

(Aus der Bundesanstalt für Pflanzenschutz Wien und dem Österreichischen Forschungszentrum Seibersdorf)

Untersuchungen über die Eignung der Schutzkleidung aus GORE-TEX®-Laminaten

Von H. NEURURER, H. REICH, R. RÖDLER, J. WENDRINSKY und W. GRIENAUER

(Mit 3 Abbildungen)

Zusammenfassung

Die Schutzkleidung, die in der Praxis verwendet werden soll, muß neben technologischen Eigenschaften, wie Wasserundurchlässigkeit, Reißfestigkeit und Maßbeständigkeit, auch thermophysiologische Anforderungen, wie Wasserdampfdurchlässigkeit und angenehmen Tragekomfort, erfüllen. In zweijährigen Trageversuchen hat sich die GORE-TEX®-Schutzkleidung mit der Bezeichnung GORE-TEX® Taslan zweilagig bei Arbeiten im Pflanzenschutz, in der Forstwirtschaft und in klimatisch extremen Wüstengebieten bewährt. Lediglich einige Wünsche zur Verbesserung der Paßform wurden vorgebracht.

Durchlässigkeitsuntersuchungen im Labor mit fünfmal gewaschenen Gewebeproben zeigten, daß sogar bei extrem langer Einwirkungszeit von 24 Stunden weniger als 0,2 % der zur Einwirkung gelangten Dosis des Pflanzenschutzmittelwirkstoffes Pendimethalin durchgedrungen waren. Im Vergleich dazu drangen innerhalb von acht Stunden 70 % des Wirkstoffes durch ein Gewebe aus Baumwoll-Polyester-Ripsmoleskin, das vielfach für die Herstellung von Arbeitskleidung verwendet wird.

Schlüsselworte: Schutzkleidung, Landwirtschaft, Pflanzenschutz.

Investigations about the suitability of protection clothes produced with GORE-TEX® laminates

Summary

Protective clothing, appropriate for usage in pesticide handling must meet certain technological qualities such as resistance to liquid splash penetration, tensile strength and dimensional stability, as well as thermophysiological requirements — permeability for vapour, in particular —, guaranteeing a comfortable wearing without leading to extensive perspiration or heat exhaustion in hot weather.

During a two-years-experiment, protective overalls made of GORE-TEX® Taslan have been worn during pesticide application, work in forestry and under extreme climatic conditions in deserts. They have successfully stood the test,

except for some suggestions brought forward concerning improvements in the fitting of the overalls.

Laboratory permeability tests, carried out with GORE-TEX® fabric, which has been washed five times before the tests, showed clearly, that even after 24 hours exposure to a pesticide spray containing Pendimethalin as active ingredient, less than 0.2 % of the total amount of the applied Pendimethalin penetrated the GORE-TEX® material. In comparison, 70 % of the total amount of Pendimethalin penetrated within eight hours a kind of cotton-polyester-textile, which is frequently used for manufacturing common working clothes.

Key-words: Protective clothing, agriculture, plant protection.

1. Problemstellung und derzeitiger Wissensstand

Um die bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln auftretenden Gesundheitsrisiken weitgehend zu reduzieren, wird das Tragen einer geeigneten Schutzkleidung empfohlen (NEURURER et al. 1990). Neben der Verwendung von Schutzmasken und -brillen ist das Tragen eines Schutzanzuges erforderlich, wodurch die Aufnahme von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen über die Haut verhindert wird. An die Schutzkleidung für Arbeiten mit chemischen Pflanzenschutzmitteln werden besondere Anforderungen gestellt; sie muß nicht nur technologische Eigenschaften wie Reißfestigkeit, Maßbeständigkeit und Wasserundurchlässigkeit besitzen, sondern auch thermophysiologische Ansprüche erfüllen (UMBACH 1987). Die Mehrzahl der in der Praxis verwendeten Schutzanzüge gewährt zwar einen ausreichenden Anwenderschutz, entspricht aber nicht dem thermophysiologischen Anforderungsprofil. Da keine ausreichende Wasserdampfdurchlässigkeit (SALZ 1986) gegeben ist, setzt bei körperlicher Arbeit eine Überwärmung mit vermehrtem Schwitzen ein. Daher stoßen diese Schutzanzüge auf geringe Akzeptanz seitens der Pflanzenschutzmittelanwender, und der notwendige Personenschutz wird häufig vernachlässigt.

Eine Alternative zu den beschichteten Geweben stellen die mit einer mikroporösen Polytetrafluorethylen-Membrane (PTFE) kaschierten Textillamine dar, die von der Firma W. L. Gore & Associates GmbH erzeugt werden und unter dem Markennamen GORE-TEX® in den Handel kommen (ANONYM 1990). Dieses Material zeichnet sich durch gute Wasserdampfdurchlässigkeit bei gleichzeitiger Undurchlässigkeit für Wasser aus. Da der verdunstete Schweiß durch die mikroporöse PTFE-Membrane nach außen treten kann, wird ein angenehmes Tragegefühl gewährleistet.

Im Rahmen dieser Arbeit sollten die Materialeigenschaften einer GORE-TEX® Gewebeprobe im Hinblick auf ihre Eignung zur Herstellung von Schutzanzügen für Pflanzenschutzmittelarbeiten untersucht werden. Als entscheidendes Kriterium wurde die Undurchlässigkeit für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe gewertet. Als weitere wesentliche Voraussetzung für die Verwendung der GORE-TEX® Materialien im Pflanzenschutz sind die physiologischen Trageeigenschaften der aus diesen Geweben hergestellten Schutzkleidung zu nennen. Diese wurden im Rahmen zweijähriger Trageversuche mit Testpersonen ermittelt.

2. Material und Methodik

2.1 Verwendetes Material

Für die Trageversuche in der Praxis wurden Schutzanzüge aus dem Material GORE-TEX® Taslan zweilagig in verschiedenen Größen verwendet. Die Durchlässigkeitsuntersuchung wurde mit einem Baumwoll-Polyester-Ripsmoleskingewebe, das üblicherweise zur Herstellung von Schutzanzügen für Landwirtschaftsarbeiter verwendet wird, und mit

einem zweilagigen mikroporösen Textillaminat (GORE-TEX® Taslan), das uns von der Firma W. L. Gore & Associates GmbH zur Verfügung gestellt wurde, durchgeführt. In Vorversuchen kamen die Gewebeprouben sowohl im Neuzustand als auch fünfmal gewaschen zur Prüfung, wobei keine signifikanten Unterschiede im Durchlässigkeitsverhalten zu erkennen waren. Für die Hauptversuche wurden die gewaschenen Gewebeprouben verwendet, weil dies der praktischen Verwendung der Textilien eher entspricht als der Einsatz fabriksneuer Ware.

Der Waschvorgang erfolgte bei 40 °C unter Verwendung des Waschmittels Dixan® im Hauptwaschgang einer Waschmaschine vom Typ Miele W423.

Die verwendeten Gewebeprouben weisen die in Tabelle 1 zusammengefaßten Eigenschaften auf.

Tabelle 1

Handelsname	Materialzusammensetzung	Flächengewicht	Wasserdichtheit (DIN 53886)
GORE-TEX® Taslan zweilagig	100% PA 6,6 + PTFE-Bikomponentenmembran	130 g/m ²	> 150 mbar
Baumwolle-Polyester-Ripsmolekin	33 % Baumwolle + 67 % Polyester	283 g/m ²	0

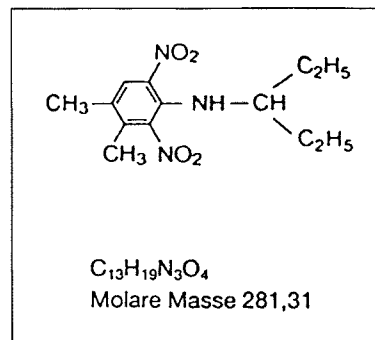
Zur Bestimmung der Durchlässigkeit wurden Vorversuche mit verschiedenen handelsüblichen Pestiziden durchgeführt. Das Herbizid Stomp® (Tab. 2) wurde aufgrund der besonders gut reproduzierbaren Ergebnisse exemplarisch für diese Untersuchungen verwendet.

Tabelle 2

Handelsname	Reg.-Nr.	Reg.-Inhaber	Wirkstoff	Systematischer Name des Wirkstoffs
Stomp®	2183	Cyanamid	33 %	Pendimethalin N-(1-Ethylpropyl)-2,6-dinitro-3,4-xylidin (IUPAC)

Die chemische Formel des Pendimethalins nach PERKOW (1985) ist in Abbildung 1 dargestellt.

Abb. 1: Chemische Formel von Pendimethalin



2.2 Methodik

2.2.1 Trageversuche

Die zweiteiligen GORE-TEX®-Schutzanzüge verschiedener Größen wurden von Landwirten bei der Durchführung von Pflanzenschutzarbeiten während zwei Jahren getragen. Außerdem wurde die Schutzkleidung auch in der Forstwirtschaft, insbesondere bei Schlechtwetter, und bei Rekultivierungsarbeiten in Wüstengebieten sowohl gegen Hitze- einwirkung als auch gegen Sandstürme getragen. Die GORE-TEX®-Schutzkleidung wurde jeweils mit den bisher verwendeten gummierten und beschichteten Anzügen hinsichtlich

Schutzwirkung und Tragekomfort verglichen. Als subjektive Beurteilungskriterien wurden Tragekomfort, allgemeines Wohlbefinden nach längerer Arbeit, Atmungsaktivität, Wasserdichtheit, Windschutz, Funktionieren der Reißverschlüsse, Funktionieren der Druckknöpfe, Abschluß an Armen und Beinen, Abschluß im Halsbereich, Tragekomfort der Kapuze, Reinigung und Trocknung registriert. Die individuelle Beurteilung erfolgte nach folgender Skala:

- 1 = sehr gut (ohne Komplikationen)
- 2 = gut (von der Testperson noch nicht als unangenehm empfunden)
- 3 = mäßig (fallweise störend empfunden)
- 4 = schlecht (von der Testperson abgelehnt)

2.2.2 Durchlässigkeitsuntersuchungen

Als Untersuchungsmethode wurde im Hinblick auf die apparative Anordnung die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Flächengebilden (gravimetrisches Verfahren) nach DIN 53 122 (1974) gewählt, bei welcher aus einem temperatur- und feuchtigkeitsstabilisierten Prüfraum der Wasserdampf durch die zu prüfende Folie diffundiert und von einem Absorptionsmittel aufgenommen wird. Aufgrund der speziellen Fragestellung wurden einige Modifikationen der Versuchsansordnung durchgeführt. Die Untersuchung wurde in einem modifizierten Exsikkator bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100 % bei einer konstanten Temperatur von $23 \pm 0,5$ °C durchgeführt. Als absorbierendes Medium wurden Filterpapierscheiben eingesetzt. Der schematische Aufbau der Versuchsanordnung ist in Abbildung 2 dargestellt.

Das auf einer runden, planen Glasplatte als aufnehmendes Medium aufliegende Filterpapier (Rundfilter, Schwarzband Nr. 589, Durchmesser 88 mm, Schleicher & Schüll) wird von der zu prüfenden, kreisförmig zugeschnittenen Gewebeprobe (Durchmesser 103 mm) bedeckt. Der ringförmige Spalt zwischen der äußeren und der inneren Schablone wird zur Abdichtung mit einem verflüssigten Wachs (Wachspoliermittel 192 a, Hersteller: Mobil) ausgegossen. Dadurch wird eine definierte Kreisfläche von $50,3 \text{ cm}^2$ geschaffen, die die potentielle Durchtrittsfläche für die Testsubstanz darstellt. Als Testsubstanz wurden 5,03 ml einer 1%igen Stomp®-Spritzbrühe aufgebracht, die durch einminütiges Dispergieren des Herbizids mit deionisiertem Wasser hergestellt wurde. Bei einer gleichmäßigen Verteilung der Herbizidemulsion entspricht dies einer Flüssigkeitssäule von 1 mm. Die Inkubations-

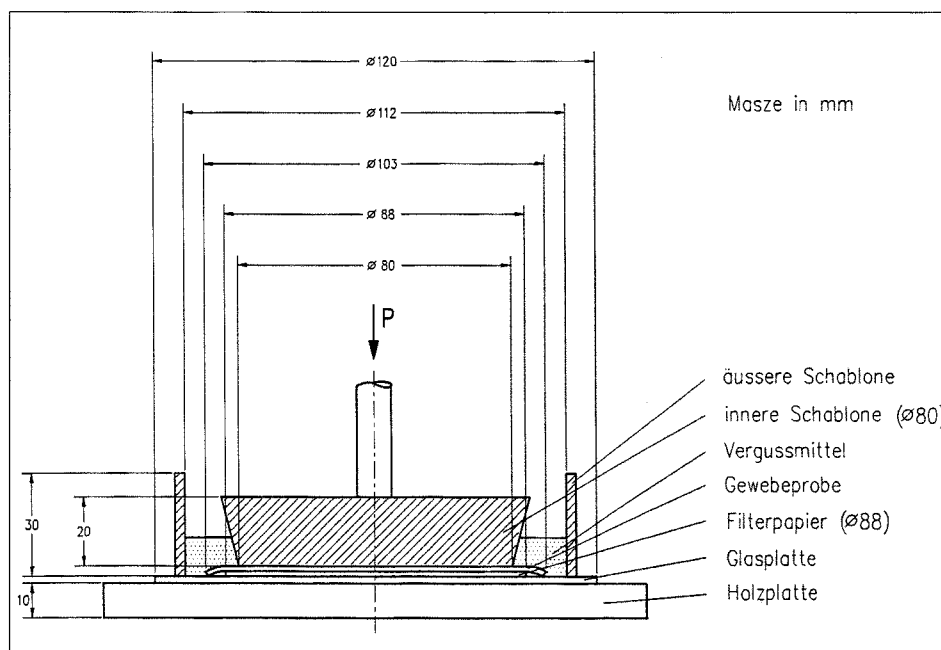


Abb. 2: Schematische Darstellung der Vorrichtung zur Durchlässigkeitsprüfung

zeit wurde mit 8 und 24 Stunden festgelegt. Die Bestimmungen des Wirkstoffdurchtritts durch die GORE-TEX®-Gewebebeurteilungen wurden in dreifacher Wiederholung vorgenommen.

Da die gravimetrische Bestimmung der durchgetretenen Stoffmenge in diesem Zusammenhang nicht aussagekräftig ist, war eine weitere Modifizierung des Verfahrens nach DIN 53122 notwendig. Es wurde daher zur Quantifizierung des penetrierten Wirkstoffs eine gaschromatographische Bestimmung des Pendimethalins durchgeführt. Die Extraktion der Filterpapierproben erfolgte mit je 100 ml Isooktan unter dreistündigem Schütteln. Die so anfallenden Extrakte wurden mit Natriumsulfat getrocknet und gegebenenfalls verdünnt bzw. aufkonzentriert, sodaß die Wirkstoffkonzentration im linearen Bereich der Kalibrationskurve lag. Die quantitative Auswertung erfolgte durch externe Kalibrierung. Die Bedingungen für die gaschromatographische Bestimmung waren wie folgt:

Gerät: HP 5890 (Hewlett Packard) mit electron capture detector
 Inj. Temp.: 230 °C
 Det. Temp.: 350 °C
 Ofen: 95 ° bis 205 °C, Aufheizrate 20 °C/min, 5 min isotherm,
 205 °C bis 245 °C, Aufheizrate 10 °C/min, 20 min isotherm
 Säule: DB 5, Länge: 15 m

3. Ergebnisse

3.1 Trageversuche

Die Beurteilungen durch die einzelnen Testpersonen, die nach der unter Punkt 2.2.1 angegebenen Skala erfolgten, sind in den Tabellen 3, 4 und 5 aufgelistet.

Tabelle 3

Trageversuch bei Arbeiten im Pflanzenschutz in der Landwirtschaft

Eigenschaften	Beurteilung** durch 4 Testpersonen			
	1	2	3	4
Tragekomfort (allgemeine Bequemlichkeit)*	1	3	3	1
Wohlbefinden nach längerer Arbeitszeit	1	1	1	1
Atmungsaktivität (Schwitzen, feuchte Innenseite)	1	2	1	1
Wasserdichtheit (Schutz vor Eindringen von Feuchtigkeit)	1	1	1	1
Windschutz	1	1	1	1
Funktionieren der Reißverschlüsse	1	1	1	1
Funktionieren der Druckknöpfe	2	3	2	4
Abschluß an Armen und Beinen	1	1	1	2
Abschluß im Kragenbereich	1	1	2	1
Tragekomfort der Kapuze	1	2	2	1
Reinigung	1	1	1	1
Trocknung	1	1	1	1

* Hose in der Hüfte und im Schritt teilweise zu eng

** Beurteilungsskala siehe unter Punkt 2.2.1

Tabelle 4

Trageversuch in der Forstwirtschaft

Eigenschaften	Beurteilung** durch 3 Testpersonen		
	1	2	3
Tragekomfort (allgemeine Bequemlichkeit)*	1	3	2
Wohlbefinden nach längerer Arbeitszeit	1	1	1
Atmungsaktivität (Schwitzen, feuchte Innenseite)	1	1	1
Wasserdichtheit (Schutz vor Eindringen von Feuchtigkeit)	1	1	1
Windschutz	1	1	1
Funktionieren der Reißverschlüsse	1	1	1
Funktionieren der Druckknöpfe	2	3	2

(Fortsetzung Tabelle 4)

Eigenschaften	Beurteilung**		
	durch 3 Testpersonen		
Abschluß an Armen und Beinen	1	1	1
Abschluß im Kragenbereich	1	1	1
Tragekomfort der Kapuze	3	2	2
Reinigung	1	1	1
Trocknung	1	1	1

* Hose in der Hüfte und im Schritt teilweise zu eng

** Beurteilungsskala siehe unter Punkt 2.2.1

Tabelle 5

Trageversuch bei Arbeiten in Wüstengebieten

Eigenschaften	Beurteilung**		
	durch 3 Testpersonen		
Tragekomfort (allgemeine Bequemlichkeit)	1	1	2
Wohlbefinden nach längerer Arbeitszeit	1	1	1
Atmungsaktivität (Schwitzen, feuchte Innenseite)	2	1	2
Wasserdichtheit (Schutz vor Eindringen von Feuchtigkeit)	—	—	—
Windschutz	1	1	1
Funktionieren der Reißverschlüsse	1	1	1
Funktionieren der Druckknöpfe	1	2	2
Abschluß an Armen und Beinen*	2	3	1
Abschluß im Kragenbereich	1	1	1
Tragekomfort der Kapuze	3	4	3
Reinigung	1	1	1
Trocknung	1	1	1

* Trotz relativ guten Abschlusses konnte das Eindringen des Sandes bei Sandstürmen nicht vollständig verhindert werden

** Beurteilungsskala siehe unter Punkt 2.2.1

3.2 Durchlässigkeitsuntersuchungen

In Tabelle 6 wird die Menge des nach 8 bzw. 24 Stunden durch die Gewebeproben durchgetretenen Pendimethalins pro Flächeneinheit dargestellt. Daneben ist die durchgetretene Wirkstoffmenge in Prozent des auf die Gewebeproben aufgetragenen Wirkstoffs ausgedrückt. Die statistische Auswertung erfolgte aufgrund der geringen Anzahl an Wiederholungen ($n=3$) nach DEAN und DIXON (1951).

Tabelle 6

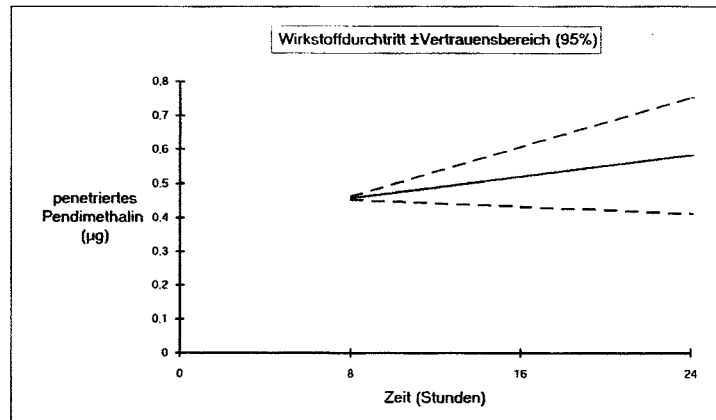
Ergebnisse der Durchlässigkeitsprüfung mit Angabe des Vertrauensbereichs (95 %)

Material	n*	Zeit (Std.)	penetrierter Wirkstoff ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Wirkstoffdurchtritt in %
GORE-TEX®				
Taslan	3	8	$0,458 \pm 0,004$	$0,1388 \pm 0,0013$
	3	24	$0,583 \pm 0,171$	$0,1768 \pm 0,0517$
Baumwoll-Polyester-Ripsmoleskin	1	8	232,3	70,5

* n = Anzahl der Wiederholungen

Der zeitliche Verlauf des Wirkstoffdurchtritts sowie die dazugehörigen Vertrauensbereiche sind in Abbildung 3 graphisch dargestellt.

Abb. 3: Zeitlicher Verlauf des Wirkstoffdurchtritts durch GORE-TEX® Taslan



4. Diskussion

Die Trageversuche zeigen, daß der Schnitt der Hosen verbesserungsbedürftig ist. Bei sitzender Tätigkeit auf Traktor oder Zugmaschine wirkt sich die ungünstige Form weniger störend aus als beim Gehen. Deshalb wurde die Eigenschaft „Tragekomfort“ in der Beurteilung auch sehr unterschiedlich benotet. Die Druckknöpfe zur Befestigung der Kapuze sind verbesserungsbedürftig; die Kapuze muß besser am Kragen befestigt werden können. Außerdem ist die Kapuze etwas zu steif; sie behindert oftmals die nötige Sicht. Im Wüstengebiet boten die GORE-TEX®-Anzüge auch Schutz gegen Hitze. Lediglich das Eindringen des Sandes bei Sandstürmen konnte im Bereich der Handgelenke und der Beine nicht ausreichend verhindert werden.

Die wichtigsten thermophysiologischen Anforderungen konnten mit der GORE-TEX®-Schutzkleidung erfüllt werden. Die Trageversuche in der Land- und Forstwirtschaft sowie in Wüstengebieten haben dies bestätigt. Erstmals wurde die Schutzbekleidung während der gesamten Arbeitszeit, also einen ganzen Tag hindurch, freiwillig getragen. Dies war bei der bisherigen Schutzbekleidung kaum der Fall. Bei der Beurteilung der Durchlässigkeitsversuche im Labor muß berücksichtigt werden, daß die geschlossene Beaufschlagung der Prüffläche mit der Herbizidspritzbrühe eine wesentlich stärkere Flächenbelastung mit dem Pflanzenschutzmittelwirkstoff darstellt, als sie in der Praxis auftritt. Die gewählten Inkubationszeiten von 8 bzw. 24 Stunden bedeuten darüber hinaus eine drastische Verschärfung der Versuchsbedingungen gegenüber dem einstündigen Prüfverfahren, das zur Eignungsprüfung von Universal-Schutzhandschuhen und Standardschutzanzügen für den Pflanzenschutz von der biologischen Bundesanstalt Braunschweig (KUNDE et al. 1988) vorgeschlagen wird. Die maximale Durchlässigkeit für die in Pflanzenschutzmitteln enthaltenen Lösungsmittel, Wirkstoffe und sonstige Formulierungsbestandteile wird in dieser Arbeit mit $2,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ festgelegt. In unseren Versuchen wurden bei ähnlicher Versuchsanordnung selbst nach 24 Stunden beim GORE-TEX® Taslan-Gewebe wesentlich niedrigere Werte gefunden ($0,583 \pm 0,171 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Die in den oben zitierten Richtlinien tolerierten Durchlässigkeitswerte für Schutzanzüge liegen bei 5 %. Demgegenüber wurden bei GORE-TEX® Taslan Resultate von unter 0,2 % ermittelt. Der 70%ige Wirkstoffdurchtritt durch das Baumwoll-Polyester-Ripsmoleskin bedeu-

tet, daß dem Wirkstoff durch dieses Gewebe nur ein sehr geringer Durchtrittswiderstand entgegengesetzt wird. Interessant ist der zeitliche Verlauf des Wirkstoffdurchtritts durch die GORE-TEX®-Gewebeproben; sogar nach 24 Stunden ist nur eine unwesentliche Erhöhung des Stoffdurchtritts gegenüber dem 8-Stunden-Wert feststellbar. Es konnte lediglich eine markante Vergrößerung des Streubereichs der Einzelbestimmungen gefunden werden, die auf feine Unterschiede im Gewebe bzw. auf andere nicht berechenbare Einflußgrößen zurückzuführen ist.

Literatur

- ANONYM, 1990: „Fragen zu GORE-TEX®“. Firmenschrift WWM 033G 134 der W. L. Gore & Associates GmbH, Putzbrunn (BRD).
- DEAN, R. B. and W. J. DIXON, 1951: Simplified Statistics for Small Numbers of Observations. *Anal. Chem.* 23, 636–638.
- DIN 53122, 1974: Teil 1: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit, gravimetrisches Verfahren (Prüfung von Kunststoff-Folien, Elastomerfolien, Papier, Pappe und anderen Flächengebilden).
- KUNDE, M., J. R. LUNDEHN, D. WESTPHAL und W. BATEL, 1988: Richtlinien für die amtliche Prüfung von Pflanzenschutzmitteln: Beschreibung und Eignungsprüfung des Universal-Schutzhandschuhs (Pflanzenschutz) und des Standardschutzanzugs (Pflanzenschutz), Teil I, 3–3/2, Herausgeber: Abteilung für Pflanzenschutzmittel und Anwendungstechnik der Biologischen Bundesanstalt Braunschweig.
- NEURURER, H., P. FIDA und G. RÖDLER, 1990: Vorsicht beim Umgang mit Pflanzenschutzmitteln. Bundesanstalt für Pflanzenschutz, Wien.
- PERKOW, W., 1985: Wirksubstanzen der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel. 2. Auflage, Verlag Paul Parey.
- SALZ, P., 1986: Wasserdampfdurchlässigkeit von Regenschutzkleidung. *Melliand Textilberichte* 67, 512–522.
- UMBACH, K. H., 1987: Meßmethoden zur Prüfung physiologischer Anforderungsprofile an Zivil-, Arbeits- und Schutzbekleidung sowie Uniformen. *Melliand Textilberichte* 68, 857–865.

(Manuskript eingelangt am 6. August 1992, angenommen am 25. August 1992)

Anschrift der Verfasser:

a.o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans NEURURER, Dipl.-Ing. Hermine REICH und Ing. Gerhard RÖDLER, Bundesanstalt für Pflanzenschutz, Trunnerstraße 5, A-1020 Wien; Dipl.-Ing. Dr. Josef WENDRINSKY und Ing. Walter GRIENAUER, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf Ges. m. b. H., A-2444 Seibersdorf