieht.

Die Temperaturdifferenz wird mittels durch in Serie geschalteter Thermoelemente, einer sogenannten Thermosäule, gemessen. Durch dieses Zusammenschalten der Thermoelemente wird die Ausgangsspannung, für eine gegebene Temperaturdifferenz, vergrößert.

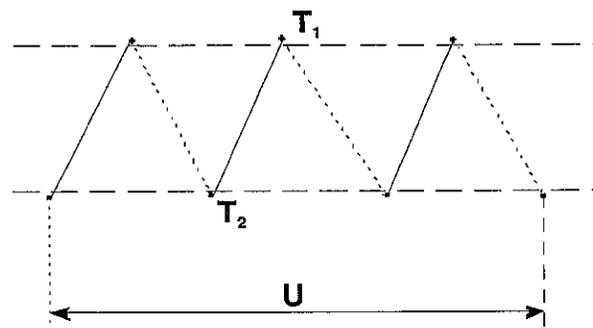


Bild 18: Thermosäule für Differenztemperaturmessung

Die Illustration einer Thermosäule ist im Bild 18 zu sehen. Auch hier haben die Anschlussleitungen der Thermosäule, wie beim Thermoelement, aus dem gleichen Material zu sein, wie die in der Thermosäule verwendeten Materialien.

Die Ausgangsspannung U ergibt sich aus:

$$U = NS_T(T_1 - T_2) \quad (5)$$

N ist die Anzahl der Thermoelementpaare und S_T ist der Seebeck Koeffizient, der auch als thermoelektrische Sensitivität des Materials bezeichnet wird.

Im Bild 19 ist ein typischer Aufbau eines Wärmeflussensors zu sehen.

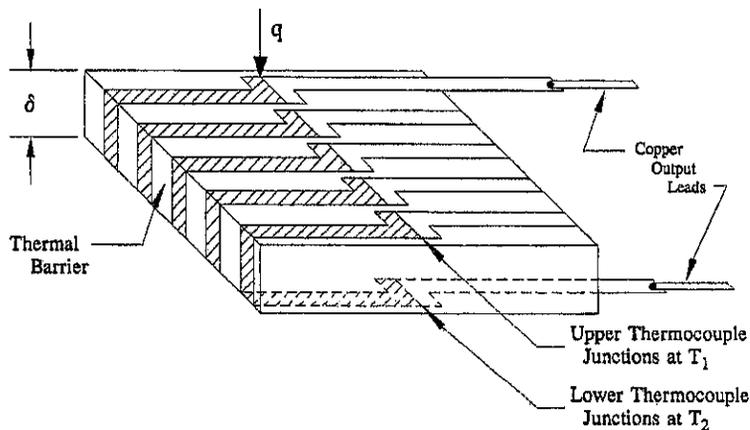


Bild 19: Thermosäule im Wärmeflussensor

Die technischen Daten der verwendeten Wärmeflussensoren sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Technische Daten des Wärmeflussensors

Messbereich Wärmeflussensoren	0 – 1 Btu/ft ² sec (1,135 W/cm ²) kann bis 2 Btu/ft ² sec eingesetzt werden
Temperaturmessbereich	0 – 250°C
Integriertes Thermoelement	Typ K
Linearität	+/- 2%
Zeitkonstante	< 3 Sekunden
Empfindlichkeit	300 Btu/ft ² h/mV (0,0946 W/cm ² /mV
Ausführung	Rund
Durchmesser	9,65 mm (= 0,38 Zoll)
Dicke	1,65 – 1,91 mm (0,065 – 0,075 Zoll)
Kabellänge	2,04 m (80 Zoll)

6.2 Der Versuchsaufbau

Für die Messung der thermischen Eigenschaften der verschiedenen Materialien wurde ein Versuchsaufbau gewählt, der es erlaubt, geringe Änderungen der thermischen relevanten Eigenschaften zu bestimmen. Wie schon beschrieben, sollte eine mit Wärmeflussensoren der Firma MedTherm (siehe Bild 23) zu instrumentierende Versuchspuppe mit einem nahezu konstanten Wärmestrom bestrahlt werden. Die Instrumentierung der aus Aluminium bestehenden Versuchspuppe erforderte grundlegende Überlegungen und Betrachtungsweisen sowie Voruntersuchungen in einem erheblichen Zeitumfang. Im Folgenden werden die diesbezüglichen Arbeiten kurz beschrieben.

Um die Art der Applikation der Sensoren auf der Oberfläche festzulegen, wurden vorhergehende Untersuchungen am Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt durchgeführt. Es standen zwei Möglichkeiten zur Auswahl. Zum einen sollte der Sensor auf einem Adapter aus Messing befestigt werden, der dann in eine Messinghülse eingeschraubt werden sollte. Die Messinghülse sollte in Bohrungen in der Versuchspuppe eingepasst werden. Dies bedeutet, dass in die Versuchspuppe relativ große Bohrungen eingebracht werden müssen. Vorversuche zum Einbringen der Hülsen wurden an einer aus gleichem Material wie die Versuchspuppe bestehenden Aluminiumplatte durchgeführt. Die Einpassung der Hülsen erwies sich schon hier als problematisch. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass durch diese Methode des Einbringens des Wärmeflussensors mittels Messinghülse die Homogenität des Grundkörpers, in die Hülse eingebracht wird, beeinflusst wird. Aus Bild 20 ist dieses ersichtlich.

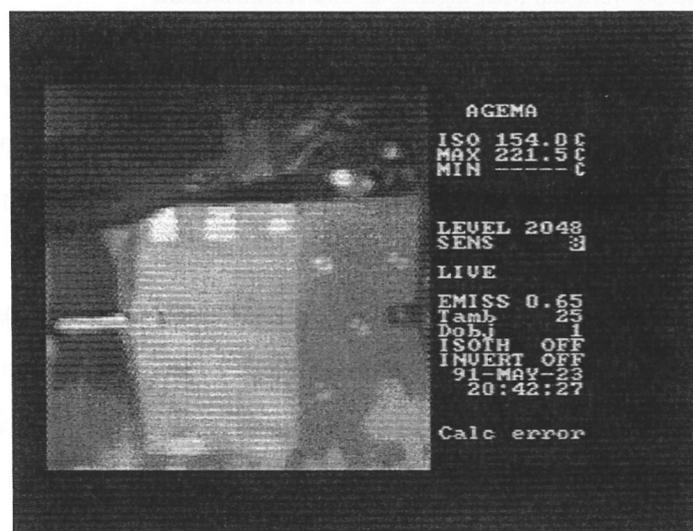


Bild 20: Infrarotbild der Aluminiumplatte bei $t=25$ s

Diese nicht zufriedenstellende Möglichkeit der Instrumentierung der Versuchspuppe mit Wärmeflussensoren führte zur Suche nach anderen geeigneteren Methoden und deren experimenteller Erprobung. Deshalb wurde nach einer anderen Methode gesucht. Dazu wurden wiederum Untersuchungen mittels der Aluminiumplatte durchgeführt. Zum einen wurden zum Vergleich die Sensoren wieder mittels der Messingadapter und -hülsen befestigt. Zum anderen wurden die Wärmeflussensoren mittels doppelseitig klebender Wärmeleitfolie auf der Aluminiumplatte befestigt.

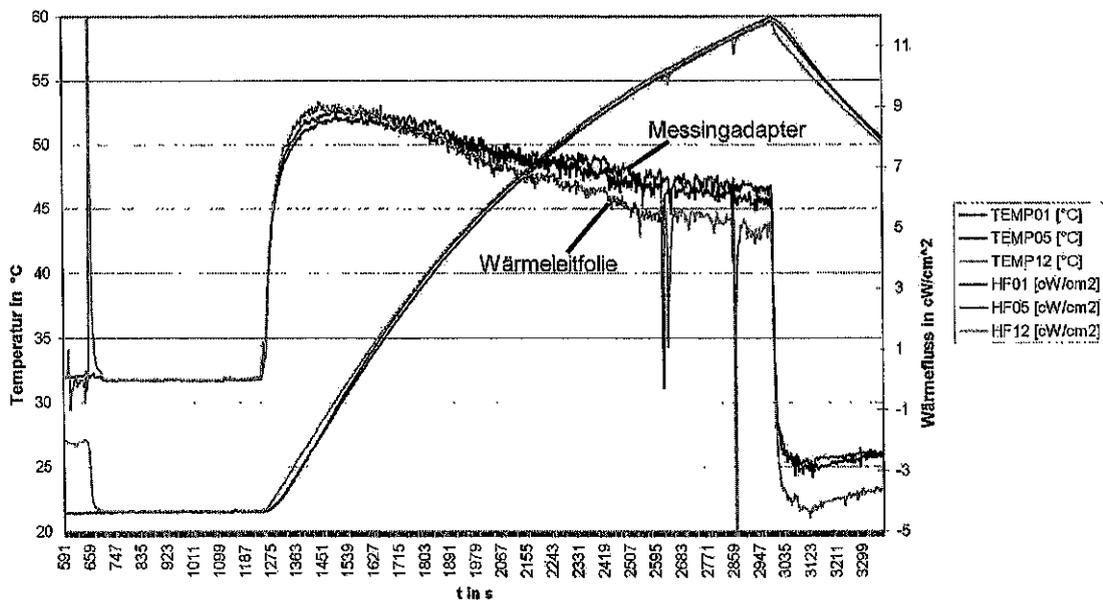


Bild 21: Vergleich der Sensorwerte auf Messingadapter und Wärmeleitfolie

Im Bild 21 ist ein Vergleich zwischen den Sensoren 1 und 5, die mit den Messingadaptern befestigt wurden, und dem Sensor 12, der mit der Wärmeleitfolie befestigt wurde, zu sehen. Wie an den Messwerten erkennbar, ist der Verlauf der Kurven qualitativ ähnlich. Auch andere Vorteile ergeben sich durch diese Methode. Zum einen wird die Homogenität der Versuchspuppe nicht beeinflusst, zum anderen erlaubt diese Befestigungsmethode eine relativ problemlose Entfernung der Sensoren, was ein einfaches Austauschen der Sensoren ermöglicht. Deshalb wurde im Ergebnis dieser Untersuchungen die Entscheidung getroffen, die übrigens auch kostengünstigere Methode des Aufklebens der Sensoren mittels Wärmeleitfolie anzuwenden.

6.3 Instrumentierung der Versuchspuppe

Bevor die Versuchspuppe mit Wärmeflussensoren bestückt werden konnte, waren verschiedene Vorarbeiten an der Versuchspuppe selbst erforderlich.

Prinzipiell müssen die Wärmeflussensoren, um Messfehler weitestgehend auszuschließen, einen sehr guten thermischen Kontakt zur Oberfläche des Messobjekts haben. Dies ist nur möglich, wenn der Sensor mit seiner ganzen Sensorfläche plan auf dem Messobjekt aufgebracht werden kann. Da dies an den meisten Stellen der Versuchspuppe nicht realisiert werden konnte, musste die Versuchspuppe an den vorher festgelegten Positionen der Messstellen plan gefräst und geschliffen werden. Des Weiteren wurden neben diesen nun

planen Messstellen zwei Bohrungen zur Durchführung der Messleitungen gefertigt. Diese Bohrungen wurden angefast, um eine Beschädigung der Messleitungen zu verhindern. Im Bild 22 ist die plangefräste Position einer Messstelle mit den Bohrungen für die Kabeldurchführung dargestellt.

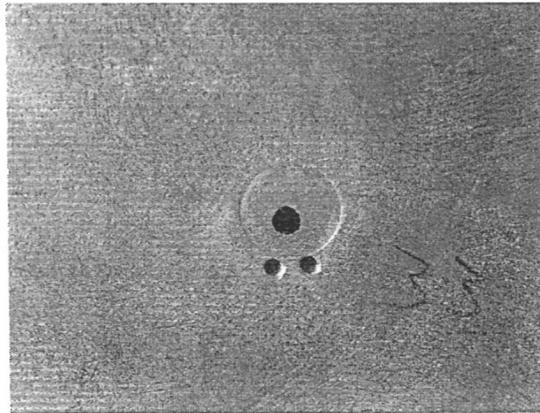


Bild 22: Plane Messstelle mit Bohrungen

Für die Instrumentierung der Versuchspuppe mit MedTherm Wärmeflussensoren standen insgesamt 46 Sensoren zur Verfügung.

Die Sensorleitungen wurden dann durch die Bohrungen ins Innere der Versuchspuppe geführt. Dort wurden die Leitungen entsprechend verlängert, um dann aus der Versuchspuppe durch ein die Messleitungen vor thermischer Einwirkung schützendes 4-Kant-Stahlprofil nach außen zu einem Vielstellenmesssystem geführt zu werden.

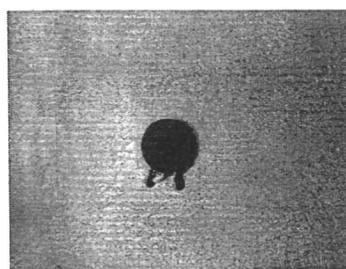


Bild 23: Aufgeklebter Sensor

Der Sensor selbst wird mittels doppelseitig klebender Wärmeleitfolie auf die plangefräste Position der jeweiligen Messstelle geklebt. Bild 23 zeigt den aufgeklebten Wärmeflussensor. Die Gestaltung der Positionen der Sensoren auf der Oberfläche erfolgte nicht willkürlich. Der Abstand der Messpunkte ergibt sich in erster Linie aus der zu betrachtenden Objektstruktur. Soll zum Beispiel eine Struktur von der Größe einer Jackentasche der

Feuerwehreinsatzkleidung aufgelöst werden, so muss der Abstand der Messpunkte kleiner als die Kantenlänge der Jackentasche sein.

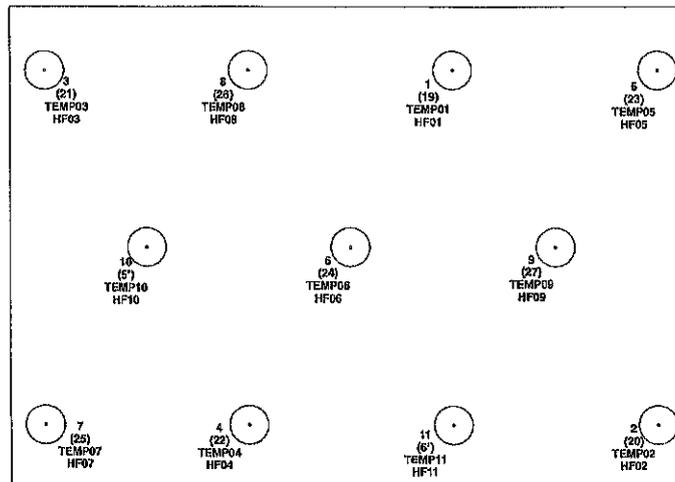


Bild 24: Prinzipielle Anordnung der Wärmeflussensensoren auf der Oberfläche

Einem beliebig kleinen Abstand der Messpunkte stehen die Dimensionen der Messwertaufnehmer gegenüber. Bei den zur Anwendung gelangten Wärmeflussensensoren betrug der Sensordurchmesser ca. 9 mm. Eine andere Begrenzung ergibt sich aus der maximal möglichen Messstellenanzahl des genutzten Vielstellenmesssystems. Ausgehend von einer Feuerwehreinsatzjacke wurde ein Messpunktabstand von 8 cm gewählt.

Im Bild 25 und Bild 26 ist die Innenansicht der Versuchspuppe nach der Instrumentierung sowie die Versuchspuppe mit Sensoren und der Messstellenbezeichnung erkennbar.

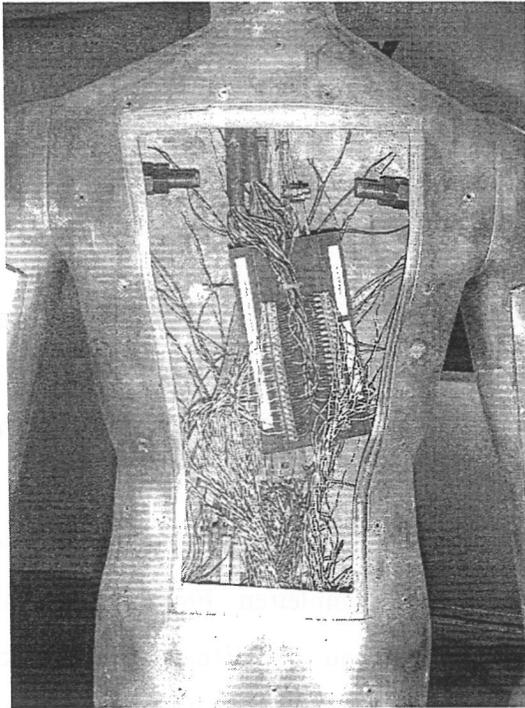


Bild 25: Innenansicht der Versuchspuppe nach der Instrumentierung

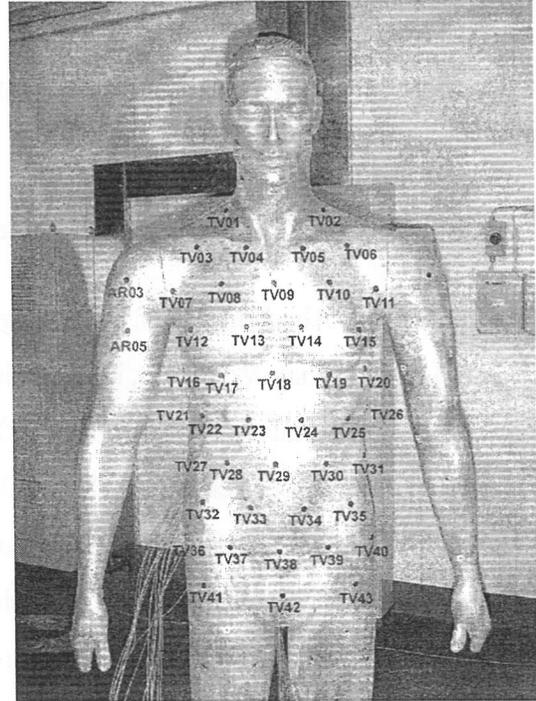


Bild 26: Versuchspuppe mit Sensoren und deren Bezeichnung

Mit der erfolgreich abgeschlossenen Instrumentierung der Versuchspuppe stand nunmehr der für die weiteren Untersuchungen benötigte Versuchsaufbau zur Verfügung. Dieser war so ausgelegt, dass unter Zugrundelegung der Anzahl von Wärmeflussensoren und deren Positionen konfektionierte Feuerwehrüberjacken, erst recht natürlich auch Materialproben, hinsichtlich ihrer thermischen Eigenschaften untersucht werden können.

7 Untersuchungen zum Einfluss von Alterungsprozessen

7.1 Untersuchung konfektionierter Feuerwehrüberjacken

Aus den bereits im Abschnitt 3.4.1.1 dargelegten Gründen, erfolgten die Untersuchungen zum veränderten thermischen Verhalten, bedingt durch die Simulation der Alterungsprozesse durch Reinigung, mit den Feuerwehrüberjacken A0, A3 und A6, B0, B3 und B6, C0, C3 und C6 sowie den Feuerwehrüberjacken D0, D3 und D6.

Der Versuchsaufbau wurde in der Hotbox mit integrierter Wärmestrahlerwand gemäß Bild 4 realisiert. Zunächst wurde eine Feuerwehrüberjacke im kompletten Frontbereich mit Wärmestrahlung beaufschlagt und der durch den Lagenaufbau der Feuerwehrüberjacke hindurchtretende Wärmefluss bestimmt. Dabei erwies es sich auf Grund der Komplexität des Messobjektes, also einer Feuerwehrüberjacke, als sehr schwierig, reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Es zeigte sich sehr schnell, dass ein solcher Versuchsaufbau geringe Änderungen der thermischen Eigenschaften nur in begrenztem Maße nachweisen kann, da durch die Komplexität und Vielzahl freier Parameter die Messergebnisse sehr stark variierten.

Obwohl der Wärmeeintrag im Wesentlichen durch Wärmestrahlung erfolgt, ergaben sich durch konvektive Einflüsse, bedingt durch aufsteigende warme Luft vor der Versuchspuppe bzw. zwischen Kleidung und den Wärmeflussensoren starke Fluktuationen im Messsignal. Weiterhin ergab der direkte Kontakt der Wärmeflussensoren mit der Innenseite der Feuerwehrschutzkleidung zusätzlich starke nicht reproduzierbare Fluktuationen im Messergebnis. Ein Beispiel für die Fluktuationen der Messsignale zeigt Bild 27. Eine weitere Fehlerquelle liegt auch in der nicht 100 %igen Reproduzierbarkeit der Positionierung der Feuerwehrüberjacken auf der Versuchspuppe begründet. Mehrfache Lagen im Naht- oder Taschenbereich, Reißverschlüsse o.ä. bewirken auch unterschiedliche thermische Eigenschaften. Verändert sich die Position dieser Objekte auf der Versuchspuppe relativ zum Wärmeflussensor, so ändert sich natürlich auch dessen Messsignal. Um dieses zu verhindern, müsste die Reproduzierbarkeit des korrekten Sitzes jeder Feuerwehrüberjacke auf der Versuchspuppe gegeben sein. Diese kann jedoch nur begrenzt sichergestellt werden, da schon allein gewisse Fertigungstoleranzen bei den Feuerwehrüberjacken, selbst bei gleichem Hersteller und gleichem Jackentyp dem entgegenstehen. Auch ein Wechsel von verschiedenen Jacken auf der Versuchspuppe kann nicht so genau erfolgen, dass jede dieser Jacken genau

identisch auf den Sensoren zum Liegen kommt. In mehreren Versuchsreihen zeigten sich durch die Vielzahl von Fehlerquellen Abweichungen von durchschnittlich $15\% \pm 10\%$.

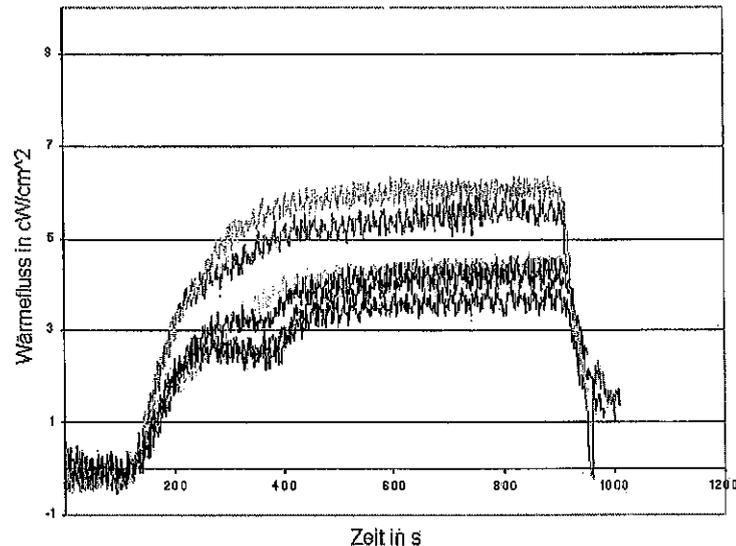


Bild 27: Fluktuationen der Messsignale durch freie Konvektion

Bei den erwarteten und durch die Untersuchungen der konfektionierten Feuerwehrüberjacken bestätigten äußerst geringen Änderungen der Eigenschaften durch Alterung der Feuerwehrschutzkleidung lagen diese Fehler dann jenseits des Auswertbaren. Deshalb wurde auf eine Darstellung der Messergebnisse der Untersuchungen mit den konfektionierten Feuerwehrüberjacken und deren Auswertung an dieser Stelle bewusst verzichtet.

Es kann jedoch die grundsätzliche Aussage getroffen werden, dass der Versuchsaufbau und damit das Messverfahren zum Nachweis der integralen Schutzwirkung der Feuerwehrschutzkleidung ausreichend genau ist.

7.2 Untersuchung von Materialproben der Feuerwehrüberjacken

Die Vielzahl nicht ausreichend beherrschbarer Probleme führte zu einer Abwandlung des Messverfahrens, um Fehlerquellen soweit als möglich auszuschließen. Es wurden jetzt Proben des Materials in einer Größe, die flächenmäßig die Wärmeflussensorpositionen HFTV23, HFTV24, HFTV28, HFTV29 und HFTV30 überspannte (siehe hierzu Bild 26), aus den Feuerwehrüberjacken entnommen und in definierter Position vor den Sensoren positioniert. Die Sensoren selbst wurden mittels der in Bild 28 dargestellten speziellen Abstandshalter abgeschirmt, um die konvektive warme Luft von den Sensoren abzuhalten. Dadurch konnte zugleich gewährleistet werden, dass die Materialproben nicht direkt auf den Sensoren

auflagen und der Abstand Sensor-Materialprobe an allen Messstellen konstant gehalten werden konnte.

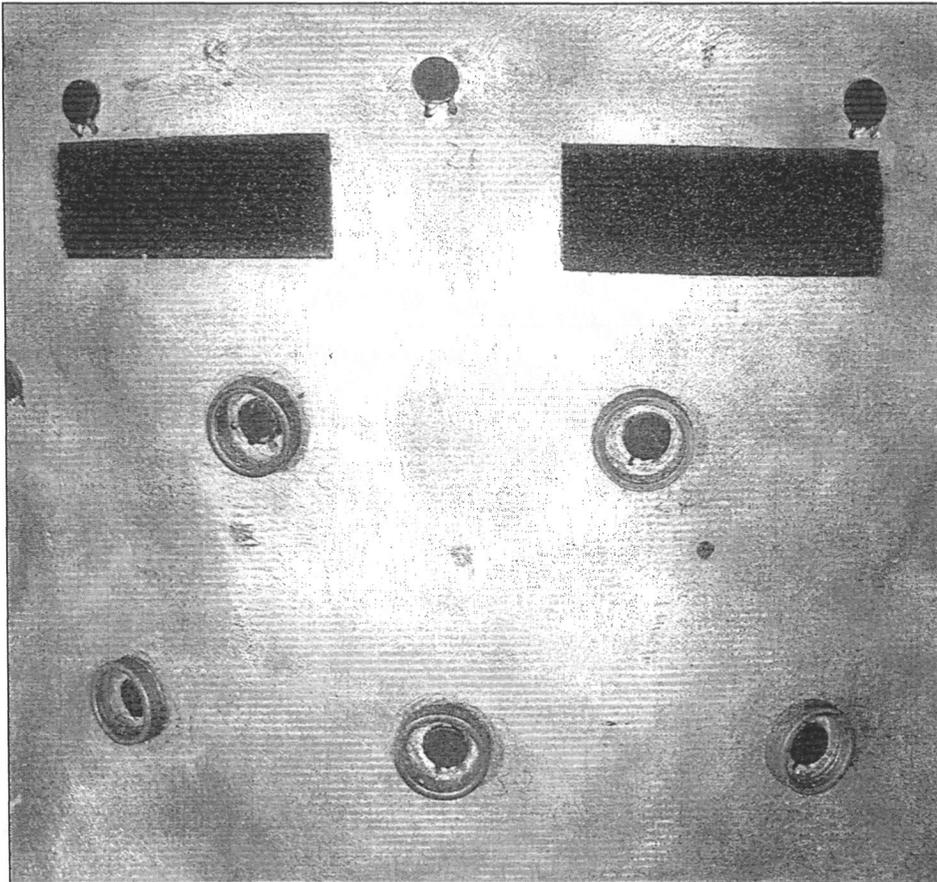


Bild 28: Wärmeflussensoren mit Abstandshaltern

Ein weiteres, schon bei den Untersuchungen mit den konfektionierten Feuerwehrüberjacken zu Tage getretenes Problem bestand darin, über den Zeitraum der gesamten Messungen hinweg, die Wärmestromdichte der Strahlungsquelle konstant zu halten. Verschiedene Einflussfaktoren, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, verhindern diese notwendige Konstanz der Wärmestrahlung, was dann natürlich im, durch die Untersuchungen zu bewertenden, sensiblen Bereich von ausschlaggebender Bedeutung sein kann. Sollen die Messergebnisse für die verschiedenen Materialproben vergleichbar sein, so ist es notwendig, eine konstant strahlende Wärmequelle zu benutzen, was schwierig zu realisieren ist. Als eine erste Maßnahme wurde zunächst von der Wärmestrahlerwand als Strahlungsquelle abgegangen, da konvektive Einflüsse durch die aufgeheizte Versuchspuppe einerseits und durch die sicherheitsrelevante Absaugung der Abgase der Wärmestrahlerwand andererseits die Messergebnisse offenbar beeinflusst wurden. Statt dessen wurde ein, ebenfalls mit Propangas betriebener Gasstrahler verwendet, durch den die geschilderten störenden konvektiven

Einflüsse ausgeschlossen werden konnten. Das Verfahren zur Untersuchung mittels Gasstrahler wird im Abschnitt 3.4.1.2

Eine weitere Maßnahme war, nicht den absoluten durch den Stoff hindurchtretenden Wärmefluss zum Vergleich der verschiedenen Stoffe heranzuziehen, sondern den sogenannten Transmissionskoeffizienten für die Auswertung zu nutzen. Zur Bestimmung des Transmissionskoeffizienten wurde direkt neben der Stoffprobe der Wärmefluss durch ein Radiometer gemessen und mit den durch die Sensoren gemessenen Wärmeflüssen ins Verhältnis gesetzt.

Der Transmissionsgrad τ ergibt sich somit zu:

$$\tau = \frac{\Phi_T}{\Phi_0}. \quad (6)$$

In weiteren Messungen zeigte es sich, dass selbst eine Materialprobe der Feuerwehrüberjacken messtechnisch noch sehr komplex ist. Es liegt hier ein System aus drei Materialschichten mit zwei dazwischen liegenden Luftschichten vor. Unterschiedlich dicke Luftschichten bewirken wiederum starke Änderungen des gesamt hindurchtretenden Wärmeflusses. Die Untersuchungsergebnisse dieser mit komplettem Lagenaufbau durchgeführten Versuche werden, bezogen auf die Materialtypen A, B, C und D in Tabelle 10, Tabelle 11, Tabelle 12 und Tabelle 13 ausgewiesen.

Aus den vorgenannten Gründen wurde dann auch entschieden, die einzelnen Schichten der Materialproben messtechnisch separat zu behandeln, d. h. für jede Schicht gesondert den dort auftretenden Wärmefluss zu messen. Damit konnte genauer festgestellt werden, wie sich die Alterungsprozesse auf die einzelnen Schichten auswirken.

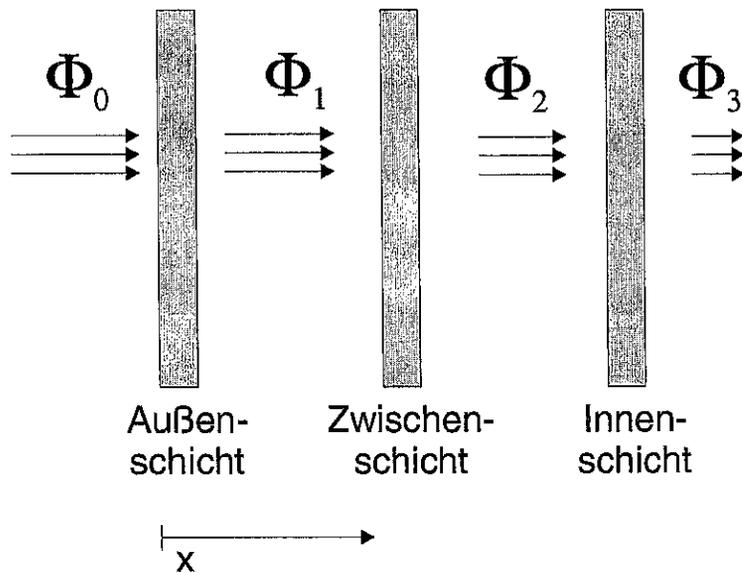


Bild 29: Schichtaufbau der Feuerwehrsutzkleidung mit Wärmeflüssen

Um daraus jedoch wiederum Rückschlüsse auf das Gesamtverhalten der Materialprobe (einzeln untersuchte Lagen im Verbund) schließen zu können, wurde aus den für die einzelnen Lagen ermittelten Transmissionskoeffizienten ein gesamter Transmissionskoeffizient entsprechend (7) gebildet.

$$\tau_{ges.} = \frac{\Phi_3}{\Phi_0} = \frac{\Phi_1}{\Phi_0} \cdot \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \cdot \frac{\Phi_3}{\Phi_2} = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \quad (7)$$

Dieser Transmissionskoeffizient ist jedoch nur sinnvoll, um die einzelnen Materialien untereinander zu vergleichen, er gibt jedoch keine Aussage zur tatsächlichen Transmission, weil unter anderem die Luftschichten zwischen den Materialien nicht berücksichtigt werden. Die Ergebnisse dieser schichtbezogenen Untersuchungen werden ebenfalls in Tabelle 10, Tabelle 11, Tabelle 12 und Tabelle 13 ausgewiesen.

8 Messergebnisse zum thermischen Verhalten von gealterter Feuerwehr-Schutzkleidung

8.1 Ergebnisse untersuchter Materialproben die den Prozessen der Alterung durch Reinigung unterzogen wurden

8.1.1 Erläuterungen zu den Ergebnistabellen

Die tabellarischen Werte in den vorgenannten Tabellen stellen die nach dem entwickelten Verfahren ermittelten Messergebnisse zur Untersuchung des thermischen Verhaltens von Feuerwehr-Schutzkleidung dar. Sie wurden ermittelt im Rahmen der Untersuchung von Materialproben aus Feuerwehrüberjacken der Typen A, B, C und D.

Zum Verständnis der in den genannten Tabellen verwendeten Bezeichnungen zunächst einige Erläuterungen am Beispiel der Messergebnisse von Materialproben des Materialtyps A in Tabelle 10. Der zur Erläuterung herangezogene Tabellenausschnitt aus dieser Tabelle ist im Bild 30 dargestellt. Darin werden die für die Erläuterung herangezogenen Ergebnisse der untersuchten Einzellagen der Materialproben unter A0_1 und A0_2 ausgewiesen.

Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
A0_1	Außen	0,2506	0,2598	0,1812	0,2488	0,1775	0,2236
	Zwischen	0,2326	0,2337	0,1447	0,2235	0,1491	0,1967
	Innen	0,1611	0,1620	0,1199	0,1927	0,1354	0,1542
	Gesamt	0,0094	0,0098	0,0031	0,0107	0,0036	0,0068
A0_2	Außen	0,2573	0,2587	0,1797	0,2502	0,1777	0,2247
	Zwischen	0,2374	0,2203	0,1442	0,2210	0,1453	0,1936
	Innen	0,1604	0,1575	0,1226	0,1945	0,1186	0,1507
	Gesamt	0,0098	0,0090	0,0032	0,0108	0,0031	0,0066
Mittel Gesamt	A0	0,0096	0,0094	0,0032	0,0107	0,0033	0,0067
A0_1 komplett		0,1225	0,1081	0,0793	0,1368	0,0811	0,1056
A0_2 komplett		0,1311	0,1267	0,0864	0,1402	0,0904	0,1150
Mittelwert		0,1268	0,1174	0,0829	0,1385	0,0858	0,1103

Bild 30: Tabellenausschnitt zur Interpretation der Ergebnisse

Die hierfür getroffenen Aussagen gelten dann natürlich auch für die Materialproben der Zustände A3 und A6. In gleicher Weise sind sie zutreffend für die Materialproben der Materialtypen B, C und D.

Untersucht wurde zunächst vollkommen unbelastetes neues Material, gekennzeichnet durch die „0“ hinter dem Materialtyp A, also A0.

Grundsätzlich wurden die vorzunehmenden Untersuchungen immer doppelt ausgeführt, um eine Sicherheit bezüglich sogenannter Ausreißer oder gar Messfehler zu erhalten. Bezogen auf das vorgenannte Beispiel wurde Untersuchung Nr. 1 mit A0_1 und Untersuchung Nr. 2 mit A0_2 in der Ergebniszeile der Tabelle bezeichnet.

Die für die vorgenannten Untersuchungen relevanten fünf Messstellen auf der Versuchspuppe werden in der Tabelle mit HFTV23, HFTV24, HFTV28, HFTV29 und HFTV30 bezeichnet. Die Positionen dieser Messstellen auf der Versuchspuppe, hier als TV23, TV24, TV28, TV29 und TV30 ausgewiesen, sind aus Bild 26 ersichtlich.

Der in der Tabelle für jede dieser Messstellen ausgewiesene Wert stellt nicht den eigentlichen, mittels der Wärmeflussensoren gemessenen Messwert des Wärmeflusses dar, sondern den jeweils schon berechneten Transmissionskoeffizienten τ , der wertmäßig der Quotient aus der Wärmestromdichte auf der Oberfläche der Versuchspuppe (gemessen durch Sensor) und der Wärmestromdichte auf der Außenseite des Materials (gemessen mittels Radiometer) ist. In diesem Zusammenhang wird nochmals auf die diesbezüglichen Ausführungen zum Transmissionskoeffizienten im Abschnitt 7.2 verwiesen.

Für jeden einzelnen Transmissionskoeffizienten erfolgte eine Mittelung über 100 Sekunden der laufenden Messung, um geringe Fluktuationen des Messsignals auszugleichen. Um den je Messstelle mit „Gesamt“ ausgewiesenen Gesamttransmissionskoeffizienten zu ermitteln, werden die einzelnen Transmissionskoeffizienten multiplikativ miteinander verknüpft. Das folgende, auf die Materialprobe A0_1 und Messstelle HFTV23 bezogene Beispiel verdeutlicht die multiplikative Verknüpfung der Transmissionskoeffizienten für die Außenschicht (Spalte Material – Außen; $\tau_a=0,2506$), die Zwischenschicht (Spalte Material – Zwischen; $\tau_z=0,2326$) und die Innenschicht (Spalte Material – Innen; $\tau_i=0,1611$) der Materialprobe A0_1 zum Gesamttransmissionskoeffizienten (Spalte Material – Gesamt; $\tau_G=0,0094$). Auf die gleiche Art und Weise erfolgt die Berechnung des Gesamttransmissionskoeffizienten für jede Messstelle. Aus den Mittelwerten der drei Transmissionskoeffizienten kann dann über deren multiplikative Verknüpfung der resultierende Gesamttransmissionskoeffizienten ermittelt werden, der zur Bewertung des jeweiligen Materialtyps herangezogen werden kann.

Für die abschließende Bewertung des Materials vom Typ A0 wird dann wiederum der Mittelwert zwischen den Mittelwerten der Gesamttransmissionskoeffizienten von A0_1 und A0_2 gebildet. Dieser Wert wird in der Tabellenzeile „Mittel Gesamt“ für den Materialtyp A0 mit 0,0067 in der Spalte Mittelwerte ausgewiesen.

Die Untersuchungsergebnisse für Materialproben des kompletten Lagenaufbaus– hier die des Feuerwehrüberjackentyps A im Materialzustand 0 (Ergebnisse in Tabelle 10 unter A0_1 komplett und A0_2 komplett ausgewiesen) sind einfacher zu interpretieren, da hier der komplette Lagenaufbau auf einmal untersucht wurde. Hier entsprechen die ausgewiesenen Tabellenwerte an den einzelnen Messstellen im Prinzip schon den Gesamttransmissionskoeffizienten. Die Mittelwerte der Gesamttransmissionskoeffizienten der beiden Untersuchungen A0_1 komplett und A0_2 komplett stellen die Grundlage für die Bewertung des kompletten Lagenaufbaus des Feuerwehrüberjackentyps A an den einzelnen Messstellen dar. Auch hier wird dann wieder der Mittelwert über diese Mittelwerte für die Gesamtbewertung des Feuerwehrüberjackentyps A im Zustand 0 genutzt.

Dieser Wert wird in der Tabellenzeile „Mittelwert“ für den Materialtyp A0 komplett der Feuerwehrüberjacke mit 0,1103 in der Spalte Mittelwerte ausgewiesen.

Auch hier gelten die vorgenannten Aussagen zur Auswertung der Untersuchungsergebnisse der Materialproben des kompletten Lagenaufbaus des Feuerwehrüberjackentyps A im Materialzustand 0 dann natürlich auch für die Interpretation der Untersuchungsergebnisse der Materialproben des kompletten Lagenaufbaus des Feuerwehrüberjackentyps A in den Materialzuständen A3 und A6. In gleicher Weise sind sie zutreffend für die kompletten Lagenaufbauten der Materialtypen B, C und D (beachte hierzu die nachfolgenden Tabellen).

Tabelle 10: Messergebnisse zum thermisches Verhalten der Feuerwehr-Überjacke Typ A

Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
A0_1	Außen	0,2506	0,2598	0,1812	0,2488	0,1775	0,2236
	Zwischen	0,2326	0,2337	0,1447	0,2235	0,1491	0,1967
	Innen	0,1611	0,1620	0,1199	0,1927	0,1354	0,1542
	Gesamt	0,0094	0,0098	0,0031	0,0107	0,0036	0,0068
A0_2	Außen	0,2573	0,2587	0,1797	0,2502	0,1777	0,2247
	Zwischen	0,2374	0,2203	0,1442	0,2210	0,1453	0,1936
	Innen	0,1604	0,1575	0,1226	0,1945	0,1186	0,1507
	Gesamt	0,0098	0,0090	0,0032	0,0108	0,0031	0,0066
Mittel Gesamt	A0	0,0096	0,0094	0,0032	0,0107	0,0033	0,0067
A0_1 komplett		0,1225	0,1081	0,0793	0,1368	0,0811	0,1056
A0_2 komplett		0,1311	0,1267	0,0864	0,1402	0,0904	0,1150
	Mittelwert	0,1268	0,1174	0,0829	0,1385	0,0858	0,1103
Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
A3_1	Außen	0,2712	0,2676	0,1694	0,2543	0,1886	0,2302
	Zwischen	0,2152	0,2118	0,1378	0,2171	0,1460	0,1856
	Innen	0,1832	0,1650	0,1093	0,1788	0,1249	0,1522
	Gesamt	0,0107	0,0094	0,0026	0,0099	0,0034	0,0065
A3_2	Außen	0,2663	0,2627	0,1662	0,2486	0,1867	0,2261
	Zwischen	0,2103	0,2134	0,1374	0,2148	0,1379	0,1828
	Innen	0,1911	0,1693	0,1153	0,1799	0,1247	0,1560
	Gesamt	0,0107	0,0095	0,0026	0,0096	0,0032	0,0064
Mittel Gesamt	A3	0,0107	0,0094	0,0026	0,0097	0,0033	0,0065
A3_1 komplett		0,1344	0,1289	0,0764	0,1214	0,0865	0,1095
A3_2 komplett		0,1453	0,1330	0,0802	0,1285	0,0872	0,1148
	Mittelwert	0,1398	0,1310	0,0783	0,1250	0,0869	0,1122
Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
A6_1	Außen	0,2579	0,2637	0,1854	0,2614	0,1874	0,2312
	Zwischen	0,2027	0,2142	0,1251	0,1994	0,1445	0,1772
	Innen	0,1774	0,1765	0,1117	0,1807	0,1258	0,1544
	Gesamt	0,0093	0,0100	0,0026	0,0094	0,0034	0,0063
A6_2	Außen	0,2600	0,2610	0,1742	0,2558	0,1814	0,2265
	Zwischen	0,2080	0,2125	0,1352	0,1955	0,1425	0,1787
	Innen	0,1756	0,1925	0,1021	0,1809	0,1280	0,1558
	Gesamt	0,0095	0,0107	0,0024	0,0090	0,0033	0,0063
Mittel Gesamt	A6	0,0094	0,0103	0,0025	0,0092	0,0034	0,0063
A6_1 komplett		0,1248	0,1259	0,0761	0,1285	0,0924	0,1095
A6_2 komplett		0,1267	0,1128	0,0837	0,1362	0,0916	0,1102
	Mittelwert	0,1258	0,1193	0,0799	0,1324	0,0920	0,1099

Tabelle 11: Messergebnisse zum thermisches Verhalten der Feuerwehr-Überjacke Typ B

Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
B0_1	Außen	0,2334	0,2501	0,1612	0,2427	0,1624	0,2100
	Zwischen	0,1991	0,1960	0,1416	0,2049	0,1471	0,1777
	Innen	0,1901	0,2010	0,1185	0,1667	0,1270	0,1607
	Gesamt	0,0088	0,0099	0,0027	0,0083	0,0030	0,0060
B0_2	Außen	0,2307	0,2391	0,1618	0,2302	0,1678	0,2059
	Zwischen	0,1988	0,1962	0,1288	0,2035	0,1423	0,1739
	Innen	0,1915	0,1889	0,1254	0,1752	0,1166	0,1595
	Gesamt	0,0088	0,0089	0,0026	0,0082	0,0028	0,0057
Mittel Gesamt	B0	0,0088	0,0094	0,0027	0,0082	0,0029	0,0059
B0_1 komplett		0,1169	0,1222	0,0745	0,1207	0,0902	0,1049
B0_2 komplett		0,1244	0,1205	0,0783	0,1265	0,0878	0,1075
	Mittelwert	0,1207	0,1214	0,0764	0,1236	0,0890	0,1062
Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
B3_1	Außen	0,2513	0,2537	0,1672	0,2489	0,1695	0,2181
	Zwischen	0,2015	0,2263	0,1341	0,1958	0,1375	0,1791
	Innen	0,1659	0,1695	0,0989	0,1653	0,1102	0,1420
	Gesamt	0,0084	0,0097	0,0022	0,0081	0,0026	0,0055
B3_2	Außen	0,2406	0,2468	0,1699	0,2384	0,1716	0,2134
	Zwischen	0,2086	0,2217	0,1300	0,1895	0,1344	0,1768
	Innen	0,1711	0,1709	0,1053	0,1654	0,1149	0,1455
	Gesamt	0,0086	0,0094	0,0023	0,0075	0,0026	0,0055
Mittel Gesamt	B3	0,0085	0,0095	0,0023	0,0078	0,0026	0,0055
B3_1 komplett		0,1144	0,1162	0,0635	0,1142	0,0813	0,0979
B3_2 komplett		0,1209	0,1198	0,0744	0,1219	0,0840	0,1042
	Mittelwert	0,1176	0,1180	0,0689	0,1181	0,0827	0,1011
Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
B6_1	Außen	0,2367	0,2413	0,1476	0,2402	0,1621	0,2056
	Zwischen	0,1958	0,1916	0,1151	0,2034	0,1291	0,1670
	Innen	0,1647	0,1763	0,1151	0,1653	0,1137	0,1470
	Gesamt	0,0076	0,0082	0,0020	0,0081	0,0024	0,0050
B6_2	Außen	0,2434	0,2433	0,1577	0,2326	0,1356	0,2025
	Zwischen	0,1899	0,1886	0,1213	0,1900	0,1259	0,1631
	Innen	0,1667	0,1675	0,1052	0,1585	0,1119	0,1420
	Gesamt	0,0077	0,0077	0,0020	0,0070	0,0019	0,0047
Mittel Gesamt	B6	0,0077	0,0079	0,0020	0,0075	0,0021	0,0049
B6_1 komplett		0,1150	0,1075	0,0656	0,1115	0,0767	0,0953
B6_2 komplett		0,1233	0,1160	0,0742	0,1237	0,0796	0,1034
	Mittelwert	0,1191	0,1118	0,0699	0,1176	0,0782	0,0993

Tabelle 12: Messergebnisse zum thermisches Verhalten der Feuerwehr-Überjacke Typ C

Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
C0_1	Außen	0,2598	0,2684	0,1575	0,2545	0,1759	0,2232
	Zwischen	0,2313	0,2501	0,1372	0,2107	0,1487	0,1956
	Innen	0,3269	0,3265	0,2082	0,3204	0,2198	0,2804
	Gesamt	0,0196	0,0219	0,0045	0,0172	0,0058	0,0122
C0_2	Außen	0,2503	0,2533	0,1698	0,2465	0,1782	0,2196
	Zwischen	0,2306	0,2405	0,1345	0,2120	0,1589	0,1953
	Innen	0,3203	0,3243	0,2041	0,3138	0,2203	0,2765
	Gesamt	0,0185	0,0198	0,0047	0,0164	0,0062	0,0119
Mittel Gesamt	C0	0,0191	0,0208	0,0046	0,0168	0,0060	0,0121
C0_1 komplett		0,1693	0,1575	0,0896	0,1596	0,1022	0,1356
C0_2 komplett		0,1583	0,1660	0,0990	0,1671	0,1085	0,1398
	Mittelwert	0,1638	0,1617	0,0943	0,1634	0,1053	0,1377
Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
C3_1	Außen	0,2665	0,2657	0,1530	0,2568	0,1756	0,2235
	Zwischen	0,2229	0,2134	0,1425	0,2227	0,1462	0,1895
	Innen	0,2972	0,3146	0,2083	0,3048	0,2175	0,2685
	Gesamt	0,0177	0,0178	0,0045	0,0174	0,0056	0,0114
C3_2	Außen	0,2666	0,2735	0,1624	0,2571	0,1831	0,2286
	Zwischen	0,2148	0,2139	0,1391	0,2257	0,1520	0,1891
	Innen	0,2836	0,2982	0,2027	0,2947	0,2120	0,2582
	Gesamt	0,0162	0,0174	0,0046	0,0171	0,0059	0,0112
Mittel Gesamt	C3	0,0169	0,0176	0,0046	0,0173	0,0057	0,0113
C3_1 komplett		0,1613	0,1540	0,0925	0,1678	0,1138	0,1378
C3_2 komplett		0,1726	0,1594	0,0959	0,1647	0,1206	0,1426
	Mittelwert	0,1669	0,1567	0,0942	0,1662	0,1172	0,1402
Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
C6_1	Außen	0,2647	0,2638	0,1521	0,2584	0,1871	0,2252
	Zwischen	0,2208	0,2120	0,1471	0,2216	0,1376	0,1878
	Innen	0,2856	0,3115	0,1933	0,2999	0,2071	0,2594
	Gesamt	0,0167	0,0174	0,0043	0,0172	0,0053	0,0110
C6_2	Außen	0,2672	0,2664	0,1669	0,2617	0,1845	0,2293
	Zwischen	0,2279	0,2109	0,1473	0,2222	0,1399	0,1896
	Innen	0,2879	0,2986	0,1914	0,2916	0,2107	0,2560
	Gesamt	0,0175	0,0168	0,0047	0,0170	0,0054	0,0111
Mittel Gesamt	C6	0,0171	0,0171	0,0045	0,0171	0,0054	0,0111
C6_1 komplett		0,1545	0,1381	0,0927	0,1502	0,1043	0,1280
C6_2 komplett		0,1626	0,1575	0,0994	0,1616	0,1164	0,1395
	Mittelwert	0,1585	0,1478	0,0960	0,1559	0,1104	0,1337

Tabelle 13: Messergebnisse zum thermisches Verhalten der Feuerwehr-Überjacke Typ D

Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
D0_1	Außen	0,2512	0,2617	0,1594	0,2460	0,1762	0,2189
	Zwischen	0,2824	0,2690	0,1939	0,2886	0,2016	0,2471
	Innen	0,1925	0,1810	0,1256	0,2055	0,1356	0,1680
	Gesamt	0,0137	0,0127	0,0039	0,0146	0,0048	0,0091
D0_2	Außen	0,2501	0,2531	0,1631	0,2432	0,1892	0,2197
	Zwischen	0,2865	0,2598	0,1935	0,2894	0,1969	0,2452
	Innen	0,1863	0,1836	0,1343	0,1937	0,1479	0,1692
	Gesamt	0,0133	0,0121	0,0042	0,0136	0,0055	0,0091
Mittel Gesamt	D0	0,0135	0,0124	0,0041	0,0141	0,0052	0,0091
D0_1 komplett		0,1369	0,1241	0,0880	0,1426	0,0958	0,1175
D0_2 komplett		0,1402	0,1287	0,0916	0,1493	0,1032	0,1226
	Mittelwert	0,1385	0,1264	0,0898	0,1459	0,0995	0,1200
Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
D3_1	Außen	0,2551	0,2711	0,1761	0,2516	0,1853	0,2278
	Zwischen	0,2576	0,2816	0,1742	0,2829	0,1898	0,2372
	Innen	0,1896	0,2050	0,1387	0,2056	0,1476	0,1773
	Gesamt	0,0125	0,0157	0,0043	0,0146	0,0052	0,0096
D3_2	Außen	0,2580	0,2657	0,1735	0,2479	0,1821	0,2254
	Zwischen	0,2629	0,2713	0,1701	0,2683	0,1955	0,2336
	Innen	0,1924	0,1947	0,1291	0,2029	0,1309	0,1700
	Gesamt	0,0131	0,0140	0,0038	0,0135	0,0047	0,0090
Mittel Gesamt	D3	0,0128	0,0148	0,0040	0,0141	0,0049	0,0093
D3_1 komplett		0,1422	0,1218	0,0818	0,1463	0,0957	0,1176
D3_2 komplett		0,1464	0,1316	0,0855	0,1513	0,0974	0,1224
	Mittelwert	0,1443	0,1267	0,0837	0,1488	0,0966	0,1200
Ergebniszeile	Material	HFTV23	HFTV24	HFTV28	HFTV29	HFTV30	Mittelwerte
D6_1	Außen	0,2532	0,2670	0,1608	0,2582	0,1860	0,2250
	Zwischen	0,2473	0,2738	0,1612	0,2681	0,1771	0,2255
	Innen	0,1800	0,1797	0,1180	0,1801	0,1273	0,1570
	Gesamt	0,0113	0,0131	0,0031	0,0125	0,0042	0,0080
D6_2	Außen	0,2607	0,2595	0,1806	0,2569	0,1708	0,2257
	Zwischen	0,2619	0,2731	0,1703	0,2771	0,1894	0,2344
	Innen	0,1801	0,1780	0,1182	0,1779	0,1305	0,1569
	Gesamt	0,0123	0,0126	0,0036	0,0127	0,0042	0,0083
Mittel Gesamt	D6	0,0118	0,0129	0,0033	0,0126	0,0042	0,0081
D6_1 komplett		0,1497	0,1305	0,0888	0,1401	0,0856	0,1189
D6_2 komplett		0,1435	0,1370	0,0916	0,1392	0,0980	0,1218
	Mittelwert	0,1466	0,1338	0,0902	0,1396	0,0918	0,1204

8.1.2 Ergebnisse untersuchter Materialien, die den Simulationsprozessen der Alterung durch Reinigung unterzogen wurden

In den Ergebnistabellen 10 bis 13 sind die Untersuchungsergebnisse dargelegt. Wie diese in den Tabellen enthaltenen Werte zu interpretieren sind, wurde bereits im Abschnitt 8.1.1 erläutert. Im Bild 31 werden die auf die Materialart und den Materialzustand bezogenen Messergebnisse des kompletten Lagenaufbaus grafisch dargestellt. Bild 32 weist, materialbezogen, die Differenzen der Messergebnisse zwischen den Materialzuständen des kompletten Lagenaufbaus grafisch aus. Analoge grafische Darstellungen werden in Bild 33 und Bild 34 für die Messergebnisse der Untersuchungen der Einzellagen ausgewiesen.

Welche Aussagen in bezug auf das thermische Verhalten der untersuchten Materialproben können nun getroffen werden?

Zunächst soll der nachfolgend geschilderte Sachverhalt die generell angestrebte universelle Vergleichbarkeit der Messergebnisse, wie sie eigentlich auch in der Aufgabenstellung proklamiert wurde, in gewissem Maße einschränken. Dieser Sachverhalt stellt sich so dar, dass Messergebnisse nur unmittelbar miteinander vergleichbar und damit auch mit ausreichender Genauigkeit hinreichend bewertbar sind, wenn sie genau unter den gleichen Bedingungen erzielt wurden, d. h., wenn die Messbedingungen reproduzierbar sind. Diese Tatsache gilt umso mehr, als bei den vorgenommenen Untersuchungen die Messwertdifferenzen zwischen den zu bewertenden Messwerten vergleichsweise so gering ausfielen, dass schon geringfügig veränderte Versuchsbedingungen möglicherweise größere Abweichungen vom realen Messwert hätten hervorrufen können als die genannten geringen Messwertdifferenzen unter tatsächlich reproduzierbaren Bedingungen.

Die angesprochene Einschränkung der universellen Vergleichbarkeit der Messergebnisse stellt sich unter den vorgenannte Aspekten so dar, dass die Messergebnisse der Materialtypen A, B, C und D eigentlich so direkt hätten nicht untereinander verglichen werden dürfen, da die Reproduzierbarkeit der Versuchsbedingungen objektiv nicht im geforderten Maße gegeben sein konnte. Der Grund dafür ist der, dass die Untersuchungen aller Materialtypen unter Berücksichtigung der jeweils drei verschiedenen Materialzustände wegen des damit verbundenen Zeitaufwandes nicht, wie für jeweils einen Materialtyp zutreffend, direkt hintereinander erfolgen konnten. Insofern waren die Untersuchungsbedingungen also nicht immer 100 %ig gleichwertig. Deshalb wird nachfolgend nicht auf den direkten Vergleich der Messergebnisse zwischen den Materialtypen A, B, C und D eingegangen, sondern es werden

nur die Ergebnisse bezüglich der unterschiedlichen Materialzustände jeweils nur eines Materialtyps miteinander verglichen. Differenziert wird dann nur noch bezüglich der Ergebnisse zum kompletten Lagenaufbau und der Ergebnisse zu den Einzellagen. Durch dieses gewählte Auswerteverfahren drücken sich dann auch letztlich die eigentlichen Veränderungen der Eigenschaften der Materialien, bedingt durch die simulierten Alterungsprozesse aus. Deren Feststellung entspricht dann doch wohl auch der eigentlichen Zielstellung des bearbeiteten Vorhabens.

Zur besseren Übersicht werden in der folgenden Tabelle 14 die für die Auswertung aus Tabelle 10 herangezogenen Werte der Untersuchungen zum Materialtyp A zusammenfassend dargestellt. Ausgewiesen werden die jeweils materialzustandsbezogenen relevanten Werte der Transmissionskoeffizienten für den kompletten Lagenaufbau und der Werte der Transmissionskoeffizienten für den Lagenaufbau auf der Grundlage der Untersuchung der Einzellagen. Den letztgenannten Werten für die Materialzustände A3 und A6 wird der prozentuale Wert des jeweiligen Transmissionskoeffizienten gegenüber dem mit 100 % für den Materialzustand A0 angesetzten Transmissionskoeffizienten gegenübergestellt. Dieser Prozentwert weist die jeweilige Verbesserung oder Verschlechterung der thermischen Eigenschaften – und nur dieser - des Materialtyps A im jeweiligen Materialzustand gegenüber dem nicht den Simulationsprozessen der Alterung unterzogenen Materialtyp A0 aus. Für die Werte der Transmissionskoeffizienten des kompletten Lagenaufbaus wurde dieser prozentuale Vergleich nicht vorgenommen, da hier die Fehleranfälligkeit des Verfahrens in bezug auf die Reproduzierbarkeit größer war als bei den Untersuchungen mit den Einzellagen. In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, dass die Materialien thermisch günstiger zu bewerten sind, wenn der Transmissionskoeffizient wertmäßig kleiner ist. Insofern weist ein prozentual geringerer Vergleichswert als der mit 100 % angesetzte Basiswert auf ein verbessertes thermisches Verhalten hin.

Aus dieser, nur aus thermischer Sicht, vorgenommenen Bewertung oder Beurteilung der Materialien kann noch nicht auf eine Gesamtbeurteilung des Materials geschlossen werden.

Tabelle 14: Auswertung alterungsbezogenes thermisches Verhalten Materialtyp A

Materialzustand	Für die Gesamtbewertung herangezogene Transmissionskoeffizienten		
	kompletter Lagenaufbau	Untersuchung der Einzellagen	%
A0	0,1103	0,0067	100
A3	0,1122	0,0065	97
A6	0,1099	0,0063	94

Was für den Materialtyp A in Tabelle 14 dargestellt wurde, wird nunmehr in Tabelle 15 für den Materialtyp B, in Tabelle 16 für den Materialtyp C und in Tabelle 17 für den Materialtyp D festgehalten.

Die im Vorspann zu Tabelle 14 bezüglich des Materialtyps A getroffenen Aussagen gelten in vollem Umfang auch für die Angaben zu den Materialtypen B, C und D in den nachfolgenden Tabellen.

Tabelle 15: Auswertung alterungsbezogenes thermisches Verhalten Materialtyp B

Materialzustand	Für die Gesamtbewertung herangezogene Transmissionskoeffizienten		
	kompletter Lagenaufbau	Untersuchung der Einzellagen	%
B0	0,1062	0,0059	100
B3	0,1011	0,0055	93
B6	0,0993	0,0049	83

Tabelle 16: Auswertung alterungsbezogenes thermisches Verhalten Materialtyp C

Materialzustand	Für die Gesamtbewertung herangezogene Transmissionskoeffizienten		
	kompletter Lagenaufbau	Untersuchung der Einzellagen	%
C0	0,1377	0,0121	100
C3	0,1402	0,0113	93
C6	0,1337	0,0111	92

Tabelle 17: Auswertung alterungsbezogenes thermisches Verhalten Materialtyp D

Materialzustand	Für die Gesamtbewertung herangezogene Transmissionskoeffizienten		
	kompletter Lagenaufbau	Untersuchung der Einzellagen	%
D0	0,1200	0,0091	100
D3	0,1200	0,0093	102
D6	0,1204	0,0081	89

Was wird durch die vorgenommene tabellarische Auswertung deutlich?

Generell kann die Aussage getroffen werden, dass das thermische Verhalten der Materialproben, die den Simulationsprozessen der Alterung durch Reinigung unterzogen wurden, wider Erwarten in der Regel in jedem Falle, d. h. bei jedem Materialtyp, günstiger geworden ist. Dabei ist feststellbar, dass die alterungsbedingten Unterschiede des thermischen Verhaltens beim Materialtyp B am ausgeprägtesten sind. Tendenziell kann ein gleicher Trend bei den Materialproben des kompletten Lagenaufbaus beobachtet werden.

Betrachtet man separat in Tabelle 10, Tabelle 11, Tabelle 12 und Tabelle 13 die Transmissionskoeffizienten der einzelnen Lagen des Materialaufbaus, dann ist feststellbar, welche der Materialsichten für die Entwicklung hin zum günstigeren thermischen Verhalten verantwortlich ist. Eindeutig ist dies die Innenschicht, also die Thermoschicht. Hierzu kann konstatiert werden, dass, bedingt durch die Simulationsprozesse der Alterung durch Reinigung, insbesondere diese Schicht durch die Beanspruchungen und Belastungen in einer gewissen Form derart „geschädigt“, wurde, dass sie dadurch offenbar flauschiger und damit „dicker und luftiger“ wurde, wodurch sich der positive Effekt des thermisch günstigeren Verhaltens einstellte. Dieses, durch die Alterungsprozesse, veränderte Materialmuster der Thermoschicht konnte auch optisch mit bloßem Auge wahrgenommen werden.

Wie auch die Werte der Transmissionskoeffizienten in den Tabellen direkt ausweisen, ist der verbesserte thermische Effekt noch verstärkt aufgetreten beim Simulationsprozess der unsachgemäßen Reinigung. Der Vergleich der jeweiligen Materialzustände (hier am Beispiel des Materialtyps B) B0 (neues, nicht belastetes Material), B3 (sachgemäße Reinigung, 3 Jahre Tragezeit) und B6 (unsachgemäße Reinigung, 3 Jahre Tragezeit) spricht eindeutig für das Material B6 als das thermisch günstigste.

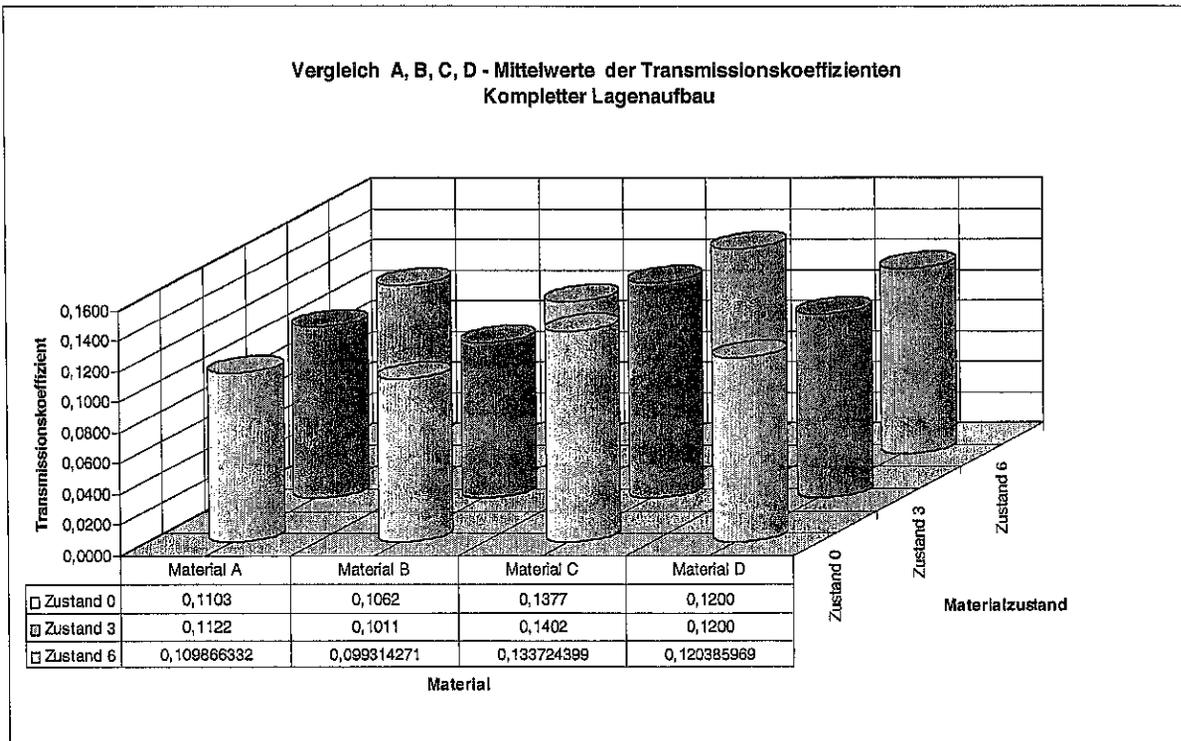


Bild 31: Messergebnisse kompletter Lagenaufbau

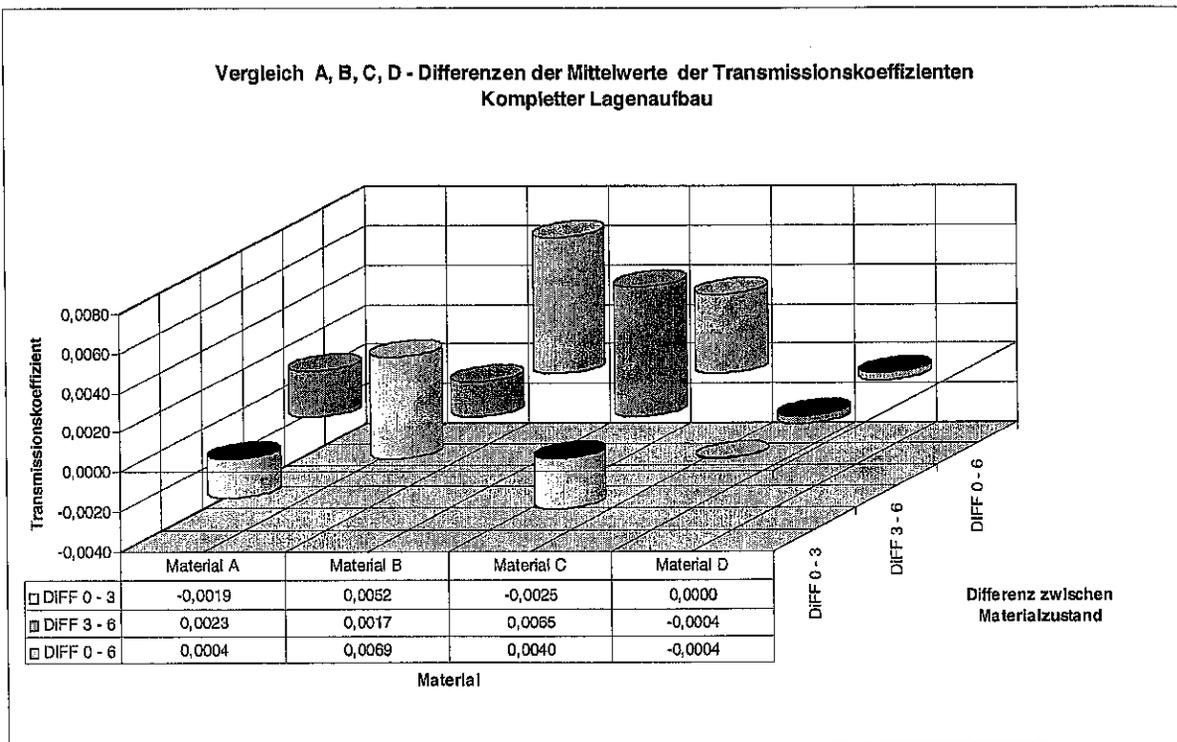


Bild 32: Differenzen der Messergebnisse kompletter Lagenaufbau

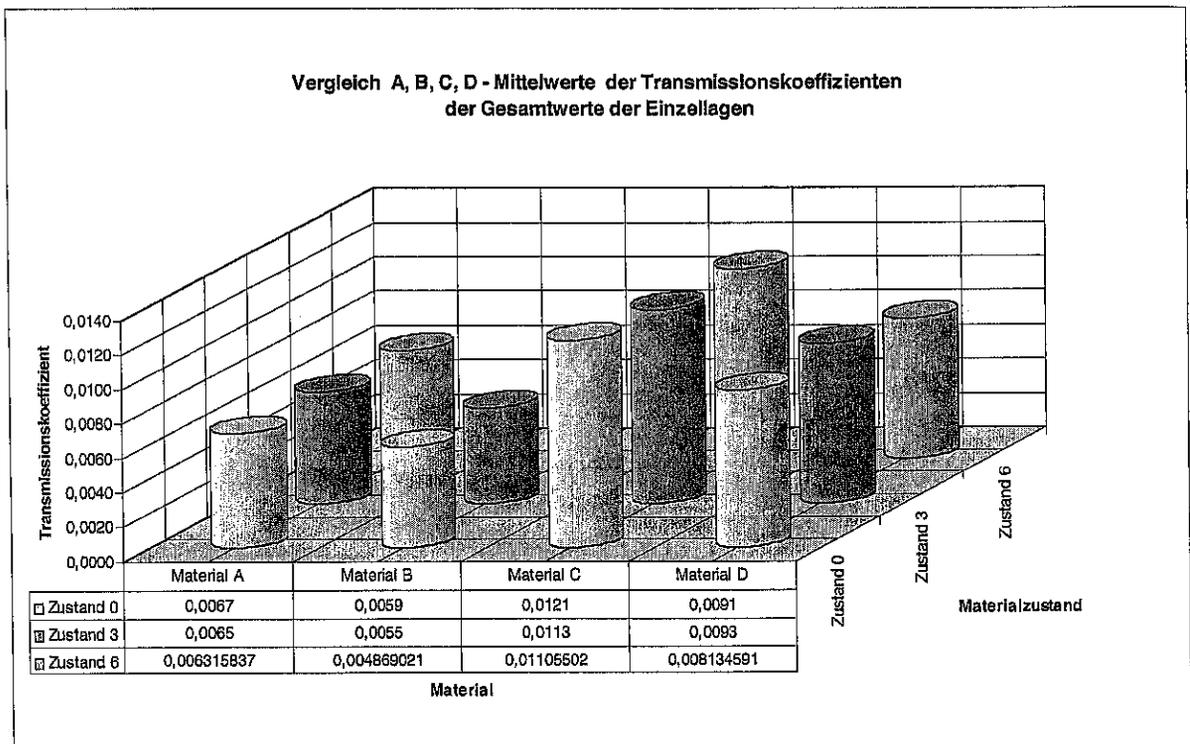


Bild 33: Messergebnisse Einzellagen

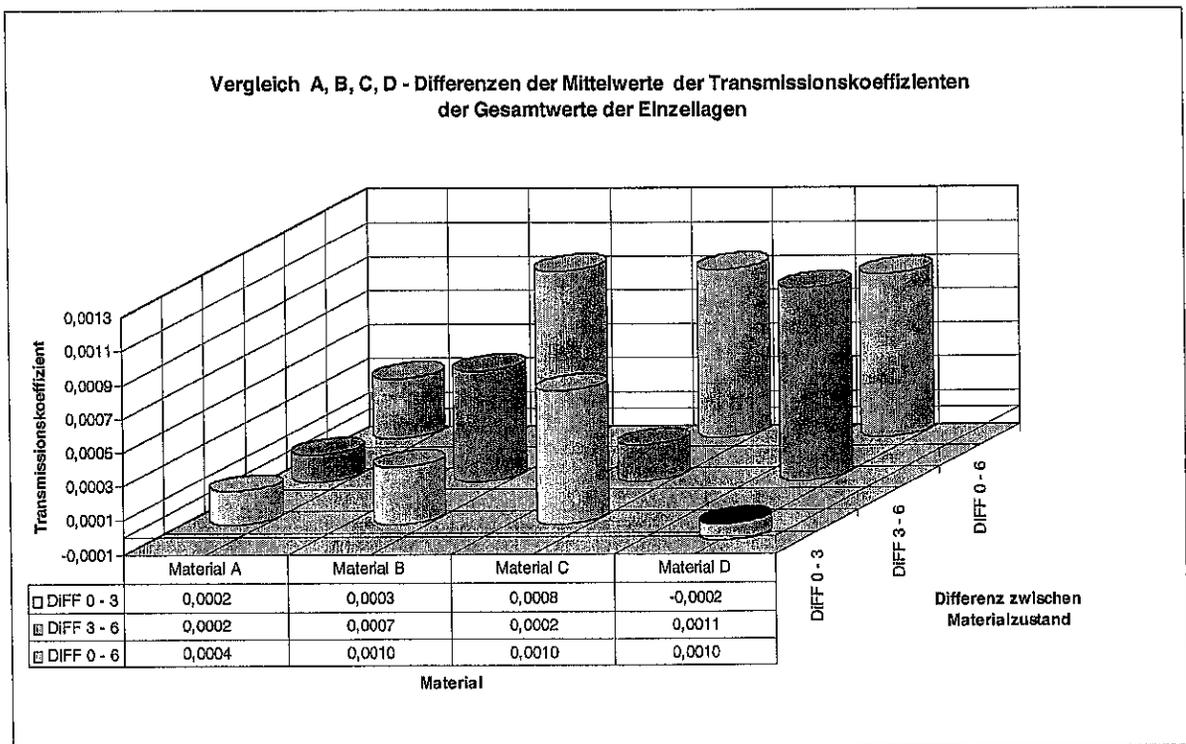


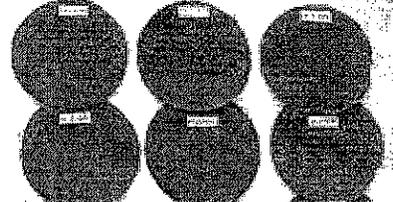
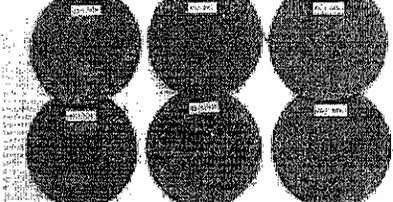
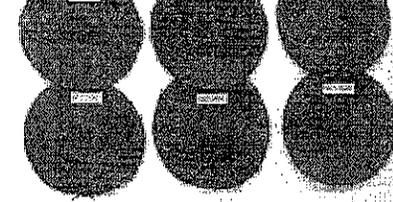
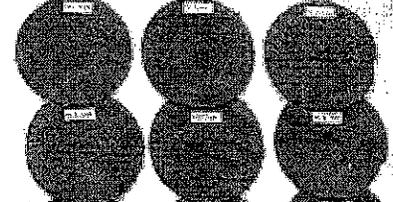
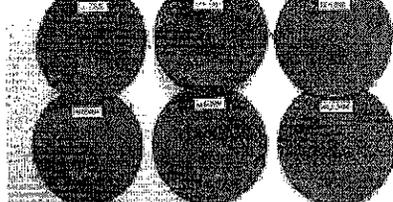
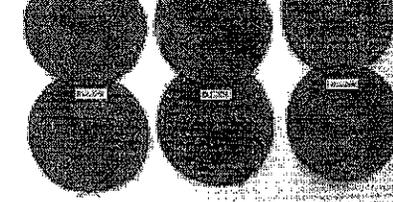
Bild 34: Differenzen der Messergebnisse Einzellagen

8.2 Ergebnisse untersuchter Materialproben die den Prozessen der Alterung durch Reinigung und zusätzlich durch Scheuern unterzogen wurden

Die Prozesse der Simulation der Alterung durch Reinigen sind im Abschnitt 5, die durch Scheuern im Abschnitt 3.4.2.1 beschrieben. Zur Untersuchung des thermischen Verhaltens der Materialproben wurde wiederum das Verfahren gemäß Abschnitt 6 angewendet.

Nachgewiesen werden sollte, inwieweit das nunmehr zusätzlich angewandte Verfahren des Scheuerns der Materialproben Einfluss auf deren thermisches Verhalten hat.

Tabelle 18: Dem Scheuerprozess unterworfenen Materialproben

Anzahl Hübe	Probenmaterial A			Probenmaterial B		
	A0	A3	A6	B0	B3	B6
1500						
3000						
Anzahl Hübe	Probenmaterial C			Probenmaterial D		
	C0	C3	C6	D0	D3	D6
1500						
3000						

Verglichen werden sollten jeweils untereinander die 0-Proben der Materialtypen A bis D (die durch Alterungsprozesse der Reinigung unbelastete Materialproben), die 3er-Proben der Materialtypen A bis D (die durch Alterungsprozesse der sachgemäßen Reinigung belasteten

Materialproben nach dreijähriger Tragezeit) und die 6er-Proben der Materialtypen A bis D (die durch Alterungsprozesse der unsachgemäßen Reinigung belasteten Materialproben nach dreijähriger Tragezeit), die mit 1500 Doppelhüben und mit 3000 Doppelhüben nach der im Abschnitt 5 geschilderten Methode gescheuert wurden. Damit konnten dann auch gleichzeitig die Vergleiche zwischen den Probenmaterialien der Typen A bis D gezogen werden.

Gegenübergestellt wurden außerdem zusätzlich die gescheuerten Materialien den vollkommen unbeanspruchten, d. h. neuen Materialien. Die thermischen Werte für die unbeanspruchten Materialien wurden bereits bei den vorhergehenden Untersuchungen ermittelt und für die Vergleiche übernommen.

In Tabelle 18 sind die nach dem genannten Verfahren gescheuerten Materialproben dargestellt. Für jeden einzelnen Scheuerprozess in der entsprechenden Kategorie (z.B. A0-1500) wurden zwei Materialproben benötigt, da in jede der beiden Druckkammern des Scheuergerätes die gleiche Materialprobe eingespannt wurde. Jeweils beide Materialproben jeder Charge , Nr. 1 und Nr. 2, wurden in die Untersuchungen einbezogen, so dass somit insgesamt 48 Materialproben dem Scheuerprozess unterworfen wurden, um dann auf ihre thermischen Parameter hin untersucht zu werden.

8.2.1 Erläuterungen zur Ergebnistabelle

In Tabelle 19 werden die Transmissionskoeffizienten im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen dargestellt. Das Verfahren zur Ermittlung der Transmissionskoeffizienten ist nachlesbar im Abschnitt 6, wo es umfänglich beschrieben wird.

Die Tabellenwerte gestatten nunmehr ihre Auswertung unter den vorgenannten Aspekten.

Tabelle 19: Transmissionskoeffizienten im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen

Probe	1	2	Probe	1	2
A0_1_0	0,233	0,232	B0_1_0	0,227	0,215
A0_1_1500	0,246	0,246	B0_1_1500	0,242	0,229
A0_1_3000	0,246	0,234	B0_1_3000	0,277	0,281
A3_1_0	0,235	0,224	B3_1_0	0,239	0,225
A3_1_1500	0,225	0,226	B3_1_1500	0,238	0,234
A3_1_3000	0,217	0,217	B3_1_3000	0,236	0,226
A6_1_0	0,242	0,230	B6_1_0	0,238	0,256
A6_1_1500	0,227	0,220	B6_1_1500	0,230	0,223
A6_1_3000	0,223	0,217	B6_1_3000	0,223	0,240
Probe	1	2	Probe	1	2
C0_1_0	0,240	0,241	D0_1_0	0,248	0,256
C0_1_1500	0,258	0,258	D0_1_1500	0,224	0,243
C0_1_3000	0,230	0,245	D0_1_3000	0,240	0,238
C3_1_0	0,240	0,241	D3_1_0	0,228	0,219
C3_1_1500	0,248	0,250	D3_1_1500	0,225	0,228
C3_1_3000	0,225	0,236	D3_1_3000	0,236	0,246
C6_1_0	0,237	0,240	D6_1_0	0,244	0,242
C6_1_1500	0,229	0,241	D6_1_1500	0,237	0,240
C6_1_3000	0,244	0,245	D6_1_3000	0,231	0,236

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in Tabelle 19 ausgewiesen. Am Beispiel der Materialprobe A werden sie im Bild 35 grafisch dargestellt. Die grafischen Darstellungen der Ergebnisse auch für die Materialproben B, C und D enthält Anlage H.

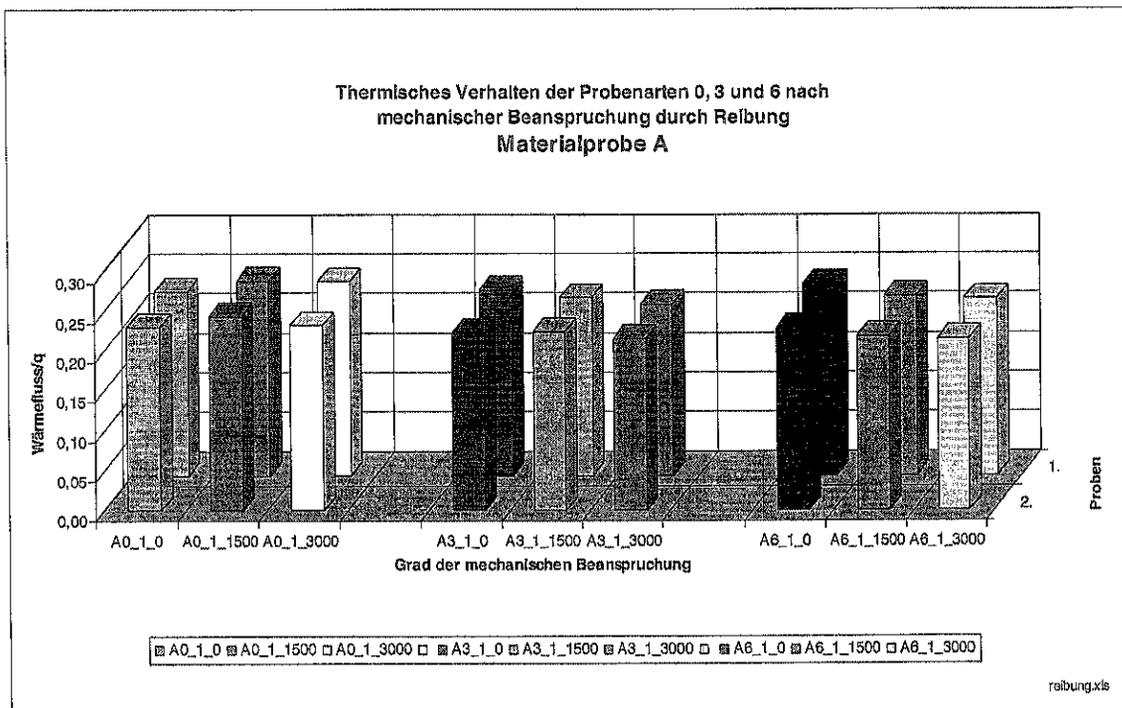


Bild 35: Grafische Darstellung der Ergebnisse für Materialprobe A

8.2.2 Auswertung der Messergebnisse

Wie sind die in Tabelle 19 ausgewiesenen Ergebnisse zu bewerten ?

Zur Beantwortung dieser Frage erfolgt zunächst in Tabelle 20 unter Berücksichtigung des Zustandes der Materialproben (0, 3, 6) eine Bewertung des thermischen Verhaltens der mit 1500 und 3000 Doppelhüben gescheuerten Materialproben des Typs A, B, C und D gegenüber dem der ungescheuerten und unbelasteten Materialproben gleichen Typs durch Vergleich der jeweiligen in Tabelle 19 ausgewiesenen Transmissionskoeffizienten. Dabei wird jeweils durch +, - oder = bewertet, inwieweit sich eine Verbesserung oder Verschlechterung des thermischen Verhaltens der gescheuerten Materialproben gegenüber der ungescheuerten Materialprobe einstellte oder ob keine Veränderung auftrat, d. h. eine gleiche Bewertung erfolgte.

Zu entnehmen ist Tabelle 20, dass im Regelfall, mit Ausnahme der auf A0 und B0 bezogenen Bewertung, sich das thermische Verhalten der Materialien mit zunehmender Anzahl der Scheuerhübe eher verbesserte bzw. gleich blieb als verschlechterte.

Tabelle 20: Bewertung der gescheuerten Proben

Probe	Wertung	Probe	Wertung
A0 1 0		B0 1 0	
A0 1 1500	-	B0 1 1500	-
A0 1 3000	-	B0 1 3000	-
A3 1 0		B3 1 0	
A3 1 1500	+	B3 1 1500	=
A3 1 3000	+	B3 1 3000	=
A6 1 0		B6 1 0	
A6 1 1500	+	B6 1 1500	+
A6 1 3000	+	B6 1 3000	-
C0 1 0		D0 1 0	
C0 1 1500	-	D0 1 1500	+
C0 1 3000	+	D0 1 3000	+
C3 1 0		D3 1 0	
C3 1 1500	-	D3 1 1500	=
C3 1 3000	+	D3 1 3000	-
C6 1 0		D6 1 0	
C6 1 1500	+	D6 1 1500	+
C6 1 3000	+	D6 1 3000	+

Auch in diesem Falle wieder ein nicht vermutetes Verhalten, da durch die, durch das Scheuern bedingte, Materialschwächung eher das Gegenteil erwartet wurde. Von der Größenordnung her ist dieses Ergebnis mehr zurückhaltend zu bewerten, - dennoch ist allein schon die

Aussage im Ergebnis der Untersuchung, dass keine grundlegende Verschlechterung des thermischen Verhaltens dieser doch mechanisch stark beanspruchten Materialproben zu verzeichnen ist, bedeutsam.

Als möglichen Ursache dieses Verhaltens kann nur vermutet werden, dass, bedingt durch das Scheuern, eine Verfilzung des Gewebes mit einer Volumenvergrößerung und damit einhergehenden Lufteinschlüssen verbunden ist. Wegen des höheren Wärmeübergangswiderstandes der Luft ist daher offenbar das vorgenannte Verhalten der Materialien zu erklären.

9 Untersuchungen zur Ermittlung des Zug-Dehnverhaltens

9.1 Erläuterungen zu den Ergebnisübersichten

Am Beispiel der Untersuchung des Materials der Außenschicht der Feuerwehrüberjacke des Typs A werden die während der Untersuchungen der Materialien in den Zuständen A0, A3 und A6 erfassten Messdaten erläutert. Diese sind der Ergebnisübersicht, die das Zug-Dehnungs-Diagramm sowie Messdaten des Zugversuches mit Materialien vom Typ A enthält, im Bild 36 dargestellt.

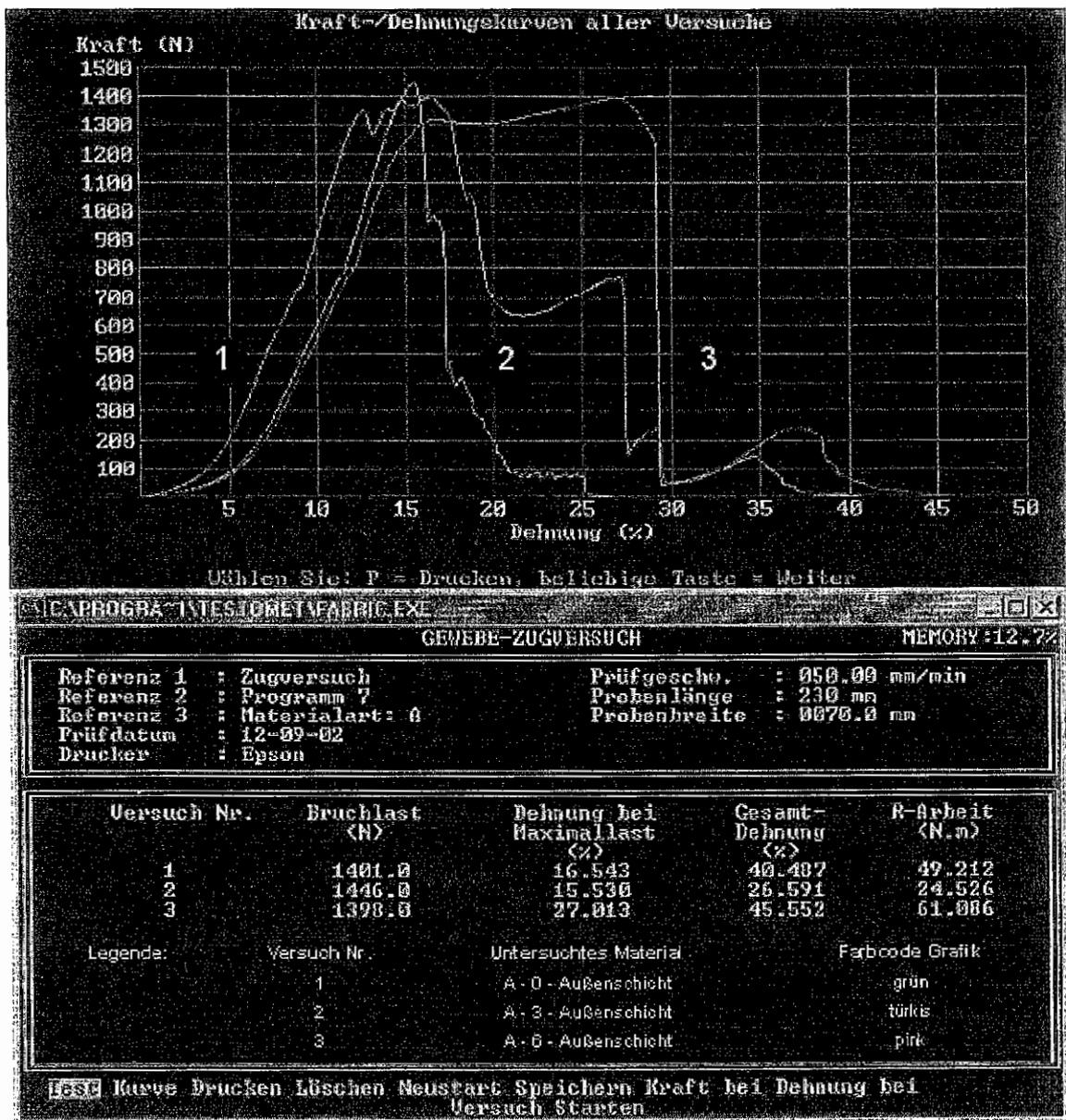


Bild 36: Zug-Dehnungs-Diagramm sowie Messdaten des Zugversuches mit Materialien vom Typ A

Für alle durchgeführten Untersuchungen mit den genannten Materialien sind die analogen Ergebnisübersichten mit den Messdaten in Anlage I enthalten.

Im oberen Teil des Bildes werden die während der einzelnen Versuche ermittelten Bruchlasten, die im unteren Teil des Bildes wertmäßig ausgewiesen werden, grafisch dargestellt. Die bei den einzelnen Untersuchungen jeweils erzielten Bruchlasten wurden als Bewertungskriterium herangezogen. Am dargestellten Beispiel ist erkennbar, dass Versuch Nr. 2, das entspricht der Untersuchung der Außenschicht des Materials A nach einer simulierten Tragezeit der Feuerwehrüberjacke von drei Jahren bei sachgemäßer Pflege der Kleidung (A3), die höchste Bruchlast aufweist. Es folgen die Außenschicht des unbelasteten Materials A0 beim Versuch Nr. 1 und die Außenschicht des Materials A6 nach einer simulierten Tragezeit der Feuerwehrüberjacke von drei Jahren bei unsachgemäßer Pflege der Kleidung beim Versuch Nr. 3.

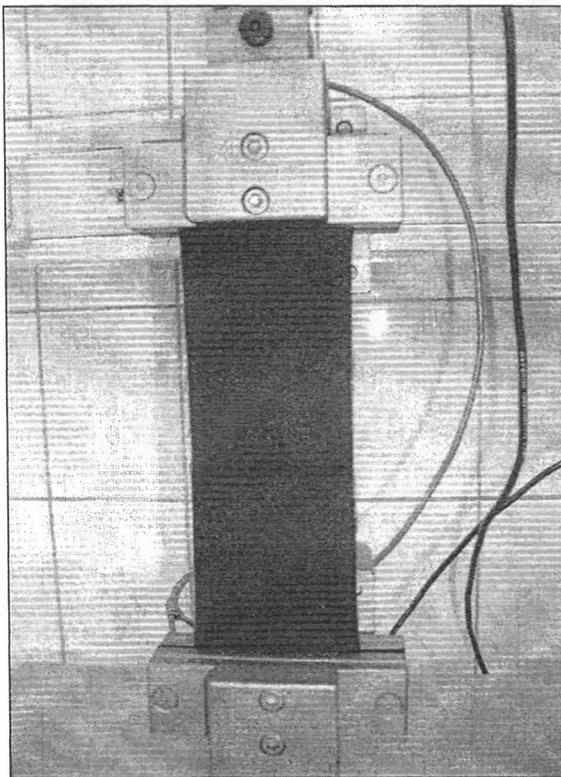


Bild 37: Zugversuch Außenschicht

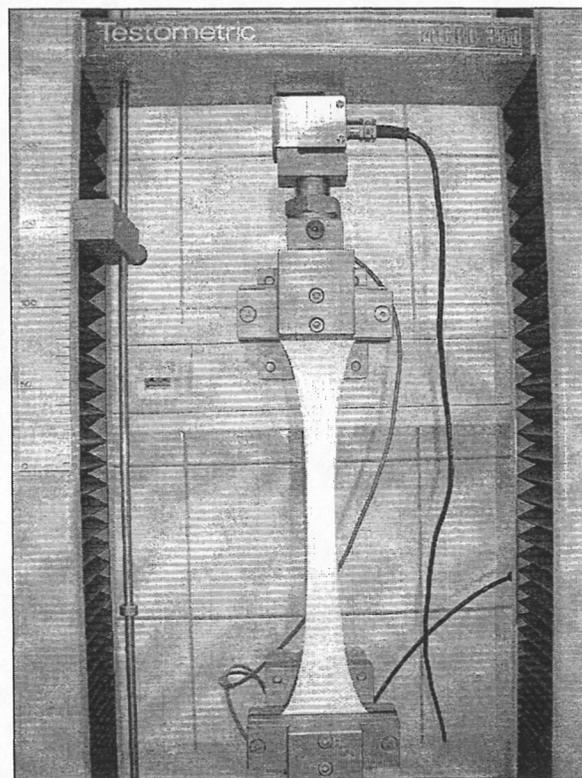


Bild 38: Zugversuch Zwischenschicht

Im Bild 37 wird beispielhaft der Zugversuch der Außenschicht, im Bild 38 der einer Zwischenschicht des Lagenaufbaus einer Feuerwehrüberjacke bildlich dargestellt.



Bild 39: Zwischenschicht nach Zugversuch

Bild 39 verdeutlicht die Ansicht des zerrissenen Gewebes einer Zwischenschicht des Lagenaufbaus einer Feuerwehrüberjacke nach der Ermittlung des Zug-Dehn-Verhaltens.

9.2 Auswertung der Messergebnisse des Zug-Dehn-Verhaltens der Materialien

Die Übersicht in Tabelle 21: weist die während der Untersuchungen ermittelten Bruchlasten der einzelnen Materialien aus.

Die Untersuchungen zum Zug-Dehn-Verhalten mit den Materialproben des Außenmaterials wurden doppelt ausgeführt, die mit den Zwischenschichten nur einmal. Die beiden Einzelwerte der beim Außenmaterial doppelt ermittelten Bruchlasten werden in Tabelle 21 noch als grau unterlegte Mittelwerte ausgewiesen, die zur Auswertung herangezogen werden. Die mit 0, 3 und 6 ausgewiesenen Zustände der Materialien stehen wiederum für neue, ungetragene Kleidung (0), für die simulierten dreijährigen Tragezeiten bei Alterung durch sachgemäße Reinigung (3) und für die simulierten dreijährigen Tragezeiten bei Alterung durch unsachgemäße Reinigung (6).

Tabelle 21: Bruchlasten in N

Außenmaterial				Zwischenschicht			
Material	Zustand			Material	Zustand		
	0	3	6		0	3	6
A ₁	1401	1446	1398	A	326,70	409,60	394,20
A ₂	1404	1463	1389				
Mittelwert A	1402,5	1454,5	1393,5				
B ₁	1261	1581	1396	B	439,30	381,80	414,60
B ₂	1173	1396	1285				
Mittelwert B	1217,0	1488,5	1340,5				
C ₁	1323	1409	1329	C	272,30	209,60	181,00
C ₂	1436	1395	1408				
Mittelwert C	1379,5	1402,0	1368,5				
D ₁	1207	1413	1390	D	225,40	229,30	215,30
D ₂	1331	1413	1453				
Mittelwert D	1269,0	1423,0	1421,5				

In Auswertung der obigen Tabellenwerte für die Bruchlasten lassen sich folgende Aussagen treffen:

Zunächst zur Auswertung des Zug-Dehn-Verhaltens der Materialproben des Außenmaterials.

Bezüglich dieser Ergebnisse muss konstatiert werden, dass sich kein deutlich erkennbarer Trend des Zug-Dehn-Verhaltens in diese oder jene Richtung, weder in Abhängigkeit vom Alterungszustand des jeweiligen Materials, noch hinsichtlich des Verhaltens der Materialien A, B, C und D untereinander abzeichnet. Insbesondere deutlich wird dies durch die Werte der Bruchlasten für die Materialtypen A und D. Obwohl für das Außenmaterial des Lagenaufbaus

dieser Materialproben gemäß den Herstellerangaben das gleiche Material verwendet wurde, was demzufolge auch das gleiche Zug-Dehn-Verhalten aufweisen müsste, weist die Tabelle x für den Materialzustand 0 des Materials A einen Mittelwert von 1402,5 N aus, während für den Materialzustand 0 des Materials D ein Mittelwert von nur 1269,0 N ausgewiesen wird. Eine doch recht große, nicht nachvollziehbare, Differenz im Verhalten dieser Materialien.

Insofern kann keine verbindliche und begründbare Aussage dahingehend getroffen werden, ob sich das Zug-Dehn-Verhalten der untersuchten Materialproben verbessert oder verschlechtert hätte. Die teilweise sich tendenziell durch die wertmäßige Entwicklung der Bruchlasten abzeichnende Verbesserung des Zug-Dehn-Verhaltens sollte unter den vorgenannten Aspekten mehr ignoriert als akzeptiert werden.

Auch an diesem Beispiel wird wieder deutlich, dass ganz offensichtlich auch hier die Reproduzierbarkeit aller Versuchsparameter nicht gegeben war. Diesmal allerdings nicht bezogen auf äußere Versuchsbedingungen, sondern eindeutig hinsichtlich der Materialproben selbst und bezüglich ihrer reproduzierbaren Einspannung in das Elektronische Universal-Prüfgerät „Testometric Micro 350“. Obwohl die Materialproben sorgfältigst, gemäß den Vorgaben für derartige Untersuchungen, entnommen und auch für die Untersuchungen entsprechend sorgfältig eingespannt wurden, gelingt es offenbar, subjektiv bedingt, nicht immer, die gleichen Untersuchungsbedingungen zu realisieren.

Nunmehr zur Auswertung des Zug-Dehn-Verhaltens der Materialproben der jeweiligen Zwischenschichten.

Betrachtet man in Tabelle 21 die Werte für die Bruchlasten der Zwischenschichten der Materialien in den Materialzuständen A, B, C und D, so stellt sich eigentlich das gleiche Bild wie bei den vorher ausgewerteten Bruchlasten der Außenmaterialien dar. Einerseits logisch, denn das Problem der Gewährleistung reproduzierbarer Bedingungen steht hier natürlich in analoger Weise. Auch hier zeigt das Beispiel der beiden Werte für die Bruchlasten der materialmäßig gleichen Zwischenschichten in den Materialien A und B, dass die Werte der Bruchlasten, hier bezogen auf den Materialzustand 0, mit 326,70 N und 439,30 N, unter ansonsten gleichen Untersuchungsbedingungen, verhältnismäßig stark voneinander abweichen.

Insgesamt muss also im Ergebnis der Betrachtungen zum Zug-Dehn-Verhalten der Materialien eingeschätzt werden, dass sich das gewählte Verfahren nicht bewährt hat. Es hat sich nicht

nur nicht bewährt zum Nachweis alterungsbedingter Materialermüdungen, sondern es hat sich generell nicht bewährt, was die gezeigten Beispiele der Messergebnisse der Materialien des Materialzustandes 0 belegen. Insofern hat sich durch die geführten Untersuchungen leider auch kein Erkenntnisgewinn in bezug auf das mechanische Verhalten gealterter Feuerwehr-Schutzkleidung ergeben.

10 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit der Zielstellung, Feuerwehr-Schutzkleidung in Hinblick auf die mit Alterungsprozessen möglicherweise einhergehenden Veränderungen der Schutzwirkung zu untersuchen, wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens diesbezüglich relevante Untersuchungen durchgeführt. Da Alterungsprozesse naturgemäß über längere Zeiträume ablaufen und begleitet werden von einer Vielzahl von einflussnehmenden Parametern galt es, sich im Rahmen der zu führenden Untersuchungen auf einige wesentliche, zur Alterung beitragende, Faktoren zu beschränken und zudem die mit der Alterung ansonsten verbundenen langen Zeiträume zu „raffen“. Orientierend an den im Rahmen von Feuerwehreinsätzen am häufigsten auftretenden Beanspruchungsformen der thermischen und mechanischen Beanspruchung wurde ein Szenario zur Simulation dieser Beanspruchungsarten unter Berücksichtigung angenommener Tragezeiten der Feuerwehr-Schutzkleidung entwickelt. Um den Versuchsaufwand zu minimieren wurde zunächst von einer dreijährigen Tragezeit ausgegangen. In die Untersuchungen integriert wurden als zusätzliche Belastungsfaktoren die mit der Reinigung von Feuerschutzkleidung verbundenen Prozesse des Waschens und Trocknens der Feuerschutzkleidung nach bestimmten Tragezeiten. Dabei fanden, aus den der „Feuerwehrreinigungspraxis“ entlehnten Gründen, sowohl die Prozesse einer sachgemäßen als auch die einer unsachgemäßen Reinigung Berücksichtigung, indem ausgewählte und für die beiden Zustände „sachgemäß und unsachgemäß“ repräsentative Wasch- und Trockenprogramme zur Anwendung gelangten.

Zwischen den festgelegten Reinigungszyklen wurden jeweils einsatztypische thermische Belastungen der Feuerwehr-Schutzkleidung realisiert. In Verbindung mit den vorgenannten Simulationsprozessen der Alterung wurde zur Simulation einer mechanischen Beanspruchung noch ein „Scheuerverfahren“ angewandt, welches das bei Feuerwehreinsätzen stattfindende „Gegeneinanderscheuern“ des Materials der Feuerwehr-Schutzkleidung nachvollziehen sollte. Zum Nachweis der Veränderungen im thermischen Verhalten der gealterten Feuerwehr-Schutzkleidung wurde ein spezielles Verfahren entwickelt, welches gestattete, auch die erwarteten geringen Veränderungen der Materialien im thermischen Verhalten mittels Wärmeflussensoren zu detektieren. Mit diesen Wärmeflussensoren wurde eine Versuchspuppe instrumentiert, der konfektionierte Feuerwehr-Schutzkleidung angezogen werden konnte. Das entwickelte Verfahren ermöglichte also, sowohl konfektionierte

Feuerwehrüberjacken unterschiedlichen Materialaufbaus als auch Materialproben mit analogem Lagenaufbau zu untersuchen.

Die Untersuchungen wurden abgeschlossen mit Versuchen, über das Zug-Dehn-Verhalten der einzelnen Materialien Rückschlüsse auf mechanische Eigenschaftsänderungen, hervorgerufen durch Alterungsprozesse, ziehen zu können.

Folgende grundsätzlichen Aussagen zu den Ergebnissen der Untersuchungen lassen sich auf der Basis der angewandten Verfahren machen:

- Das entwickelte Verfahren zum Nachweis geringfügiger Veränderungen der thermischen Eigenschaften erbrachte keine auswertbaren Ergebnisse bei den durchgeführten Untersuchungen mit den konfektionierten Feuerwehrüberjacken. Grund dafür war das nicht reproduzierbare Verfahren des Ankleidens der Versuchspuppe mit den Feuerwehrüberjacken. Dadurch bedingt ergaben sich selbst bei Mehrfachmessungen mit ein und derselben Feuerwehrüberjacke unterschiedliche Messergebnisse an den einzelnen Messstellen der Versuchspuppe. Grund dafür sind natürlich auch die selbst unter reproduzierbaren Bedingungen nicht sonderlich ausgeprägten Unterschiede der Messergebnisse zum thermischen Verhalten nach Realisierung der simulierten Alterungsprozesse.

Um dennoch alterungsbedingte Effekte auch im thermischen Verhalten nachweisen zu können, wurden als Alternative zu den Untersuchungen mit konfektionierter Schutzkleidung Untersuchungen mit Materialproben durchgeführt.

- Die geführten Untersuchungen mit Materialproben, die den simulierten Alterungsprozessen im Zuge der Realisierung der Verfahren der Reinigung im definierten Sinne, d. h. auch einer definierten thermischen Belastung jeweils zwischen den Reinigungszyklen, unterzogen wurden, ergaben grundsätzlich, dass, wider Erwarten, keine Verschlechterung des thermischen Verhaltens der Materialproben eingetreten war. Im Gegenteil, bei jedem untersuchten Materialtyp war zumindest tendenziell eine Verbesserung des thermischen Verhaltens zu konstatieren. Dieser Effekt trat sogar noch verstärkter auf nach der Anwendung des Verfahrens der unsachgemäßen Reinigung.
- Bei dem zusätzlich zur „Reinigung“ angewandten Simulationsverfahren der Alterung durch Scheuern verstärkte sich wiederum der Effekt, dass tendenziell mit zunehmender

Beanspruchung bzw. Belastung der Materialien deren thermische Stabilität unter den genannten Bedingungen zunimmt.

- Eine Bewertung der mechanischen Stabilität aller untersuchten „gealterten“ Materialproben der Typen A, B, C und D nach dem Zug-Dehn-Verfahren war nicht möglich. Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse ließ sich nicht vornehmen, da offenbar die Reproduzierbarkeit der Materialprobenherstellung und die Reproduzierbarkeit der Einspannung der Materialproben nicht gegeben war.

Schlussfolgernd aus den geführten Untersuchungen im Rahmen des bearbeiteten Forschungsvorhabens muss zunächst betont werden, dass die getroffenen Aussagen nicht generalisiert werden können. Sie gelten in Zusammenhang mit den konkret angewandten Simulationsverfahren zur Alterung von Feuerwehr-Schutzkleidung sowie den hier gewählten Nachweisverfahren, vor allem in Hinblick auf den Nachweis veränderter thermischer Eigenschaften. Die Ergebnisse sind, wie sie sich darstellen, zumindest vorab so nicht absehbar gewesen. Eigentlich hätte man eher das Gegenteil erwarten können. Darin zeigt sich aber wieder der Vorteil und die Unbestechlichkeit von Messverfahren, die eine objektive Bewertung auf der Grundlage realer Messergebnisse ermöglichen.

Aus den Untersuchungsergebnissen kann auch nicht geschlossen werden auf das Gesamtverhalten der Feuerwehr-Schutzkleidung. Was sich im Ergebnis der Untersuchungen beispielsweise als Vorteil herausstellte, weil sich ein thermisch günstigeres Verhalten ergab, kann sich in der Praxis durchaus als Nachteil herausstellen, wenn die Feuerwehr-Schutzkleidung beispielsweise durchfeuchtet [Grabski et al. 01] wird.

Generell hat es sich im Rahmen der Bearbeitung des Vorhabens gezeigt, dass die grundlegende Voraussetzung für eine vergleichende Bewertung die Reproduzierbarkeit der Untersuchungsparameter ist. Gelingt es nicht, diese umfassend zu gewährleisten, erweisen sich die Untersuchungsergebnisse, und erst recht ihre Interpretation, als nicht oder in nicht ausreichendem Maße verwertbar.

11 Literaturverzeichnis

[Ahlborn 95]

Bedienungsanleitung - Almeno 2290-7. Ahlborn Meß- und Regelungstechnik, 1995

[Anonym 97]

Anonym: Kermel-Fachtagung: Rund um die Feuerschutzkleidung. 112 - Magazin der Feuerwehr, 1997, 6, 350-351

[Bilger 92]

Bilger, B.: Grundsatzuntersuchungen über die prozeßgesteuerte Simulation der Thermoregulation des Menschen. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben AIF-Nr. 7504, Bekleidungsphysiologisches Institut Hohenstein e.V., Bönningheim, 1992

[Bilger 93]

Bilger, B.: Charlie 4 - ein neues Thermoregulationsmodell des Menschen zur genaueren physiologischen Bewertung von Kleidung. Bekleidungsphysiologisches Institut Hohenstein e. V., 1993

[Bockelmann 98]

Bockelmann, Eugenie: Feuerwehrsutzkleidung muss nach besonderen Kriterien gepflegt werden. Aktuelle FTR-Information Forschungsinstitut Hohenstein, Heft Sept./Okt. 1998, S. 684-685

[Denkendorf 98]

Untersuchungen zur Langzeitbeständigkeit textiler Verbundstoffe (für technische Textilien und funktionale Textilien. Schlussbericht zum Forschungsthema. ITV Denkendorf, 1998

[DIN EN 366]

Schutzkleidung, Schutz gegen Hitze und Feuer, Prüfverfahren: Beurteilung von Materialien und Materialkombinationen, die einer Hitze-Strahlungsquelle ausgesetzt sind. Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Mai 1993

[DIN EN 340]

Schutzkleidung, Allgemeine Anforderungen. Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, September 1993

[DIN EN 469]

Schutzkleidung für die Feuerwehr, Anforderungen und Prüfverfahren für die Schutzkleidung für die Brandbekämpfung. Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Januar 1996

[DIN EN 20139]

Textilien, Normalklimate für die Probenvorbereitung und Prüfung. Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, September 1992

[DIN EN ISO 6942]

Schutzkleidung, Schutz gegen Hitze und Feuer, Prüfverfahren: Beurteilung von Materialien und Materialkombinationen, die einer Hitze-Strahlungsquelle ausgesetzt sind (Entwurf). Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, August 1998

[Domke 96]

Domke, Jürgen: Schutzkleidung zur Brandbekämpfung; Leistungsmerkmale, Entwicklung, Informationen. Florian Hessen, 1996, 10, 7-12

[Fuchs et al. 97]

Fuchs, H.; Grabski, R.; Kienert, R.; Pasch, U.: Erfahrungen aus Prüfung und Zertifizierung von Feuerwehranzügen und daraus folgende Entwicklungen. 36. Internationale Chemiefasertagung Dornbirn 17.-19.09.1997, 1997

[Grabski et al. 01]

Grabski, Reinhard; Pasch, Ulrich; Starke, Horst: Verhalten moderner Feuerwehreinsatzkleidung bei thermischer Beanspruchung unter Feuchte und Nässe. Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge, 2001

[Gröber et al. 88]

Gröber, H.; Erk, Grigull U.: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1988

[Hirschler 97]

Hirschler, Marcelo M.: Analysis of Thermal Performance of Two Fabrics Intended for Use as Protective Clothing. Fire and Materials, 21, 1997, 115-121

[Hirschler et al. 96]

Hirschler, Marcelo M.; Hoffmann, Donald J.; Hoffmann, John M.; Kelley, Lester; Kroll, Michael: Tests of Protective Effect of Clothing in Apparel Fires. Joournal of Fire Sciences, 14, 1996, March/April, 104-123

[Hohenstein 02]

Bescheide für Feuerwehrüberjacken, Feuerwehrhosen und Feuerwehrjacken gemäß HuPF (http://www.hohenstein.de/bescheide_hupf.pdf), Juni 2002

[HuPF 99]

Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine universelle Feuerwehrsutzkleidung. Arbeitsgruppe Feuerwehrsutzkleidung, Hessisches Ministerium des Innern und für Sport, 1999, Stand 8/99

[IdF LSA 01_02]

Jahresbericht 2001/2002. Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge, 2003

[Jeschar et al. 90]

Jeschar, R.; Alt, R.; Specht, E.: Grundlagen der Wärmeübertragung. Viola-Jeschar-Verlag, Goslar, 1990

[Jung 95]

Jung, Kurt: Untersuchungen zur Minderung der Signalwirkung von Warnkleidung durch Verwendung und Reinigung. Die Berufsgenossenschaft, Januar 1995, S. 6-10

[Kienert et al. 98]

Kienert, Renate; Mehnert, Lore: Erkenntnisse zum Langzeit-Gebrauchsverhalten moderner Typen von Feuerwehreinsatzkleidung. 4. Dresdner Textiltagung, 24./25. 24./25. Juni 1998

[Koch 03]

Koch, Mario: Die Anwendung des Systems der Prozessvisualisierung in der Brandschutzforschung. Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Institutsbericht Nr. 418, Juli 2003

[Kreussler 00]

Die Imprägnierung. Information Nr. 24 der Chemischen Fabrik Kreussler & Co. GmbH Wiesbaden, 2000

[Kreussler 99]

Praxis-Information Feuerwehrsutzhleidung der Chemischen Fabrik Kreussler & Co. GmbH Wiesbaden, 1999

[Lawson 96]

Lawson, J. Randall: Fire Fighters' Protective Clothing and Thermal Environments of Structural Fire Fighting. U. S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 5804, 1996

[Lawson et al. 99]

Lawson, J. Randall; Twilley, William H.: Development of an Apparatus for Measuring the Thermal Performance of Fire Fighters' Protective Clothing. U. S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6400, 1999

[Lawson et al. 00]

Lawson, J. Randall; Pinder, Tershia A.: Estimate of Thermal Conductivity for Materials Used in Fire Fighters' Protective Clothing. U. S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6512, 2000

[Mahlow 04]

Mahlow, Jens: Erfassung und Interpretation entstehender Wärmeflüsse auf einer Versuchspuppe bei thermischer Beanspruchung. Fachhochschule Brandenburg, Diplomarbeit (Entwurf), 2004

[Marquardt 98]

Marquardt, Ulrich: Thermische Eigenschaften der Feuerwehreinsatzkleidung bei variabler Feuchte und Nässe. Technische Fachhochschule Berlin, Studiengang Sicherheitstechnik, Diplomarbeit, 1998

[Nicolai 01_1]

Nicolai, Marco: Grundlagen für den Aufbau eines Versuchsplatzes zur Simulation einer Stichflammenbelastung von Feuerwehrschutzkleidung mit prozessvisualisierender Messwerterfassung und -auswertung. Technische Fachhochschule Berlin, Studiengang Sicherheitstechnik, Praktikumsbericht, 2001

[Nicolai 01_2]

Nicolai, Marco: Verfahren zur physiologisch relevanten Instrumentierung eines thermisch beanspruchten Dummies mittels Wärmeflussensoren. Technische Fachhochschule Berlin, Studiengang Sicherheitstechnik, Diplomarbeit, 2001

[Pasch et al. 95]

Pasch, Ulrich; Wienecke, Friedrich: Untersuchungen zur Simulation ausgewählter Brandkenngrößen und deren Wirkung auf die persönliche Schutzausrüstung des Feuerwehrangehörigen. Brandschutzforschung der Bundesländer - Bericht Nr. 93 - Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 1995

[Pasch 96]

Pasch, Ulrich: Anforderungsprofil für Schutzkleidung der Feuerwehr für die Brandbekämpfung - Grundsatz der Einsatzkräfte beim gesamten Einsatzspektrum. Brandschutzforschung der Bundesländer - Bericht Nr. 99 - Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 1996

[Pasch 96a]

Pasch, Ulrich: Feuerwehr-Einsatzkleidung - ein "brennendes" Problem. Feuerwehr in Sachsen-Anhalt, 2, 1996, 18-19

[Pasch 96b]

Pasch, Ulrich: Feuerwehr-Einsatzkleidung - ein "brennendes" Problem (Fortsetzung). Feuerwehr in Sachsen-Anhalt, 3, 1996, 18-19

[Pasch et al. 97]

Pasch, Ulrich; Wienecke, Friedrich: Entwicklung eines reproduzierbaren Prüfverfahrens zur Komplexprüfung persönlicher Schutzausrüstung am Beispiel der Prüfung eines Wärmestrahlschutzanzuges. Brandschutzforschung der Bundesländer - Bericht Nr. 109 - Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 1997

[Pasch et al. 99]

Pasch, Ulrich; Wienecke, Friedrich: Bestimmung der Parameter für einen zur Prüfung persönlicher Schutzausrüstung vorgesehenen Versuchsraum unter Berücksichtigung der Integration einer gasbetriebenen Wärmestrahlerwand. Brandschutzforschung der Bundesländer - Bericht Nr. 116 - Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 1999

[Pasch 00]

Pasch, Ulrich: Bekleidungsphysiologisch relevante Anforderungen und Parameter im Feuerwehreinsatz. Bericht als Zuarbeit zum Forschungsbericht des Bekleidungsphysiologischen Instituts Hohenstein e.V. im Rahmen der Realisierung des AiF-Projektes Nr. 11990. Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 2000

[Pasch 01]

Pasch, Ulrich: Aufbau eines Materialtests zur Bewertung der Eigenschaften persönlicher Schutzausrüstung, insbesondere Feuerweherschutzbekleidung, bei Einwirkung von Stichflammen durch einen Flash Over (Stichflammenbelastung persönlicher Schutzausrüstung). Brandschutzforschung der Bundesländer – Bericht Nr. 127 – Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 2001

[prEN ISO 13506]

Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen, Prüfverfahren für eine vollständige Bekleidung, Voraussage der Wahrscheinlichkeit für Verbrennungen unter Verwendung einer sensorbestückten Prüfpuppe (Entwurf, ISO/DIS 13506). Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Juli 2000

[Rossi et al. 97]

Rossi, Rene M.; Zimmerli, Traugott: Breathability and protection aspects of heat protective clothing after thermal ageing. EMPA, 1997

[Schreiber et al. 98]

Schreiber, H; Gündisch, W: Simulation gebrauchsbewingter Alterung von Verbundtextilien. 27. Jahrestag der Gesellschaft für Umweltsimulation, Pfnzta/Karlsruhe, 1998, S. 22.1-22.23

[Schäfer 00]

Schäfer, J: Miele Test's mit Feuerweherschutzbekleidung zum Einlaufverhalten, Imprägnierwirkung und Farbmatrik. Präsentation Miele Professional, 2000

[Stroppe 92]

Stroppe, Heribert: Physik für Studenten der Natur- und Technikwissenschaften. Fachbuchverlag, Leipzig - Köln, 1992

[VDI-Wärmeatlas 97]

Verein Deutscher Ingenieure (Herausgeber): VDI-Wärmeatlas - Berechnungsblätter für den Wärmeübergang. VDI Verlag, Düsseldorf, 1997

[Woitha 94]

Woitha, Claus: Temperaturmessungen an Materialien für die Schutzbekleidung der Feuerwehr. brandschutz, 1994, 2, 98-101

[WRP 00]

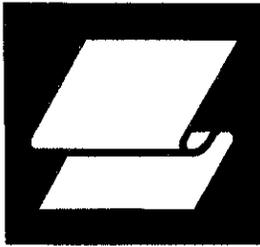
Verantwortungsvolle Pflege der persönlichen Schutzausrüstung, Schutz für die Feuerwehr. WRP; Fachzeitschrift für die gesamte Textilreinigung, Heft 12/2000, S. 32-33

12 Anlagenverzeichnis

- Anlage A: Produktdatenblatt Flüssigwaschmittel Usana-Liquid
- Anlage B: Produktdatenblatt Hydrophobiermittel *Saprit protect*
- Anlage C: Simulation Alterungsprozesse durch sachgemäße Reinigung der Feuerwehr-Überjacken Typen A bis D
- Anlage D: Parameter Waschprogramm des WS5141 für sachgemäße Reinigung (Programm 12)
- Anlage E: Parameter Waschprogramm des WS5141 für unsachgemäße Reinigung (Programm 1)
- Anlage F: Jackengewichte nach sachgemäßen Wasch-, Trocken- und Belastungsprozessen
- Anlage G: Jackengewichte nach unsachgemäßen Wasch-, Trocken- und Belastungsprozessen
- Anlage H: Thermisches Verhalten nach mechanischer Beanspruchung durch Reibung
- Anlage I: Ergebnisse der Untersuchungen zum Zug-Dehnungsverhalten der Materialien A-D

Anlage A

Produktdatenblatt Flüssigwaschmittel Usana-Liquid



Usona[®] liquid

Anwendungsbereich:

Für alles Feine und Wolle
Für die Naßreinigung empfindlicher Textilien

Eigenschaften:

- Farbtreue und höchste Schonung für alle Feinwäsche und Wolle
- Besonders schonend für Wolle, da keine Enzyme enthalten und niedriger pH-Wert
- Universell einsetzbar für alle Naßreinigungs-Verfahren
- Problemlose Dosierung von Hand oder automatisch über Pumpen

Zusammensetzung:

Inhaltsstoffangaben (gem. EG-Empfehlung 89/542):
5 – 15% nichtionische Tenside, anionische Tenside, Seife
Weitere Inhaltsstoffe: Duftstoffe, Lösevermittler, Stabilisator

Chemisch-physikalische Daten:

Dichte: 1,03 g/cm³
pH-Wert (unverd.): 8,5

Anwendung:

Dosierungsempfehlung:

Härtebereich	Wasserhärte (°d) ²⁾	Einbadverfahren g/kg Trockenwäsche ¹⁾
1	0 – 7 (weich)	20
2	7 – 14 (mittel)	25
3	14 – 21 (hart)	30
4	über 21 (sehr hart)	40

1) Bei stark verschmutzter Wäsche entsprechend mehr.
2) Den Härtebereich bzw. die Wasserhärte in Grad deutscher Härte (°d) erfahren Sie bei Ihrem zuständigen Wasserwerk.

Je nach Farbechtheit, Temperatur: 30 – 40°C.
Bei bleichechter, verfleckter 40°C-Wäsche empfehlen wir Elpa[®]-Flecken-Joker.

Naßreinigung:

20 – 30 g/kg Trockenwäsche

Lagerung:

Vor Frost schützen!

Verkaufseinheit:

20-kg-PE-Kanister
205-kg-PE-Faß

Kurzzeichen:

USL 20
USL 2

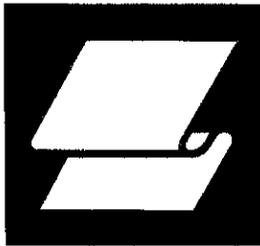
Henkel-Ecolab
Textile Hygiene

Henkel Hygiene GmbH Henkel-Ecolab Ges.m.b.H. Henkel-Ecolab AG
Postfach 13 04 06 Erdbergstraße 35 Kriegackerstr. 91
D-40554 Düsseldorf A-1031 Wien 3 CH-4132 Muttenz



Anlage B

Produktdatenblatt Hydrophobiermittel Saprit protect



Usona[®] liquid

Anwendungsbereich:

Für alles Feine und Wolle
Für die Naßreinigung empfindlicher Textilien

Eigenschaften:

- Farbtreue und höchste Schonung für alle Feinwäsche und Wolle
- Besonders schonend für Wolle, da keine Enzyme enthalten und niedriger pH-Wert
- Universell einsetzbar für alle Naßreinigungs-Verfahren
- Problemlose Dosierung von Hand oder automatisch über Pumpen

Zusammensetzung:

Inhaltsstoffangaben (gem. EG-Empfehlung 89/542):
5 – 15% nichtionische Tenside, anionische Tenside, Seife
Weitere Inhaltsstoffe: Duftstoffe, Lösevermittler, Stabilisator

Chemisch-physikalische Daten:

Dichte: 1,03 g/cm³
pH-Wert (unverd.): 8,5

Anwendung:

Dosierungsempfehlung:

Härtebereich	Wasserhärte (°d) ²⁾	Einbadverfahren g/kg Trockenwäsche ¹⁾
1	0 – 7 (weich)	20
2	7 – 14 (mittel)	25
3	14 – 21 (hart)	30
4	über 21 (sehr hart)	40

Naßreinigung:

20 – 30 g/kg Trockenwäsche

1) Bei stark verschmutzter Wäsche entsprechend mehr.
2) Den Härtebereich bzw. die Wasserhärte in Grad deutscher Härte (°d) erfahren Sie bei Ihrem zuständigen Wasserwerk.

Je nach Farbechtheit, Temperatur: 30 – 40°C.
Bei bleichechter, verfleckter 40°C-Wäsche empfehlen wir Elpa-Flecken-Joker.

Lagerung:

Vor Frost schützen!

Verkaufseinheit:

20-kg-PE-Kanister
205-kg-PE-Faß

Kurzzeichen:

USL 20
USL 2

Henkel-Ecolab
Textile Hygiene

Henkel Hygiene GmbH Henkel-Ecolab Ges.m.b.H. Henkel-Ecolab AG
Postfach 13 04 06 Erdbergstraße 35 Kriegackerstr. 91
D-40554 Düsseldorf A-1031 Wien 3 CH-4132 Muttenz



Anlage C

Simulation Alterungsprozesse durch sachgemäße
Reinigung der Feuerwehr-Überjacken Typen A bis D

Simulation Alterungsprozesse durch sachgemäße Reinigung der Feuerwehr-Überjacken Typen A bis D							
Jahr	Maschinenbefrachtung	Waschen	Trocknen	Trocknen	Thermische Behandlung	Beispiel: Feuerwehrüberjacke Typ A	
						Prüfen	Zustand
1	A1, A2, A3	1x	1x	1x	1x	-	Überjacke A1 nach einem Jahr Einsatzzeit
	B1, B2, B3	1x	1x	1x	1x	-	
	C1, C2, C3	1x	1x	1x	1x	A1 - 1x	
	D1, D2, D3	3x	3x	3x	3x	A1 - 1x	
	Anzahl Prozesse nach 1 Jahr	3x	3x	3x	3x	A1 - 1x	
2	A2, A3+X1	1x	1x	1x	1x	-	Überjacke A2 nach zwei Jahren Einsatzzeit
	B2, B3+X1	1x	1x	1x	1x	-	
	C2, C3+X1	1x	1x	1x	1x	A2 - 1x	
	D2, D3+X1	3x	3x	3x	3x	A2 - 1x	
	Anzahl Prozesse nach 2 Jahren	6x	6x	6x	6x	A2 - 1x	
3	A3+X1, X2	1x	1x	1x	1x	-	Überjacke A3 nach drei Jahren Einsatzzeit
	B3+X1, X2	1x	1x	1x	1x	-	
	C3+X1, X2	1x	1x	1x	1x	A3 - 1x	
	D3+X1, X2	3x	3x	3x	3x	A3 - 1x	
	Anzahl Prozesse nach 3 Jahren	9x	9x	9x	9x	A3 - 1x	
Simulation Alterungsprozesse durch unsachgemäße Reinigung der Feuerwehr-Überjacken Typen A bis D nach Abschnitt 2							
1	A4, A5, A6	1x	1x	1x	1x	-	Überjacke A1 nach einem Jahr Einsatzzeit
	B4, B5, B6	1x	1x	1x	1x	-	
	C4, C5, C6	1x	1x	1x	1x	A4 - 1x	
	D4, D5, D6	3x	3x	3x	3x	A4 - 1x	
	Anzahl Prozesse nach 1 Jahr	3x	3x	3x	3x	A4 - 1x	
2	A5, A3+X1	1x	1x	1x	1x	-	Überjacke A2 nach zwei Jahren Einsatzzeit
	B5, B3+X1	1x	1x	1x	1x	-	
	C5, C3+X1	1x	1x	1x	1x	A5 - 1x	
	D5, D3+X1	3x	3x	3x	3x	A5 - 1x	
	Anzahl Prozesse nach 2 Jahren	6x	6x	6x	6x	A5 - 1x	
3	A6+X1, X2	1x	1x	1x	1x	-	Überjacke A3 nach drei Jahren Einsatzzeit
	B6+X1, X2	1x	1x	1x	1x	-	
	C6+X1, X2	1x	1x	1x	1x	A6 - 1x	
	D6+X1, X2	3x	3x	3x	3x	A6 - 1x	
	Anzahl Prozesse nach 3 Jahren	9x	9x	9x	9x	A6 - 1x	

Anlage D

Parameter Waschprogramm des WS5141 für
sachgemäße Reinigung (Programm 12)

Einsatz-Schutzbekleidung Waschen / Imprägnieren



.... Einsatz-Schutzbekleidung Waschen / Imprägnieren

"Einsatz-Schutzbekleidung Waschen / Imprägnieren" ist ein Programm zum Waschen und anschließenden Imprägnieren von Feuerwehrranzügen. Als Waschmittel wird ein flüssiges Mittel im Neutralbereich, das besonders gut Fett- u. Pigmentverschmutzungen löst, empfohlen. Wollfutter separat waschen. Das Imprägniermittel muß auf die besonderen Anforderungen für dieses Einsatzgebiet abgestimmt sein.

Maschinentyp	WS 5101	WS 5141	WS 5191	WS 5240	WS 5320
Füllgewichte (Trockenwäsche)	5 - 6,5kg	7 - 9kg	9,5-12,5kg	12-16 kg	16-21 kg

Programmnummer: 12 - sachgemäßes Waschen

Name: Schutzbe.Wa/Imp

	Bereich Vorwäsche Block Vorwäsche 1	Bereich Hauptwäsche Block Hauptwäsche 1	Bereich Spülen Block Spülgang 1	Block Spülgang 2	Block Spülgang 3
Name:	Vorreinigung	Hauptreinigung	Spülen 1	Spülen 2	Imprägnierung
Blockaktivierung:	permanent	permanent	permanent	permanent	permanent
Programmstop 1:	nein	nein	nein	nein	Stärken
Programmstoppsignal 1:	nein	nein	nein	nein	nein
Freie Temperaturwahl:	ja	ja	nein	nein	nein
Temperatur:	40°C	60°C	kalt	kalt	40 °C
Hysterese:	normal	normal	normal	normal	normal
Niveau 1 (mm Ws.):	70 ¹ /80 ² /130 ³	60 ¹ /70 ² /120 ³	80 ¹ /100 ² /120 ³	80 ¹ /100 ² /120 ³	80 ¹ /100 ² /120 ³
Wasserzulauf 1:	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	K3, KH
Dosierung 1:	nein	nein	nein	nein	nein
Dosierverzögerung 1:	nein	nein	nein	nein	nein
Bewegung ab Niv:	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	auto-TR
Drehzahl:	normal	normal	normal	normal	normal
Rhythmus:	08/10	08/10	08/10	fein	08/10
Waschzeit 1:	4 Min.	4 Min.	6 Min.	5 Min.	4 Min.
Thermostop:	ja	ja	nein	nein	nein
Niveau 2 (mm Ws.):	70 ¹ /80 ² /130 ³	60 ¹ /70 ² /120 ³	80 ¹ /100 ² /120 ³	80 ¹ /100 ² /120 ³	80 ¹ /100 ² /120 ³
Wasserzulauf 2:	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	KH, KD
Dosierung 2:	nein	nein	nein	nein	nein
Dosierverzögerung 2:	nein	nein	nein	nein	nein
Waschzeit 2:	4 Min.	4 Min.	0 Min.	0 Min.	4 Min.
Waschzeit 3:	2 Min.	2 Min.	0 Min.	0 Min.	2 Min.
Cool Down:	nein	auf 45°C mit 10°C/Min.	nein	nein	nein
Waschzeit 4:	0 Min.	1 Min.	0 Min.	0 Min.	0 Min.
Programmstop 2:	nein	nein	nein	nein	nein
Programmstoppsignal:	nein	nein	nein	nein	nein
Ablaufventile:	WS u. WRG	WS u. WRG	WS u. WRG	WS	WS u. WRG
Ablauf mit Bewegung:	ja	nein	nein	nein	imprägnieren
Ablaufniveau:	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Waschzeit 5:	0 Min.	0 Min.	0 Min.	0 Min.	0 Min.
Ablaufventile:	WS u. WRG	WS u. WRG	WS u. WRG	WS	WS u. WRG
Schleuderzeit mit Ablauf:	0 Min.	1 Min.	1 Min.	1 Min.	3 Min.
Freie Schleuder drehzahlwahl:	nein	nein	nein	nein	nein
Schleuderdrehzahl:	0 U/Min.	400 U/Min.	400 U/Min.	400 U/Min.	800 U/Min.
Block-/Prg.-wiederholung:	nein	nein	nein	nein	nein
Blockesignal:	nein	nein	nein	nein	ja

¹WS 5101-5141 / ²WS 5191 / ³WS 5240-5320

Anlage E

Parameter Waschprogramm des WS5141 für
unsachgemäße Reinigung (Programm 1)

Gewerbewaschprogramme



1 Koch/Buntwäsche 95°C 2 Koch/Buntwäsche 60°C 3 Koch/Buntwäsche 30°C

"Koch/Buntwäsche" sind Waschprogramme mit einer Vorwäsche (Taste +) einer Hauptwäsche und 3 Spülängen. Der Waschrhythmus ist durchgängig "normal".

Maschinentyp	WS 5101	WS 5141 ¹	WS 5191	WS 5240	WS 5320
Füllgewichte (Trockenwäsche)	10 kg	14 kg	19 kg	24 kg	32 kg

Programmnummer: 1 bis 3 Gewählt: Programm 1 - unsachgemäßes Waschen
Name: Koch/Buntwäsche

	Bereich Vorwäsche Block Vorwäsche 1	Bereich Hauptwäsche Block Hauptwäsche 1	Bereich Spülen Block Spülgang 1	Block Spülgang 2	Block Spülgang 3
Name:	Vorwäsche	Hauptwäsche	Spülen 1	Spülen 2	Spülen 3
Blockaktivierung:	Taste+	permanent	permanent	permanent	permanent
Programmstop 1:	nein	nein	nein	nein	Stärken
Programmstoppsignal 1:	nein	nein	nein	nein	nein
Freie Temperaturwahl:	ja	ja	nein	nein	nein
Temperatur:	60/40/30°C	95/60/30°C	kalt	kalt	kalt
Hysterese:	normal	normal	normal	normal	normal
Niveau 1:	50 ¹ /60 ² /110 ³ mm Ws.	50 ¹ /60 ² /110 ³ mm Ws.	50 ¹ /120 mm Ws.	50 ¹ /100 mm Ws.	40 ¹ /80 mm Ws.
Wasserzulauf 1:	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch
Dosierung 1:	nein	nein	nein	nein	nein
Dosierverzögerung 1:	nein	nein	nein	nein	nein
Bewegung ab Niv:	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch
Drehzahl:	normal	normal	normal	normal	normal
Rhythmus:	normal	normal	normal	normal	normal
Waschzeit 1:	4 min	4 min	6 min	5 min	4 min
Thermostop:	ja	ja	nein	nein	nein
Niveau 2:	50 ¹ /60 ² /110 ³ mm Ws.	50 ¹ /60 ² /110 ³ mm Ws.	50 ¹ /120 mm Ws.	50 ¹ /100 mm Ws.	40 ¹ /80 mm Ws.
Wasserzulauf 2:	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch
Dosierung 2:	nein	nein	nein	nein	nein
Dosierverzögerung 2:	nein	nein	nein	nein	nein
Waschzeit 2:	4 min	6 min	0 min	0 min	0 min
Waschzeit 3:	2 min	2 min	0 min	0 min	0 min
Cool Down:	nein	auf 45°C mit 20°C/min	nein	nein	nein
Waschzeit 4:	0 min	1 min	0 min	0 min	0 min
Programmstop 2:	nein	nein	nein	nein	Ohne Schl.
Programmstoppsignal:	nein	nein	nein	nein	nein
Ablaufventile:	WS u. WRG	WS u. WRG	WS u. WRG	WS	WS
Ablauf mit Bewegung:	ja	ja	ja	ja	ja
Ablaufniveau:	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Waschzeit 5:	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min
Ablaufventile:	WS u. WRG	WS u. WRG	WS u. WRG	WS	WS
Schleuderzeit mit Ablauf:	1 min	1 min	1 min	2 ¹ /1 min	automatisch
Freie Schleuder- drehzahlwahl:	ja	ja	ja	ja	ja
Schleuderdrehzahl:	300 U/min	300 U/min	700 ¹ /500 U/min	max.* U/min	max.* U/min
Block-/Prg.wiederholung:	nein	nein	nein	nein	nein
Blockkendesignal:	nein	nein	nein	nein	ja

¹WS 5101-5141 / ²WS 5191 / ³WS 5240-5320

*WS 5101 1150 / WS 5141 1000 / WS 5191 1100 / WS 5240 1100 / WS 5320 1000 U/min

Anlage F

Jackengewichte nach sachgemäßen Wasch-, Trocken-
und Belastungsprozessen

Jackengewichte nach sachgemäßen Wasch-, Trocken- und Belastungsprozessen

Jackentyp A – 1 Jahr Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp A		Tragezeit 1 Jahr	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und Imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/Ausgangsgewicht in kg		Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg
A0	A0	2,23	-	-	-	-	-
A1	A1-1	2,24	4,20	2,62	2,38	2,24	2,18
	A1-2	2,18	3,57	2,53	2,32	2,28	2,24
	A1-3	2,24	-	2,54	2,36	2,30	2,18
A2	A2-1	2,22	-	2,53	2,37	2,22	2,16
	A2-2	2,16	4,56	2,76	2,48	2,31	2,24
	A2-3	2,24	-	2,65	2,45	2,28	2,17
A3	A3-1	2,22	-	2,52	2,36	2,24	2,18
	A3-2	2,18	3,68	2,54	2,35	2,27	2,24
	A3-3	2,24	-	2,58	2,40	2,29	2,19

Jackentyp B – 1 Jahr Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp B		Tragezeit 1 Jahr	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und Imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/Ausgangsgewicht in kg		Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg
B0	B0	2,08	-	-	-	-	-
B1	B1-1	2,09	3,77	2,50	2,27	2,12	2,03
	B1-2	2,03	-	2,45	2,26	2,12	2,06
	B1-3	2,06	-	2,52	2,21	2,13	2,04
B2	B2-1	2,09	4,07	2,54	2,32	2,12	2,03
	B2-2	2,03	-	2,46	2,24	2,13	2,06
	B2-3	2,06	-	2,54	2,23	2,12	2,04
B3	B3-1	2,10	3,84	2,49	2,26	2,12	2,04
	B3-2	2,04	-	2,5	2,28	2,14	2,06
	B3-3	2,06	-	2,56	2,22	2,14	2,04

Jackentyp C – 1 Jahr Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp C		Tragezeit 1 Jahr	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und Imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/Ausgangsgewicht in kg		Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg
C0	C0	2,31	-	-	-	-	-
C1	C1-1	2,32	3,45	2,74	2,50	2,33	2,26
	C1-2	2,26	-	2,82	2,60	2,49	2,34
	C1-3	2,34	-	2,90	2,62	2,4	2,27
C2	C2-1	2,32	3,58	2,82	2,56	2,34	2,26
	C2-2	2,26	-	2,70	2,50	2,42	2,29
	C2-3	2,29	-	2,98	2,69	2,44	2,29
C3	C3-1	2,28	3,48	2,78	2,50	2,30	2,22
	C3-2	2,22	-	2,68	2,48	2,40	2,27
	C3-3	2,27	-	2,84	2,58	2,34	2,22

Jackengewichte nach sachgemäßen Wasch-, Trocken- und Belastungsprozessen

Jackentyp C – 2 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp C		Tragezeit 2 Jahre	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg		Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg
C0	C0	2,31	-	-	-	-	-
C2	C2-1	2,29	-	2,73	2,53	2,46	2,30
	C2-2	2,30	-	2,70	2,48	2,43	2,31
	C2-3	2,31	-	2,71	2,34	2,34	2,26
C3	C3-1	2,22	-	2,79	2,58	2,50	2,28
	C3-2	2,28	-	2,70	2,47	2,42	2,27
	C3-3	2,27	-	2,72	2,32	2,30	2,23
X1	Befrachtungsjacke						

Jackentyp D – 2 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp D		Tragezeit 2 Jahre	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg		Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg
D0	D0	2,03	-	-	-	-	-
D2	D2-1	1,99	-	2,32	2,15	2,10	2,01
	D2-2	2,01	-	2,39	2,20	2,15	2,03
	D2-3	2,03	-	2,32	2,00	2,03	1,97
D3	D3-1	1,96	-	2,25	2,02	2,02	1,98
	D3-2	1,98	-	2,26	2,09	2,04	1,94
	D3-3	1,94	-	2,38	2,21	2,06	2,00
X1	Befrachtungsjacke						

Jackentyp A – 3 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp A		Tragezeit 3 Jahre	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg		Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg
A0	A0	2,23	-	-	-	-	-
A3	A3-1	2,24	-	3,14	2,42	2,35	2,23
	A3-2	2,23	-	3,12	2,37	2,24	2,17
	A3-3	2,17	-	3,02	2,32	2,28	2,22
X1	Befrachtungsjacken						
X2							

Jackengewichte nach sachgemäßen Wasch-, Trocken- und Belastungsprozessen

Jackentyp D – 1 Jahr Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp D		Tragezeit 1 Jahr	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ }^\circ\text{C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/Ausgangsgewicht in kg		Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg
D0	D0	2,03	-	-	-	-	-
D1	D1-1	2,04	-	2,39	2,16	2,04	1,96
	D1-2	1,96	-	2,28	2,09	2,02	1,94
	D1-3	1,94	-	2,25	2,07	2,02	1,96
D2	D2-1	2,06	-	2,32	2,13	2,05	1,98
	D2-2	1,98	-	2,30	2,10	2,04	1,96
	D2-3	1,96	-	2,40	2,18	2,12	1,99
D3	D3-1	2,03	-	2,40	2,19	2,03	1,96
	D3-2	1,96	-	2,43	2,19	2,01	1,96
	D3-3	1,96	-	2,26	2,08	2,04	1,96

Jackentyp A – 2 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp A		Tragezeit 2 Jahre	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ }^\circ\text{C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/Ausgangsgewicht in kg		Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg
A0	A0	2,23	-	-	-	-	-
A2	A2-1	2,17	-	2,45	2,28	2,26	2,18
	A2-2	2,18	-	2,75	2,41	2,28	2,20
	A2-3	2,20	-	2,50	2,32	2,27	2,17
A3	A3-1	2,19	-	2,73	2,50	2,36	2,23
	A3-2	2,23	-	2,62	2,33	2,27	2,21
	A3-3	2,21	-	2,69	2,48	2,35	2,19
X1	Befrachtungsjacke						

Jackentyp B – 2 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp B		Tragezeit 2 Jahre	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ }^\circ\text{C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/Ausgangsgewicht in kg		Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg
B0	B0	2,08	-	-	-	-	-
B2	B2-1	2,04	-	2,50	2,27	2,24	2,10
	B2-2	2,10	-	2,50	2,26	2,15	2,08
	B2-3	2,08	-	2,44	2,25	2,13	2,04
B3	B3-1	2,04	-	2,56	2,32	2,28	2,12
	B3-2	2,12	-	2,54	2,30	2,14	2,09
	B3-3	2,09	-	2,45	2,26	2,12	2,04
X1	Befrachtungsjacke						

Jackengewichte nach sachgemäßen Wasch-, Trocken- und Belastungsprozessen

Jackentyp B – 3 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp B		Tragezeit 3 Jahre	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und Imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
B0	B0	2,08	-	-	-	-	-
B3	B3-1	2,10	-	2,69	2,17	2,14	2,09
	B3-2	2,09	-	2,75	2,18	2,10	2,03
	B3-3	2,03	-	2,72	2,12	2,10	2,06
X1	Befrachtungsjacken						
X2							

Jackentyp C – 3 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp C		Tragezeit 3 Jahre	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und Imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
C0	C0	2,31	-	-	-	-	-
C3	C3-1	2,28	-	2,61	2,34	2,32	2,26
	C3-2	2,26	-	2,92	2,50	2,29	2,24
	C3-3	2,24	-	3,02	2,63	2,30	2,24
X1	Befrachtungsjacken						
X2							

Jackentyp D – 3 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (sachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp D		Tragezeit 3 Jahre	Feuerwehrprogramm 12-Waschen und Imprägnieren	Programm B 7 Pflegeleicht Schranktrocken+		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
D0	D0	2,03	-	-	-	-	-
D3	D3-1	2,00	-	2,62	2,26	2,12	2,0
	D3-2	2,00	-	2,26	2,02	2,00	1,96
	D3-3	1,96	-	2,39	2,08	2,01	1,96
X1	Befrachtungsjacken						
X2							

Anlage G

Jackengewichte nach unsachgemäßen Wasch-, Trocken-
und Belastungsprozessen

Jackengewichte nach unsachgemäßen Wasch- Trockenprozessen und nach Belastungsprozessen

Jackentyp A – 1 Jahr Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp A		Tragezeit 1 Jahr	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocken		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
A0	A0	2,23	-	-	-	-	-
A4	A4-1	2,23	-	2,28	2,18	2,20	2,15
	A4-2	2,14	-	2,22	2,12	2,18	2,12
	A4-3	2,20	-	2,18	2,13	2,20	2,15
A5	A5-1	2,23	-	2,30	2,18	2,21	2,14
	A5-2	2,10	-	2,11	2,14	2,15	2,15
	A5-3	2,20	-	2,18	2,13	2,20	2,15
A6	A6-1	2,14	-	2,40	2,20	2,22	2,15
	A6-2	2,15	-	2,20	2,12	2,18	2,16
	A6-3	2,20	-	2,16	2,10	2,21	2,17

Jackentyp B – 1 Jahr Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp B		Tragezeit 1 Jahr	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocken		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
B0	B0	2,08	-	-	-	-	-
B4	B4-1	2,10	-	2,15	2,04	2,02	2,02
	B4-2	2,06	-	2,31	2,00	2,05	2,04
	B4-3	2,04	-	2,04	2,00	2,04	2,02
B5	B5-1	2,10	-	2,15	2,02	2,02	2,01
	B5-2	2,05	-	2,58	2,00	2,04	2,02
	B5-3	2,04	-	2,16	2,00	2,03	2,02
B6	B6-1	2,11	-	2,26	2,06	2,06	2,03
	B6-2	2,06	-	2,36	2,00	2,04	2,03
	B6-3	2,05	-	2,02	2,00	2,03	2,03

Jackentyp C – 1 Jahr Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp C		Tragezeit 1 Jahr	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocken		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
C0	C0	2,31	-	-	-	-	-
C4	C4-1	2,28	-	2,30	2,20	2,24	2,24
	C4-2	2,26	-	2,32	2,16	2,26	2,24
	C4-3	2,26	-	2,28	2,22	2,26	2,23
C5	C5-1	2,27	-	2,50	2,18	2,23	2,22
	C5-2	2,26	-	2,34	2,17	2,24	2,23
	C5-3	2,23	-	2,39	2,20	2,25	2,23
C6	C6-1	2,29	-	2,32	2,22	2,24	2,22
	C6-2	2,26	-	2,26	2,20	2,26	2,26
	C6-3	2,26	-	2,32	2,22	2,28	2,26

Jackengewichte nach unsachgemäßen Wasch- Trockenprozessen und nach Belastungsprozessen

Jackentyp D – 1 Jahr Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp D		Tragezeit 1 Jahr	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocknen		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
D0	D0	2,03	-	-	-		
D4	D4-1	2,00	-	2,14	1,91	1,95	1,93
	D4-2	1,97	-	1,98	1,90	1,95	1,94
	D4-3	1,94	-	2,74	1,92	1,96	1,93
D5	D5-1	2,00	-	2,11	1,90	1,96	1,94
	D5-2	1,97	-	2,05	1,90	1,93	1,93
	D5-3	1,94	-	1,96	1,92	1,95	1,92
D6	D6-1	2,00	-	2,16	1,92	1,95	1,93
	D6-2	1,97	-	2,60	1,92	1,96	1,94
	D6-3	1,94	-	2,22	1,94	1,96	1,94

Jackentyp A – 2 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp A		Tragezeit 2 Jahre	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocknen		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
A0	A0	2,23	-	-	-		
A5	A5-1	2,20	-	2,74	2,18	2,20	2,15
	A5-2	2,18	-	2,50	2,14	2,14	2,14
	A5-3	2,18	-	2,42	2,13	2,16	2,16
A6	A6-1	2,20	-	2,22	2,14	2,18	2,14
	A6-2	2,17	-	2,28	2,12	2,12	2,14
	A6-3	2,19	-	2,80	2,13	2,17	2,15
X1	Befrachtungsjacke						

Jackentyp B – 2 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp B		Tragezeit 2 Jahre	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocknen		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
B0	B0	2,08	-	-	-		
B5	B5-1	2,06	-	2,23	1,98	2,02	2,00
	B5-2	2,04	-	2,28	1,99	2,06	2,01
	B5-3	2,01	-	2,20	1,98	2,00	2,01
B6	B6-1	2,08	-	2,04	2,00	2,04	2,00
	B6-2	2,04	-	2,25	2,00	2,06	2,02
	B6-3	2,02	-	2,42	2,00	2,02	2,05
X1	Befrachtungsjacke						

Jackengewichte nach unsachgemäßen Wasch- Trockenprozessen und nach Belastungsprozessen

Jackentyp C – 2 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp C		Tragezeit 2 Jahre	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocken		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
C0	C0	2,31	-	-	-		
C5	C5-1	2,26	-	2,34	2,18	2,19	2,18
	C5-2	2,23	-	2,28	2,19	2,21	2,18
	C5-3	2,20	-	2,38	2,19	2,20	2,19
C6	C6-1	2,28	-	2,37	2,20	2,23	2,21
	C6-2	2,26	-	2,26	2,21	2,24	2,22
	C6-3	2,22	-	2,50	2,18	2,23	2,22
X1	Befrachtungsjacke						

Jackentyp D – 2 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp D		Tragezeit 2 Jahre	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocken		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
D0	D0	2,03	-	-	-		
D5	D5-1	1,96	-	1,98	1,91	1,94	1,92
	D5-2	1,96	-	2,22	1,92	1,94	1,92
	D5-3	1,94	-	2,28	1,90	1,94	1,92
D6	D6-1	1,97	-	2,16	1,90	1,94	1,92
	D6-2	1,96	-	2,14	1,92	1,94	1,92
	D6-3	1,94	-	2,18	1,90	1,98	1,93
X1	Befrachtungsjacke						

Jackentyp A – 3 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp A		Tragezeit 3 Jahre	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocken		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
A0	A0	2,23	-				
A6	A6-1	2,18	-	2,78	2,14	2,20	2,16
	A6-2	2,19	-	2,56	2,14	2,19	2,16
	A6-3	2,16	-	2,38	2,14	2,16	2,17
X1	Befrachtungsjacken						
X2	Befrachtungsjacken						

Jackengewichte nach unsachgemäßen Wasch- Trockenprozessen und nach Belastungsprozessen

Jackentyp B – 3 Jahre Tragezeit

Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp B		Tragezeit 3 Jahre	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocken		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
B0	B0	2,08	-	-	-		
B6	B6-1	2,08	-	2,09	1,99	2,06	2,01
	B6-2	2,01	-	2,12	2,00	2,01	2,03
	B6-3	2,04	-	2,26	2,00	2,02	2,01
X1	Befrachtungsjacken						
X2							

Jackentyp C – 3 Jahre Tragezeit

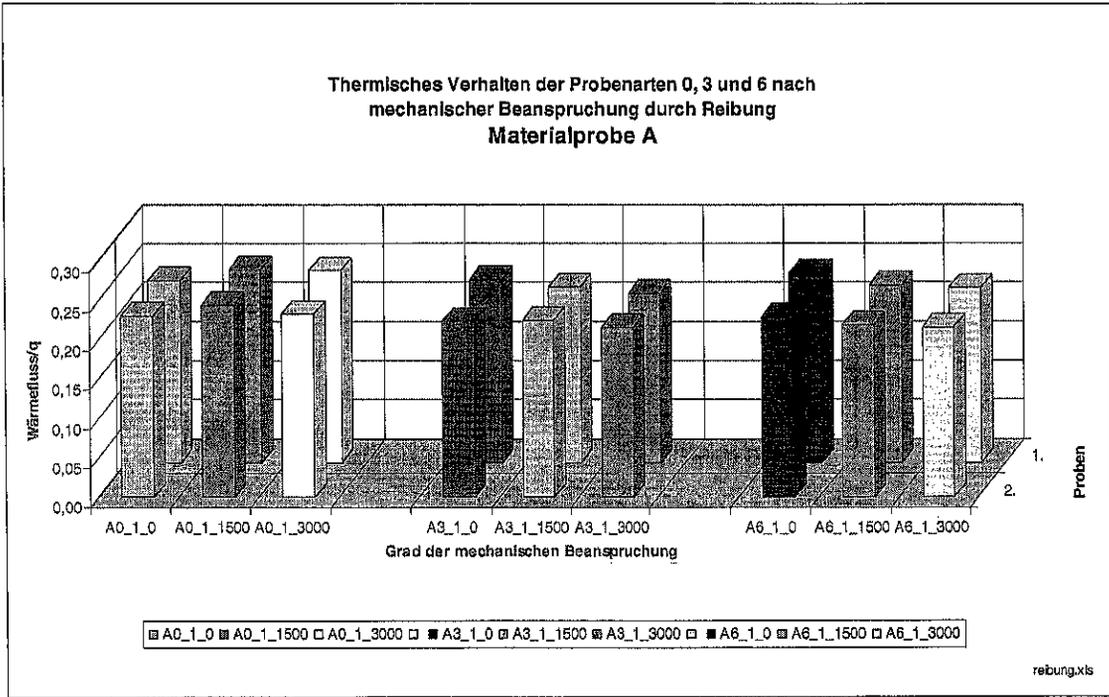
Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp C		Tragezeit 3 Jahre	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocken		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
C0	C0	2,31	-	-	-		
C6	C6-1	2,28	-	2,25	2,22	2,27	2,24
	C6-2	2,24	-	2,46	2,22	2,24	2,26
	C6-3	2,26	-	2,42	2,22	2,24	2,23
X1	Befrachtungsjacken						
X2							

Jackentyp D – 3 Jahre Tragezeit

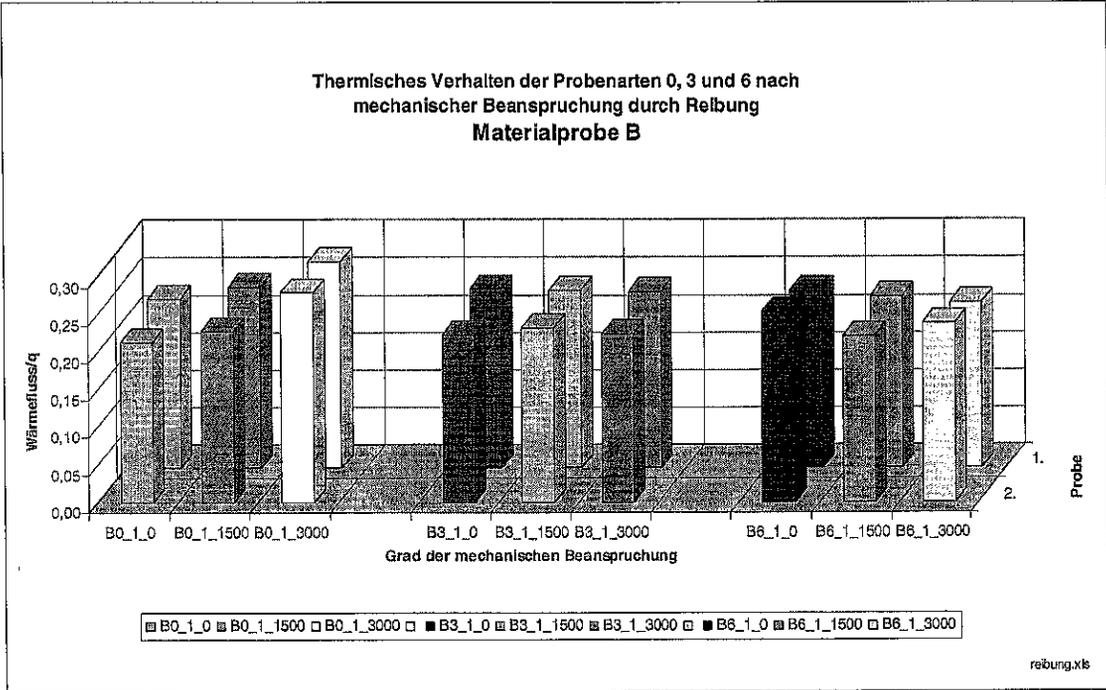
Jackengewichte nach Wasch- und Trockenprozessen (unsachgemäß)			Wasch-automat 5467	Trockenautomat 6532		Hotbox	
Jackentyp D		Tragezeit 3 Jahre	Programm 1 Koch- Buntwäsche 95 °C	Programm A 1 Koch- Buntwäsche extratrocken		Thermische Belastung Dauer: 20 min bei $q = 0,25 \text{ W/cm}^2$ und $T_{\text{Raum-max}} = 56 \text{ °C}$	
Jacke	Jacke	Neugewicht/ Ausgangsgewicht in kg	Nassgewicht in kg	Trockengewicht 1x trocknen in kg	Trockengewicht 2x trocknen in kg	Gewicht vor Belastung in kg	Gewicht nach Belastung in kg
D0	D0	2,03	-				
D6	D6-1	1,96	-	2,22	1,90	1,94	1,93
	D6-2	1,96	-	2,08	1,92	1,93	1,92
	D6-3	1,96	-	2,26	1,91	1,96	1,94
X1	Befrachtungsjacken						
X2							

Anlage H

Thermisches Verhalten nach mechanischer
Beanspruchung durch Reibung

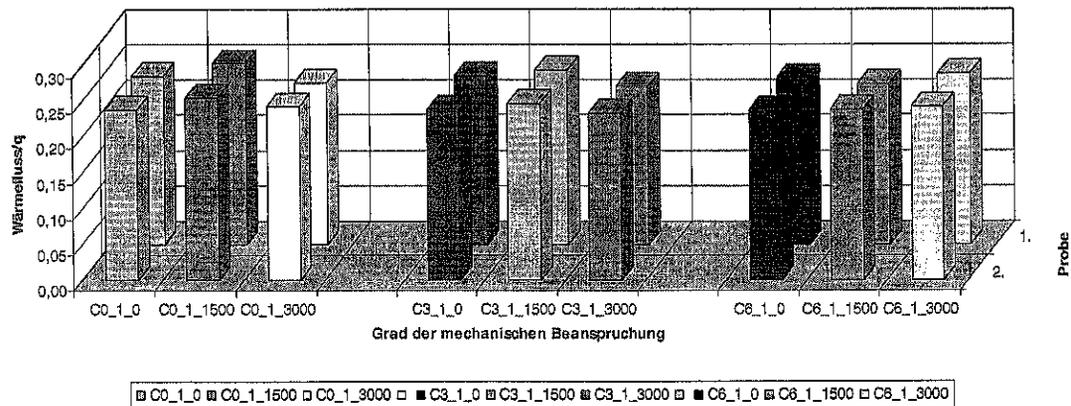


Grafische Darstellung der Ergebnisse für Materialprobe A



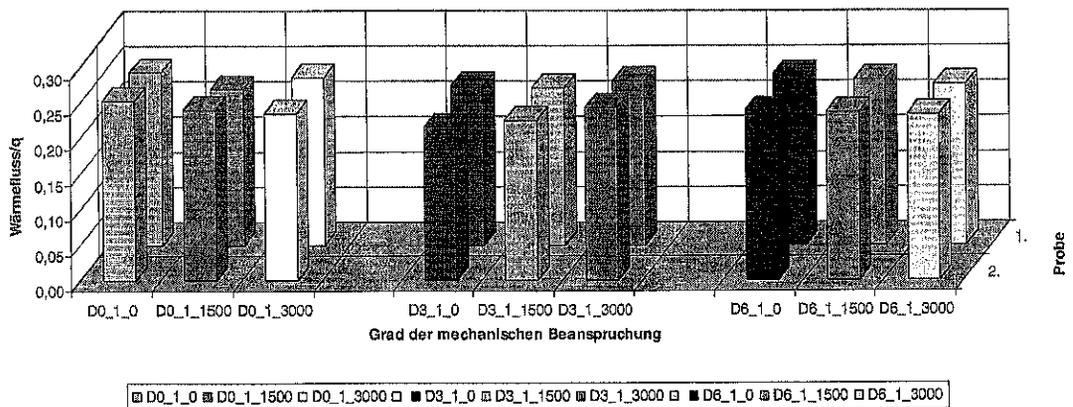
Grafische Darstellung der Ergebnisse für Materialprobe B

Thermisches Verhalten der Probenarten 0, 3 und 6 nach
mechanischer Beanspruchung durch Reibung
Materialprobe C



Grafische Darstellung der Ergebnisse für Materialprobe C

Thermisches Verhalten der Probenarten 0, 3 und 6 nach
mechanischer Beanspruchung durch Reibung
Materialprobe D

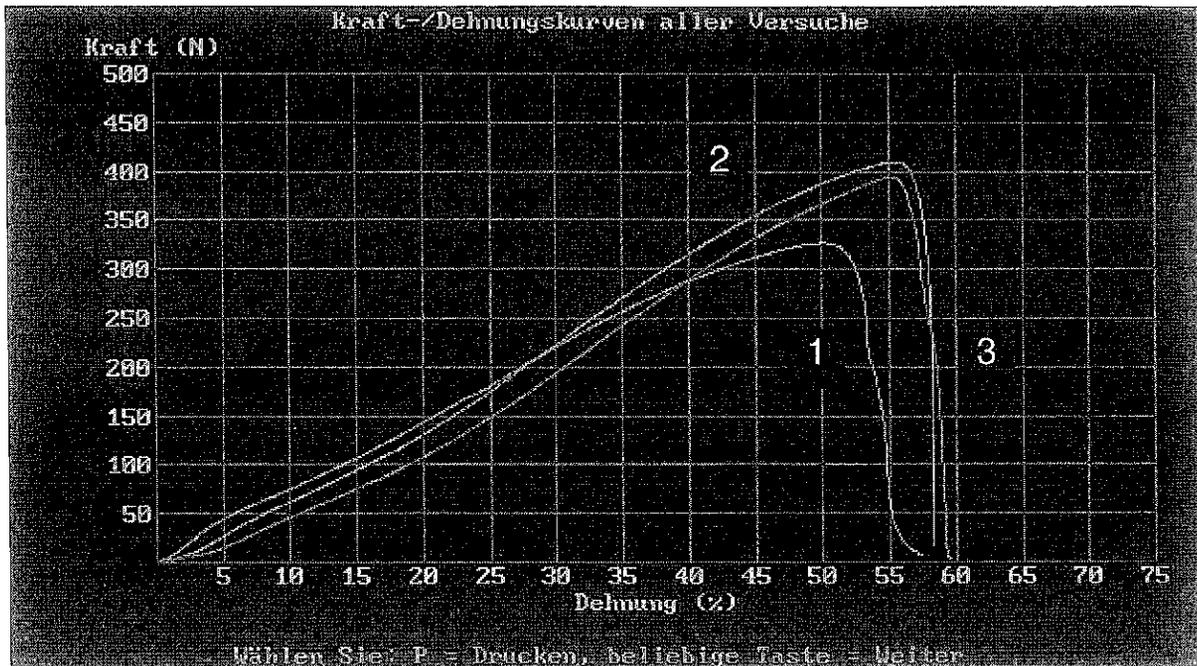


Grafische Darstellung der Ergebnisse für Materialprobe D

Anlage I

Ergebnisse der Untersuchungen zum Zug-
Dehnungsverhalten der Materialien A-D

Zugversuch - Material A - Zwischenschicht



PROBEA TESTOMETAFABRIC.FXP MEMORY:18.72

GEMEBE-ZUGVERSUCH

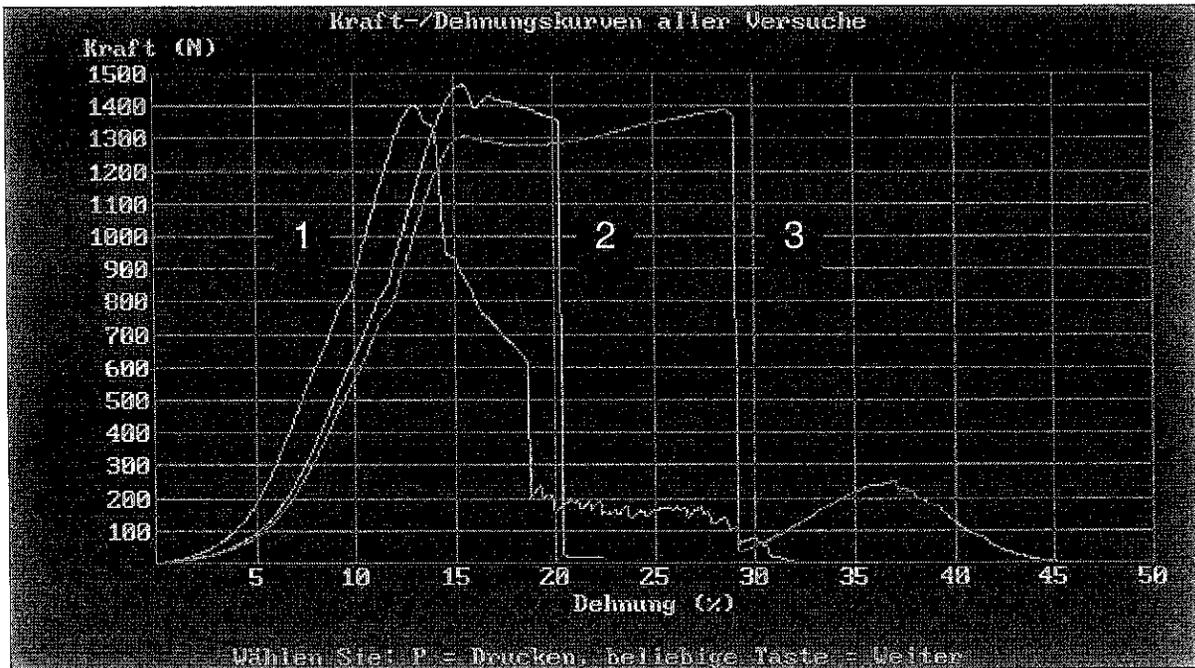
Referenz 1	: Zugversuch	Prüfgeschw.	: 050.00 mm/min
Referenz 2	: Programm 7	Probenlänge	: 230 mm
Referenz 3	: Materialart: A-2	Probenbreite	: 0070.0 mm
Prüfdatum	: 12-09-02		
Drucker	: Epson		

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	326.70	49.830	57.300	23.754
2	409.60	55.443	58.257	28.640
3	394.20	55.217	59.578	26.076

F5E Kurve Drucken Löschen Neustart Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	A - 0 - Zwischenschicht	Grün
	2	A - 3 - Zwischenschicht	türkis
	3	A - 6 - Zwischenschicht	pink

Zugversuch 2 - Material A - Außenschicht



GEWEBE-ZUGVERSUCH MEMORY:11.22

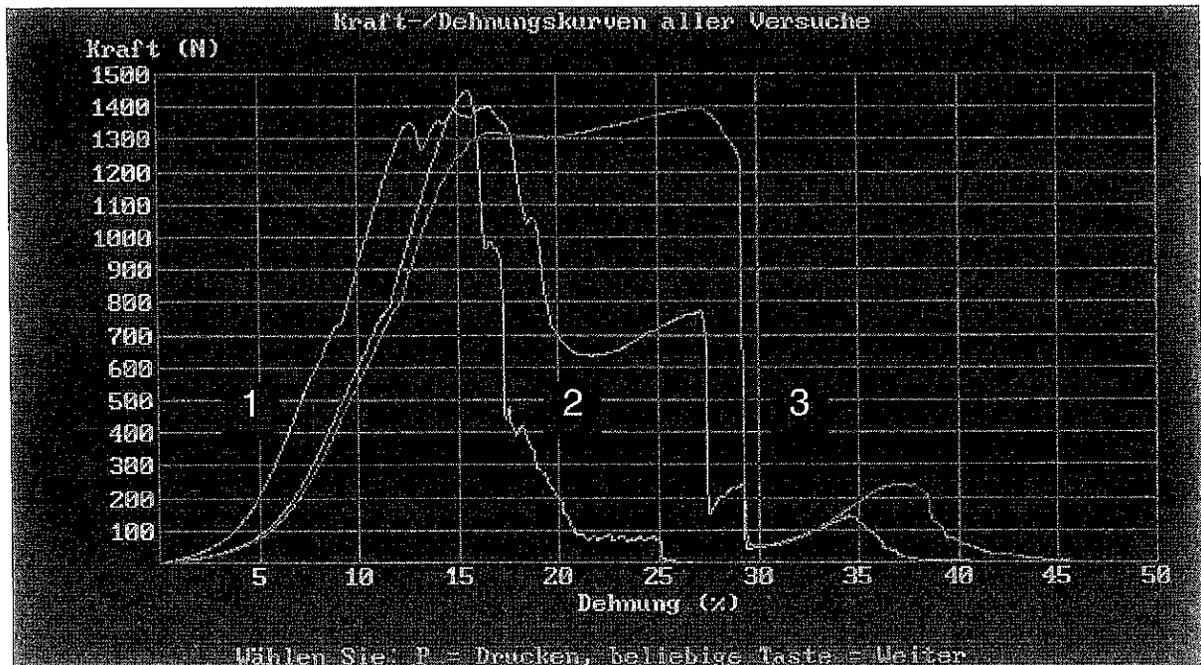
Referenz 1	: Zugversuch	Prüfgeschw.	: 050.00 mm/min
Referenz 2	: Programm 7	Probenlänge	: 230 mm
Referenz 3	: Materialart: A	Probenbreite	: 0070.0 mm
Prüfdatum	: 12-09-02		
Drucker	: Epson		

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	1404.0	12.996	31.883	30.980
2	1463.0	15.396	22.257	33.300
3	1387.0	28.591	45.830	61.794

Kurve Drucken
 Löschen
 Neustart
 Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch-Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	A - 0 - Außenschicht	grün
	2	A - 3 - Außenschicht	türkis
	3	A - 6 - Außenschicht	pink

Zugversuch 1 - Material A - Außenschicht



PROGRAMM: INT-STONE\FABRIC.FXE

GEWEBE-ZUGVERSUCH MEMORY: 12.7%

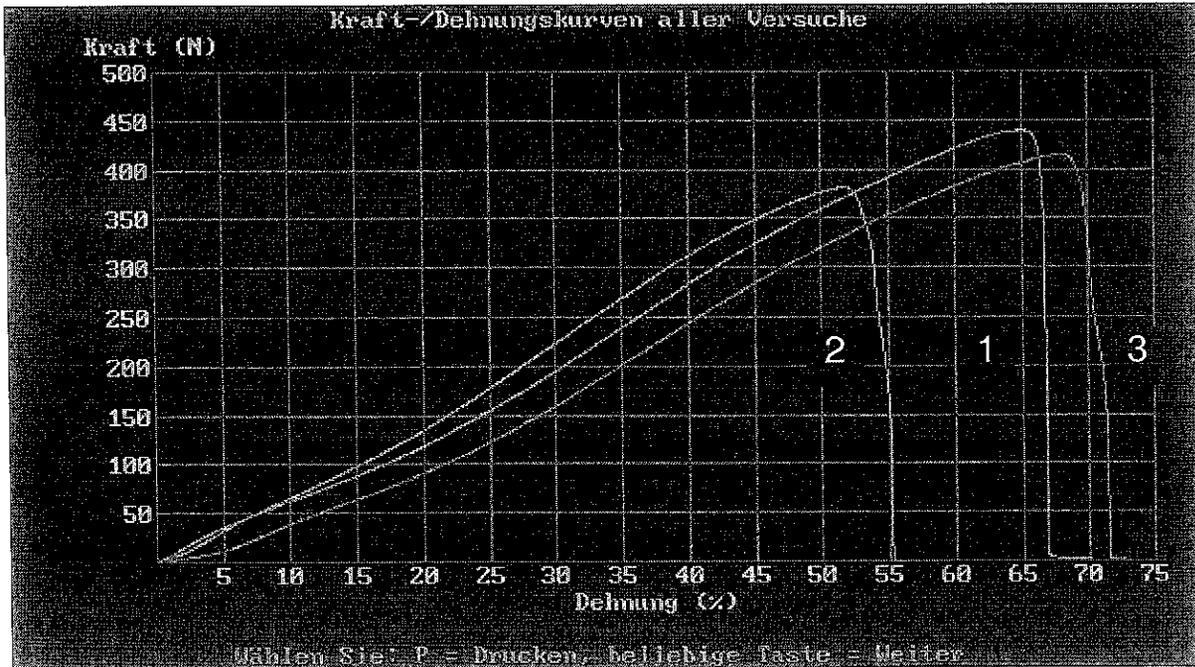
Referenz 1 : Zugversuch	Prüfgeschw. : 050.00 mm/min
Referenz 2 : Programm 7	Probenlänge : 230 mm
Referenz 3 : Materialart: A	Probenbreite : 0070.0 mm
Prüfdatum : 12-09-02	
Drucker : Epson	

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	1401.0	16.543	40.487	49.212
2	1446.0	15.530	26.591	24.526
3	1398.0	27.013	45.552	61.006

Kurve Drucken
 Löschen
 Neustart
 Speichern
 Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	A - 0 - Außenschicht	grün
	2	A - 3 - Außenschicht	türkis
	3	A - 6 - Außenschicht	pink

Zugversuch - Material B - Zwischenschicht



CAPROGRA - TESTOMETESTABRIC EXE

GEWEBE-ZUGVERSUCH MEMORY: 21.1%

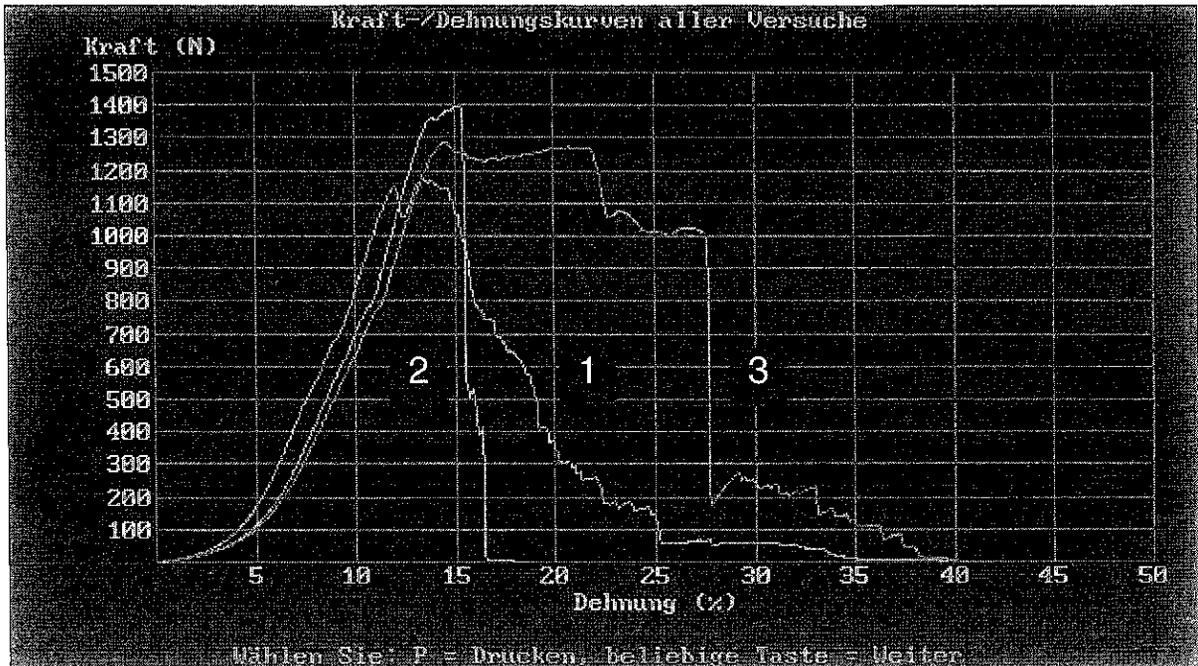
Referenz 1	: Zugversuch	Prüfgeschw.	: 050.00 mm/min
Referenz 2	: Programm 7	Probenlänge	: 230 mm
Referenz 3	: Materialart: B-2	Probenbreite	: 0070.0 mm
Prüfdatum	: 12-09-02		
Drucker	: Epson		

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	439.30	64.957	70.139	35.117
2	381.80	51.691	56.043	25.243
3	414.60	67.648	72.613	33.919

Kurve Drucken Löschen Neustart Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	B - 0 - Zwischenschicht	grün
	2	B - 3 - Zwischenschicht	türkis
	3	B - 6 - Zwischenschicht	pink

Zugversuch 2 - Material B - Außenschicht



PROGRAMM: INTESTOMET.FABRIK.EXE

GEWEBE-ZUGVERSUCH MEMORY: 11.4%

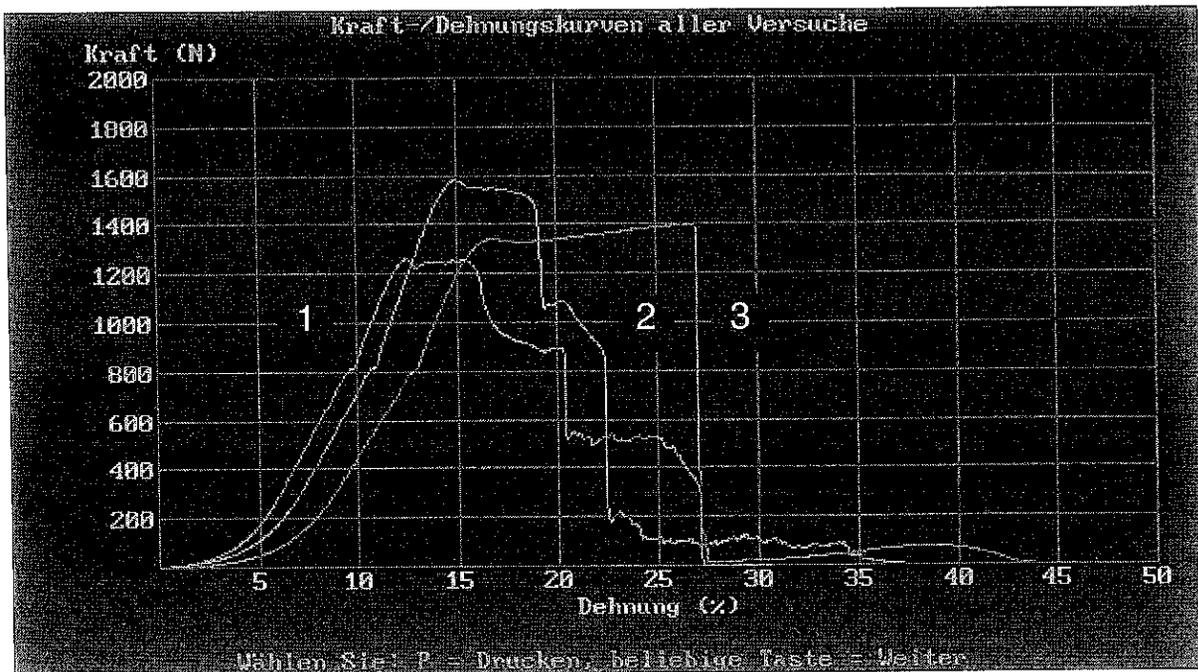
Referenz 1 : Zugversuch	Prüfgeschw. : 050.00 mm/min
Referenz 2 : Programm 7	Probenlänge : 230 mm
Referenz 3 : Materialart: B	Probenbreite : 0070.0 mm
Prüfdatum : 12-09-02	
Drucker : Epson	

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	1173.0	13.370	39.570	30.187
2	1396.0	15.317	18.530	20.021
3	1285.0	14.483	41.443	53.855

Kurve Drucken
 Löschen
 Neustart
 Speichern
 Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	B - 0 - Außenschicht	grün
	2	B - 3 - Außenschicht	türkis
	3	B - 6 - Außenschicht	pink

Zugversuch 1 - Material B - Außenschicht



PK-USER\NT65\Pasch\TESTOMET\FABRIC EXE

GEWEBE-ZUGVERSUCH MEMORY:12.8%

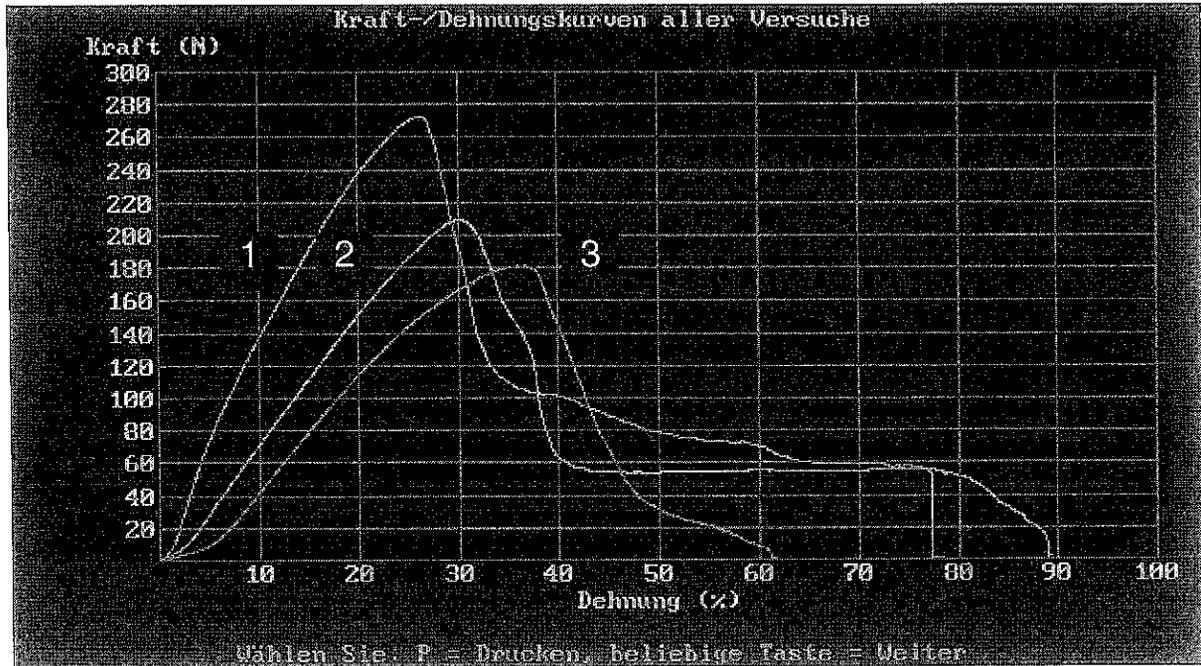
Referenz 1	: Zugversuch	Prüfgeschw.	: 050.00 mm/min
Referenz 2	: Prüfprogramm 1	Probenlänge	: 230 mm
Referenz 3	: Materialart: B	Probenbreite	: 0070.0 mm
Prüfdatum	: 12-09-02		
Drucker	: Epson		

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	1261.0	12.465	30.552	39.980
2	1501.0	14.983	37.239	43.641
3	1396.0	26.830	45.896	50.806

Test Kurve Drucken Löschen Neustart Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	B - 0 - Außenschicht	grün
	2	B - 3 - Außenschicht	türkis
	3	B - 6 - Außenschicht	pink

Zugversuch - Material C - Zwischenschicht



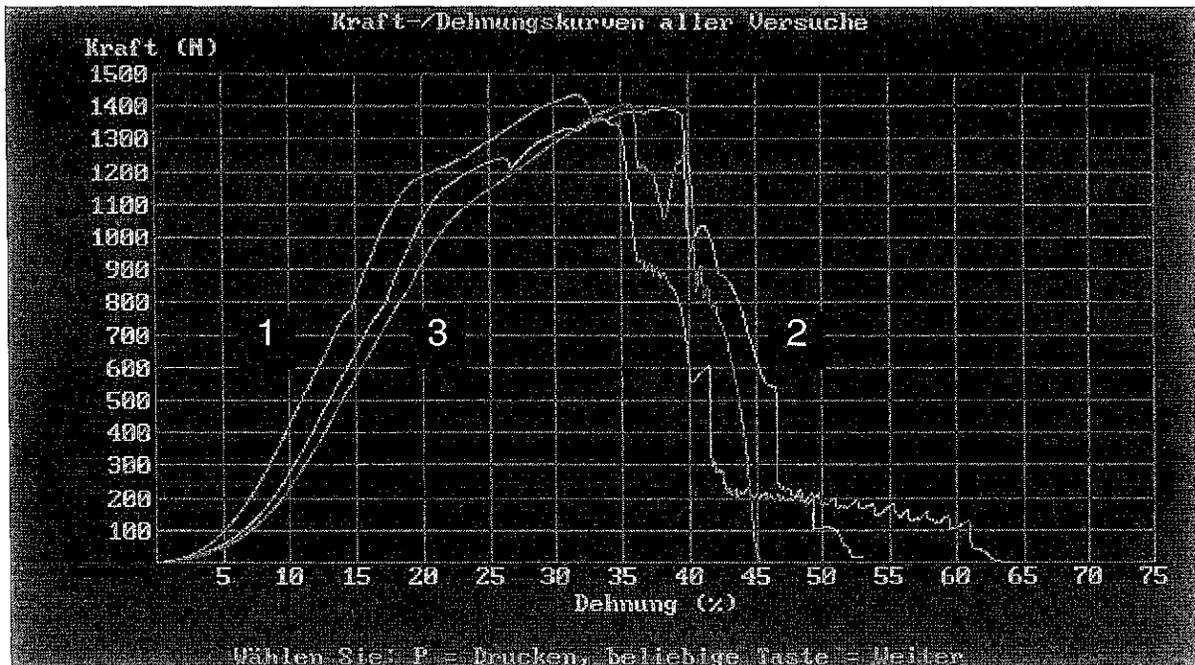
Referenz 1		Referenz 2		Referenz 3	
Zugversuch	Prüfgeschw.	: 050.00	mm/min		
Programm 7	Probenlänge	: 230	mm		
Materialart: C-2	Probenbreite	: 0070.0	mm		
Prüfdatum		: 12-09-02			
Drucker		: Epson			

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	272.30	26.191	78.278	20.651
2	209.60	30.257	89.404	16.728
3	181.00	35.878	61.722	11.603

Kurve Drucken Löschen Neustart Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	C - 0 - Zwischenschicht	grün
	2	C - 3 - Zwischenschicht	türkis
	3	C - 6 - Zwischenschicht	pink

Zugversuch 2 - Material C - Außenschicht



ENIC APHOGHA INSTRUMENT FABRIC EXE

GEWEBE-ZUGVERSUCH

MEMORY: 18.12

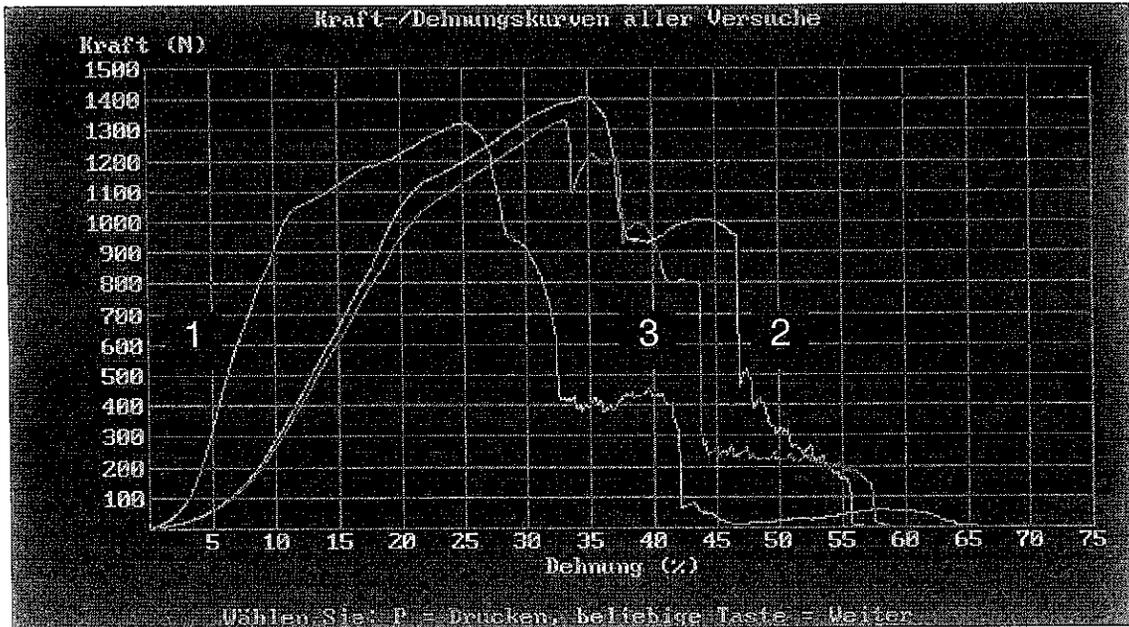
Referenz 1 : Zugversuch	Prüfgeschw. : 050.00 mm/min
Referenz 2 : Programm 7	Probenlänge : 230 mm
Referenz 3 : Materialart: C	Probenbreite : 0070.0 mm
Prüfdatum : 12-09-02	
Drucker : Epson	

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	1436.0	31.622	64.209	88.998
2	1395.0	38.396	52.803	90.295
3	1408.0	35.296	47.448	78.321

REGU Kurve Drucken Löschen Neustart Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	C - 0 - Außenschicht	grün
	2	C - 3 - Außenschicht	türkis
	3	C - 6 - Außenschicht	pink

Zugversuch 1 - Material C - Außenschicht



C:\PROGRAMME\INTESTOMET\FABRIC.EXE

GEWEBE-ZUGVERSUCH MEMORY:20.32

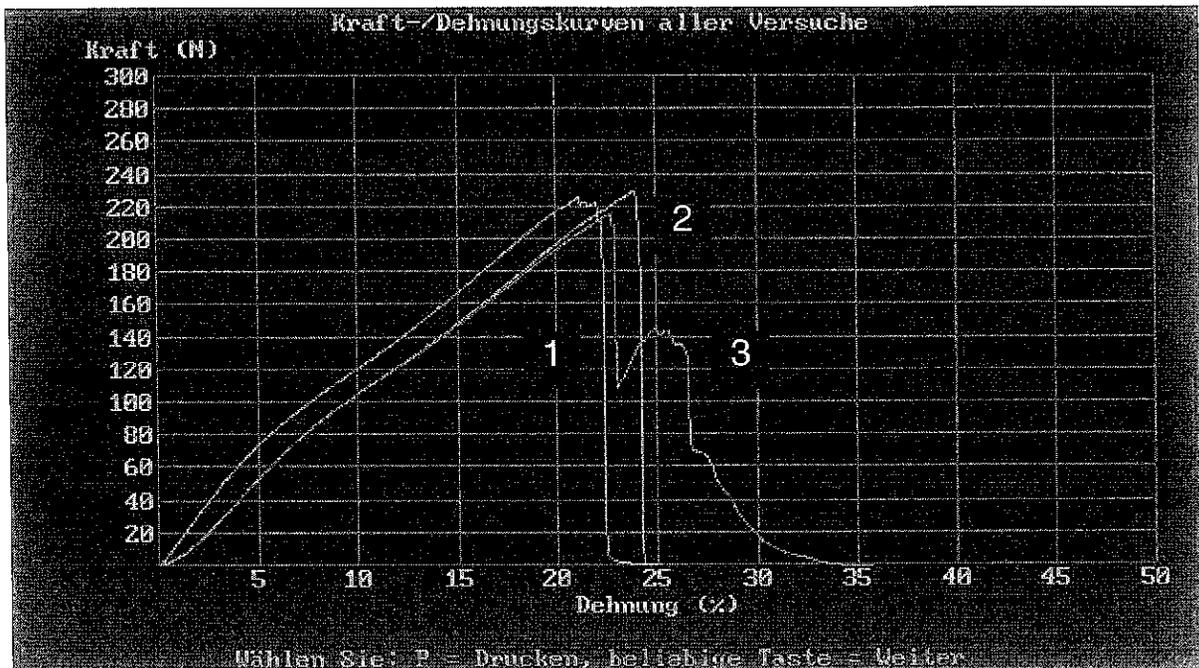
Referenz 1	: Zugversuch	Prüfgeschw.	: 050.00 mm/min
Referenz 2	: Programm 7	Probenlänge	: 230 mm
Referenz 3	: Materialart: C	Probenbreite	: 0070.0 mm
Prüfdatum	: 13-01-04		
Drucker	: Epson		

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	1323.0	25.226	65.635	77.292
2	1409.0	34.596	56.548	94.992
3	1329.0	32.874	58.565	82.986

ESC Kurve Drucken Löschen Neustart Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	C - 0 - Außenschicht	grün
	2	C - 3 - Außenschicht	türkis
	3	C - 6 - Außenschicht	pink

Zugversuch - Material D - Zwischenschicht



C:\PROGRAMME\INTESTOMET\FABRIC.EXE

GEWEBE-ZUGVERSUCH MEMORY: 9.42

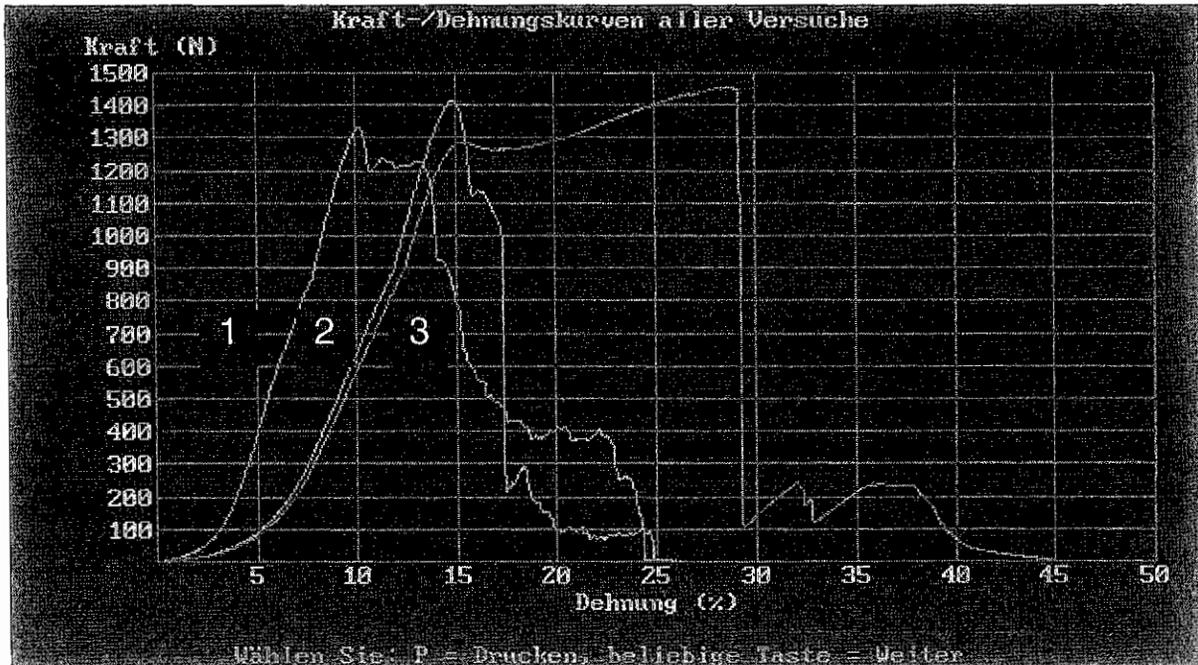
Referenz 1	: Zugversuch	Prüfgeschw.	: 050.00 mm/min
Referenz 2	: Programm 7	Probenlänge	: 230 mm
Referenz 3	: Materialart: D-2	Probenbreite	: 0070.0 mm
Prüfdatum	: 12-09-02		
Drucker	: Epson		

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	225.40	21.157	24.483	6.6161
2	229.30	24.013	25.226	6.6884
3	215.30	22.735	35.700	7.4992

ESC Kurve Drucken Löschen Neustart Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	D - 0 - Zwischenschicht	grün
	2	D - 3 - Zwischenschicht	türkis
	3	D - 6 - Zwischenschicht	pink

Zugversuch 2 - Material D - Außenschicht



EN C:\PROGRA~1\TESTOMET\FABRIC EXE

GEWEBE-ZUGVERSUCH MEMORY: 11.2%

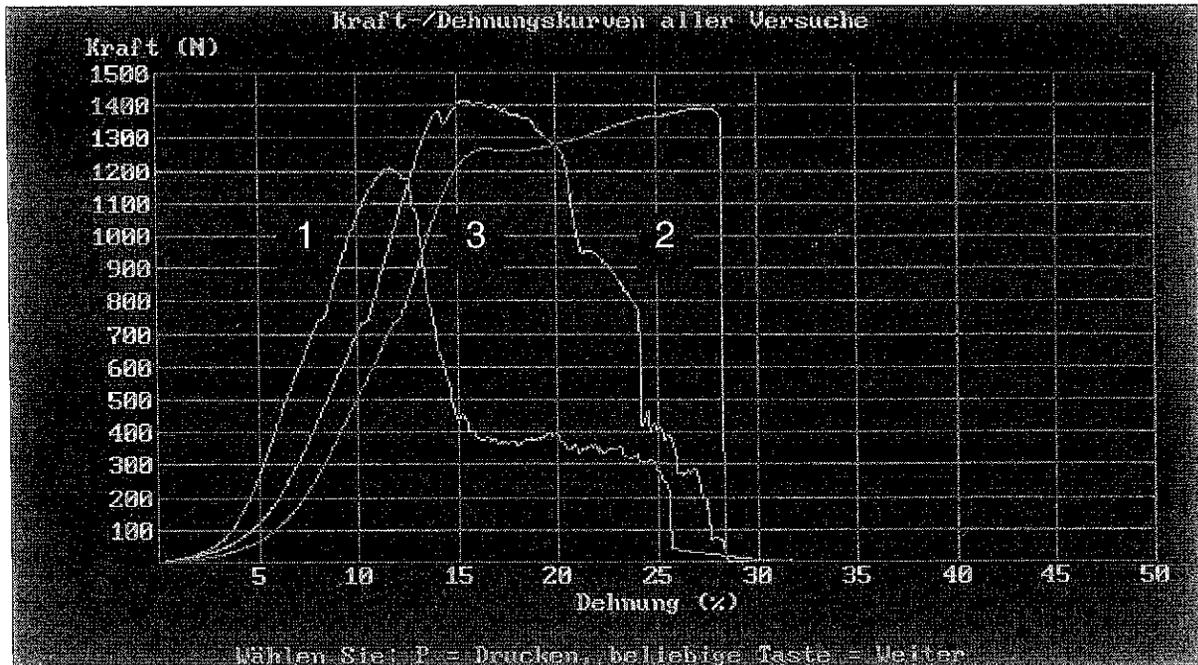
Referenz 1 : Zugversuch	Prüfgeschw. : 050.00 mm/min
Referenz 2 : Programm 7	Probenlänge : 230 mm
Referenz 3 : Materialart: D	Probenbreite : 0070.0 mm
Prüfdatum : 12-09-02	
Drucker : Epson	

Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	1331.0	10.165	26.257	33.245
2	1413.0	14.830	25.709	24.579
3	1453.0	28.183	47.391	63.430

Kurve Drucken Löschen Neustart Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	D - 0 - Außenschicht	grün
	2	D - 3 - Außenschicht	türkis
	3	D - 6 - Außenschicht	pink

Zugversuch 1 Material D - Außenschicht



GEWEBE-ZUGVERSUCH				
Referenz 1	: Zugversuch	Prüfgeschw.	: 050.00 mm/min	
Referenz 2	: Prüfprogramm 1	Probenlänge	: 230 mm	
Referenz 3	: Materialart: D	Probenbreite	: 0070.0 mm	
Prüfdatum	: 12-09-02			
Drucker	: Epson			
MEMORY: 10.4%				
Versuch Nr.	Bruchlast (N)	Dehnung bei Maximallast (%)	Gesamt-Dehnung (%)	R-Arbeit (N.m)
1	1207.0	11.691	31.665	28.487
2	1413.0	15.600	29.500	45.250
3	1390.0	27.504	31.570	53.018
[ESC] Kurve Drucken Löschen Neustart Speichern Kraft bei Dehnung bei Versuch Starten				

Legende:	Versuch Nr.	Untersuchtes Material	Farbcode Grafik
	1	D - 0 - Außenschicht	grün
	2	D - 3 - Außenschicht	türkis
	3	D - 6 - Außenschicht	pink