

Ermittlung von Kriterien zur Beurteilung und Test von Schutzmaßnahmen im Pflanzenschutz

TORSTEN HINZ

Institut für Biosystemtechnik

1. Einleitung

Der chemische Pflanzenschutz beinhaltet für die Umwelt und den Anwender ein gewisses Risikopotential. Zur Abschätzung einer möglichen Gesundheitsgefährdung des Anwenders, gilt es zuerst, die Belastungsgröße in Abhängigkeit von den relevanten Parametern der Arbeit und der Mittel zu bestimmen. Aus der Exposition, aufgegliedert in die Höhe der Exposition und die Expositionsdauer, sowie mit entsprechenden relevanten toxikologischen Kenndaten läßt sich das Risiko abschätzen. Aus dieser Abschätzung können sich dann Notwendigkeiten zum Handeln ergeben. Diese können darin bestehen, daß die Exposition gesenkt wird, oder aber, daß der Anwender durch entsprechende Maßnahmen geschützt wird. Weitere Möglichkeiten sind die Senkung der Toxizität im Sinne der Entwicklung mindergiftiger Wirkstoffe sowie der teilweise Verzicht auf chemische Wirkstoffe und ersatzweise biologischem Anbau.

2. Risikoanalyse

Die Belastungen von Arbeitsplatz und Umwelt durch das Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln werden durch die entsprechende Kausalkette aufgezeigt, Bild 1.

Ob der Arbeitsplatz oder die Umwelt betrachtet werden, ist lediglich eine Wahl der Systemgrenze. Ausgehend von einer Quelle, meist der Applikation, werden die Pflanzenschutzmittel auf der Transmissionsstrecke im atmosphärischen Wind getragen, bis sie zu einem Akzeptor gelangen und dort entsprechend wirken. Ist der Akzeptor der Mensch, so sind für die Wirkung im wesentlichen die dermale und die respiratorische Route zu unterscheiden; auf die orale Route wird hier nicht weiter eingegangen [1].

Einer Risikoanalyse bzw. dem Risikomanagement liegt folgende Grundgleichung für das Risiko R_i zugrunde:

$$R_i = \frac{\beta_{resp}}{T_1 S} + \frac{\beta_{derm}}{T_2 S} \quad (1).$$

Zur Abschätzung des Risikos werden die dermale β_{derm} und respiratorische Exposition β_{resp} auf entsprechende relevante toxikologische Daten T_1, T_2 bezogen, die noch mit einem Sicherheitsfaktor S verknüpft sind. Als Grenzbedingung ist $R_i < 1$ einzuhalten [2].

Bild 1: Wirkungskette bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln

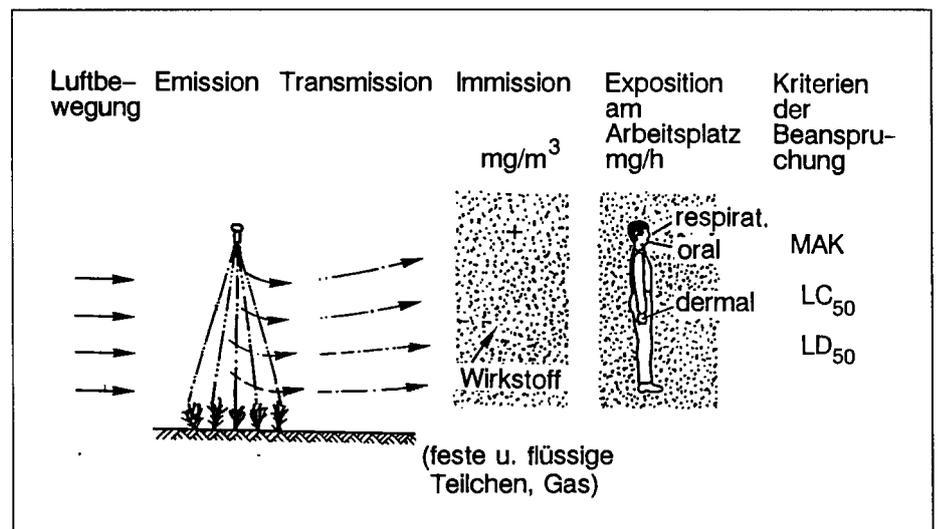


Bild 2: Für das Anwenderrisiko relevante toxikologische Begriffe

Toxizität	Aufnahmefolge des Stoffes	Zeitdauer der Aufnahme	Aufnahme- oder Applikationswege	Kriterien
akute	einmalig	kurzzeitig		
subakute		28 Tage		
chronische	wiederholt	> 6 Monate	respiratorisch	- letale Konzentration LC
subchronische		90 Tage	dermal	- letale Dosis LD
cancerogene		> z. B. 2 Jahre	oral	- no-observ. effect level NOEL
mutagene	wiederholt - auch einmalig	z. B. mehrere Generationen		- acceptable daily intake ADI
teratogene				- maximale Arbeitsplatzkonzentration MAK-Wert
allergene	unterschiedlich	unterschiedlich		

2.1 Toxikologische Daten

Die möglichen, als Bezugsgröße heranzuziehenden toxikologischen Daten sind die letale Konzentration LC oder die letale Dosis LD, der NOEL (no observable effect level) sowie der ADI (acceptable daily intake). Auch besteht die Möglichkeit, MAK-Werte zur Abschätzung heranzuziehen, Bild 2.

2.2 Exposition

Einer der wesentlichsten Schritte bei der Risikoanalyse ist

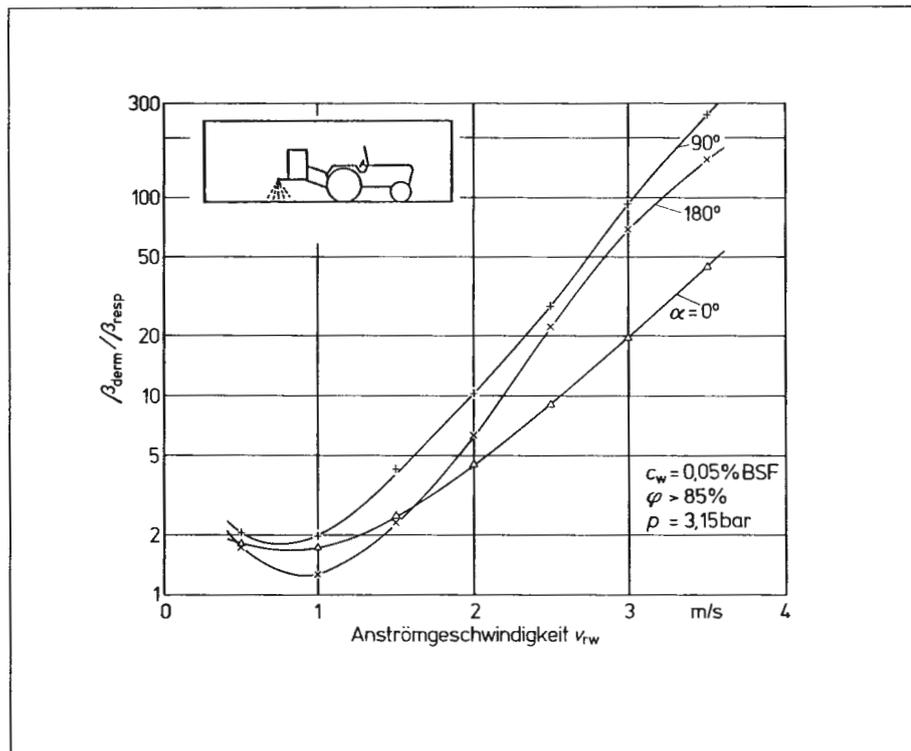
die Bestimmung der Exposition. Durch Feldmessungen oder aber auch durch Messungen kausaler Zusammenhänge in Modellstudien, d.h. in Windkanälen oder anderen Versuchseinrichtungen, können die entsprechenden Expositionswerte ermittelt werden. Ihre Größenordnung ist im Bild 3 dargestellt [1], wobei die Werte sowohl aus eigenen Untersuchungen wie auch aus dem Schrifttum entnommen sind.

Die Bereiche liegen im Mittel zwischen 0,015 mg/h für die Respiration beim Spritzen und 100 mg/h für die dermale Belastung beim Sprühen. Ein wichtiges Ergebnis ist das Verhältnis von dermaler zur respiratorischer Exposition, das in der letzten Spalte dieses Bildes aufgeführt ist. Es ergeben sich Werte im Bereich von 13,3 und 250.

Bild 3: **Dermale und respiratorische Exposition in Abhängigkeit von der Applikationsart**

Applikationsart	Gemessene Exposition (Mittelwert u. Bereich) in mg/h		Mittelwerte	
	respiratorisch	dermal	dermal	dermal/resp.
Spritzen im Gewächshaus	0,09 (0,015–0,45)	1,2 (0,2–6)	1,2	13,3
Spritzen im Feldbau	0,015 (0,004–0,08)	1 (0,2–4)	1	66,7
Sprühen im Feldbau	0,08 (0,02–0,4)	20 (5–100)	20	250

Bild 4: **Verhältnis dermaler und respiratorischer Exposition in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit und Richtung**



Die Dominanz der dermalen Exposition zeigt nochmals das Bild 4, in dem der Quotient aus dermaler und respiratorischer Exposition als Funktion der Windgeschwindigkeit und Anströmrichtung aufgetragen ist [3].

3. Anforderungen an Schutzmaßnahmen

Werden diese Ergebnisse der Expositionsmessungen ins Verhältnis zu den entsprechenden toxikologischen Daten (LD_{50}, LC_{50}) gebracht, so lassen sich die Notwendigkeit zum Einsatz und entsprechend resultierende Anforderungen an Schutzmaßnahmen formulieren und ableiten. Die Schutzwirkung wird dabei über das Verhältnis der Massenströme durch \dot{m}_D und gegen die Schutzeinrichtung \dot{m}_E beschrieben. Die entsprechende relative Größe wird als Durchlaßgrad D bezeichnet:

$$D = \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_E} \quad (2).$$

Die Schutzwirkung ist umso besser, je niedriger der Wert für den Durchlaßgrad liegt.

Im Bild 5 sind die entsprechenden Kriterien, die an personenge tragene Schutzmaßnahmen zu stellen sind, eingetragen. Es sind die Durchlässigkeit, die mechanische Festigkeit und die thermische Behaglichkeit oder Akzeptanz. Hinzu kommt noch die Akzeptanz im Hinblick auf Konfektion, Gestaltung und Preis.

Des weiteren sind in Bild 5 die entsprechenden Meßgrößen und die festgelegten Grenzwerte [4] dafür eingetragen. So ist z.B. für Schutzanzüge ein maximal zu-

lässiger Durchlaßgrad von 5 % gefordert bei einem maximalen Wasserdampfdurchgangswiderstand $R_{et} = 200 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ mbar/W}$.

3.1 Durchlaßgrad

Die Forderung nach maximal zulässigen Durchlaßgraden ergibt sich aus den Expositionsdaten und den toxikologischen Daten, Bild 6.

Abhängig von der Ausbringungs- oder Handhabungsart liegen die Anforderungen beim Körperschutz für Mittel mit geringer Toxizität, d.h. hohen LD₅₀-Werten, zwischen 10 und 50 % zulässigem Durchlaßgrad. Bei Mitteln höherer Toxizität - LD₅₀ < 50 mg/kg - sind nur noch maximale Durchlaßgrade von 10 bzw. 5 % zulässig. Diese Grenze von 5 % ist als maximal zulässiger Durchlaßgrad zum Schutz des Anwenders festgeschrieben worden.

Bild 5: Beurteilungskriterien von Schutzmaßnahmen

Kriterium	Meßgröße	Grenzwert (Schutzanzüge)
Durchlässigkeit	Durchlaßgrad	5 %
Festigkeit	Höchstzugkraft Weiterreißkraft	längs 600 N / quer 400 N 25 N
Akzeptanz	Wasserdampfdurchgangswiderstand	$200 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2 \text{ mbar}}{\text{W}}$
Akzeptanz	in Konfektion, Gestaltung (Design) und Preis	

Bild 6: Anforderungen an Schutzmaßnahmen

Ausbringungs-, Handhabungs- art	maximaler Durchlaßgrad in %								
	Handschutz bei LD50 derm. [mg/kg]			Körperschutz bei LD50 derm. [mg/kg]			Atemschutz bei LC50 [mg/l] 4 h		
	400-4000	50-400	< 50	400-4000	50-400	< 50	0,5-5	0,1-0,5	< 0,1
	30	20	10	50	25	10	-	-	30
	10	5	5	10	5	5	-	20	5
	20	10	5	20	10	5	30	20	5
	10	5	5	20	10	5	-	20	10

3.2 Akzeptanz

Das zweite wesentliche Kriterium zur Beurteilung von z.B. Schutzkleidung ist das der Akzeptanz. In Bild 7 ist der subjektiv bewertete Tragekomfort als Funktion des Wasserdampfdurchgangswiderstandes dargestellt [5].

Bei Werten oberhalb $200 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ mbar/W}$ werden Textilien zunehmend als unbefriedigend beurteilt. Eben dieser Wert ist als Grenzwert für den Standardschutzanzug gewählt.

4. Test von Schutzeinrichtungen

Nachdem entsprechende Anforderungen formuliert sind, die ihren Niederschlag in den gültigen Richtlinien gefunden haben [4], ist es notwendig, Schutzeinrichtungen darauf hin zu überprüfen, ob sie die gesetzten Grenzen auch einhalten. Dies insbesondere, da inzwischen bei geprüften Schutzanzügen und Handschuhen das GS-Zeichen verliehen werden kann.

4.1 Durchlaßgrad

Zum Zweck der Prüfung ist es notwendig, eine entsprechende Meßapparatur zu entwickeln, mit der sich der Durchlaßgrad von Textilien für Schutzanzüge, die im Pflanzenschutz eingesetzt werden sollen, messen läßt. Es wird hierbei vorausgesetzt, daß der Schutz im wesentlichen durch die Barriere der Textilie bewirkt wird. Die aus dem Bereich der Chemieanzüge bekannten Testmethoden sind hier aufgrund der unterschiedlichen Expositionssituation nicht einsetzbar. Bild 8 zeigt schematisch die entsprechende Prüfeinrichtung [2, 4].

Mit einer mikroprozessorgesteuerten Spritze wird eine entsprechende Pflanzenschutzmenge in einen Zylinder eingespritzt. Am Boden des Zylinders befindet sich die Textilprobe, unter der sich zum Aufnehmen des durchgegangenen Wirkstoffs eine Adsorptionsschicht, z.B. in Form von Alphazellulosefiltern, befindet. Es wird nach dem Sprühen die Menge ermittelt, die sich auf der Probe befindet, bzw. die durch die Probe hindurchgegangen ist. Hieraus läßt sich der Durchlaßgrad berechnen. Die bisher für einige Textilproben ermittelten Durchlaßgrade sind zumeist unterhalb der geforderten Grenze von 5 %, häufig unter 1 %, wenn auch Werte von bis zu 40 % Durchlaß ermittelt wurden.

4.2 Akzeptanz

Aber nun ist zu fragen, wie es mit der thermischen Behaglichkeit und

Bild 7: **Subjektive Beurteilung des Tragekomforts von Schutzkleidungen als Funktion des Wasserdampfdurchgangswiderstandes**

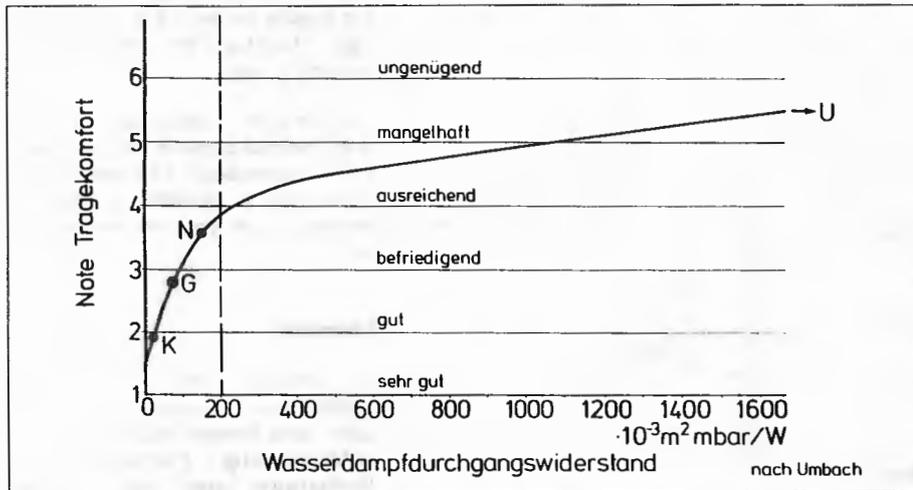


Bild 8: **Testeinrichtung zur Bestimmung des Durchlaßgrades von Textilien (Schutzanzüge im Pflanzenschutz)**

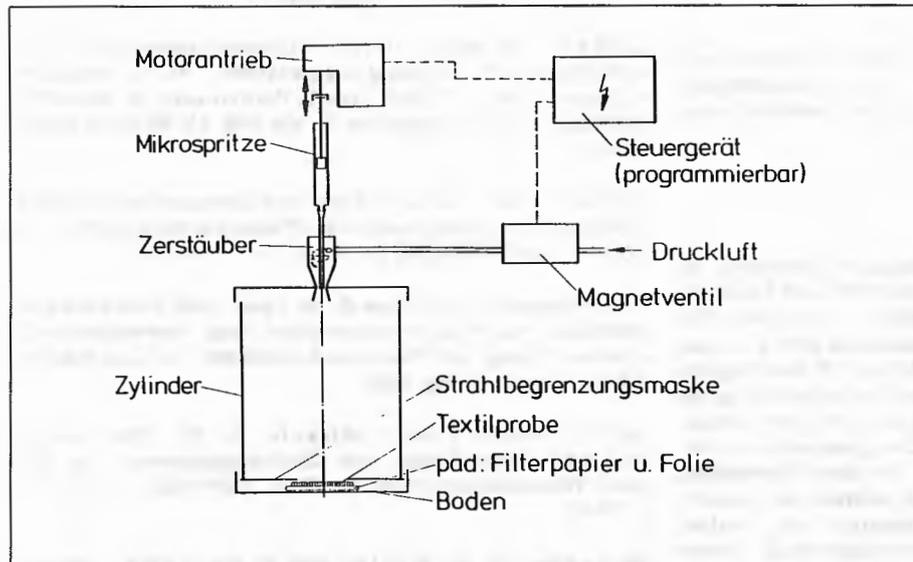
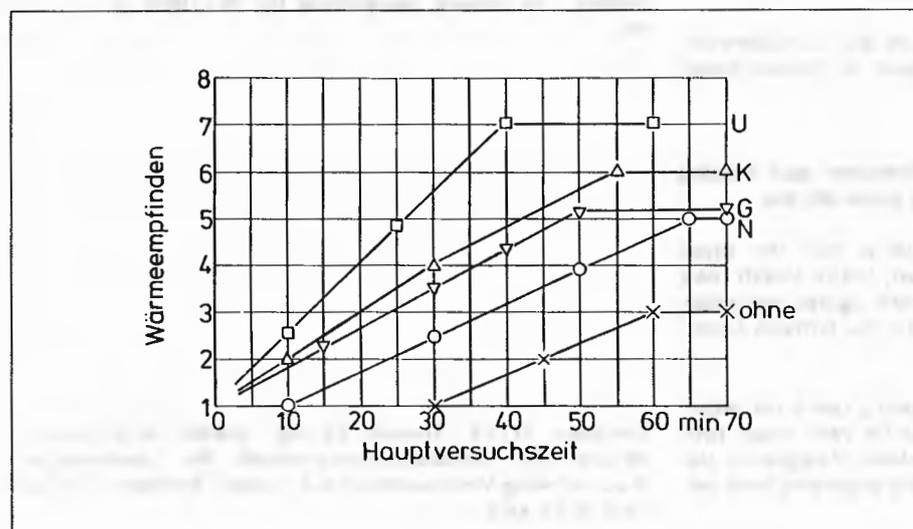


Bild 9: **Subjektives Tragekomfortempfinden (Wärme)**



der Akzeptanz steht? Die Akzeptanz wurde mit Probanden ermittelt, d.h. zur Beurteilung der Akzeptanz wurden Probanden mit entsprechenden Schutzanzügen auf einem Laufbandergometer belastet. Sie wurden in Zeitabständen von 15 Minuten nach ihrem subjektiven Wärme- und Feuchtigkeitsempfinden beim Tragen der einzelnen Anzüge befragt [6].

Der Gesamtzyklus dauerte ca. 1 1/2 Stunden. Die Ergebnisse sind im Bild 9 dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, daß hier für die verschiedenen Anzüge U-N bezüglich des Wärmeempfindens und des Tragekomforts entscheidende Unterschiede in der Akzeptanz und damit für die praktische Anwendung dieser Schutzanzüge bestehen.

Der Anzug U hat die beste Schutzwirkung, findet sich hier aber wieder mit der schlechtesten thermischen Akzeptanz, d.h. hier wird eine gute Schutzwirkung mit einer unzulässig hohen thermischen Belastung und einer daraus resultierenden möglichen Kreislaufbelastung erkauft.

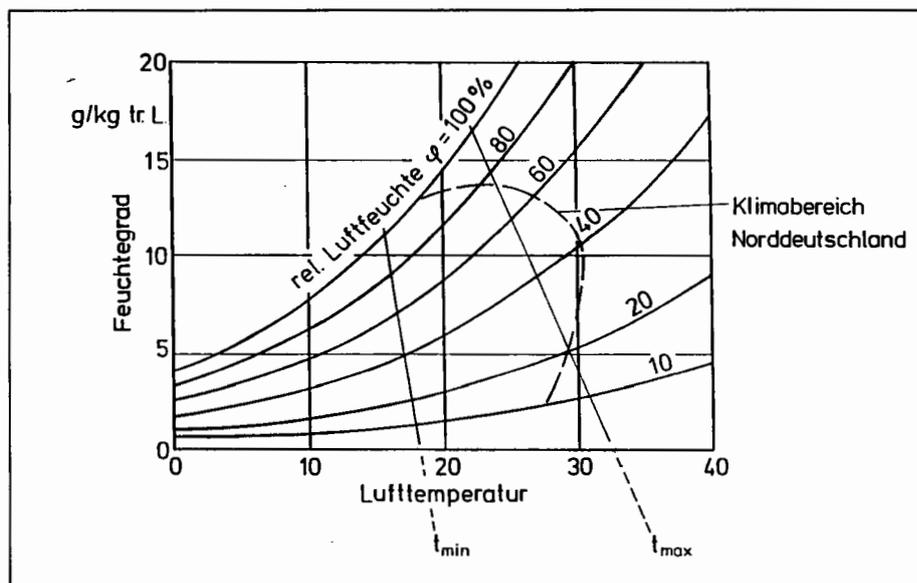
Neuere Textilien (G), wie sie in der letzten Zeit immer mehr auf den Markt kommen, bieten aber schon ausreichenden Schutz bei guter thermischer Akzeptanz.

4.3 Prognose

Subjektive Fragetests sind sehr aufwendig. Es wird daher versucht, ein Rechenmodell zu entwickeln, das es erlaubt, die Anwendbarkeit von Schutzanzügen für bestimmte Arbeitsbedingungen vorauszusagen. Grundbedingung für dieses Prognosemodell ist, daß sich das subjektive Wärmeempfinden bzw. der Tragekomfort auf physikalische Größen der Textilie zurückführen läßt. Daß dies möglich ist, zeigte Bild 7, in dem die Komfortbeurteilung über dem Wasserdampfdurchgangswiderstand aufgetragen ist. Während die Anzüge K und N unterhalb des Grenzwertes liegen und akzeptable Benotungen erhielten, ist der Anzug U mit einem Wert von $R_{et} = 2466 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ mbar/W}$ weit außerhalb dieses Bereiches.

Das im Institut für Biosystemtechnik entwickelte Prognosemodell ermöglicht es, unter Einsatz der Klima-, Stoff- und Arbeitsdaten einen bestimmten Arbeitsbereich festzulegen. Ein Ergebnis einer solchen

Bild 10: Verwendungsbereich eines Schutzanzuges t_{\min} , t_{\max}



Prognoserechnung zeigt das Bild 10. Als Ergebnisgrößen sind die untere Temperatur t_{\min} und die obere t_{\max} eingetragen, bis zu denen ein bestimmter Anzug getragen werden kann, ohne daß es dem Träger unbehaglich wird.

5. Zusammenfassung

Zum Schutz des Anwenders von Pflanzenschutzmitteln ist es zuerst notwendig, die Exposition nach Höhe und Dauer zu kennen, um eine Risikoanalyse durchführen zu können. Hinzugezogen werden müssen relevante toxikologische Kenndaten der Wirkstoffe. Hieraus leitet sich die evtl. Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen ab bzw. läßt sich die Anforderung an eine einzelne Schutzkomponente ableiten. Für den Gültigkeitsbereich des Deutschen Pflanzenschutzgesetzes sind entsprechende Grenzwerte vorgesehen. Zu deren Einhaltung sind bestimmte Prüfmethode entwickelt worden und einsatzbereit, wobei als Kriterien für Schutzanzüge oder andere Schutzkomponenten zum einen der Durchlaßgrad als Schutz gegen die Wirkstoffe und zum anderen die thermische Behaglichkeit bzw. die Akzeptanz im Hinblick auf eine thermische Belastung des Trägers solcher Anzüge zählen.

Erste Versuchsergebnisse zeigen, daß es durch die Entwicklung spezieller Textilien durchaus möglich ist, beiden Kriterien gerecht zu werden.

Evaluation of criteria for the performance and testing of personal protective equipment at pesticide use

Although exposure measurements show that the stress caused by plant-protective agents is mostly below health risky values and although world-wide less toxic agents are under development, there still remains a risk for the farmer's health and welfare.

One possibility to minimize this remaining risk is the wearing of protective clothing. Requirements for each single protective element can be defined from the level of exposure, the toxicological data of agents and the legally stipulated limit values.

In Germany, for user's security protective overalls which meet the a. m. requirements are marked with the legally protected so-called GS-sign. Therefore, the overalls have to stand a test.

Criteria for testing are penetration, thermal comfort and mechanical characteristics. First test results show that it is possible to develop textiles which keep within the limits.

Literatur

[1] Batel, W.; T. Hinz: Gefährliche Emissionen in der Land- und Forstwirtschaft. - In: Berichtsammlung Fachtagung der Fachgruppe Land- und Forstwirtschaft des Arbeitskreises Sicherheitstechnik, Krems 9. u. 10.9.1986.

[2] Batel, W. und T. Hinz: Exposure measurements concerning protective clothing in agriculture. - In: S.Z. Mansdorf, R. Sager & A.P. Nielsen (eds.), Performance of protective clothing, second symposium, p. 584-596. ASTM, Philadelphia 1988.

[3] Batel, W.: Zur inhalativen und dermalen Anwenderexposition beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln. - In: Grndl. Landtechnik Bd. 35 (1985) No. 3, S. 65-70.

[4] Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Abteilung für Pflanzenschutzmittel und Anwenderschutz: Kennzeichnung von Pflanzenschutzmitteln - In: Gesundheitsschutz, Braunschweig 1988.

[5] Mecheels, J. und Umbach, K.-H.: Thermophysiologische Eigenschaften von Kleidungssystemen. - In: Meliand Textilberichte (1976) Nr. 12, S. 1029-1032, (1977) Nr. 1, S. 75-81.

[6] Jahns, G.; R. Möller und F. Pardylla: Untersuchungen zum thermo-physiologischen Tragekomfort von Schutzanzügen für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln. - In: Grndl. Landtechnik Bd. 39 (1989) Nr. 2, S. 29-36.

Verfasser: Hinz, Torsten, Dr.-Ing., Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Professor Dr.-Ing. Axel Munack.