

- [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.*

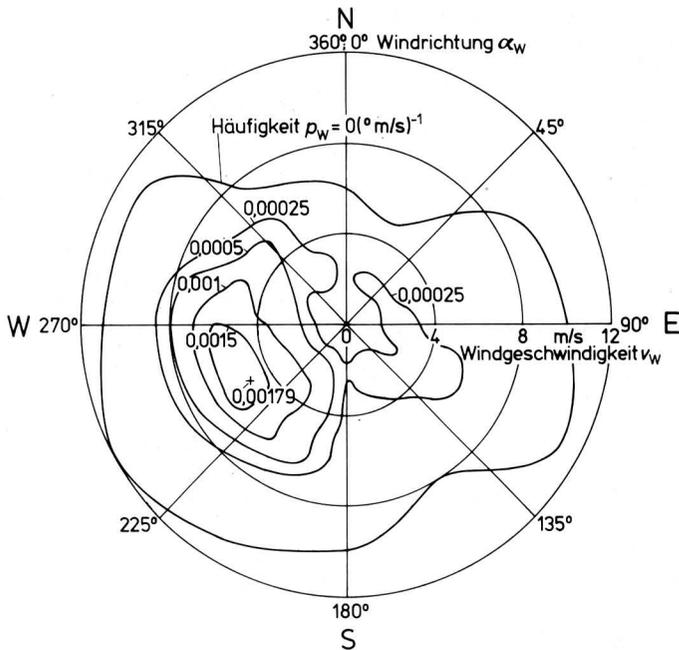


Bild 1. Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und -richtung.

2.1.2 Fahrrichtungen

In der in Bild 1 gezeigten Häufigkeitsverteilung bezieht sich die Windrichtung auf die Erdoberfläche. Der auf das Fahrzeug bezogene Windeinfallswinkel wird aber verständlicherweise auch noch entscheidend durch die gewählte Fahrrichtung beeinflusst. Wenn man davon ausgeht, daß sich die Fahrrichtung an der Bearbeitungsrichtung der Felder orientiert, kann man zu Häufigkeitsverteilungen für die Fahrrichtung kommen, indem man für eine bestimmte Region die Feldrichtungen für Hin- und Rückfahrt gewichtet mit der Feldgröße statistisch auswertet.

In Bild 2 ist die auf diese Weise ermittelte Häufigkeitsverteilung der Bearbeitungsrichtung nach der Deutschen Grundkarte (Maßstab 1:5 000), Blatt Bortfeld-West, Bortfeld-Ost, Wedtlenstedt-West und Wedtlenstedt für ein ca. 16 km² umfassendes Gebiet westlich der FAL in einem Polardiagramm dargestellt, wobei der Polarwinkel die Richtung und der Polarradius die Häufigkeitsdichte angibt. Auffallend ist dabei die ausgeprägte Nord-Süd-Orientierung der Feldrichtungen in dieser Region.

2.1.3 Fahrzeugbezogener natürlicher Wind

Um nun die gesuchte Häufigkeitsverteilung des auf das Fahrzeug bezogenen natürlichen Windes zu erhalten ist gemäß der Beziehung

$$p_F(\alpha, v) = \int_0^{2\pi} p_B(\varphi - \alpha) p_W(\varphi, v) d\varphi \quad (1)$$

das Integral über dem Produkt der Häufigkeitsverteilungen für den natürlichen Wind und die Fahrrichtungen zu bilden. Ausgehend von den in Bild 1 und 2 dargestellten Häufigkeitsverteilungen zeigt Bild 3 das Ergebnis der Rechnung nach Gl. (1) in Form eines Höhenlinienplanes – wie in Bild 1 – wobei der Polarradius die Geschwindigkeit, der Polarwinkel die Richtung (bezogen auf das Fahrzeug: $\alpha_F = 0$ entspricht der Fahrtrichtung) und die Höhenlinien die jeweilige Häufigkeitsdichte des Windes angeben.

Das Bild 3 läßt eine gegenüber Bild 1 deutlich ausgeglichene Verteilung der Windrichtungen erkennen, obwohl die zugrunde gelegte Häufigkeitsverteilung für die Fahrrichtungen eine ausgeprägte

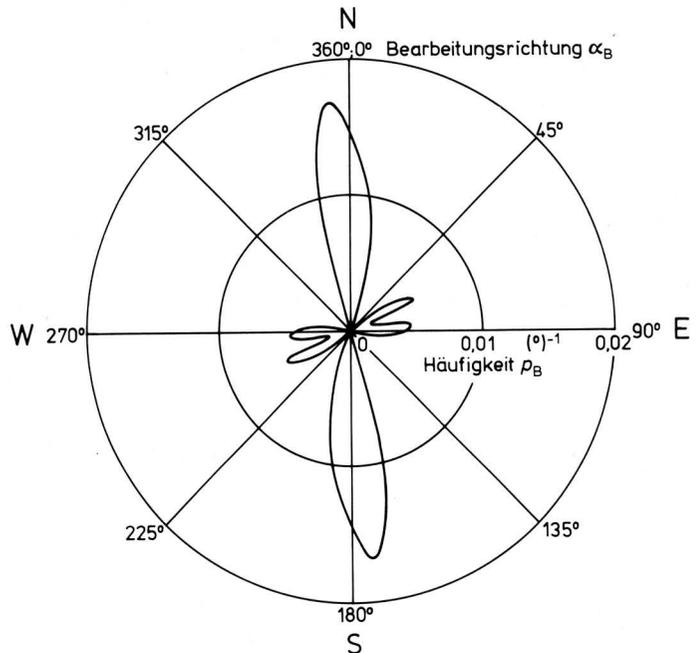


Bild 2. Häufigkeitsverteilung der Bearbeitungsrichtung der Felder.

Häufung in Nord-Süd-Richtung aufweist. Damit erhält die später für die Prognoserechnungen getroffene Annahme einer gleichförmigen Verteilung der auf das Fahrzeug bezogenen Windrichtungen eine gewisse Berechtigung.

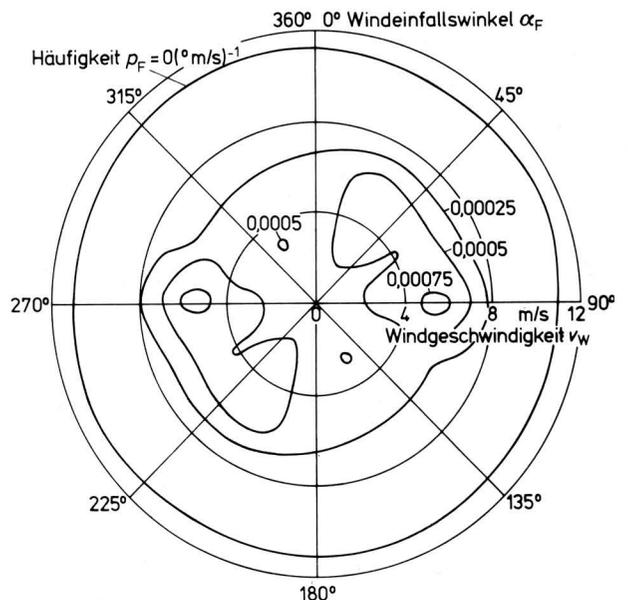


Bild 3. Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und -richtung im fahrzeugbezogenen Koordinatensystem.

2.1.4 Fahrzeugbezogener relativer Wind

Von viel größerem Einfluß auf den auf das Fahrzeug einwirkenden Wind als die Fahrtrichtung ist die Fahrgeschwindigkeit, da durch sie sowohl die Häufigkeitsdichte des Einfallswinkels als auch die Geschwindigkeit des Windes mitbestimmt wird. Als nächstes sind daher die Bestimmungsgrößen des relativen Windes, von dem letztendlich die am Fahrerplatz auftretende Belastung abhängt, herzu-leiten.

Sowohl für die Richtung als auch für die Geschwindigkeit des relativen Windes ergeben sich aufgrund der unten links in Bild 4 dargestellten vektoriellen Beziehungen zwischen Wind-, Fahr- und relativer Windgeschwindigkeit einfache Beziehungen.

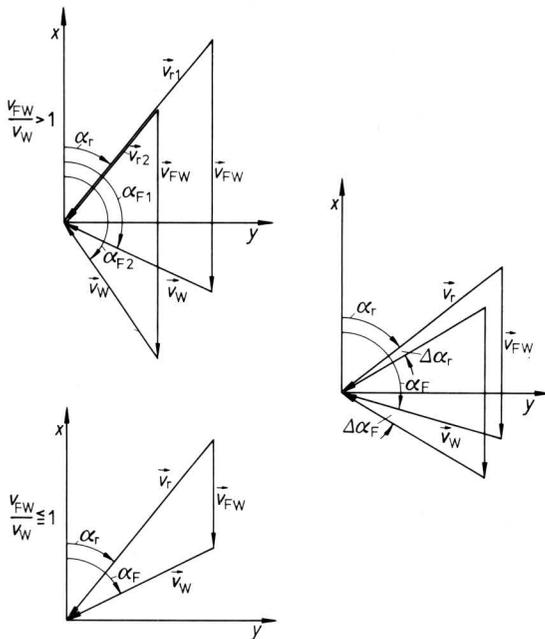


Bild 4. Vektorielle Beziehungen zur Bestimmung der Geschwindigkeit und der Häufigkeit des Einfallswinkels des relativen Windes.

Mit den Bezeichnungen aus Bild 4 ergibt sich der Einfallswinkel des relativen Windes zu

$$\alpha_r = \arccos \frac{(v_{FW}/v_W) + \cos \alpha_F}{\sqrt{1 + (v_{FW}/v_W)^2 + 2 (v_{FW}/v_W) \cos \alpha_F}} \quad (2)$$

Für die auf die Geschwindigkeit des natürlichen Windes bezogene Geschwindigkeit des relativen Windes erhält man

$$v_r/v_W = \sqrt{1 + (v_{FW}/v_W)^2 + 2 (v_{FW}/v_W) \cos \alpha_F} \quad (3)$$

Wenn α_F durch α_r ausgedrückt und in vorstehende Gleichung eingesetzt wird, ergibt sich

$$v_r/v_W = (v_{FW}/v_W) \cos \alpha_r \pm \sqrt{1 - (v_{FW}/v_W)^2 \sin^2 \alpha_r} \quad (4)$$

Falls $v_{FW}/v_W \leq 1$, gilt nur das positive Vorzeichen vor dem Wurzelausdruck. Im Fall $v_{FW}/v_W > 1$ gilt für $\alpha_F \leq \alpha_{F \text{ grenz}}$ das positive, für $\alpha_F > \alpha_{F \text{ grenz}}$ das negative Vorzeichen, wobei sich $\alpha_{F \text{ grenz}}$ aus

$$\alpha_{F \text{ grenz}} = \arccos (-v_{FW}/v_W) \quad (5)$$

ergibt. Das bedeutet, daß bei einer bestimmten Richtung des relativen Windes zwei verschieden große Windgeschwindigkeiten auftreten, die zwei unterschiedlichen Richtungen des natürlichen Windes zuzuordnen sind, wie die Vektordarstellung oben in Bild 4 erkennen läßt.

Weiterhin folgt für $v_{FW}/v_W > 1$ aus der Bedingung, daß der Wurzelausdruck in Gl. (4) reell bleiben muß, daß der Bereich, in dem relativer Wind einfallen kann, auf einen Sektor beschränkt ist, der durch den Winkel

$$\alpha_{r \text{ max}} = \arcsin (v_{FW}/v_W) \quad (6)$$

begrenzt wird.

Für die Bestimmung der Häufigkeit des Einfallswinkels des relativen Windes müssen etwas tiefergreifende Überlegungen angestellt werden. Dazu ist rechts in Bild 4 zum Vektordreieck aus Wind-, Fahr- und relativer Windgeschwindigkeit ein weiteres in benachbarter Lage gezeichnet.

Der Einfallswinkel des Windes wird als stetig verteilte Zufallsgröße durch die Dichtefunktion vollständig charakterisiert. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Einfallswinkel des natürlichen Windes im Sektor $\Delta \alpha_F$ liegt, ist dann $p_F \Delta \alpha_F$, und daß der Einfallswinkel des relativen Windes im Sektor $\Delta \alpha_r$ liegt, ist $p_r \Delta \alpha_r$, wenn p den entsprechenden Wert der Dichtefunktion bezeichnet.

Die Wahrscheinlichkeit des Windeinfalles muß für die beiden korrespondierenden Sektoren $\Delta \alpha_F$ und $\Delta \alpha_r$ im Grenzfall unendlich kleiner Sektoren gleich groß sein. Damit erhält man die bezogene Dichtefunktion für den Einfallswinkel des relativen Windes zu:

$$p_r/p_F = \lim_{\Delta \alpha_F \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha_F}{\Delta \alpha_r} = \frac{(v_{FW}/v_W) \cos \alpha_r}{\sqrt{1 - (v_{FW}/v_W)^2 \sin^2 \alpha_r}} \pm 1 \quad (7)$$

nachdem zuvor $\Delta \alpha_r$ gemäß nachstehender Beziehung durch $\Delta \alpha_F$ ausgedrückt wurde

$$\Delta \alpha_r = \arctan [\pm \sin (\alpha_F + \Delta \alpha_F)(v_{FW}/v_W + \cos \alpha_F) \mp \sin \alpha_F (v_{FW}/v_W + \cos (\alpha_F + \Delta \alpha_F))] / [(v_{FW}/v_W + \cos \alpha_F) \mp (v_{FW}/v_W + \cos (\alpha_F + \Delta \alpha_F)) + \sin \alpha_F \sin (\alpha_F + \Delta \alpha_F)] \quad (8)$$

Auch hier gilt hinsichtlich der Vorzeichenwahl in Gl. (7) das zu Gl. (4) Bemerkte.

In Bild 5 sind die funktionalen Beziehungen zwischen den Bestimmungsgrößen des natürlichen und des relativen Windes in Form von Polardiagrammen dargestellt, wobei die Polarachse die Fahrtrichtung kennzeichnet.

Als Parameter tritt das Verhältnis v_{FW}/v_W auf. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, sind die Beziehungen für drei typische Verhältniswerte einzeln gezeichnet, und zwar auf der linken Seite für die relative Geschwindigkeit und auf der rechten Seite für die Verteilungsdichte des relativen Einfallswinkels.

Die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit des relativen und des natürlichen Windes ist durch einen Kreis mit dem Radius $r = 1$ gegeben, dessen Mittelpunkt auf der Polarachse liegt. Der Abstand des Kreismittelpunktes vom Koordinatenursprung wird durch den Verhältniswert v_{FW}/v_W bestimmt.

Besonders das Diagramm oben rechts in Bild 5 macht in anschaulicher Weise deutlich, daß für Verhältniswerte $v_{FW}/v_W > 1$ Windeinfall nur noch in einem begrenzten Sektor möglich ist, der mit zunehmendem Verhältniswert v_{FW}/v_W immer kleiner wird.

Zum anderen läßt die Darstellung auch noch einmal erkennen, daß in diesem Fall jedem Einfallswinkel des relativen Windes zwei Geschwindigkeiten zugeordnet sind, die aus zwei verschiedenen Richtungen des natürlichen Windes resultieren.

Bei den rechts in Bild 5 dargestellten Verteilungsdichten ist bemerkenswert, daß für einen Verhältniswert $v_{FW}/v_W = 1$ kein Wind mehr aus den beiden hinteren Quadranten auf das Fahrzeug einfällt. Die bezogene Verteilungsdichte des relativen Einfallswinkels ist in diesem Fall konstant und beträgt zwei.

Für Verhältniswerte $(v_{FW}/v_W) > 1$ ergeben sich zwei Verteilungsdichten des relativen Einfallswinkels, die den entsprechenden relativen Geschwindigkeiten zugeordnet sind, wie das Diagramm oben rechts in Bild 5 zeigt.

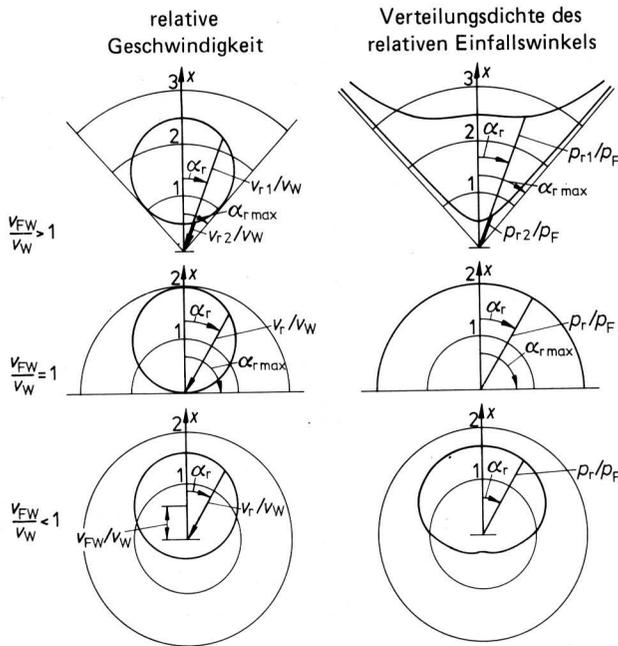


Bild 5. Geschwindigkeit und Häufigkeit des Einfallswinkels des relativen Windes in Abhängigkeit von dem Verhältnis Fahrtwind- zu Windgeschwindigkeit.

In diesem Diagramm ist wichtig, daß beide Verteilungsdichten an den Sektorgrenzen, gekennzeichnet durch den Winkel $\alpha_{r \max}$, unendlich groß werden, während ihr Integral über dem Sektor endlich bleibt und den Wert 1 hat.

Bild 6 zeigt zusammenfassend die zweidimensionale Häufigkeitsverteilung des relativen auf das Fahrzeug bezogenen Windes, die sich aus der Häufigkeitsverteilung des auf das Fahrzeug bezogenen natürlichen Windes bei Annahme einer Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h ergibt. Bemerkenswert ist, daß Einfallswinkel von ca. 50 bzw. 310° am häufigsten auftreten, und zwar bedeutend häufiger als der Einfallswinkel 0°, eine Erscheinung, die ihre Begründung in der zuvor abgeleiteten Tatsache findet, daß die Dichtefunktion für den Einfallswinkel des relativen Windes an den begrenzenden Sektorrändern gegen unendlich strebt.

2.2 Belastungsfunktionen

Nachdem die sich stochastisch verändernden Bestimmungsgrößen des relativen Windes hergeleitet worden sind, muß jetzt noch die Arbeitsplatzbelastung in Abhängigkeit von dem Einfallswinkel und von der Geschwindigkeit des relativen Windes in geeigneter Form bereitgestellt werden.

Aufgrund der bisher vorliegenden Versuchsstandmessungen [1] wird die Arbeitsplatzbelastung entsprechend der Beziehung

$$f_B(v_r, \alpha_r) = f_B(v_r) f_B(\alpha_r) \quad (9)$$

als Produkt zweier Funktionen dargestellt, wobei die eine nur von der Windgeschwindigkeit und die andere nur von der Windrichtung abhängt.

Das **Bild 7** zeigt als Beispiel die Belastung am offenen Fahrerplatz beim Spritzen mit einem Unimog und Heckanbau des Spritzgerätes. Die Darstellung erfolgt ebenfalls in Form eines Höhenlinienplanes in Polarkoordinaten, wobei der Polarradius die Geschwindigkeit, der Polarwinkel die Richtung des relativen Windes und die Höhenlinien den jeweiligen Belastungswert angeben. Diese Darstellung läßt den überragenden Einfluß der Richtung des relativen Windes auf die Arbeitsplatzbelastung besonders deutlich werden. Im vorliegenden Fall tritt überhaupt nur dann eine Belastung auf, wenn Wind in dem Sektor 113–227° einfällt.

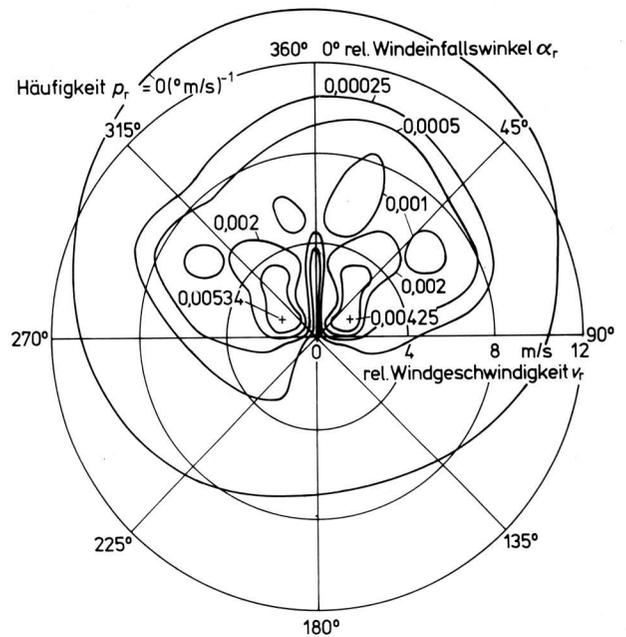


Bild 6. Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung von Geschwindigkeit und Richtung des relativen Windes; Fahrgeschwindigkeit $v_F = 12$ km/h.

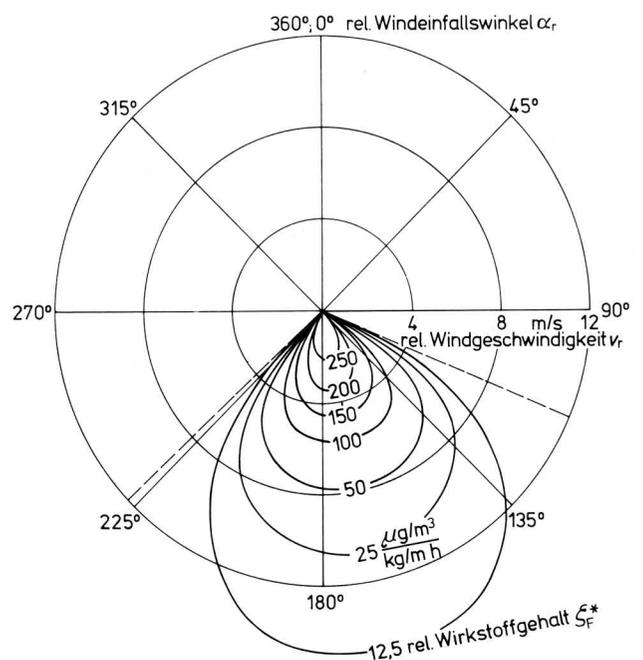


Bild 7. Belastung am offenen Fahrerplatz beim Spritzen mit Unimog und Heckanbaugerät.

Alle anderen in der Einleitung erwähnten Einflußgrößen wurden bei diesen Versuchen konstant gehalten. Es bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten, inwieweit schon nachgewiesene funktionale Zusammenhänge wie z.B. Spritzbalkenhöhe und -breite in der Belastungsfunktion berücksichtigt werden können. Sicherlich können hier auch theoretische Überlegungen zur Klärung dieser Fragen beitragen.

3. Prognoserechnung

Zur Berechnung der Prognosewerte für die mittlere Dauerbelastung ist entsprechend der Beziehung

$$B = \int_0^{v_{Wmax}} \int_0^{2\pi} p_r f_B(v_r, a_r) da_F dv_W \quad (10)$$

das Doppelintegral der mit der Dichtefunktion des relativen Windes multiplizierten Belastungsfunktion über den jeweils betrachteten Bereich von Richtung und Geschwindigkeit des natürlichen Windes zu bilden.

Um die dafür benötigten Bestimmungsgrößen des relativen Windes angeben zu können, muß zuvor für die Fahrgeschwindigkeit ein bestimmter Wert festgelegt werden.

Da sich sowohl die Dichtefunktion des Windes als auch die Arbeitsplatzbelastungsfunktion nur numerisch darstellen lassen, kann die Auswertung des Doppelintegrals auch nur numerisch durchgeführt werden.

Die dabei anfallende umfangreiche Rechnung wird mit Hilfe eines Rechenprogramms unter Einsatz einer Datenverarbeitungsanlage bewältigt.

Für die Berechnung der im folgenden dargestellten Ergebnisse wurde angenommen, daß die auf das Fahrzeug bezogenen Windrichtungen gleich häufig auftreten. Die zweidimensionale Häufigkeitsverteilung des natürlichen Windes zerfällt dann in das Produkt zweier Verteilungsdichten, von denen die eine, wie schon erwähnt, konstant ist, während die andere durch die Randverteilung der Windgeschwindigkeit gebildet wird.

Die unter dieser Voraussetzung gewonnenen Prognosewerte für die mittlere Dauerbelastung gelten damit nur für eine ausreichend große Gesamtheit. Für kleinere Regionen mit ausgezeichneten Wind- und Bearbeitungsrichtungen der Felder kann unter ungünstigen Bedingungen die mittlere Dauerbelastung den Wert der höchsten Dauerbelastung annehmen.

In den folgenden Bildern ist die mittlere Dauerbelastung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit mit der bei den Ausbringerarbeiten maximal zugelassener Windgeschwindigkeit als Parameter dargestellt.

Das Bild 8 zeigt die mittlere Dauerbelastung am offenen Fahrerplatz beim Spritzen mit einem Unimog und Heckanbaugerät, und zwar links im Bild für einen konstanten Emissionsstrom an Wirkstoff pro Meter Spritzbreite ($\dot{E}_{W1} = 1 \text{ kg/m h}$) und rechts für einen konstanten Aufwand an Wirkstoff je Flächeneinheit ($A_W = 1 \text{ kg/ha}$)

Bei konstantem Emissionsstrom nimmt die mittlere Dauerbelastung mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit unterproportional ab und mit größer werdender maximal zugelassener Windgeschwindigkeit unterproportional zu.

Nicht ganz so günstig sind die Verhältnisse bei dem für die Praxis maßgebenden Fall konstanten Aufwandes. Hier steigt vor allem bei höheren maximal zugelassenen Windgeschwindigkeiten die mittlere Dauerbelastung mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit zunächst an, um dann wieder abzufallen.

Auch hier nimmt die mittlere Dauerbelastung mit anwachsender maximal zugelassener Windgeschwindigkeit zu.

Wenn die maximal zugelassene Windgeschwindigkeit jedoch kleiner als die Fahrgeschwindigkeit gewählt wird, tritt überhaupt keine Belastung mehr auf.

Der Unterschied zu den Ergebnissen für konstanten Emissionsstrom erklärt sich aus dem Sachverhalt, daß mit größer werdender Fahrgeschwindigkeit der Emissionsstrom im gleichen Maße ansteigen muß, wenn die pro Flächeneinheit aufgebrauchte Wirkstoffmenge konstant sein soll.

Fast umgekehrte Verhältnisse als bei Heckanbau ergeben sich bei Frontanbau des Spritzgerätes an einem Unimog, wie Bild 9 zeigt. Bei konstantem Emissionsstrom nimmt hier die mittlere Dauerbelastung in dem betrachteten Fahrgeschwindigkeitsbe-

reich mit wachsender Fahrgeschwindigkeit zu und mit größer werdender maximal zugelassener Windgeschwindigkeit ab. Ähnliche Beziehungen ergeben sich auch für konstanten Aufwand, nur steigt hier die mittlere Dauerbelastung mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit überproportional an. Insgesamt sind diese Ergebnisse im Vergleich mit denen, die man für Heckanbau des Spritzgerätes erhält, so ungünstig, daß nur empfohlen werden kann, auf den Frontanbau von Spritzgeräten zu verzichten.

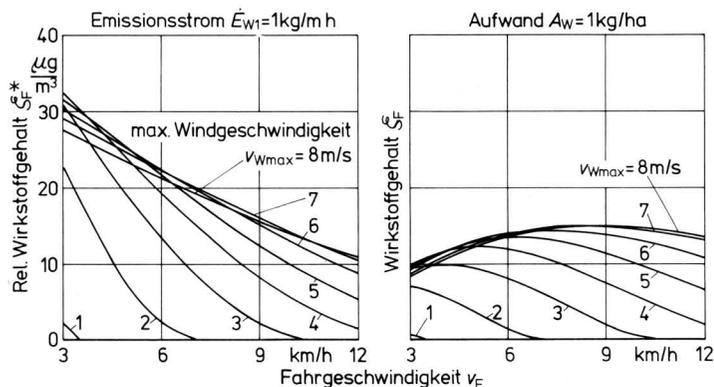


Bild 8. Mittlere Belastung am offenen Fahrerplatz beim Spritzen mit Unimog und Heckanbaugerät; links konstanter Emissionsstrom, rechts konstanter Aufwand.

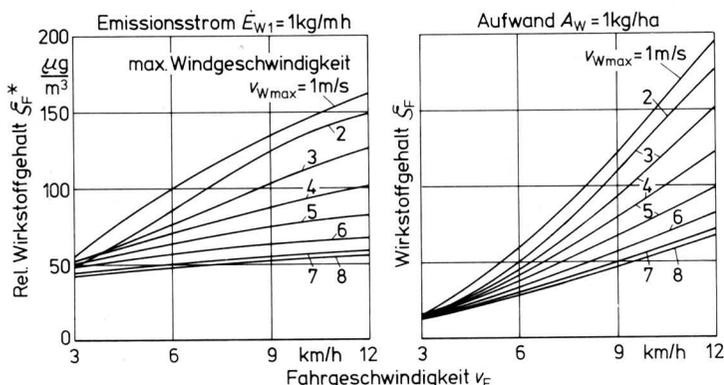


Bild 9. Mittlere Belastung am offenen Fahrerplatz beim Spritzen mit Unimog und Frontanbaugerät; links konstanter Emissionsstrom, rechts konstanter Aufwand.

In Bild 10 sind die mittleren Belastungen am offenen Fahrerplatz für Sprühen mit einem Unimog und Heckanbaugerät dargestellt. Es ergeben sich ähnliche Kurvenverläufe wie beim Spritzen mit Heckanbaugerät, nur mit dem Unterschied, daß die mittlere Belastung mit wachsender Fahrgeschwindigkeit wesentlich langsamer abnimmt. Auch hier gilt, daß keine Belastung mehr auftritt, wenn die Fahrgeschwindigkeit größer als die maximal zugelassene Windgeschwindigkeit ist.

4. Zusammenfassung

Nach der Beschreibung der stochastischen Bestimmungsgrößen des Windes durch deren Verteilungsdichten werden für die Prognoserechnung die Verteilungsdichte von Geschwindigkeit und Einfallswinkel des auf das Fahrzeug bezogenen relativen Windes in Abhängigkeit vom Verhältnis Fahr- zu Windgeschwindigkeit bereitgestellt.

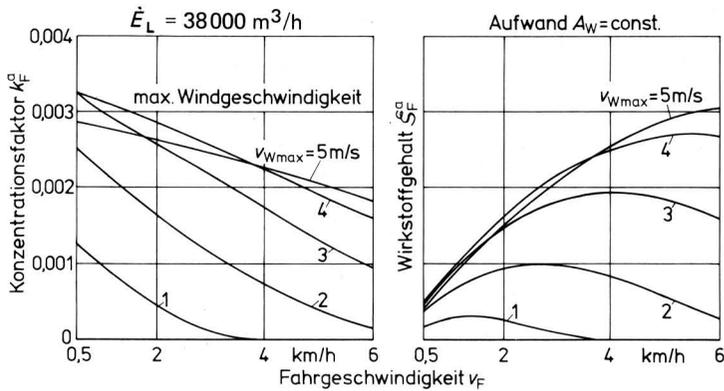


Bild 10. Mittlere Belastung am offenen Fahrerplatz beim Sprühen mit Unimog und Heckanbaugerät; links konstanter Emissionsstrom, rechts konstanter Aufwand.

Ausgehend von den in Prüfstandsversuchen ermittelten Belastungswerten, die bestimmten Windgeschwindigkeiten und -richtungen zugeordnet sind, wird dann durch doppelte Integration über Windgeschwindigkeit und Einfallswinkel des relativen Windes unter Berücksichtigung der Verteilungsdichten dieser Größen die mittlere Dauerbelastung bestimmt. Um die umfangreiche numerische Auswertung mit einer Datenverarbeitungsanlage durchführen zu können, wurde ein Rechenprogramm entworfen.

Die Ergebnisse der Prognoserechnungen zeigen, daß beim Spritzen der Heckanbau des Gerätes eindeutig günstiger als der Frontanbau zu beurteilen ist.

Von bedeutendem Einfluß sind neben den Fahrzeug- und Geräteparametern die Fahrgeschwindigkeit und die größte Windgeschwindigkeit, bis zu der ein Ausbringen der Pflanzenbehandlungsmittel noch zugelassen sein soll. Wenn z.B. die Fahrgeschwindigkeit größer als die höchste auftretende Windgeschwindigkeit ist, tritt bei Heckanbau des Spritzgerätes keine Belastung am Fahrerplatz auf. Unter Beachtung der für das Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln vorgegebenen Rahmenbedingungen sollte daher die Fahrgeschwindigkeit so groß wie möglich gewählt werden, bei möglichst kleiner Geschwindigkeit des auftretenden natürlichen Windes.

Für die Belastung beim Sprühen ergeben sich ähnliche Zusammenhänge wie für das Spritzen mit Heckanbau, nur liegen die Belastungswerte insgesamt deutlich höher.

Verwendete Formelzeichen

A_W	kg/ha, kg/m ²	Aufwand an Wirkstoff je Flächeneinheit
\dot{E}_{W1}	kg/m h	Emissionsstrom aus Wirkstoff pro Meter Spritzbreite und Stunde
\dot{E}_L	m ³ /h	Gebälsluftstrom beim Sprühen
k		Konzentrations- oder Verdünnungsfaktor für den Transmissionsstrom
p_W	($^\circ$ m/s) ⁻¹	Häufigkeitsdichte des natürlichen Windes
p_B	($^\circ$) ⁻¹	Häufigkeitsdichte der Bearbeitungsrichtungen der Felder bzw. der Fahrtrichtungen
p_F	($^\circ$ m/s) ⁻¹	Häufigkeitsdichte des fahrzeugbezogenen natürlichen Windes
p_R	($^\circ$ m/s) ⁻¹	Häufigkeitsdichte des fahrzeugbezogenen relativen Windes
v_W	m/s	Geschwindigkeit des natürlichen Windes
v_F	m/s	Fahrgeschwindigkeit
v_{FW}	m/s	Fahrtwindgeschwindigkeit (entsprechend der Fahrgeschwindigkeit)
v_R	m/s	fahrzeugbezogene Geschwindigkeit des relativen Windes
α_W	$^\circ$	Richtung des natürlichen Windes
α_B	$^\circ$	Bearbeitungsrichtung der Felder bzw. Fahrtrichtung
α_F	$^\circ$	fahrzeugbezogene Richtung des natürlichen Windes
α_R	$^\circ$	fahrzeugbezogene Richtung des relativen Windes
ζ	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Wirkstoffgehalt in der Luft (20 $^\circ\text{C}$, 1013 mbar)
ζ^*	$\frac{\mu\text{g}/\text{m}^3}{\text{kg}/\text{m h}}$	relativer Wirkstoffgehalt in der Luft bei $\dot{E}_{W1} = 1 \text{ kg}/\text{m h}$, sonstige Bedingungen wie bei ζ

Indizes für ζ , ζ^* und k
tiefgesetzt

F im Atembereich am Fahrerplatz während des Feldeinsatzes

hochgesetzt

a atembare Wirkstoffanteil beim Sprühen

Schrifttum

- [1] Batel, W.: Belastung des Arbeitsplatzes beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln durch Spritzen und Sprühen. Grndl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 113/24.