

Tragekomfort eines belüfteten Schutzanzuges

TORSTEN HINZ, RUDOLF MÖLLER und FERDINAND PARDYLLA

Institut für Biosystemtechnik

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Bei den vielfältigen Produktionsabläufen kommen die Landwirte mit den unterschiedlichsten Substanzen, wie z.B. Dünge- oder Pflanzenbehandlungsmittel, in Berührung. Daraus kann ein gesundheitliches Risiko erwachsen, wenn die Stoffe gesundheitsschädlich im Sinne der Arbeitsstoffverordnung (1) sind. Es ist notwendig, diese möglichen Risiken zu verhindern oder zumindest zu begrenzen. Hierfür stehen je nach Art der Tätigkeit verschiedene Schutzeinrichtungen zur Verfügung.

Auf fahrenden Arbeitsmaschinen bieten klimatisierte Fahrerkabinen bei hohem Komfort einen optimalen Schutz gegen alle Einflüsse. Bei vielen Arbeiten auf dem Feld und in Gebäuden ist ein Schutz durch Kabinen nicht möglich. Hier muß ein Schutzanzug als persönlicher Körperschutz zum Einsatz kommen.

Derartige Anzüge haben außer dem gewünschten Schutzeffekt die negative Auswirkung zusätzlicher Belastung und Beanspruchung des Menschen durch die Tatsache des Tragens selbst. Dies ist auf ihr Gewicht, die Behinderung der Bewegung, die Beeinflussung des Mikroklimas und andere spezifische Beeinträchtigungen zurückzuführen. (2). Daher sind an diese Anzüge bestimmte Anforderungen zu stellen, die hauptsächlich die Schutzwirkung (Durchlaßgrad D) und die thermische Behaglichkeit (Wasserdampfdurchlässigkeit WD) betreffen. Wegen der Gleichartigkeit der in entgegengesetzten Richtungen ablaufenden Vorgänge für die Durchlässigkeit einer Textilie gegen Wasserdampf oder z.B. gegen Pflanzenschutzmittel, ist mit der Forderung nach hoher Schutzwirkung zumeist eine entsprechend geringere thermische Behaglichkeit gegeben.

Für spezielle Fälle, die außer dem Körperschutz auch einen Atemschutz für den Anwender verlangen, werden Schutzanzüge mit Kopfhauben eingesetzt. Da die vorgesetzten Filter das Atmen erschweren, kommen mitgeführte elektrische Gebläse zum Einsatz, die den Filterwiderstand überwinden. Inwieweit eine solche Belüftung des Kopfraumes und des Anzuges auch bei starker Sonneneinstrahlung zu einer Verringerung der thermischen Belastung des Trägers führt, sollte hier untersucht werden. Der prinzipielle Aufbau für eine derartige Belüftung ist in Bild 1 dargestellt.

Es wird durch ein mitgeführtes Gebläse Außenluft angesaugt, gefiltert und durch eine Schlauchleitung in den Anzug geleitet, um so eine Kühlung der Hautoberfläche bei gleichzeitiger Abführung von Feuchtigkeit zu bewirken. Der Filterwiderstand wird dabei durch das Gebläse überwunden, so daß leichtes Atmen gewährleistet ist.

Aus dem Bereich des Atemschutzes ist für belüftete Helme bekannt, daß die Gebläse einen Anstieg der Lufttemperatur unter dem Helm bewirken, d.h. daß der angestrebte Effekt nicht nur nicht erreicht, sondern umgekehrt wird. Ziel der Studie war es, festzustellen, ob dieses auch für den belüfteten Schutzanzug gilt und inwieweit die Farbgestaltung der luftführenden Teile bei Sonneneinstrahlung die zusätzliche Temperaturerhöhung beeinflusst.

Der erste Teil der Untersuchung diente der Ermittlung des Zulufttemperaturverhaltens im Bereich der Belüftungshilfsmittel, also von Gebläse und Zuluftschlauch.

Temperatursteigerungen resultieren aus der zugeführten elektrischen Leistung am Gebläse und aus in Form von Sonnenlicht zugeführter Strahlungsenergie am Gebläse und Schlauch.

Der zweite Teil der Untersuchung diente der Ermittlung der Akzeptanz des gesamten Schutzanzuges unter praxisrelevanten Bedingungen durch einen Probanden auf einem Laufbandergometer. Hierbei kam sowohl der Schutzanzug unbelüftet in seiner Grundform als auch mit Haube und Gebläse belüftet bei künstlichem Sonnenlicht zum Einsatz.

Die Versuche wurden in der Klimakammer eines Arbeitsplatzbelastungssimulators (3) durchgeführt.

2 Luft-Temperaturverhalten im Bereich der Belüftungshilfsmittel

In Bild 2 ist der Versuchsaufbau zur Bestimmung der Temperaturdifferenz Δt dargestellt, die sich zwischen Gebläseeinlaß, also der Umgebung, und dem Luftaustritt in die Haube einstellt, wenn das System einer Strahlungsquelle ausgesetzt ist. Bei den Versuchen wurde eine Strahlungintensität I von 1000 W/m^2 gewählt, die dem Wert am 22. Juni um 15 Uhr auf 10° Ost und 52° Nord entspricht. Der Luftdurchsatz betrug 128 l/min bei einer Leistungsaufnahme des Gebläses von $3,3 \text{ W}$.

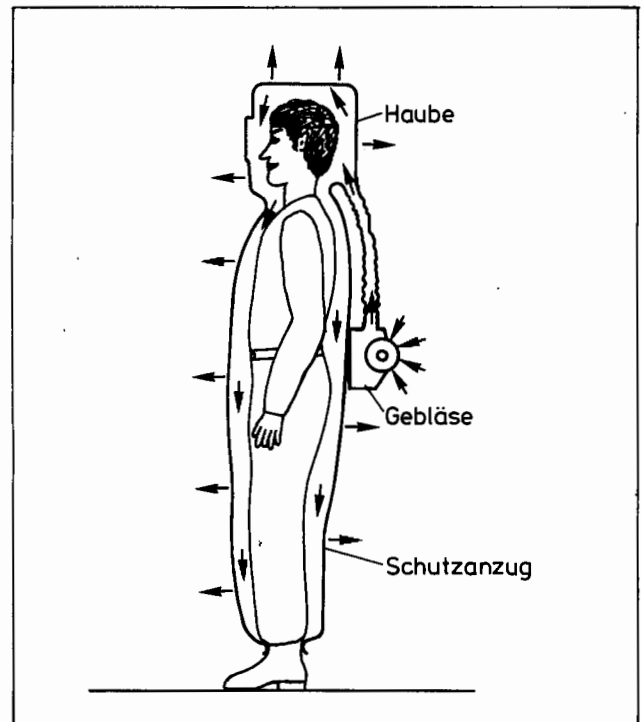


Bild 1: Schutzanzug mit Haube und gebläseunterstützter Filtereinheit.

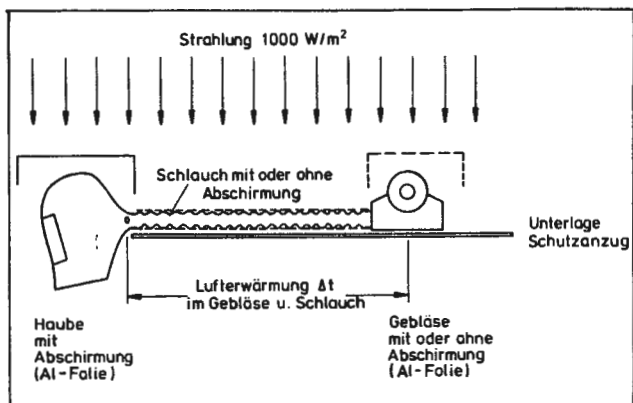


Bild 2: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Lufterwärmung im Gebläse und im Schlauch mit und ohne Bestrahlung.

Durch entsprechende Abdeckungen wurde erreicht, daß die Anteile der Temperaturerhöhung im Schlauch und Gebläse getrennt ermittelt werden konnten. In der handelsüblichen Ausführung besteht der Luftführungsschlauch aus schwarzem Gummi. Die zu erwartende Temperaturerhöhung läßt sich wie folgt abschätzen:

Bei der angenommenen Strahlung von $1\,000\text{ W/m}^2$ ergibt sich bei einer Projektionsfläche des Schlauches von $A = 264\text{ cm}^2$ eine Einstrahlung von $26,4\text{ W}$.

Eine ideale 100%ige Übertragung dieser Leistung auf die durchströmende Luftmenge von 128 l/min , einer spezifischen Wärmekapazität $c_{\text{Luft}} = 1,206\text{ kJ/m}^3\text{K}$ (für $20\text{ }^\circ\text{C}$; $1,013 \cdot 10^5\text{ Pa}$ und 60% r.F.) und $1\text{ Wh} = 3,6\text{ kJ}$ führt somit theoretisch zu einer Temperaturerhöhung des angegebenen Luftstromes um $\Delta t = 10,26\text{ }^\circ\text{C}$.

Da außer der Strahlungsintensität I und der durchgesetzten Luftmenge V die Reflexionseigenschaften der bestrahlten Oberfläche von besonderem Einfluß sind, wurde der Schlauch bei den Versuchen nicht nur im Originalzustand, sondern auch mit weißem Papier bzw. mit hochglänzender Aluminium-Folie umwickelt, eingesetzt.

	ohne Strahlung	Strahlung nur auf Schlauch	Strahlung auf Schlauch und Gebläse
Schlauch Original-schwarz	1,3	9,6	12,5
Schlauch mit weißem Papier umwickelt	1,3	3,2	6,0
Schlauch mit Glanz-Al-Folie umwickelt	1,2	1,5	4,2

Tabelle 1: Lufterwärmung Δt ($^\circ\text{C}$) im Gebläse mit Schlauch bei verschiedenen Abschirmungen mit und ohne Bestrahlung.

Umgebungstemperatur $t_{\text{Raum}} = 21\text{ }^\circ\text{C}$
Luftdurchsatz $\dot{V} = 128\text{ l/min}$.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten Messungen. Es wird unterschieden zwischen der Temperaturerhöhung ohne Bestrahlung, bei Bestrahlung des Schlauches allein und bei Bestrahlung der Gesamteinheit aus Schlauch und Gebläse. Der letztgenannte Fall, der in der Praxis zugrunde gelegt werden muß, ergibt bei der Verwendung des schwarzen Originalschlauches eine Temperaturerhöhung gegenüber der Außenluft von $12,5\text{ }^\circ\text{C}$. Dieser Wert läßt sich durch die Verwendung von hellem oder reflektierendem Schlauchmaterial auf die Hälfte bzw. ein Drittel reduzieren.

Der Einfluß der Strahlung auf das Gebläse in Hinsicht auf die Temperaturerhöhung ergibt sich aus den Daten von Tabelle 1 im Mittel zu $2,8\text{ }^\circ\text{C}$ (Differenz der Werte bei Strahlung auf Schlauch und Gebläse zu den Werten Strahlung nur auf Schlauch). Hieraus wird ersichtlich, daß auch für das Gebläse und natürlich auch für die Filtergehäuse ein reflektierender Farbton verwendet werden sollte.

In weiteren Versuchen wurde der zeitliche Temperaturverlauf ermittelt, der sich ergibt, wenn unter Strahlungseinfluß die Abschirmung vom Belüftungsschlauch entfernt wird. Es zeigt sich, daß nach ca. 5 Minuten der neue stationäre Zustand erreicht ist. Beim Wiederanlagen der Abschirmung ergibt sich die gleiche Zeit von 5 Minuten für die Wiederabkühlung. Das gleiche Verhalten tritt beim Wechsel von Schatten und Sonnenbestrahlung auf.

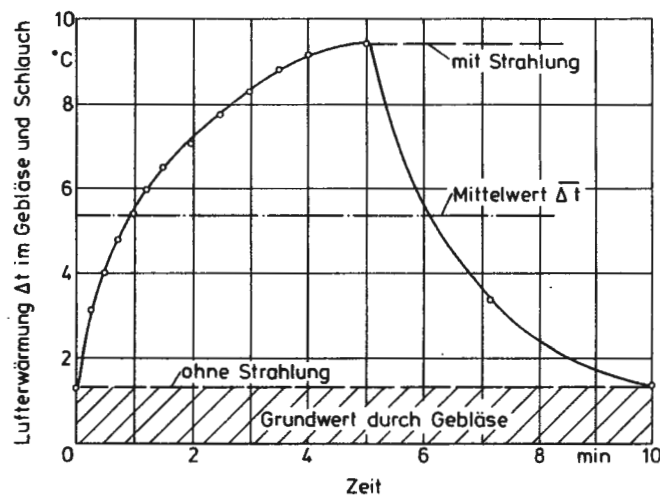


Bild 3: Zeitliche Änderung und Mittelwert der Lufterwärmung in Schlauch und Gebläse beim Wechsel von Bestrahlung und Schatten.

Umgebungstemperatur $t_{\text{Raum}} = 21\text{ }^\circ\text{C}$
Strahlungsintensität $I = 1\,000\text{ W/m}^2$
Durchsatz $V = 128\text{ l/min}$
Gebläse abgeschirmt.

In Bild 3 ist ein solcher Zyklus von 2×5 Minuten dargestellt, wie er beim Einsatz des belüfteten Schutzanzuges im Freiland beim abwechselnden Arbeiten entgegen und mit der Sonne auftreten würde. Bei den gezeigten Ergebnissen war das Gebläse selbst abgeschirmt, so daß bei diesem nur der Grundbetrag der Temperaturerhöhung ($1,3\text{ }^\circ\text{C}$) wirksam wurde. Zu diesem Grundbetrag addiert sich die Temperaturerhöhung durch die Bestrahlung. Bei Zyklen $\geq 2 \times 5$ Minuten ergeben sich damit mittlere Steigerungen der Lufttemperatur von $\sim 5,5\text{ }^\circ\text{C}$.

Bei nicht abgeschirmtem Gebläse ergibt sich dementsprechend bei einem Maximalwert der Temperaturerhöhung von

12,5 °C ein mittlerer Wert für die Steigerung der Lufttemperatur von 6,9 °C.

Für den Anwender ist nun von Interesse, ob und inwieweit ein zwangsbelüfteter Schutzanzug einen größeren Tragekomfort bei Sonneneinstrahlung bietet oder ob die festgestellte Temperaturerhöhung der Zuluft den Kühlungseffekt der strömenden Luft aufhebt. Um diese Frage zu beantworten, wurden Tragetests im Klimasimulationsraum durchgeführt.

3 Tragekomfort des über eine Kopfhaube belüfteten Schutzanzuges und Vergleich mit dem Anzug ohne Haube und Belüftung

Ein geeigneter Schutzanzug gewährt den beim Ausbringen von z.B. hautresorptiven Pflanzenschutzmitteln erforderlichen Körperschutz. Gehen die ausgebrachten Mittel, wie z.B. beim Einsatz in Gewächshäusern, teilweise oder ganz in die Gasphase über, so ist Atemschutz notwendig. Halb- oder Vollmasken mit Filtern erschweren durch den zu überwindenden Widerstand das Atmen. Dieser Widerstand des Filters kann durch ein mitgeführtes Gebläse überwunden werden. Auf diese Weise kann ein Anwender auch beim Einsatz einer Haube nahezu unbeeinträchtigt atmen.

Durch einen geeigneten Übergang von der Haube zum Anzug wird die zugeführte gefilterte Luft in denselben weitergeleitet (Bild 1). Dann entweicht die zugeführte Luft durch den porösen Stoff wieder nach außen, wobei sie neben überschüssiger Wärme auch Feuchtigkeit mitführt. Die Stoffeigenschaften des untersuchten Schutzanzuges aus polyurethan-beschichtetem Filamentgarn sind in Tabelle 2 aufgeführt (4).

Flächengewicht m_A	200 g/m ²
Wasserdampfdurchgangswiderstand R_{et}	$2466 \cdot 10^{-3}$ m ² mbar/W
Wasserdampfdurchlässigkeit WD	0,6 g/m ² mbar
Mittlerer Durchlaßgrad D^*	0,62 %

* Lindan, Wirkstoffgehalt 103 - 226 µg/m³

Tabelle 2: Eigenschaften des textilen Stoffes der untersuchten Schutzanzüge.

In einem Vergleich wurde der Schutzanzug ohne Zubehör einem gleichartigen Anzug mit Haube und Gebläseeinheit durch Trageversuche mit einem Probanden gegenübergestellt. Auf diese Weise konnte die Beeinträchtigung des arbeitenden Menschen durch den jeweiligen Anzug ermittelt werden.

Diese Versuche wurden nach einem einheitlichen System (5), (6) im Arbeitsplatzbelastungssimulator durchgeführt. Der eigentlichen 70minütigen Versuchszeit ist eine Einstimmungszeit aus Arbeit und Ruhephase von 60 Minuten vorgeschaltet.

Während der Hauptversuchszeit geht der Proband mit der Ausrüstung auf einem Laufbandergometer; Bild 4. Dieses entspricht bei einer Geschwindigkeit von 4,5 km/h einer Leistung von 360 W für den Probanden von 92 kg und



Bild 4: Proband mit belüftetem Schutzanzug auf dem Laufbandergometer.

1,82 m Körpergröße. Im vorliegenden Fall wurde er durch Leuchten von vorn angestrahlt, deren Licht dem Spektrum der Sonne entsprach. Die Strahlungsleistung auf seiner Brustebene betrug 420 W/m². Beim Einsatz von Haube und Gebläse waren 2/3 der Luftschlauchlänge der Bestrahlung ausgesetzt.

Während der Versuche wurden vom Probanden das Feuchte- und Wärmeempfinden nach einer Skalierung von 1 bis 8 subjektiv benotet (5). Die Mittelwerte dieser Benotung aus den Parallelversuchen sind in Bild 5 dargestellt. Zusätzlich wurden die Pulsfrequenzen ermittelt.

Beide Anzugausrüstungen liegen trotz konstruktiver Unterschiede in ihren Bewertungen durch den Probanden dicht beieinander. Nach im Mittel 45 Minuten wird bei beiden die Note 6 überschritten, d.h. dann kann nicht mehr zeitlich unbegrenzt weitergearbeitet werden. Sowohl in Hinblick auf die Feuchte, wie auch auf die Wärme, wird die belüftete Haube als etwas angenehmer empfunden als die Arbeit ohne Haube und Belüftung. Dieses ist erklärlich, da 30 bis 50 % des Wärmeaustausches des Menschen über den Kopf erfolgt, d.h. die ständige Luftzufuhr, die als zugfrei bezeichnet wird, verhindert lange das Schwitzen im Gesichtsbereich (7).

Bei den hier nicht aufgeführten Angaben zum thermophysiologischen Tragekomfort, die unabhängig zu den Werten der Empfindungen abgefragt wurden, ergaben sich nur geringe Unterschiede für beide Ausrüstungen. Der mittlere Gewichtsverlust des Probanden betrug pro Versuch bei beiden Anzugausrüstungen annähernd 550 g.

Ein wesentlicher Unterschied ergab sich jedoch bei der Pulsfrequenz des Probanden, die unten im Bild 5 über der

Versuchszeit aufgetragen ist. Für den Schutzanzug ohne Haube stellte sich eine Pulsfrequenz von ca. 53 Schlägen/min ein. Dieser Wert entsprach für den ausgewählten Probanden den Werten aus einer Vielzahl früherer Versuche mit anderen Schutzanzügen (6).

Bei den Versuchen mit Haube und Belüftungsgebläse stieg der Puls jedoch nahezu kontinuierlich mit der Zeit auf Werte zwischen 110 und 120 pro Minute an. Der Proband erklärte diesen unbewußten Anstieg mit einem Gefühl der Beengung oder Angst, die einer Klaustrophobie entsprechen könnte (8).

Für Arbeiten unter einer Stunde könnte dieser Anzug, der nahezu einen Vollschutz bietet, von Anwendern unter den aufgeführten Klimabedingungen akzeptiert werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der untersuchte Schutzanzug aus polyurethanbeschichteten Filamentgarnen bietet außer einer hohen mechanischen Festigkeit in bezug auf Reißen und Scheuern einen sehr geringen Durchlaßgrad D gegenüber Stoffen in Aerosolform (siehe Tab. 2) und bietet daher ein hohes Maß an Körperschutz.

Der Wasserdampfdurchgangswiderstand R_{et} liegt mit $2\,466 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ mbar/W}$ sehr hoch. Dieses läßt nur einen geringen thermophysiologicalen Tragekomfort erwarten.

Wird beim Einsatz ein Atemschutzfilter erforderlich, bewirken Maske oder Halbmaske wegen des hohen Filterwiderstandes eine zusätzliche Belastung des Anwenders. Setzt man zur Überwindung dieses Widerstandes ein Gebläse ein, so wird nicht nur das Atmen erleichtert, sondern es wird auch mit der gefilterten Reinaluft bei der Wiederableitung nach außen Feuchtigkeit und Wärme abgeführt. Durch den Überdruck im Anzug wird ein Eindringen unerwünschter Stoffe durch den Anzug selbst verhindert.

Die vorliegenden Untersuchungen unter Sonneneinstrahlung haben ergeben, daß die Vollschutzausrüstung mit Haube und Gebläse trotz zusätzlicher Erwärmung der Atemluft mindestens genau so empfunden wird, wie der Schutzanzug ohne Haube und Gebläse. Hierbei ist in allen Fällen die Einsatzdauer auf ca. 45 Minuten begrenzt.

Würden die Poren des Gewebes etwas weiter ausgelegt, so könnte bei entsprechender Leistungssteigerung des Gebläses bei gleichem Überdruck im Anzug mehr Feuchte und Wärme abgeführt werden. Daraus könnte sich eine mögliche längere Arbeitszeit ergeben. Die sich dabei verringernde Standzeit des Akkumulators könnte wohl in Kauf genommen werden, da eine reine Arbeitszeit von 8 Stunden in einem solchen Schutzanzug wohl nur selten gefordert wird.

Schwieriger ist die Frage der ansteigenden Pulsfrequenz und ihrer Ursachen zu beantworten. In dieser Richtung sollten weitere Versuche unternommen werden, bei denen auch Klimawerte unter dem Anzug bzw. auf der Haut gemessen werden. Ebenso bleiben Phobien o.ä. zu berücksichtigen, die vielleicht als die Ursache der Pulsfrequenzsteigerung anzusehen sind.

Wearing comfort of a ventilated protective suit

Risks to farmers health of welfare can arise because some of agro-chemicals are hazardous or harmful. In this connection especially pesticides must be mentioned. It is necessary to limit or exclude a possible risk by preventive means concerning respiratory and dermal protection. An optimal protection for example is given by air-conditioned cabs. But often the use of a cab is not possible. In these cases men must use personal worn protective equipment like respiratory face-shields, gloves or coveralls. The necessity of single components of protective equipment derives from the amount and the duration of exposure and the toxicity of agents. While pesticide application, especially if respiratory exposure must be considered like spraying in greenhouses, fully encapsulated suits afford good assumption for personal protection as long as thermal comfort is ensured. These one-piece fully encapsulated suits will be equipped with filtering air-supply.

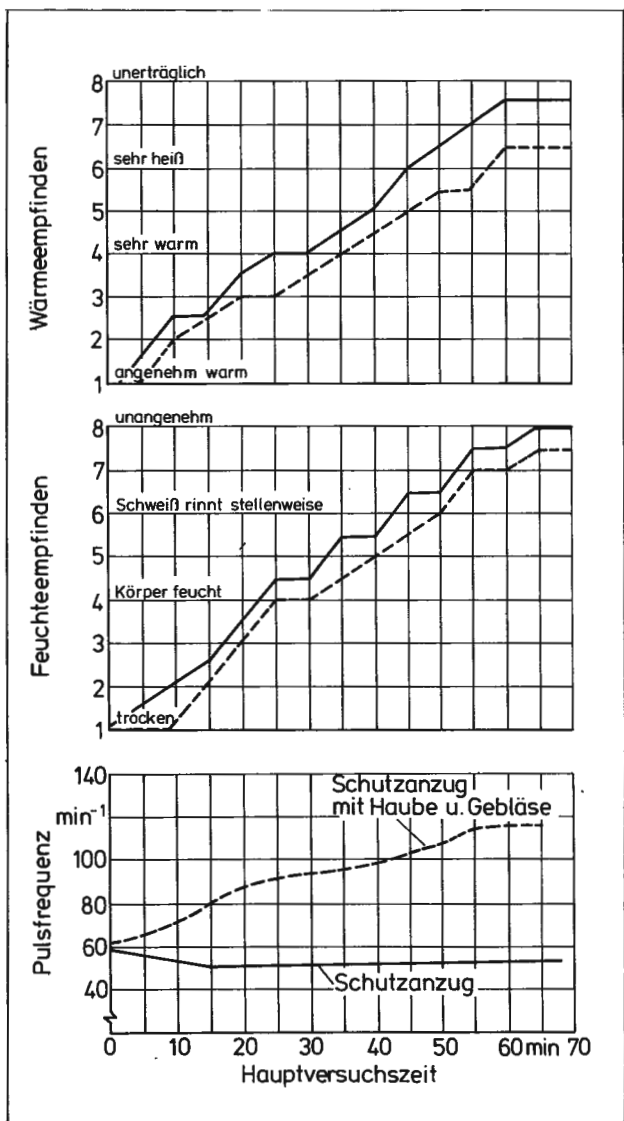


Bild 5: Pulsfrequenz, Feuchte- und Wärmeempfinden des Probanden bei mehreren Versuchen mit dem Schutzanzug allein und dem Schutzanzug in Verbindung mit einer Haube und Gebläse dargestellt über der Versuchszeit bei einer Raumtemperatur von 20 °C, 50 % relativer Feuchte und künstlicher Sonnenbestrahlung.

In field conditions components of air-supply and air flow will be heated by exposure to sunlight. In an air conditioned test chamber this influence to acceptance of clothing was tested by probationers and compared with a normal non ventilated coverall.

Literatur

(1) Verordnung über gefährliche Stoffe (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26.08.1986.

(2) Hettinger, Th., Eissing, G., Hertting, R. und Steinhaus, I.: Belastung und Beanspruchung durch das Tragen persönlicher Schutzausrüstungen. – Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschungsbericht Nr. 392, Band 1. ISBN 3-88 314-369-3.

(3) Graef, M., Jahns, G., Janssen, J., Mejer, G.-J., Möller, R., Speckmann, H. und Witte, E.: Arbeitsplatzbelastungssimulator. – Institutsbericht HdA 78/1 aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung, 1978.

(4) Batel, W.: Ermittlung der Exposition beim Umgang mit Pflanzenschutzmitteln, sich daraus ableitende personengetragene Schutzeinrichtungen und Versuche zu ihrer Eignung. – Grundl. Landtechnik Bd. 37, Nr. 1, S. 1-11 (1987).

(5) Umbach, K.H.: Bekleidungsphysiologische und technologische Aspekte von wasserabweisenden, jedoch gleichzeitig wasserdampfdurchlässigen Textilkonstruktionen. – Schlußbericht Aif-Nr. 5296, Bekleidungsphysiologisches Institut e.V., 7124 Bönnigheim, Schloß Hohenstein (1983).

(6) Jahns, G., Möller, R. und Pardylla, F.: Untersuchung des physiologischen Tragekomforts verschiedener Schutzanzüge für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln. – Institutsbericht Ja 1/87 des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung, 1987.

(7) Ziegenfuß, B.: Forschungen zur Weiterentwicklung von Schutzhelmen – Verbesserung des Kleinklimas im Schutzhelminnenraum. – Vortrag auf dem 3. Internationalen Kolloquium über persönliche Schutzausrüstungen, Palma de Mallorca, 10. bis 12. Juni 1986.

(8) Garland, C.E., Goldstein, I.E. und Cary, C.: Testing Fully Encapsulated Chemical Suits in a Simulated Work Environment. Performance of Protective Clothing. – In: ASTM STP 900, Barker, R.I. und Coletta, G.C. (Hrsg.), American Society for Testing and Materials, S. 276-285. Philadelphia 1986.

Verfasser: Hinz, Torsten, Dipl.-Ing.; Möller, Rudolf, Dipl.-Ing.; Pardylla, Ferdinand, Dipl.-Ing., Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), kommissarischer Institutsleiter: Prof. Dr. agr. H. Schön.