

| | | |
|-----------------------|-----------------|---|
| β_{derm} | $\mu\text{g/h}$ | stündliche dermale Exposition |
| β_{resp} | $\mu\text{g/h}$ | stündliche inhalative Exposition |
| ϵ | | Anteil des Wirkstoffs in partikelförmigem Zustand oder in einem partikelförmigen Träger am Gesamtgehalt |
| η_{derm} | | Auftreffgrad |
| η_{resp} | | Inhalationsfaktor, Respirationsfaktor |
| σ | | Stoffübergangsfaktor, Absorptionskoeffizient |
| ρ | kg/m^3 | Dichte |

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] • Lee, R.E. jr. (Hrsg.): Air pollution from pesticides and agricultural processes. (264 Seiten, 12 Verfasser, 995 Schrifttumshinweise). Boca Raton, Florida: CRC Press INC, 1976.
- [2] Batel, W.: Belastung des Arbeitsplatzes durch Wirkstoffe beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln. *Grundl. Landtechnik* Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 94/108.
- [3] Batel, W.: Belastung des Arbeitsplatzes beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln durch Spritzen und Sprühen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 113/24.
- [4] Batel, W.: Schutzwirkung der Fahrerkabine beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln. *Grundl. Landtechnik* Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 1/5.
- [5] DFG: Verschiedene Mitteilungen der Kommission für Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungs- und Vorratsschutzmittel. Sekretariat der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Bonn-Bad Godesberg, Kennedyallee 40.
- [6] Ellwardt, P.-Chr.: Messen der Konzentration von Pflanzenbehandlungsmitteln in der Atemluft. *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft 52, 1980, S. 100/108.
- [7] Schmidt, P. u. P. Walzel: Zerstäuben von Flüssigkeiten. *Chem.-Ing.-Techn.* Bd. 52 (1980) Nr. 4, S. 304/11.
- [8] • Lüders, W.: Pflanzenschutzmaschinen und deren Einsatz. Stand 1979. Bezugsquelle: Landesanstalt für Pflanzenschutz Stuttgart.
- [9] Batel, W.: Zur inhalativen und dermalen Exposition bei Arbeiten zum Pflanzenschutz. *Staub-Reinhalt. Luft* Bd. 44 (1984) Nr. 4, S. 192/95.
- [10] Batel, W.: Zur inhalativen und dermalen Anwenderexposition bei Arbeiten zum Pflanzenschutz. *Grundl. Landtechnik* Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 77/81.
- [11] • DFG: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen 1983. Mitt. XVI der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Boppard: Verlag H. Boldt 1983.
- [12] Miller, M.L., A.W. Eissler u. J.W. Ackley: Tractor operator enclosure environment during pesticide application operations. ASAE-Paper No. 79-1009.
- [13] WHO: Principles and methods for evaluating the toxicity of chemicals. WHO Genf 1978.
- [14] • Klimmer, O.R.: Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel. Hattingen: Verlag Hundt 1971.

Ausbreitung von Wirkstoffen nach einer Quelle

Von Karl-Heinz Krause, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 632.934.1:331.43

Die beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln freigesetzten luftfremden Stoffe gelangen an den Arbeitsplatz aufgrund verschiedener sich überlagernder Luftströmungen: dominant ist das äußere turbulente Windfeld, das allerdings in Nähe der Arbeitsmaschinen durch Wirbelbildungen an Abrißkanten und durch das Motorkühlgebläse Veränderungen erfährt. Stromlinienaufnahmen an Modellen weisen auf die kritischen Umströmungsbereiche in der Kombination von Spritz- bzw. Sprühgerät und Antriebsaggregat hin; in den leeseitigen Wirbelgebieten kann es zu lokalen Konzentrationsanreicherungen kommen. Im Motorbereich kann das Verdampfen der Pflanzenbehandlungsmittel zu einer zusätzlichen Belastung führen.

1. Einleitung

Beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln gelangen — handhabungs- und systembedingt — Wirkstoffe an den Arbeitsplatz. Zumindest die letztgenannte Ursache für Arbeitsplatzbelastungen unterliegt einer physikalischen Kausalkette. Ihre Einzelglieder können allerdings nicht in allen Nuancen angegeben werden, dazu ist die Verknüpfung der Luftströmungsfelder und solcher der Wirkstoffkonzentrationen zu komplex. Eine Problemlösung auf rein analytischem Wege scheidet wegen fehlender allgemeiner Lösungen aus, so daß als methodische Hilfsmittel Experimente in der Natur und Modelluntersuchungen im Windkanal heranzuziehen sind. Sie führen zur Angabe praktikabler Empfehlungen [1], denn einige Wesensmerkmale lassen sich herauskehren: sie betreffen die durch Transport und Umwandlung bedingte Ausbreitung von Wirkstoffen nach einer Quelle.

Dazu wird vorab die allgemeine Strömungssituation ohne die Ausbringungsmechanismen dargelegt, sozusagen das Strömungsfeld. Dieses wird durch die Spritz- und Sprühvorgänge unterschiedlich beeinflusst und führt aus der Sicht der Ausbreitung luftfremder Stoffe auch zu unterschiedlichen Transmissionsströmen. Vor diesem Hintergrund ist die Auslegung und Bewertung von Meßergebnissen zur Arbeitsplatzbelastung zu sehen. Gemessene Wirkstoff-

*) Dr.-Ing. K.-H. Krause ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

konzentrationen bei definierten Ausbreitungssituationen – sprich: bei bestimmten Parameterkombinationen – machen Zusammenhänge zwischen den Konzentrationen und den relativen Windgrößen deutlich. Daraus ergeben sich durch entsprechendes "Rückwärtslesen" Möglichkeiten, Arbeitsplatzbelastungen der hier untersuchten Art gegebenenfalls zu mindern oder gar zu vermeiden.

2. Zur allgemeinen Ausbreitungssituation

Unter der Abstraktion "Quelle" wird gemeinhin der Übergangsort luftfremder Stoffe in die offene Atmosphäre verstanden. Der Übergang selbst wird als Emission bezeichnet [2]. In der konkreten Ausbreitungssituation beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln werden unter dem Quellungsbegriff Spritz- und Sprühgeräte subsummiert. In Verbindung mit einem Schlepper oder Unimog als Antriebs- und Transportaggregat ist diese Gerätekombination einschließlich des Fahrerplatzes während des Spritz- oder Sprühvorganges unterschiedlichen Transmissionsströmen ausgesetzt, **Bild 1**.

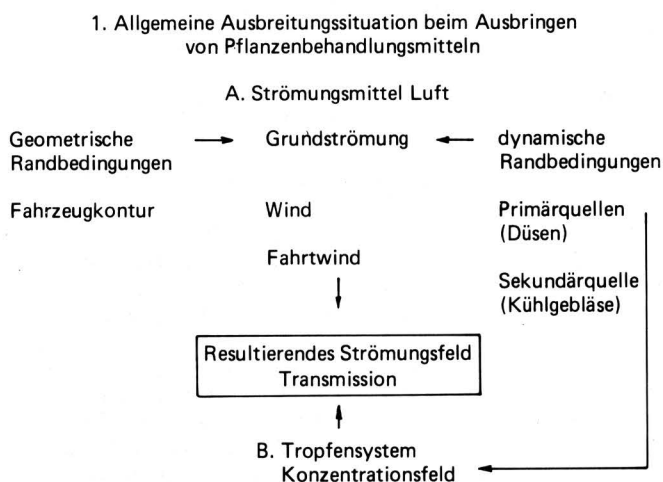


Bild 1. Strömungsgeschehen beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln.

Die Transmissionsströme sind vornehmlich durch den relativen Wind geprägt und damit auch durch die natürlichen Windturbulenzen. Hinzu kommen noch Störungen der ohnehin schon asymmetrischen Anströmung durch Abrißkanten an den Fahrzeug- und Gerätekonturen in Form sog. geometrischer Randbedingungen [3, 4]. Dieser Strömung sind schließlich die verschiedenen Quellen- und Senkenströmungen überlagert, die zu den sog. dynamischen Randbedingungen zählen: nämlich die eigentlichen Emissionsquellen mit ihrem speziellen Strahlverhalten als sog. Primärquellen [5] und die aggregatspezifischen Quellen-Senken-Strömungen der Kühlgebläse als sog. Sekundärquellen bzw. -senken. In diesem resultierenden Strömungsfeld erfolgt der Tropfentransport.

2.1 Grundlegendes Erscheinungsbild

Für einen Verständniszugang zu dem komplexen Strömungsgeschehen und der damit verbundenen Wirkstoffausbreitung sind Strömungsuntersuchungen in einem Rauchgaskanal hilfreich. Dabei werden Veränderungen bestimmter Strömungsmuster aufgezeigt: eine parallel verlaufende Strömung wird durch das Einbringen eines Schleppers gestört, erst recht, wenn noch Quellen und Senken vorhanden sind. Äquidistante Rauchfäden, die über einen Düsenkamm eine parallele Modellanströmung erkennbar werden lassen, liefern durch die nachfolgenden Abweichungen von dieser Eingangsparallelität ein interpretierbares Bild von den Umströmungsvorgängen. Als repräsentative Modellkonstellation ist ein

Schlepper mit Heckanbau gewählt, **Bild 2**. Die Strömungsaufnahme zeigt eine zweidimensionale Modellumströmung als vertikalen Mittelschnitt von Schlepper und Tank für die Spritzbrühe. Von dem räumlichen Strömungsablauf beim Ausbringungsvorgang wird hier der vermeintlich einfachste Fall der achterlichen Parallelanströmung zur Dokumentation des Strömungsgeschehens herangezogen. Da Stationarität vorliegt, sind die als sog. Streichlinien in den Strömungsraum hineingesogenen Rauchfäden gleichbedeutend mit den begriffsmäßig geläufigeren und von physikalischer Seite leichter zu interpretierenden Stromlinien. Stromlinienverdichtung bedeutet Strömungsbeschleunigung mit gleichzeitiger Druckabnahme. Mit einer Abstandsverbreiterung zwischen den Stromlinien geht eine Verzögerung der Strömung mit gleichzeitiger Druckzunahme einher. Somit sind die Abstände zweier Stromlinien ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit in diesem betreffenden Gebiet. Ein Massentransport entlang dieser Stromlinien oder im räumlichen Fall in sog. Stromröhren wird als konvektiver Massenaustausch bezeichnet. Ein Massentransport senkrecht zu den Stromlinien ist nur aufgrund sog. turbulenter Diffusion möglich.

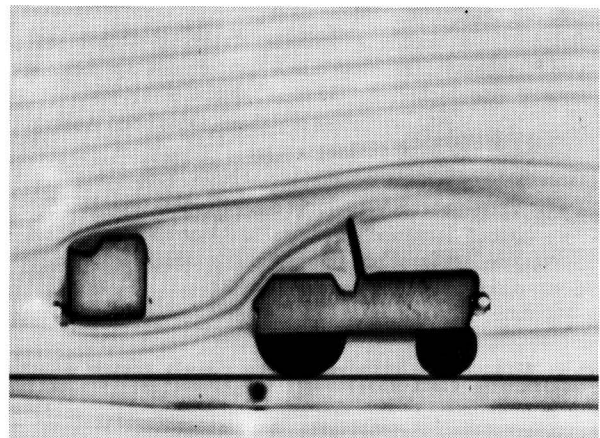


Bild 2. Stromlinienbild eines Schleppers mit Heckanbau bei achterlichem Wind – Geometrische Randbedingungen: Kontureinfluß.

Zur Deutung der Strömungsaufnahmen noch ein paar ergänzende Anmerkungen: wird die Strömung aufgrund von Versperrungselementen oder von sog. Staukörpern gezwungen, mit einem kleineren freien Strömungsquerschnitt auszukommen, erfährt sie eine Beschleunigung. Bei der Umströmung von Hinderniskanten, hier am Tank und an der Windschutzscheibe, wird dieses durch die eng beieinanderliegenden Stromlinien deutlich. Es besteht ein Druckanstieg von dort zu der langsameren Außenströmung hin. Stromabwärts nimmt die Strömungsgeschwindigkeit der Luft ebenfalls ab, allerdings aufgrund von Reibungsvorgängen. Damit baut sich ein Druckberg auf, es besteht ein Druckgefälle entgegen der Strömungsrichtung. Es kommt zur Strömungsverzögerung, zur Rückströmung und zur Ausbildung von freien Trennungsschichten, auch Separationslinien genannt [6]. Durch diese Trennungsschichten, die das Abreißen der Strömung an Kanten charakterisieren, werden Strömungsfelder erzeugt, die sich oberhalb einer kritischen Reynolds-Zahl nicht mehr wesentlich ändern [7]. Hierauf beruht die Aussagefähigkeit von Versuchen in Rauchgaskanälen.

Das Stromlinienbild eines Schleppers bei Rückenwind, das den Einfluß der geometrischen Randbedingungen verdeutlichen soll, weist zwei große ausgeprägte sog. Toträume auf: einmal zwischen Tank und Fahrerplatz, zum anderen weit ausgedehnt vor der Windschutzscheibe und dem Motorblock. Doch diese Räume, die sich vom übrigen Strömungsbereich durch die erwähnten Separationslinien abheben, sind alles andere als tot: in ihnen kommt es zur Bildung von Nachlaufwirbeln, die allerdings zu einem direkten Massenaustausch senkrecht zur Anströmrichtung des Windes keinen Beitrag liefern. Gelangt Wirkstoff durch turbulente Diffusion in diesen Bereich, so wird er sich dort ansammeln.

2.2 Einfluß sog. Sekundärquellen und -senken

Ein wenig anders sieht es auf dem **Bild 3** aus. Hier kommt als weitere Randbedingung die dynamische Wirkung des Motorkühlgebläses als sekundäre Quellen-Senken-Strömung zum Tragen. Die motorseitige Senke bewirkt durch die Saugwirkung des Gebläses eine Verkürzung des Nachlaufwirbelgebietes vor dem Schlepper. Die Stromlinien werden, wie in dem rechten Bildteil ersichtlich, in die Senke gezogen. In der Großausführung wird die durch den Motorblock erwärmte Luft seit- und unterwärts nach hinten gedrückt, so daß sich sogar eine Zirkulationsströmung um den Schlepper aufbauen kann. In der Modellumströmung wird dieser Vorgang ebenfalls simuliert: er findet optisch seinen Ausdruck in dem Auflösen des Rauchfadens unterhalb des Schleppers und in dem Anheben der Stromlinien zwischen Tank und Fahrerplatz. Die Quellenströmung des Gebläses ist unterhalb des Motorblockes der Windanströmung entgegengerichtet. Hierin liegt die eigentliche Bedeutung der Gebläsewirkung. Als Senke schafft das Gebläse u.a. eine Verbindung zu dem Nachlaufwirbelgebiet hinter dem Tank. Es bewirkt einen Massentransport: ein sog. konvektiver Austausch mit der Umgebung findet statt. Zum anderen führt das Gebläse durch seine gleichzeitige Quellenwirkung dazu, daß Tropfen bis hinter den Tank zurücktransportiert werden können, wobei sie zum Teil einer Phasenumwandlung am Motorblock und an den Auspuffteilen unterliegen.

Als Fazit bleibt, daß aufgrund der geometrischen und dynamischen Randbedingungen der Fahrerplatz luv- und leeseitig von Unterdruckzonen mit Wirbelbildungen eingeschlossen ist. An dieser Tatsache ändert auch eine Fahrerkabine nichts. Sie bewirkt lediglich ein Anheben der Stromlinien. Der Staupunkt an der Innenseite der Windschutzscheibe wandert auf die Rückseite der Fahrerkabine. Im dreidimensionalen Fall bilden sich bei einer Anströmung über Eck Wirbelzöpfe aus. Ferner treten stets Sekundärströmungen auf, die einen Massentransport senkrecht zur Hauptströmung in Wandnähe und damit ein seitliches Abfließen bewirken. Entscheidend für die Fahrerplatzbelastung ist nun, an welcher Stelle im Strömungssystem Wirkstoffe eingebracht werden: sie können durch konvektiven Massenaustausch, sie können aber auch durch turbulente Diffusion zum Fahrerplatz gelangen. Der dominierende Einfluß des Kühlgebläses als Verursacher eines konvektiven Massentransportes läßt vorab die Aussage zu, von dieser Sekundärquelle die Wirkstoffe fernzuhalten oder umgekehrt, die Sekundärquellenströmung umzulenken. Durch die primären Emissionsquellen sollte ein Massentransport in die bestehenden Nachlaufwirbelgebiete nicht begünstigt werden, um lokale Konzentrationsanreicherungen zu vermeiden, die dann wieder im Kurzschluß mit der Sekundärquelle sich negativ auswirken.

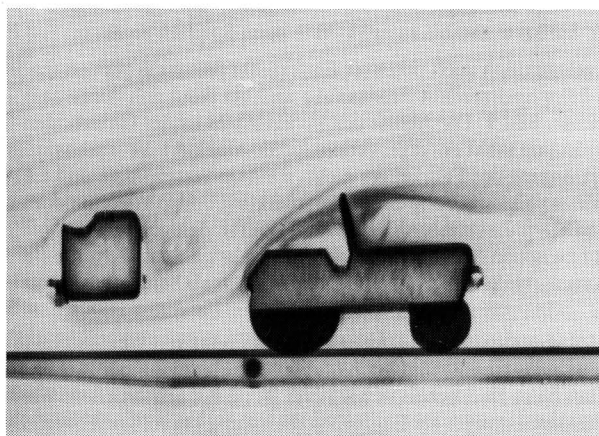


Bild 3. Stromlinienbild eines Schleppers mit Heckanbau bei achterlichem Wind – Dynamische Randbedingungen: Kühlgebläseeinfluß.

3. Zu den prinzipiellen Unterschieden beim Spritzen und Sprühen

In ein so vorgeprägtes Strömungsfeld wirken nun die Primärquellen mit den Spritz- und Sprühmechanismen, **Bild 4**. Die Kopplung zwischen dem Strömungsmittel Luft und dem Tropfensystem, d.h. zwischen dem kontinuierlichen Fluid und der darin dispers verteilten Phase, drückt sich in den unterschiedlichen Interaktionsbedingungen aus. Dies bezieht sich auf den vermittelten Anfangsimpuls der Tropfen und der umgebenden Luft.

2. Prinzipielle Unterschiede beim Spritzen und Sprühen

| | <u>Spritzen</u> | <u>Sprühen</u> |
|---------------|---|----------------------------|
| Quellströmung | Strahl auf Erdboden (= Prallplatte) | Freistrah |
| Ausbreitung | Selektives Tropfenspektrum durch Querströmung | Breites Tropfenspektrum |
| | Diffusion | Partikelbewegung Diffusion |
| | Zweiphasenströmung | Mehrphasenströmung |

Bild 4. Wesentliche Unterschiede beim Spritzen und Sprühen.

Sowohl beim Spritzen als auch beim Sprühen werden die in einer Trägerflüssigkeit verdünnten Wirkstoffe – in Tropfen eingelagert – über ein Düsensystem ausgebracht. Die Rückwirkung dieser Tropfen über Oberflächenkräfte auf die Bewegung der umgebenden Luft ist im allgemeinen zu vernachlässigen. Sie spielt lediglich beim Spritzen aufgrund der Verdrängungswirkung der Tropfen eine Rolle und führt zu induzierten Luftströmungen mit Wirbelbildung, da der Boden bzw. der Bewuchs als Staudruckfläche fungiert. Dieser Strömung ist die durch den relativen Wind verursachte Luftströmung überlagert, die nach dem Querstromsichtprinzip im wesentlichen nur solche Teilchen fortträgt, die als atembar anzusehen sind, d.h. Teilchen unter $60 \mu\text{m}$ Durchmesser, bezogen auf volumengleiche Kugelform. Diese Teilchen vermögen den Stromlinien der Luft nahezu schlupffrei zu folgen. Das bedeutet, um im Bild zu bleiben, daß sie kaum aus den Stromröhren herausbrechen, die der eingangs erörterte Stromlinienverlauf um den Schlepper aufweist. Die Wirkstoffverteilung ist auf den Bereich unterhalb der Separationslinien beschränkt. Die Graufächen in dem **Bild 5** zeigen an, daß sich der Schlepper gleichsam unter einer Wirkstoffglocke befindet. Das Gebläse zieht von vorne und von oben mit der Luft Wirkstoffe ein und gibt sie nach unten und nach hinten wieder in den internen Strömungskreislauf ein.

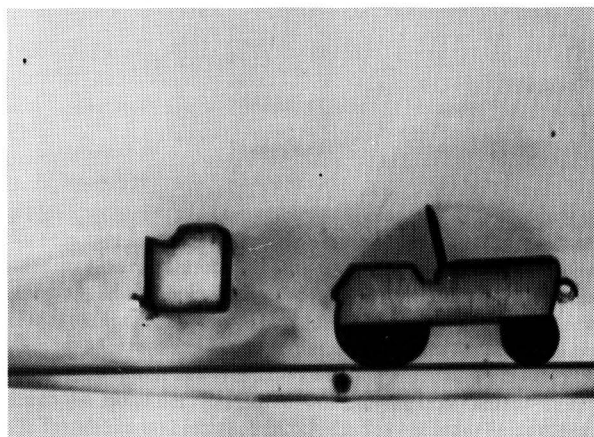


Bild 5. Strömung um einen Schlepper beim Spritzen mit Heckanbau bei achterlichem Wind.

Beim Spritzen erfolgt – von Mehrstoffdüsen abgesehen – keine nennenswerte Beschleunigung von Luftmassen. Anders ist es beim Sprühen, **Bild 6**; hier ist die Erzeugung eines sog. Trägerluftstromes gerade das Charakteristikum für die Ausbringung. Die Rauchfäden werden an der Strahlgrenze verwirbelt und aufgelöst. Der Trägerluftstrom wirkt weit in die querverlaufende Windströmung wie ein Freistrah [8] hinein und führt zu einem Austragen des gesamten Tropfenspektrums, das sich somit gleichermaßen über Pflanzenbestand und Fahrzeug verteilt. In **Bild 7** ist der Trägerluftstrom als Rauchgasstrahl sichtbar gemacht. Es ist in Fahrzeugnähe eine Konzentrationszunahme mit der Höhe festzustellen, im Gegensatz zum Spritzen. Aufgrund des Tropfenspektrums ist die dermale Belastung beim Sprühen zu beachten. Ab einer bestimmten Tropfengröße weichen die Trajektorien der Tropfen von den Stromlinien des Trägergases ab, dieses um so mehr, je stärker die Stromlinien gekrümmt sind: d.h. schwere Teilchen treffen auf Versperrungselemente auf, leichte können mit der Gasströmung vorbeigeführt werden. Dieses gilt insbesondere in dem kritischen Bereich zwischen Fahrerkabine und Tank.

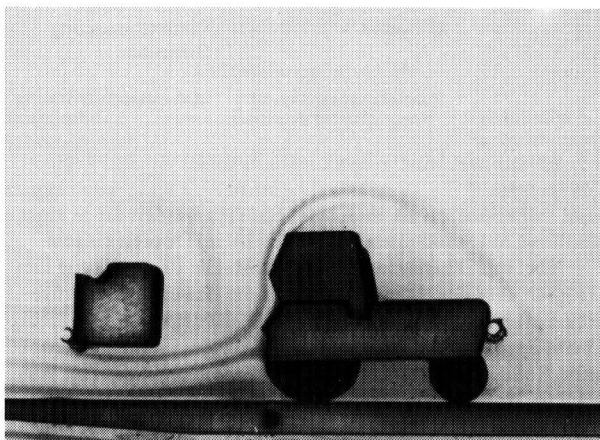


Bild 6. Stromlinienbild beim Sprühen bei achterlichem Wind.

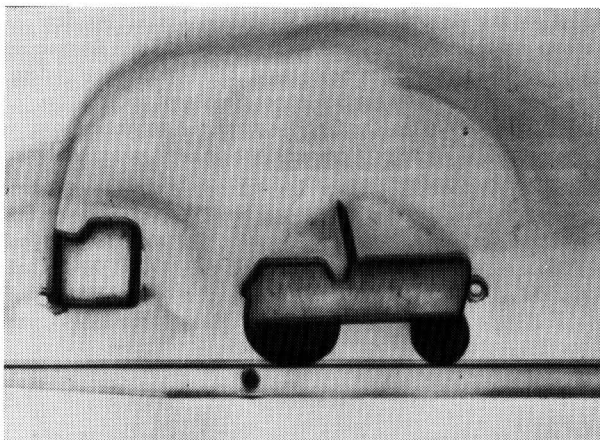


Bild 7. Strömung um einen Schlepper mit Heckanbau beim Sprühen.

4. Darstellung von Meßergebnissen

Untersuchungen von Fahrerplatzbelastungen an den Originalaufbauten berücksichtigen neben der relativen Windgeschwindigkeit auch den relativen Windeinfallswinkel als Haupteinflußgrößen. Daß

sich dabei die angesprochenen Randbedingungseinflüsse auch tatsächlich meßtechnisch nachweisen lassen, zeigt die folgende Belastungsverteilung in **Bild 8**. Der signifikante Einfluß des Kühlgebläses ist augenfällig. Die kleine "Keule", in dem Bild 8 ganz oben, läßt erkennen, wie sich die Belastungskurve aufbläht, wenn die Sekundärquelle eingeschaltet ist. Bei achterlichem Wind steigt der relative Wirkstoffgehalt der Luft am Fahrerplatz bei mitlaufendem Kühlgebläse um das sechsfache gegenüber stillstehendem Gebläse an. Die Außenmittigkeit der Belastungskurve ist durch die asymmetrischen Abströmbedingungen des Kühlgebläses zu erklären. Wird der der Windströmung entgegengerichtete Abluftstrom des Kühlgebläses umgelenkt, beispielsweise durch hohen Pflanzenbestand, so führt dieser Umstand zu einer Belastungsreduzierung am Fahrerplatz. Es findet eine Umlenkung der Sekundärquellenströmung statt. Diese naturbedingte Einflußnahme bliebe einer konstruktiven Umsetzung am Schlepper vorbehalten.

Gerade was den Kühlluftstrom anbelangt, muß an dieser Stelle betont werden, daß Ausbreitung nicht nur durch Transport, sondern auch durch Umwandlung charakterisiert ist, d.h. neben dem Impulsaustausch zwischen der Luft und der darin dispers verteilten Phase findet auch ein Austausch von Masse und Energie statt:

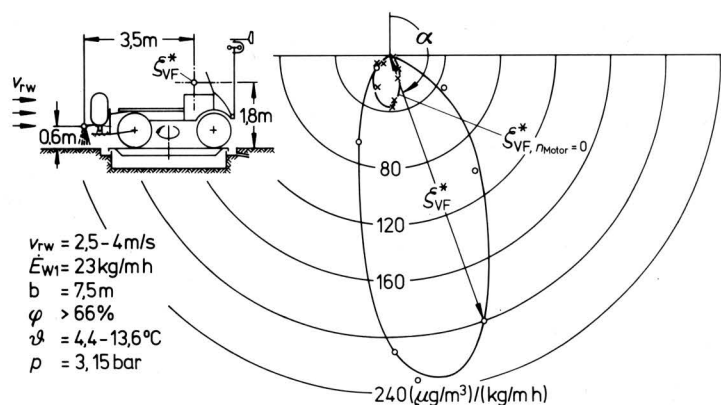


Bild 8. Fahrerplatzbelastung beim Spritzen mit einem Unimog und Heckanbau, nach Batel [1].

Tropfen verdunsten während des Fluges bzw. verdampfen im Kontakt mit Motor- oder Auspuffteilen höherer Temperatur. Die Wirkstoffe vermögen in dem gasförmigen Zustand dem Einfluß der sekundären Quellen-Senken-Strömung erst recht zu folgen. Vergleichsmessungen mit Kochsalz als Referenzstoff haben bezüglich dieses Umwandlungseffektes Belastungsabweichungen bis zu 80 % beim Spritzen und bis zu etwa 70 % beim Sprühen ergeben.

Ein gelegentlich auch positiver Einfluß der Sekundärquellen macht sich beim Spritzen mit Frontanbau und bei Wind von vorne bemerkbar, **Bild 9**. Die Abluft des Kühlgebläses ist der Unterbodenanströmung nicht entgegengerichtet. Sie blockiert die unterwärtige Umströmung des Fahrzeuges nicht, sondern verstärkt sie und trägt damit zur Verringerung der Abdriftwirkung und zur Verminderung der Fahrerplatzbelastung bei. Bedingt durch den geringeren Abstand zwischen Spritzbalken und Fahrerplatz überstreicht die Belastungskurve einen größeren Winkelbereich als beim Heckanbau [9].

Wird der relative Wirkstoffgehalt über der relativen Windgeschwindigkeit aufgetragen, **Bild 10**, so findet sich der Sekundärquelleneinfluß beim Heckanbau in negativer Weise bei achterlichem Wind nochmals bestätigt: die Fahrerplatzbelastung bei mitlaufendem Gebläse ist höher als bei Gebläsestillstand. Beispielsweise bei 3,5 m/s relativer Windgeschwindigkeit ergibt sich der schon erwähnte Erhöhungsfaktor von 6. Beim Frontanbau und Wind von vorne drehen sich die Verhältnisse um, **Bild 11**, Die Belastung bei mitlaufendem Gebläse (untere Kurve) ist geringer als bei Gebläsestillstand.

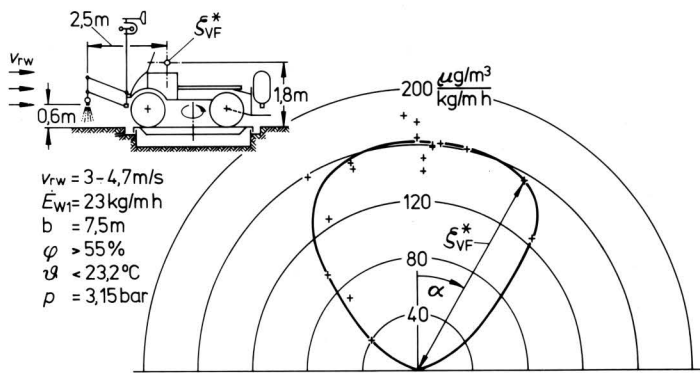


Bild 9. Fahrerplatzbelastung beim Spritzen mit einem Unimog und Frontanbau, nach Batel [1].

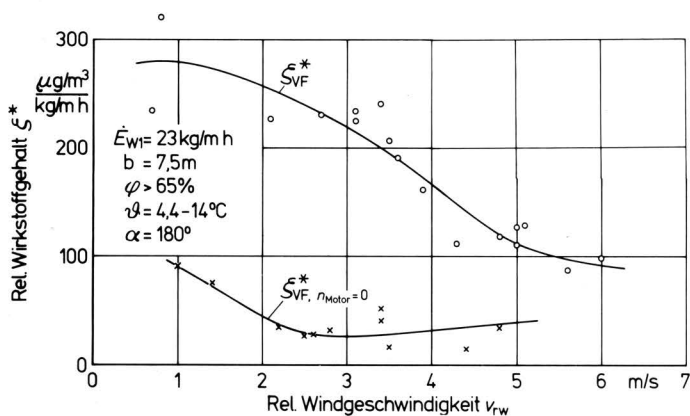


Bild 10. Einfluß der relativen Windgeschwindigkeit auf den relativen Wirkstoffgehalt, Unimog mit Heckanbau, nach Batel [1].

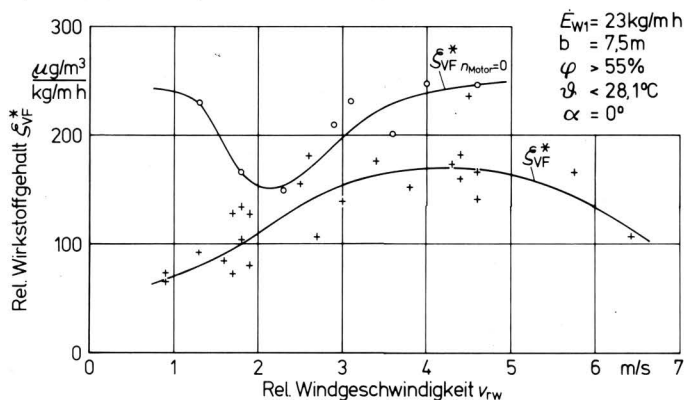


Bild 11. Einfluß der relativen Windgeschwindigkeit auf den relativen Wirkstoffgehalt, Unimog mit Frontanbau, nach Batel [1].

Kommt, vereinfachend gesagt, beim Spritzen alles von unten, so ist es beim Sprühen genau umgekehrt, wo Tropfen jeglichen Durchmessers zum ballistischen Freiflug angetreten sind. Bei gleicher Anfangsgeschwindigkeit werden größere Tropfen weiter geschleudert als kleinere. Im Hinblick auf die Belastungsverteilung des atembaren Wirkstoffgehaltes ist anzumerken, **Bild 12**, daß beim Sprühen ein größerer Winkelbereich eingenommen wird als beim Spritzen, hingegen ist die Spitzenbelastung niedriger, wenn von gleichen Aufwandsmengen ausgegangen wird, um überhaupt eine Vergleichsbasis der unterschiedlichen Ausbringungsverfahren zu bekommen.

Aber größere Tropfen erreichen auch den Fahrerplatz, so daß zur Gesamtbeurteilung der gesamte Wirkstoffgehalt heranzuziehen ist, der für die dermale Belastung ausschlaggebend ist, **Bild 13**. Die dargestellten Belastungskurven geben Versuchsstandsmessungen ohne Pflanzenbestand wieder. Vergleichende Untersuchungen legen den Schluß nahe, daß mit zunehmender Belaubung die Belastung am Fahrerplatz beim Sprühen sinkt.

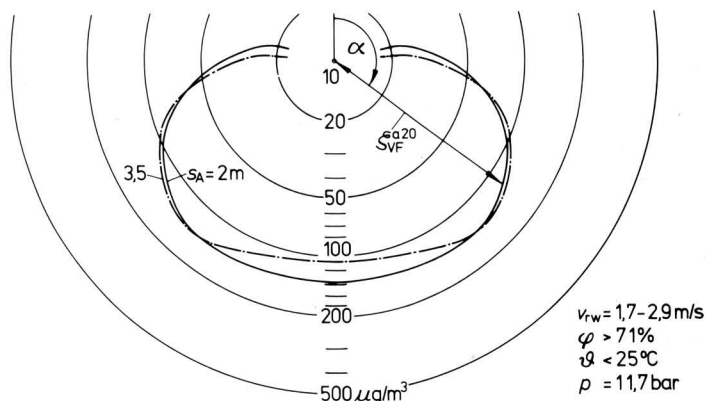


Bild 12. Atembarer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel beim Sprühen, nach Batel [1].

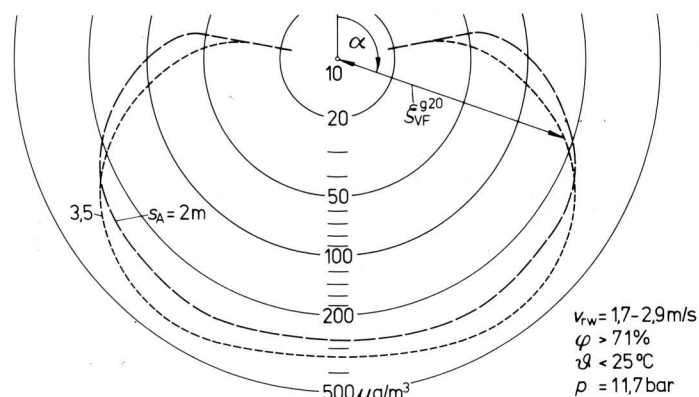


Bild 13. Gesamtwirkstoffgehalt in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel beim Sprühen, nach Batel [1].

5. Konsequenzen für den Anwender

Um nun abschließend die Frage zu beantworten, welche Konsequenzen sich aus den Messungen für den Anwender und auch für den Konstrukteur bei der Gestaltung des Fahrerplatzes und bei Eingriffen in den Transmissionsstrom ergeben, sei noch einmal der prinzipielle Stromlinienverlauf beim Spritzen aufgezeigt, **Bild 14**. Bei achterlichem Windeinfall ist der Fahrerplatz von einem Wirbelgebiet überzogen, die Ursachen waren eingangs genannt. In dieses Wirbelgebiet können Wirkstoffe aus dem Abdriftstrom gelangen, es kann zu Konzentrationsanreicherungen kommen. Abhilfe schafft eine Fahrerkabine. Der Wirkstoffmassentransport erfolgt in dem verengten Raum zwischen Tank und Kabine, da sich hier ein ausgeprägtes Unterdruckgebiet bildet. In welchem Maße dieses geschieht, ist durch den Abstand zwischen Tank und Fahrerkabine, durch die Höhe der Spritzbalkenanordnung über dem Boden, durch die Tankhöhe und letztlich durch die Sekundärquelle bestimmt. Je weiter der Tank mit dem Spritzbalken von der Fahrerkabine entfernt ist, um so weniger ist die Gefahr der Wirkstoffanreicherung und des Wirkstofftransportes hinter der Fahrerkabine gegeben.

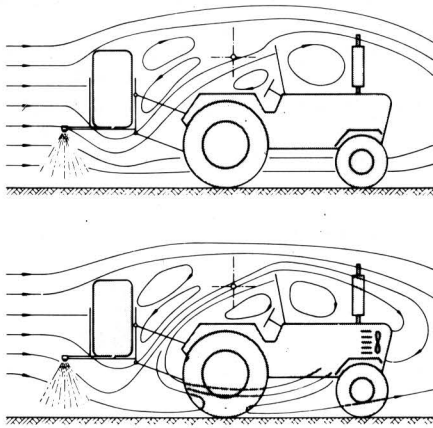


Bild 14. Primär- und Sekundärströmungen beim Spritzen.

Wenn aber schon eine schützende Kabine vorgesehen wird, so sollte sie nicht gerade als Senke, d.h. als Einsaugelement, für die Wirkstoffe dienen. Hinsichtlich der Ansaugöffnungen für die Kabinenlüftung sollte eine leeseitige Anordnung vermieden werden. Es bietet sich eine Positionierung auf dem Kabinendach mit entsprechender Abdeckhaube an. Das gilt auch für den Fall, daß die Fahrgeschwindigkeit höher als die Windgeschwindigkeit ist. Untersuchungen der Firma John Deere [10] zeigen, daß die Konzentrationen im Kabinenschatten beim Spritzen von Baumwolle und Sojabohnen zehnmal höher liegen als auf der Frontseite. Hier noch einmal eine schematische Darstellung des Stromlinienverlaufes einer Modellumströmung, Bild 15; dazu im Vergleich eine Aufnahme aus dem Rauchgaskanal, Bild 16. Was für die Ansaugöffnungen bei der Kabinenlüftung gilt, hat auch für die Abluftöffnungen Bestand. Sie sollten ebenfalls nicht in Unterdruckgebiete gelegt werden, da sie sich wie ein zusätzliches Druckgefälle auf das Kabineninnere auswirken und über die nicht vermeidbaren Lecköffnungen der Kabine zu einem Wirkstofftransport in die Kabine beitragen können.

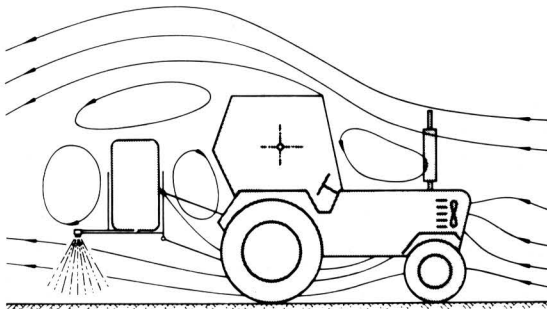


Bild 15. Schematische Darstellung des Nachlaufwirbeleinflusses während des Spritzens bei relativem Vorderwind.

Einen wesentlichen Einfluß auf die Spaltenwirkung zwischen Tank und Fahrerkabine hat insbesondere bei relativem Rückenwind die Sekundärquelle mit ihrer fast ausschließlich gegen den Transmissionsstrom gerichteten Abluftführung. Um sie nicht wie ein zusätzliches Versperrungselement zwischen Fahrzeugboden und Untergrund wirken zu lassen, sollte man hier nach einer Abluftführung suchen, die in Abhängigkeit von der relativen Windrichtung den Transmissionsstrom unterstützt. Eine Abluftführung, die ähnlich wie bei den Verbrennungsgasen des Motors einen Emissionspunkt oberhalb des Motorblockes gewährleistet, wäre denkbar, aber zur Zeit wohl – ebenso wie das Anbringen von verstellbaren Leitblechen – konstruktiv nur sehr schwer umsetzbar.

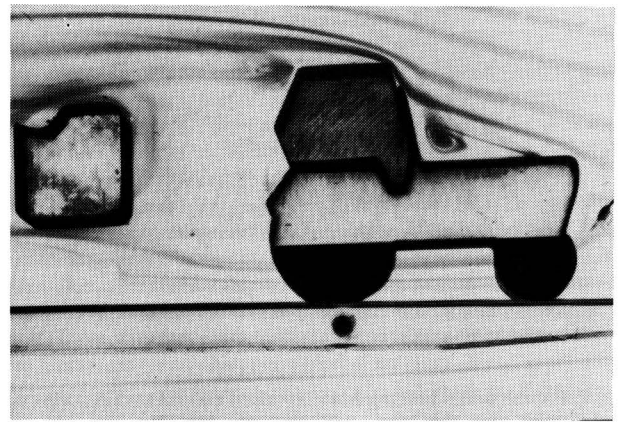


Bild 16. Modellumströmung eines Schleppers im Rauchgaskanal bei Vorderwind.

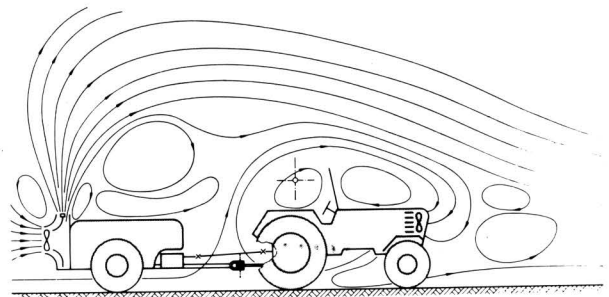


Bild 17. Schematischer Stromlinienverlauf beim Sprühen.

Beim Sprühen, Bild 17, sollte schon ein Kabinenschutz gegeben sein, wobei hinsichtlich der Lage der Ansaug- und Abluftöffnungen dieselben Überlegungen gelten wie beim Spritzen.

Schrifttum

- [1] Batel, W.: Belastung des Arbeitsplatzes beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln durch Spritzen und Sprühen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 113/24.
- [2] VDI 2450 (Sept. 1977): Messen von Emission, Transmission und Immission luftverunreinigender Stoffe; Begriffe, Definitionen, Erläuterungen. Berlin/Köln: Beuth-Verlag.
- [3] Barth, R.: Windkanalmessungen an Fahrzeugmodellen und rechteckigen Körpern mit verschiedenen Seitenverhältnissen bei unsymmetrischer Anströmung. Diss. TH Stuttgart 1958.
- [4] Pucher, P.: Experimentelle Untersuchungen an Würfeln und Quadern zur Bestimmung des Versperrungseinflusses in Windkanälen mit offener Meßstrecke. Diss. TU München 1978.
- [5] Lüders, W. u. H. Ganzelmeier: Die Ausbreitung einer Gebläseluftströmung inner- und außerhalb eines Hopfenbestandes. *Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd.* Bd. 34 (1982) Nr. 3, S. 33/42.
- [6] Fraser, S.M. u. M.H. Siddig: Turbulent flow over a plane normal wall. *J. Mech. Engng. Sci.* Bd. 22 (1980) Nr. 4, S. 207/211.

- [7] *Wilson, D.J. u. R.E. Britter:* Estimates of building surface concentrations from nearby point sources. Atmospheric Environment Bd. 16 (1982) Nr. 11, S. 2631/46.
- [8] *Schmitt, H.:* Umlenkung eines ebenen Freistrahles durch eine Querströmung aufgrund turbulenter Vermischung und Druckwirkung. Ingenieur-Archiv Bd. 51 (1981) S. 9/16.
- [9] *Witte, E.:* Prognosen über die Arbeitsplatzbelastung aufgrund von Versuchsstandsmessungen. Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 59/64.
- [10] *Miller, M.L., A.W. Eissler u. J.W. Ackley:* Tractor operator enclosure environment during pesticide application operations. ASAE-Paper No. 79-1009.

Prognosen über die Arbeitsplatzbelastung aufgrund von Versuchsstandsmessungen

Von Ernst Witte, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 632.934.1:331.43

Wegen der kumulativ-toxischen Eigenschaften bestimmter Wirkstoffe ist für Prognosen über die Arbeitsplatzbelastung beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln auch die mittlere Dauerbelastung von Interesse. Ausgehend von den in Prüfstandversuchen ermittelten Belastungswerten als Funktion von Windrichtung und -geschwindigkeit wird die mittlere Dauerbelastung durch doppelte Integration über Geschwindigkeit und Einfallswinkel des relativen Windes unter Berücksichtigung der Verteilungsdichten dieser Größen bestimmt. Die Ergebnisse der Prognoserechnung zeigen, daß beim Spritzen der Heckanbau des Gerätes eindeutig günstiger als der Frontanbau ist. Von wesentlichem Einfluß sind weiterhin die Fahrgeschwindigkeit und die größte Windgeschwindigkeit, bis zu der ein Ausbringen der Pflanzenbehandlungsmittel noch zugelassen sein soll.

1. Einleitung

Für Prognosen ist neben der Spitzenbelastung und der höchsten Dauerbelastung vor allem die mittlere Dauerbelastung von Interesse, wobei an die kumulativ-toxischen Eigenschaften bestimmter Wirkstoffe zu denken ist.

Im folgenden wird daher ein Rechenverfahren zur Abschätzung der mittleren Dauerbelastung des Arbeitsplatzes durch Wirkstoffe beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln vorgestellt.

Die Arbeitsplatzbelastung wird durch den Mittelaufwand, den Umgebungszustand und die Geräte-, Stoff- und Arbeitsbedingungen bestimmt.

Während der Mittelaufwand und die Geräte-, Stoff- und Arbeitsbedingungen, wie z.B. Wirkstoffstrom, Spritzdruck, Spritzbalkenhöhe, Fahrgeschwindigkeit, vom Anwender mehr oder weniger

vollständig vorgebbare Größen sind, verändert sich der Umgebungszustand, wie z.B. Luftzustand, Windgeschwindigkeit und -richtung, stochastisch und ist im Verlauf der Ausbringerarbeiten nur hinsichtlich von Grenzwerten festlegbar.

Da die Belastung des Arbeitsplatzes durch luftfremde Stoffe in hohem Maße durch die vorherrschenden Windverhältnisse beeinflusst wird, befaßt sich die vorgestellte Prognoserechnung im wesentlichen mit den stochastischen Einflußgrößen Windgeschwindigkeit und -richtung sowie den vorgebbaren Einflußgrößen Fahrgeschwindigkeit und Fahrtrichtung.

Alle anderen Einflußgrößen können über die durch Versuchsstandsmessungen in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und -richtung ermittelten Belastungsfunktionen zunächst nur indirekt berücksichtigt werden.

2. Allgemeine Berechnungsgrundlagen

2.1 Windverhältnisse

2.1.1 Natürlicher Wind

Bei den Überlegungen zur Berechnung der mittleren Belastung des Arbeitsplatzes durch Wirkstoffe ist von der zweidimensionalen Häufigkeitsverteilung des natürlichen Windes nach Geschwindigkeit und Richtung auszugehen.

Bild 1 zeigt als Beispiel eine derartige Verteilung, die durch Auswertung der stündlichen Mittelwerte von 8–16 Uhr der Wetterstation Braunschweig-Völkenrode für die Zeiträume Aug.–Nov. 1978 und März–Juli 1979 gewonnen wurde. Die Darstellung erfolgt in Form eines Höhenlinienplanes in Polarkoordinaten, wobei der Polarradius die Geschwindigkeit, der Polarwinkel die Richtung und die Höhenlinien die jeweilige Häufigkeitsdichte angeben. 0° bzw. 360° bedeutet geographisch Nord, dementsprechend 90° Ost, 180° Süd und 270° West.

Die Darstellung ist so normiert, daß der Gesamttraum unter der Häufigkeitsdichte den Wert 1 hat. Es sei an dieser Stelle schon bemerkt, daß bei Prognoserechnungen mit bestimmter maximal zugelassener Windgeschwindigkeit erneut zu normieren ist, so daß sich für den verbleibenden Restraum wieder der Wert 1 ergibt.

Das Polardiagramm läßt deutlich erkennen, daß in der hiesigen Region Wind aus west- bis südwestlicher Richtung mit Geschwindigkeiten von 4–6 m/s am häufigsten auftritt.

*) *Dr.-Ing. E. Witte ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.*