

flächen bzw. durch die ungünstigste Bodenbeschaffenheit der Einsatz von Starrflüglern zusätzliche Unfall-Gefahrenquellen beinhaltet. Es liegt auf der Hand, daß auch auf dem Gebiete der DDR zur gründlichen Erforschung der Einsatzmöglichkeiten des Hubschraubers im Pflanzenschutz entsprechende betriebswirtschaftliche und praktische Untersuchungen demnächst angestellt werden.

Dem Faktor Stillstandzeit widmete Prof. BALTIN ebenfalls große Aufmerksamkeit und betonte den entscheidenden Einfluß bei der gesamtöglichen Einsatzzeit des Flugzeuges. Nach den Erkenntnissen, die der zweijährige Flugzeugeinsatz in der DDR uns dazu gibt, sind die entwickelten Methoden der Beladung hinsichtlich des Zeitumfangs durchaus zufriedenstellend. Nachdem von der manuellen Beladeart abgegangen und Vorratsbehälter entwickelt wurden, die in Verbindung mit dem Weimarer Dungkran zur Anwendung kommen, wurde die Beladezeit bei staubförmigen chemischen Mitteln auf 3 bis 4 min reduziert. Die jetzt im Einsatz befindliche Füllpumpe hat sogar eine Leistung von 200 l/min und entspricht in ihrem System den Ansprüchen vollkommen.

Prof. Dr.-Ing. F. BALTIN

Diskussionsbeitrag

Zu der von mir gestellten Forderung, die Beladezeit des Flugzeuges im Hinblick auf die Rationalisierung aviochemischer Arbeiten weitestgehend zu verkürzen, hat Direktor GORZEL von der DLH dahingehend Stellung genommen, daß der Flugzeugführer wegen seines äußerst anstrengenden Dienstes dringend Erholungspausen braucht. Gegen diese Ansicht sollen keine Einwendungen erhoben werden. Man soll nicht rationalisieren durch übermäßige Ausnutzung der menschlichen Arbeitskraft. Die Mechanisierung will gerade das Gegenteil erreichen. Wir müssen aber rationalisieren durch ökonomische Ausnutzung der Maschine. Der Flugzeugführer muß die notwendigen Erholungspausen erhalten. Die Maschine darf nur in den technisch notwendigen Pausen zur Wartung usw. stillstehen. Diese scheinbar im Gegensatz zueinander stehenden Ansichten lassen sich dadurch auf einen Nenner bringen, daß zwei Flugzeugführer dieselbe Maschine mit Ablösung fliegen. Die Kosten

Die weiteren Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet sollten sich weniger zeiteinschränkenden Methoden als vielmehr arbeitserleichternden und unfalleinschränkenden Formen der Beladung zuwenden. So liegt z. B. bei dem Vorratsbehälter, der in Verbindung mit dem Dungkran die Beladung der Flugzeuge vornimmt, eine hohe Gefährdung von Mensch und Flugzeug bei Seilriß.

Man darf bei der Betrachtung der Frage „Stillstandzeit“ nicht übersehen, daß diese Zeit für den Flugzeugführer die einzige Erholungsmöglichkeit zwischen den Flügen darstellt und so den zeitlichen Umfang von 10 bis 15 min durchaus besitzen darf. Infolge der geringen Aufwendungen an flüssigen chemischen Bekämpfungsmitteln von 5 l/ha beträgt ein Flug bei der Kartoffelkäferbekämpfung durchschnittlich 1 h. Hiervon sind mindestens 50% in 5-m-Tiefflug durchzuführen. Nach dieser Beanspruchung müssen wenigstens 15 min Stillstandzeit für den Flugzeugführer in Kauf genommen werden. Neben der Beladung und Auftankung wird diese Flugpause außerdem von den Mechanikern dazu benutzt, eine technische Durchsicht vorzunehmen.

A 3384

je ha dürften sich schätzungsweise nur um den geringfügigen Betrag von 0,50 DM/ha erhöhen. Es wurde ferner bezweifelt, daß die Wendezeit des Hubschraubers zwischen 0 und 25 s liegt. Ich darf hierzu bemerken, daß die Grenzen extreme Werte sind. Wir haben in unserer Republik wohl kaum einen Hubschrauber-Experten, der über praktische Erfahrung im Pflanzenschutz verfügt. Deshalb müssen wir uns bezüglich der fliegerischen Daten außerhalb unserer Grenzen nach Erfahrungswerten umsehen. Von Dr. SCHUMACHER, Pflanzenschutzamt Bonn, wurden mir Hubschrauberwendezeiten von 3 bis 10 s genannt. Der Chefpilot BAUER vom Deutschen Helicopter-Dienst Rietdorf, Andernach, gibt Wendezeiten von 5 bis 25 s an. Bei einer Vorführung des holländischen Düsenhubschraubers „Kolibri“ habe ich selbst Wendezeiten beobachtet, die kaum noch meßbar waren.

AK 3379

Dr. phil. H. STOBWASSER, Stuttgart-Hohenheim

Möglichkeiten und Grenzen des Aerosoleinsatzes

Mangelnde Systematik bei den in den letzten zehn Jahren angestellten Untersuchungen und praktischen Einsätzen von Aerosolen mit ihren wechselnden Erfolgen hemmte bisher die völlige Klärung der in diesem Verfahren liegenden Möglichkeiten und seiner Grenzen. Im folgenden werden deshalb die physikalischen Eigenschaften der Aerosole und ihr Verhalten unter verschiedenen Bedingungen erläutert sowie die Grundformen der Nebelgeräte mit ihren Vorzügen und Mängeln beschrieben. Weiter gibt diese Abhandlung Aufschluß über die Vor- und Nachteile der Aerosolverwendung, Möglichkeiten des Flugzeugeinsatzes sowie über den Sonderfall Frostschutzverneblung. Es ist zu erkennen, daß die Aerosole künstlich in technischer und wirtschaftlicher Beziehung einen wichtigen Platz im Pflanzenschutz behalten werden. Die Redaktion



1. Einleitung

Im vergangenen Jahrzehnt ist die Verwendungsmöglichkeit von Aerosolen im Pflanzenschutz an zahlreichen Stellen und unter den verschiedensten Bedingungen untersucht und erprobt worden. Anfangs herrschte die Meinung vor, daß die Aerosole weitgehend an die Stelle der bisher üblichen Ausbringungsmethoden treten würden, später ist dann auf Grund der praktischen Erfahrungen eine gewisse Ernüchterung in der Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten von Aerosolen eingetreten, die manchenorts sogar zu einer völligen Ablehnung geführt hat. Es erscheint daher angebracht, nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse ein Zwischenergebnis vorzulegen. Im folgenden wird auf Grund der mir bekannten fremden und der eigenen Erfahrungen ein Überblick über die Merkmale des Aerosolverfahrens, das Für und Wider und über Vorzüge und Nachteile gegeben. Wenn man zurückblickt, sieht man z. T. sehr schöne Erfolge, aber auch einige Fehlschläge, deren

Deutung in einigen Fällen nicht ohne weiteres möglich war. Wenigstens stellenweise dürfte dies am Fehlen einer gewissen Systematik in Forschung und Entwicklung liegen, wodurch es dann auch zu Fehlurteilen gekommen ist.

2. Definition der Aerosole und ihre physikalischen Eigenschaften

Die Untersuchung der physikalischen Eigenschaften verdient Beachtung, da ihre Kenntnis eine wichtige Voraussetzung für die Beherrschung des Aerosoleinsatzes ist.

Was verstehen wir unter Aerosolen?

In engerem Sinne handelt es sich um hochdisperse Systeme fester oder flüssiger Teilchen in gasförmigen Medien (z. B. Luft) mit Teilchengrößen unterhalb 10 μ , d. h. einer Größenordnung, bei der

sich die BROWNSche Molekularbewegung gerade noch bemerkbar macht. Die untere Grenze liegt bei $\approx 0,1 \mu$. Das Aerosolbereich erstreckt sich also über etwa 2 Zehnerpotenzen. In der Praxis läßt sich aber eine scharfe Grenze nicht ziehen, zumal meistens nur anisodisperse Systeme erzeugt werden, die neben vielen kleineren auch mehr oder weniger größere Partikel enthalten. Man sollte deshalb für die Praxis größere Zerteilungssysteme bis zu einer mittleren Teilchengröße von etwa 20 bis 25μ in den erweiterten Begriff miteinbeziehen. Je nach Aggregatzustand der dispersen Phase spricht man von „Rauchen“, wenn die Teilchen fest, und von „Nebeln“, wenn die Teilchen flüssig sind. Auch hier gibt es Übergänge, bei denen schon im Schwebzustand oder nach der Ablagerung neben flüssigen, erstarrenden bzw. kristallisierenden Partikel vorhanden sind, wie es z. B. bei DDT, Captan u. a. der Fall sein kann. Im Sprachgebrauch bedient man sich häufig des Wortes „Nebel“ ohne Rücksicht auf den Aggregatzustand, zumal es ohne Hilfsmittel oft nicht möglich ist, flüssige oder feste Aerosole zu unterscheiden. Im folgenden wird davon gelegentlich auch Gebrauch gemacht.

Das Verhalten der Aerosole im Schwebzustand, wie bei und nach ihrer Sedimentation, ist u. a. abhängig von der Teilchengröße, etwaigen elektrostatischen Aufladungen¹⁾, der Konzentration, dem Dampfdruck des vernebelten Stoffes und seinem Aggregatzustand. Ganz kurz sei erwähnt, daß die Teilchengröße für die Absetzgeschwindigkeit eines Aerosols maßgeblich ist. Sie soll nicht zu klein sein, da sonst die Teilchen von der natürlichen Luftbewegung fortgetragen werden, ehe sie sich absetzen können. Nach Untersuchungen an vernebelten Pflanzenschutzwirkstoffen, über die im Jahre 1957 auf dem Internationalen Pflanzenschutzkongreß in Hamburg von mir berichtet wurde [1], ist die mittlere Teilchengröße der eigentlichen Schwebstoffe nicht unbeträchtlich kleiner als die ihrer Sedimente, was auf die Vereinigung mehrerer Teilchen im Augenblick des Absitzens auf der Unterlage zurückzuführen ist. Dieser Vorgang der Aggregation geht aber nicht erst in diesem Augenblick vor sich, sondern erfolgt schon vorher bei den schwebenden Teilchen. Hier spielen besonders bei Partikeln mit Größen unter 1μ die BROWNSche Molekularbewegung und die von der WAALSchen Anziehungskräfte eine Rolle. In gleicher Richtung wirken ungleichsinnige elektrostatische Ladungen, die bei allen von mir untersuchten Stoffen mehr oder weniger auch ohne zusätzliche Aufladung, lediglich bedingt durch die Vorgänge beim Erzeugen der Aerosole, auftreten. Je größer die Konzentration, desto wahrscheinlicher ist eine Zusammenballung und damit eine Teilchenvergrößerung, was bei der praktischen Durchführung von Verneblungen berücksichtigt werden sollte. Die Sedimente flüchtiger Stoffe (Lindan, Diazinon usw.) verdampfen schneller als größere Niederschläge, was im Hinblick auf eine Dauerwirkung im Gelände von großer Bedeutung sein kann; so gibt es Stoffe, deren Wirkung schon nach ein oder zwei Tagen praktisch aufgehört hat. Der Aggregatzustand der Stoffe spielt sowohl beim eigentlichen Aerosol wie auch im Niederschlag eine Rolle. In der Regel sind flüssige Teilchen erwünschter als feste, besonders in Kristallform, erstens weil sie als kompakte Tröpfchen eine größere Fallgeschwindigkeit besitzen als sternen- oder büschelartige kristallisierte Teilchen der gleichen Größe, wobei vergleichsweise an Regentropfen und Schneeflocken gedacht ist. Zweitens aber auch weil, wenigstens bei Kontaktgiften, flüssige Teilchen oft schneller und sicherer wirken als kristallisierte. So wurde bei der Bekämpfung von Fichtenborkenkäfern mit reinem HCH, das in Kristallform vorlag, nur eine geringe, nach Beigabe von Kristallisationsverzögerern jedoch eine sehr gute Wirkung erzielt. Insgesamt können wir also aussagen, daß die Kenntnis der physikalischen Eigenschaften für die Fortentwicklung der Aerosolverfahren von erheblicher Bedeutung sein kann.

3. Abhängigkeit von Wetter- und Geländeverhältnissen

Mehr als bei anderen Ausbringungsverfahren hängt der Erfolg einer Verneblung von den natürlichen Luftbewegungen ab. Für eine Verneblung ist günstig ein schwacher und in der Richtung stetiger Wind, der nicht stärker als ≈ 4 m/s sein sollte. An sich ist diese Windgeschwindigkeit für eine befriedigende Ablagerung schon zu groß; sie wird aber im Walde wie auch im Pflanzenbestand (z. B. in einem Kartoffel- oder Rübenfeld) meistens so abgeschwächt sein, daß es noch zu einer ausreichenden Ablagerung kommen kann. Bei zu schwachem Wind besteht die Gefahr des Hin- und Herbendens, was eine gleichmäßige Bedeckung einer Fläche mit Nebelsediment unsicher macht. Unvorteilhaft ist im allgemeinen völlige Windstille, da bei ihr die Zugrichtung der Nebelwolke ganz ungewiß ist und bei Inversionsströmungen die Gefahr besteht, daß die Wolken in die Höhe steigen und so für die Behandlung verlorengehen.

Die Durchführung eines Nebelinsatzes und dessen Erfolg werden durch schwache Regen auch dann noch nicht gestört, wenn bei

¹⁾ Siehe auch GÖHLICH: Elektrostatische Aufladung beim Stäuben und Sprühen. S. 78.

anderen Applikationsverfahren Regenwetter die Ausbringung schon stark erschwert oder unmöglich macht. Sollte allerdings durch vorhergehenden Regen das Blattwerk schon vollständig benetzt sein, besteht die Möglichkeit, daß auch bei Aerosolniederschlägen die sich auf den Wasserfilm absetzenden Tröpfchen mit diesem ablaufen. Bemerkenswert ist die Beständigkeit der Nebelniederschläge gegen spätere Regenfälle. Die meisten Stoffe sind in Wasser nicht oder nur schwer löslich. Sie haften als kleine Nebeltröpfchen fest an den Blattflächen und werden daher vom Regen nicht abgespült.

In geschlossenen Räumen, z. B. in Gewächshäusern, kommen Aerosole voll zur Wirkung, da sich praktisch der gesamte vernebelte Stoff in dem umgrenzten Raum absetzen kann. Sehr gute Erfahrungen wurden so bei der Heißverneblung von HCH und DDT in Gewächshäusern bis über 7500 m² Grundfläche gemacht, in denen Rote Spinnen auf Nelkenkulturen bekämpft wurden. Es wurde hierbei gegen Abend in die Gewächshäuser hineingenebelt und durch kurzzeitiges Öffnen von Fenstern an gegenüberliegenden Seiten der Nebel gleichmäßig im Raum verteilt. Über Nacht setzte sich der Nebel ab und am nächsten Morgen konnte der Raum entlüftet und wieder betreten werden. Der gute biologische Erfolg entsprach zumindest dem des wesentlich umständlicheren und mehr Zeit und Arbeitskräfte erfordernden Spritzen von E 605, abgesehen von dessen größerer Giftigkeit.

In gewissem Sinne kann man auch dichtere Waldbestände zu geschlossenen Räumen rechnen. Hier ist die Luftbewegung gegenüber freien Feldern herabgesetzt und so die Möglichkeit zur Ablagerung der Aerosolteilchen in erhöhtem Ausmaße gegeben. Es ist dies auch der Grund, weswegen über Verneblungen im Forst die meisten Erfahrungen vorliegen. Unterholz übt zwar eine gewisse Filterwirkung aus, doch ist sie relativ gering, so daß auch im Walde beträchtliche Wirkungstiefen erreicht werden können, zumal wenn stärkere Gebläse der Nebelfahne die richtige Ausgangsrichtung geben. Diese Gebläse sind bei Waldneblungen auch wichtig, um die Nebelfahnen bis in die Kronen der höheren Bäume zu tragen. Nach Erfahrungen der bayrischen Forstverwaltung und eigenen Beobachtungen gelingt es bei günstiger Wetterlage, die Nebelwolke mehrere hundert Meter im Kronenraum zu halten und so die Wirkung des Nebels voll auszunutzen.

Die Verneblung von Feldkulturen ist schwieriger als die im Walde, weil hier die Luftbewegungen meist stärker sind, wenn auch in dichteren Kulturen (Kartoffeln, Rüben, Getreidefeldern) und auch in den Kronen von Obstbäumen der Wind abgebremst wird. Wichtig ist natürlich, daß die Nebelwolke in die Kulturen selbst eindringt und nicht darüber hinwegstreicht, wie dies hin und wieder bei Geräten ohne Ventilator, z. B. auf Kartoffeläckern, beobachtet worden ist. Unter diesen Voraussetzungen sind erfolgreiche Verneblungen durchaus möglich, zumal wenn man geeignete Witterungsverhältnisse für die Durchführung wählt. Abend-, Nacht- und Morgenverneblungen — diese vor Auftreten von Inversion — sind am aussichtsreichsten, da zu diesen Zeiten am ehesten mit gleichmäßigen und schwachen Winden zu rechnen ist.

Im Zusammenhang mit der Ablagerung der Nebelteilchen auf den Pflanzen sei noch kurz auf eine Frage eingegangen, über die die Meinungen auseinandergehen. Vielfach wird die Ansicht vertreten, daß nur Teilchen von $> 20 \mu$ Dmr. für den Pflanzenschutz in Frage kämen, da kleinere die Strömungsschichten an den Pflanzen nicht durchschlagen könnten [2]. Demgegenüber stehen besonders die Erfahrungen mit Heißnebelgeräten, bei denen trotz z. T. viel kleinerer Schwebstoffteilchen gute biologische Erfolge erzielt worden sind, d. h., daß auch diese hochdispersen Tröpfchen sich in genügender Menge abgelagert haben müssen. Dieser scheinbare Widerspruch ist wohl so zu erklären, daß die wie Freiballone schwebenden kleinen Tröpfchen schon durch schwächste Luftbewegungen zwischen den Pflanzen in Turbulenz geraten, die ihnen eine sehr viel stärkere kinetische Energie verleiht als ihrer durch die Größe gegebenen Fallgeschwindigkeit entspricht. Dies wirkt sich dann so aus, daß die Aerosolteilchen sich an allen Seiten, Ober- wie Unterseiten von Blättern ablagern. Als Unterstützung für diese Auffassung mögen Beobachtungen dienen, nach denen gelegentlich von Kartoffelkäferbekämpfungen mit Heißnebelgeräten auch die an den Blattunterseiten liegenden Eigelege getroffen und die aus ihnen schlüpfenden Larven abgetötet wurden, ferner, daß die fast ausschließliche mit ihren Sporen in die Öffnungen an der Unterseite von Weinblättern eindringende Rebenperonospora wirksam bekämpft werden konnte.

Daß die Geländegestaltung Einfluß auf den Erfolg einer Verneblung haben kann, hat sich z. B. in Schwierigkeiten bei der Bekämpfung von Buchenprachtkäfern an den Steilhängen der Schwäbischen Alb gezeigt, bei denen eine Vorbestimmung der Zugrichtung des

Windes und damit der Nebelfahnen oft schwer oder nicht möglich war. Ähnliche Verhältnisse liegen im Weinbau bei hängigem Gelände vor, zumal wenn Bergeinschnitte oder Schluchten einen kaum vorauszusehenden Einfluß auf die Windrichtung haben [3].

4. Nebelverfahren

Bei einem Überblick über das Aerosolproblem dürfen auch die wichtigsten Aerosolhersteller nicht unerwähnt bleiben. Wir können im Prinzip Heißnebler und Kaltnebelgeräte unterscheiden. Bei den ersteren wird der reine Wirkstoff, gegebenenfalls unter Beifügung von Begleitstoffen, geschmolzen und kurzzeitig über den Siedepunkt erhitzt. Beim Austritt aus dem Nebelgerät werden die dampfförmigen Stoffe unter Bildung feinsten Teilchen kondensiert.

In den Kaltnebelgeräten wird der Wirkstoff in einer möglichst hochprozentigen Lösung in einem leichtflüchtigen organischen Lösungsmittel mechanisch versprüht, wobei das Lösungsmittel verdunstet und der Wirkstoff in Aerosolform zurückbleibt. Zwischen diesen Grundformen gibt es eine Reihe von Zwischenlösungen verschiedenster Art. Ein Vorteil der reinen Heißnebelgeräte ist der, daß das relativ teure Lösungsmittel eingespart wird und das Aerosol weitgehend isodispers anfällt. Nachteilig dagegen ist, daß temperaturempfindliche Stoffe wegen einer etwaigen Zersetzung nur in Ausnahmefällen in Frage kommen, während beim Kaltnebelverfahren eine Verwendung ohne weiteres möglich ist. Bei diesen läßt sich außerdem die Teilchengröße durch geeignete Einrichtungen besser beeinflussen. Ganz allgemein unterscheiden sich die Nebelgeräte gegenüber dem Spritzen und Sprühen durch den Fortfall des Wassers, was aus verschiedenen Gründen vorteilhaft ist.

5. Wirkstoffe

Von der chemischen Industrie sind in den vergangenen Jahren sehr viel neue und hochwirksame Stoffe auf den Markt gebracht worden. Ob sie für eine Aerosolierung geeignet sind oder nicht, hängt davon ab, daß sie in genügender Menge in organischen Medien löslich oder genügend hitzebeständig sind. Da diese Forderungen nicht immer erfüllt werden, scheiden einige an sich gute Wirkstoffe für die Verneblung aus. Abzulehnen ist aus Gründen der Gefährdung von Mensch und Tier die Verneblung der hochgiftigen Stoffe der Estergruppe.

Die meisten Erfahrungen liegen über die Verneblung von Insektiziden vor, da es sich bei diesen meist um lösliche und nicht zu empfindliche Substanzen handelt. Nötigenfalls kann der Wirkstoff stabilisiert werden, wie es z. B. bei DDT geglückt ist.

Schwieriger ist die Verneblung von Fungiziden, da die Belegung wesentlich gleichmäßiger und vollständiger sein muß als bei Insektiziden. Die tierischen Schädlinge bewegen sich auf der Pflanze und erhalten so mit dem Gift auch dann Kontakt, wenn nicht überall Wirkstoff abgesetzt ist, während die anliegenden Pilzsporen einen geschlossenen Wirkstoffbelag brauchen, um mit dem Fungizid in Berührung zu kommen. Bei den Fungiziden tritt erschwerend hinzu, daß nach den bisher vorliegenden Erfahrungen bei weitem nicht alle den genannten Forderungen auf Löslichkeit und Beständigkeit entsprechen. Eigene Untersuchungen haben sich mit der Verneblung rein organischer Fungizide wie Captan und Thiuram, ferner mit organischen Cu-Verbindungen und mit elementarem Schwefel beschäftigt. Mit diesen Stoffen angestellte umfangreiche Freilandversuche gegen Apfelschorf, Kartoffelphytophthora und Rebenperonospora unternommen, erbrachten z. T. gute Erfolge, so daß bei Sammlung weiterer praktischer Erfahrungen eine nützliche Anwendung von Aerosolen auch gegen Pilzschädlinge zu erhoffen ist [3].

Ein Nachteil der Aerosolverfahren ist die wesentlich schwierigere exakte Dosierung des Wirkstoffes auf der zu behandelnden Fläche. Dies ist u. a. auch ein Grund dafür, weswegen die Bekämpfung von Unkräutern, insbesondere mit Wuchsstoffmitteln, zumindest vorläufig nicht in Betracht kommt. Bei einer Verneblung solcher Stoffe würden in der Nähe des Nebelgerätes nicht nur die Unkräuter betroffen, sondern auch die Kulturpflanzen gefährdet werden, während die Konzentration an Wirkstoff gegen das Ende der Nebelfahne immer mehr abnimmt und schließlich nicht mehr ausreicht, um gegen die Unkräuter wirksam zu sein.

6. Durchführung von Verneblungen

Mit jeder chemischen Bekämpfung von Pflanzenschädlingen ist die Gefahr einer Störung des biologischen Gleichgewichtes verbunden. Dies ist bei der Anwendung von Aerosolen von besonderer Bedeutung, da der Nebel ja nicht wie beim Spritzen und Sprühen auf eine bestimmte Fläche begrenzt werden kann, sondern mit der Zugrichtung des Windes wesentlich größere Flächen bestreicht,

deren Ausmaße und Grenzen zudem nicht festgelegt werden können. Daher sollten die Nebelverfahren auf Großeinsätze beschränkt bleiben, die eine sorgfältige Vorplanung erfordern. Zu empfehlen ist hier eine Zusammenarbeit von Technikern mit Landwirten, Biologen und Meteorologen. Es wird hierbei der Zeitpunkt festzulegen sein, es müssen die richtige Auswahl der Nebelstoffe getroffen und vor allem die gegebenen örtlichen Verhältnisse berücksichtigt werden.

Für Feldbehandlungen kommen in erster Linie die windschwachen Abendstunden, die Nachtzeit, unter Umständen auch die frühen Morgenstunden in Betracht, solange durch Sonneneinstrahlung nicht Inversionswinde auftreten. Diese können jedoch im Forst dazu ausgenutzt werden, um den Nebel in die Kronen hoher Bäume zu transportieren. Im übrigen sind auch im Walde die gleichen Zeiten als geeignet anzusehen. Gern bedienen sich die Forstverwaltungen der Nachtstunden für größere Aktionen, für die zusätzlich lediglich stärkere Scheinwerfer erforderlich sind [4], [5], [6], [7].

Unter günstigen Umständen werden auf Feldern Wirkungstiefen von 100 m und mehr erreicht, die bei eigenen Versuchen gegen Kartoffelkäfer und in Weizenfeldern biologisch getestet worden sind. Mit Borchers-Großnebelgeräten sind in Niedersachsen bei der Bekämpfung von Weizengallmücken sogar Wirkungstiefen von 400 m und darüber beobachtet worden [8]. Mit Fungiziden wurden solche bis zu 60 m bei *Septoria apii* festgestellt [9].

Die Durchführung der Verneblungen im einzelnen weicht in einigen Punkten von der des Spritzens und Sprühens ab. Man muß sich vergegenwärtigen, daß mit diesem Punktziele oder kleinere Flächen behandelt werden sollen, während der Nebel in die Breite und Tiefe wirkt. Im Prinzip gilt beim Nebeln die Regel, daß die Wolke mit dem Winde über oder durch die Objekte geführt werden soll, wobei man den Gebläsewind natürlich ausnutzen muß, um die Wolke an die richtige Ausgangsbasis zu bringen, d. h. praktisch den Nebel so in einen Kartoffelacker einzublasen, daß er zwischen die Pflanzen gelangt und nicht allein über sie hinwegstreicht. Ist der Wind nicht allzustark, breitet sich der Nebel im Kartoffelkraut aus und hält sich dort eine gewisse Zeit, so daß man den Eindruck hat, als ob es aus dem Acker raucht. Bei Behandlung von Obstbäumen zielt man mit dem Nebelstrahl nicht unmittelbar in die Kronen, sondern hält etwas vor, damit die Nebelwolke durch den kräftigen Gebläsewind nicht zu schnell durch das Blattwerk hindurchgetragen wird. Allgemein empfiehlt es sich, mit dem Nebelgerät nicht zu nahe an die Objekte heranzugehen, sondern einen Abstand von mindestens 3 m zu halten. Bei einer abendlichen Verneblung gegen Maikäfer mußte z. B. wegen einer vorgelagerten und nicht befahrbaren Wiese ein Abstand von etwa 80 m gehalten werden; trotzdem war der Erfolg überraschend gut. In steilen Weinbergen bewährte sich das Einblasen in die schmalen Steinstaffeln und Wasserablauffröhen, aus denen sich der Nebel seitwärts in die Terrassen verteilte. Im Rahmen eines solchen gedrähten Überblickes können nur die wesentlichen Merkmale für die Durchführung von Verneblungen behandelt werden. Dieser Besonderheiten müssen sich die Durchführungsorgane bewußt sein, denn anderenfalls ist mit der Möglichkeit von an sich vermeidbaren Schwierigkeiten zu rechnen.

7. Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile

Auf Grund der bisherigen Ausführungen drängen sich einige Fragen auf: Was zeichnet die Aerosolverwendung im Pflanzenschutz vor den anderen Verfahren aus, wo ist sie möglich oder sogar notwendig und in welchen Punkten ist sie den traditionellen Methoden unterlegen? Hierbei soll aber zunächst nur ein Vergleich mit den anderen erdgebundenen Verfahren erfolgen.

Ein wesentliches Merkmal ist die schon mehrfach erwähnte große Wirkungstiefe der Aerosole. Sie erlaubt es in vielen Fällen, in kurzer Zeit große Flächen zu bedecken und große Räume mit Nebel anzufüllen. Damit kann man eine nicht unbeträchtliche Einsparung an Zeit und Arbeitskräften erreichen. Eng ist damit verknüpft, daß die einzelnen Behandlungstreifen größer sein können und etwaige Flurschäden auf Unterkulturen durch das Befahren eingeschränkt werden. Dieses war z. B. der Grund, weswegen bei dem Weizengallmückenbefall der letzten Jahre in Niedersachsen dem Nebeln der Vorzug vor dem Spritzen und Sprühen gegeben worden ist. Von den erdgebundenen Verfahren ist im Forst das Nebeln das einzige, mit dem man in großen Räumen wirksam Schädlinge bekämpfen kann. Weder Spritzen und Sprühen noch das regenempfindliche Stäuben führen hier zu nennenswerten Erfolgen. Schließlich sei noch die Bekämpfung der Kirschfruchtfliegen erwähnt, bei der sich in Mischbeständen wie auch in geschlossenen Kirschkulturen die Nebelverfahren oft gut bewährt haben, zumal dann, wenn es wegen der Unterkulturen nicht möglich war, die Kirschbäume aus unmittelbarer Nähe zu behandeln [10], [12].

Bei den Aerosolverfahren wird Wasser nicht benötigt, dessen Antransport in vielen Fällen mühselig und zeitraubend ist. Wegen des hohen Wirkstoffgehaltes im Nebelmittel und hier besonders bei denen für Heißverneblungen werden Transportraum und -kosten eingespart.

Die außerordentlich feinen Aerosolteilchen folgen den schwächsten Luftbewegungen und hüllen die Objekte von allen Seiten ein. Die Nebeltröpfchen lagern sich sowohl auf Blattober- und Unterseiten wie auch auf der Luv- und der Leeseite der behandelten Bäume ab. Biologische Testungen an Fichtenstämmen erbrachten z. B. auf den Rückseiten noch $\approx 70\%$ der Wirksamkeit der gegen Borkenkäfer benebelten Vorderseiten. Ihrer Feinheit verdanken die Nebelteilchen auch die Fähigkeit, in kleinste Öffnungen und Spalten einzudringen. So gelang es mit HCH-Nebel, Thripse durch die Blattspalten in Gladiolen und die in den feinsten Winkeln der Herzblätter von Rüben sitzenden Riihenmotten wirksam zu bekämpfen.

Laborvergleichsversuche mit analytisch kontrollierten Wirkstoffmengen ergaben bei Aerosolen in der Regel eine Überlegenheit der biologischen Wirkung gegenüber gespritzten und gestäubten Mitteln, was wohl auf die größere aktive Oberfläche der feinen Aerosolpartikel zurückzuführen ist.

Die Nebelsedimente sind gegen Regen sehr beständig. Soweit der Dampfdruck der Stoffe nicht zu gering ist und deswegen die Wirkung durch Verdunsten schnell nachlassen würde, bleiben die Nebelsedimente auch bei starken Regenfällen unter Umständen monatelang erhalten. Nach den Erfahrungen einer Pflanzenschutzdienststelle in Südwestdeutschland war auf Blättern von Kirschbäumen, die im Juni gegen die Kirschfruchtfliege behandelt worden waren, trotz insgesamt 500 mm Regen bei Blattfall im Herbst die DDT-Wirkung noch einwandfrei festzustellen.

Wann ist das Nebelverfahren den anderen erdgebundenen Verfahren unterlegen und wann treten Nachteile auf?

Zweifellos ist die Verwendung von Aerosolen beträchtlich von den Windverhältnissen abhängig. Stärkerer und in seiner Richtung schwankender Wind, aber auch völlige Windstille und thermische Aufwinde infolge Sonneneinstrahlung sind ungünstig und erschweren den Nebeleinsatz, wenn sie ihn nicht unmöglich machen. Daher wird eine Verneblung tagsüber nur relativ selten zweckmäßig sein.

Wenn auf der einen Seite erwünscht ist, daß die Nebelwolken mit dem Winde ziehend große Flächen bestreichen, so birgt diese Windabhängigkeit den Nachteil in sich, daß die Wolken nicht auf bestimmte Flächen begrenzt werden können. Sind die Behandlungsobjekte zu klein, so ziehen die Aerosolfahnen weit über sie hinaus, treffen auf Nachbarkulturen, die nicht behandelt zu werden brauchen oder bei denen die Mittel sogar Schaden anrichten können. Daraus ergibt sich die schon erwähnte Notwendigkeit, den Nebeleinsatz in der Regel auf größere Objekte zu beschränken.

Eine gleichmäßige und vollständige Bedeckung einer Fläche mit Wirkstoffen ist ungleich schwieriger als bei anderen Methoden. In der Nähe der Nebelgeräte treten hohe Wirkstoffkonzentrationen auf, die mit der Entfernung niedriger werden. Man wird also in der Nähe überdosieren müssen, um auch in größerem Abstände einen noch ausreichenden Belag zu erhalten. Bei vielen Wirkstoffen ist dies unbedenklich, bei anderen kann es aber zu Pflanzenschädigungen führen, was bei der Auswahl der Stoffe berücksichtigt werden sollte. Ist der Wind stetig und in der Richtung gleichbleibend, wird die Nebelwolke gleichmäßig das Objekt durchziehen, aber schon bei kleinen Winddrehungen besteht die Möglichkeit, daß einzelne Stellen nicht von der Nebelwolke betroffen werden. In diesen Fällen sollte man solche wirkstofffreien „Inseln“ mit einem tragbaren Kleingerät nachbehandeln.

Pflanzenschutzgeräte sollen möglichst universell anwendbar sein. Wir haben gesehen, daß in erster Linie nur Insektizide und unter Umständen auch Fungizide für das Vernebeln in Betracht kommen. Es ist daher auch von der stofflichen Seite her die Anwendungsbreite der Aerosolherzeuger beschränkt. Mit Kombinationsgeräten, die wahlweise die eine oder andere Methode zulassen, kann diesem Umstande Rechnung getragen werden, wie dies bereits in einigen Fällen geschehen ist.

Für den Behandlungserfolg ist wichtig, daß man sieht, wohin die Wirkstoffwolke gelangt, um etwa nötige Seiten- oder Höhenkorrekturen vornehmen zu können. Bei genügender Luftfeuchtigkeit und bei allen mit Ölen arbeitenden Geräten ist die Nebelwolke gut sichtbar. Allerdings stimmt die sichtbare Wolke nicht immer mit dem Wirkstoffaerosol überein [12]. Bei anderen Ausbringungs-

verfahren kann sich der Landwirt durch Augenschein von dem gut erkennbaren Niederschlag des Mittels auf den Pflanzen überzeugen, anders bei den Aerosolsedimenten, da diese wegen ihrer Kleinheit ohne Instrument nicht wahrnehmbar sind. Man muß sich also allein auf die Beobachtung der Nebelwolke unter Umständen durch Geruchskontrollen verlassen.

8. Nebelverwendung im Flugzeug²⁾

Bei der vorhergehenden vergleichenden Übersicht habe ich den Flugzeugeinsatz außer Betracht gelassen und nicht lediglich auf die Bodengeräte beschränkt, da ja auch die Nebelgeräte zu diesen gehören und sie heute noch vorwiegend verwendet werden. Daneben gewinnt zweifellos die Anwendung von Flugzeugen immer mehr an Bedeutung, was hauptsächlich in ihrer großen Leistungsfähigkeit begründet ist. Im allgemeinen werden heute Pflanzenschutzmittel aus Flugzeugen in Form möglichst konzentrierter wäßriger Lösungen versprüht, um den Bedarf an Transportraum möglichst klein zu halten. Es ist dies aber beschränkt, so daß die Frage auftaucht, ob nicht auch ein Nebeleinsatz aus Flugzeugen sinnvoll und nutzbringend sein könnte. Über Flugzeugnebelversuche in der Tschechoslowakei haben u. a. KOULA und DURASOVA berichtet [13], bei denen infolge klimatischer Veränderungen die biologischen Ergebnisse schwankend waren. Bei kleineren Versuchen am Niederrhein wurden rechts und links von der Kanzel von Hubschraubern Schwingfeuergeräte befestigt, um festzustellen, wie sich die Nebelwolke hinter bzw. unter dem Flugzeug verhält. Es zeigte sich, daß bei einem Flug dicht über den Bestand sich die beiden Wolken hinter der Maschine vereinigten und geschlossen den Bestand erreichten und in ihn eindringen. Wenn auch aus solchen Einzelversuchen noch keine endgültigen Schlüsse gezogen werden können, so scheint es doch angebracht, auf diesem Wege weitere Untersuchungen anzustellen. Es ließe sich vorstellen, daß bei hochkonzentrierten Nebelmitteln Transportraum- und -gewicht eingespart und so die Leistungsfähigkeit des Flugzeugeinsatzes weiter gesteigert werden könnte.]

9. Frostschutznebel

Ein Sonderfall der Aerosolverwendung im Pflanzenschutz ist die Frostschutznebelverneblung in wertvolleren Kulturen. Es ist bekannt, daß sie in gewissem Umfang neben den beiden anderen Verfahren, der Aufstellung von Heizöfen und der Beregnung, mit Erfolg möglich ist. Der Schutz erstreckt sich allerdings nicht auf einen so großen Temperaturbereich wie bei dem letztgenannten Verfahren, das aber zumindest in der Investierung erheblich teurer und nicht frei von zusätzlichen Gefahren ist. Zur Erzeugung der frostschützenden Nebeldecke werden sowohl einfache Räucheröfen zum Abschwellen geeigneten Materials wie auch Frostschuttpatronen verwendet. Als Nachteil kann dabei durch die Heißluft aus Öfen und Patronen die Nebelwolke in die Höhe getrieben werden und so für den Schutz niedrigerer Kulturen verloren gehen. Man könnte auch so verfahren, daß man aus einem beweglichen Fahrzeug Nebel erzeugt, diesen mit dem Gebläsewind abkühlt und so in den wind-schwachen oder windstillen Frostnächten an die unteren Luftschichten bindet.

10. Zusammenfassung

Die Anwendung von Aerosolen im Pflanzenschutz birgt viele Möglichkeiten in sich und füllt manche Lücke aus, wenn mit den traditionellen Methoden keine oder nur geringe Erfolge zu erwarten sind. Will man sich der Aerosole bedienen, muß man sich aber ihrer Merkmale bewußt sein und wissen, wo und wann ihr Einsatz nützlich oder geboten bzw. wann er unzweckmäßig oder gar nutzlos ist. Es wäre zu wünschen, daß an möglichst vielen Stellen weitere Erfahrungen in Theorie und vor allem in der Praxis gesammelt würden, die dann der Allgemeinheit zugänglich und für die Praxis nutzbar gemacht werden. Unter diesen Voraussetzungen darf man nach dem heutigen Stand wohl erwarten, daß die Nebelverfahren in der Schädlingsbekämpfung neben den anderen Ausbringungsmethoden ihren Platz nicht nur behaupten, sondern wahrscheinlich noch ausbauen werden.

Literatur

- [1] STOBWASSER, H.: Beitrag zur Kenntnis der physikalischen Eigenschaften von Wirkstoffaerosolen. Ref. auf IV. Intern. Pflanzenschutzkongreß in Hamburg September 1957.
- [2] BORCHERS, Fr.: Bekämpfung der Maikäfer. Sonderheft Gesunde Pflanzen (1952) 40.
- [3] STOBWASSER, H.: Freilanduntersuchungen über die Möglichkeit einer Bekämpfung von Obstschorf und Rebenperonospora mit Kondensationsnebel. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz (1956) S. 321.

²⁾ Siehe auch SCHMIDT: Flugzeugeinsatz in biologischer Sicht, S. 60, und BLÁHÁ: Flugzeugeinsatz im Pflanzenschutz der CSR, S. 61.