

Technische Untersuchungen an Pflanzenschutzgeräten für den Weinbau

Eberhard Moser und Rolf Allimant

Abteilung für Technik im Obst-, Gemüse- und Weinbau der
Universität Hohenheim

1. Einleitung

Der Pflanzenschutz in Sonderkulturen, besonders im Wein- und Obstbau, hat in den letzten Jahrzehnten von der handbetriebenen Rückenspritze bis zu Großraum-Sprühgeräten, die meist mit höchster Konzentration, sehr niedrigen Brühemengen und hoher Flächenleistung arbeiten, eine stürmische Entwicklung auf technischem Gebiet durchgemacht. Dieser Prozeß wurde im Weinbau vor allem auf Grund der notwendigen Steigerung der Arbeitsproduktivität und der gleichzeitigen Hebung der Qualität und Quantität von Traubenprodukten sowie des immer akuter werdenden Mangels an Arbeitskräften vorangetrieben. Diese Entwicklung hat dazu geführt, daß man heute bei den Pflanzenschutzmaßnahmen im Ertragsweingebiet mit dem geringsten Bedarf an Arbeitskräften auskommt. Je nach Lage, Zeilenabstand und Unterstützungsform macht, wie Tafel 1 zeigt, bei der Produktion von Trauben der Arbeitszeitaufwand für den Pflanzenschutz nur 4,0 bis 6,4 Prozent des gesamten Arbeitszeitaufwandes aus [1].

Der geringe Arbeitskräftebedarf im Pflanzenschutz wird durch einen hohen Mechanisierungsgrad dieses Arbeitsablaufes erreicht. Der Kostenaufwand für Maschinen und Geräte ist hier dagegen sehr hoch und beträgt etwa 40 bis 50 Prozent der gesamten Gerätekosten, die im Weinbau (Außenwirtschaft) beim heutigen Stand der Mechanisierung aufzubringen sind. Der Anteil der Arbeitskosten an den Gesamtkosten bei Pflanzenschutzmaßnahmen im Weinbau liegt zwischen 45 Prozent für Steillagen mit engem Zeilenabstand und 19 Prozent für Flachlagen mit großem Zeilenabstand. In der Schädlingsbekämpfung steht damit dem geringsten Bedarf an Arbeitszeitaufwand der höchste Bedarf an Maschinen- und Gerätekosten gegenüber. Dazu kommt noch, daß diese Geräte während eines Jahres nur über einen relativ kurzen Zeitraum eingesetzt werden. Die Ursache dieser Entwicklung ist einerseits auf die Forderung nach einer kurzfristigen und schnellen Abwicklung der Einzelbehandlung, die sich über maximal drei Tage erstrecken muß, andererseits auf den Mangel an Arbeitskräften zurückzuführen [2]. Die Bestrebungen, die Konzentration der Pflanzenschutzmittel zu erhöhen und damit den Brüheaufwand und die Transportkosten herabzusetzen, sowie Geräte mit hoher Flächenleistung und ausreichendem Durchdringungsvermögen zu schaffen, haben gerade im Weinbau in den vergangenen Jahren zu einer revolutionierenden technischen Entwicklung geführt, deren Ende noch nicht abzusehen ist.

Die Pflanzenschutzmittel werden im Weinbau vor allem in flüssiger Form ausgebracht. Dabei setzt sich das Sprühen gegenüber dem Spritzen immer mehr durch. Diese beiden Ausbringverfahren werden durch die Größe der ausgebrachten Flüssigkeitsteilchen gegeneinander abgegrenzt. Beträgt bei der Tropfengrößenverteilung der mittlere Tropfendurchmesser, welcher der Masse nach den größten Anteil an der gesamten ausgebrachten Flüssigkeitsmenge hat, 0,3–0,15 mm, so spricht man vom Ausbringverfahren Spritzen; vom Sprühen dagegen, wenn Tropfen mit einem Durchmesser von 0,15–0,05 mm ausgebracht werden.

Das Spritzen, das heute oft noch als sicherstes Verfahren angesehen wird, arbeitet mit niedrigeren Konzentrationen und daher mit hohem Brüheaufwand, der bei nicht stationären Geräten zu einem hohen Zeitaufwand für den Transport und für das Umfüllen der Spritzbrühe führt. Eine Reduzierung des Wasseranteiles der Brühe stellt somit eine Möglichkeit zur weiteren Senkung des Kosten- und Zeitaufwandes dar.

Eine Verminderung des Wirkstoffanteiles von chemischen Pflanzenschutzmitteln müßte im Hinblick auf die Gefährdung unserer Umwelt immer angestrebt werden, obwohl diese gegenüber anderen Emissionen relativ gering sind. Eine Herabsetzung des Wirkstoffes ist durchaus möglich, wenn man bedenkt, daß bei einigen Anwendungsmitteln, hauptsächlich bei Insektiziden und Fungiziden, heute etwa nur $\frac{1}{10}$ der gesamten ausgebrachten Wirkstoffmenge ausreichen würde, um bei der Bekämpfung der Schädlinge einen ausreichenden Erfolg zu erzielen [3]. Mit einer höheren Konzentration ist jedoch die Notwendigkeit verbunden, kleinere Tröpfchen auszubringen, um einen gleichmäßigen Belag zu erhalten und eine Überkonzentration auf den Pflanzenteilen zu vermeiden. Es ist aber heute schon deutlich abzusehen, daß auch in Zukunft nicht nur mit Tröpfchen von geringem Durchmesser gearbeitet werden kann, sondern daß wegen der selektiven Wirkung bei verschiedenen Pflanzen auch das Spritzverfahren beibehalten werden muß. Man wird nicht nur aus den oben genannten Gründen, sondern auch vom energetischen Wirkungsgrad des Ausbringungsverfahrens her bestrebt sein müssen, die Wirkstoffmenge wie auch die Aufwandmenge der Pflanzenschutzmittel herabzusetzen.

Mit der Einführung des Sprühverfahrens treten neue Probleme auf. Der Erfolg einer Pflanzenschutzmaßnahme ist bekanntlich von der Menge und Gleichmäßigkeit der Tröpfchenablagerung auf den Pflanzen abhängig. Bei Verkleinerung der Tropfen nehmen bei gleicher Anfangsgeschwindigkeit die Reichweite, die Auftreffenergie und das Durchdringungsvermögen ab, die Abdriftgefahr durch Windeinflüsse und Thermik zu.

Die Haftfähigkeit des Pflanzenschutzmittels wird von der Pflanzenoberfläche und den physikalischen Kenngrößen der Tröpfchen beim Auftreffen auf die Pflanze beeinflusst. Grundlagenuntersuchungen auf diesem Gebiet haben im wesentlichen folgendes erbracht [4; 5; 6; 7]: Die Ablagerungsmenge beziehungsweise der Niederschlag erhöht sich grundsätzlich bei Pflanzen mit rauher Oberfläche, die keine Wachsschicht besitzen. Die Ablagerungsmenge wird mit kleinen Tröpfchen bei geringer Oberflächenspannung der Flüssigkeit, hoher Auftreffgeschwindigkeit und senkrechtem Auftreffwinkel wesentlich vergrößert.

Auf Grund dieser vorangegangenen Überlegungen und der Grundlagenuntersuchungen wurde es zwingend notwendig, die Bewegung der Tröpfchen durch einen gleichgerichteten Trägerluftstrom zu unterstützen. Diese neue, inzwischen auch in der Praxis eingeführte Ausbringtechnik kann gegen-

Tafel 1: Arbeitszeitaufwand in Ertragsweingebieten

Arbeiten	Steillage		Hang- und Flachlage	
	Pfahl- anlage [%]	normale Drahtanlage [%]	normale Drahtanlage	Weitraum- anlage [%]
Stockarbeit	30,5	24,0	24,6	10,9
Bodenbearbeitung	22,8	21,5	20,4	14,9
Düngung	6,4	12,5	5,2	5,7
Schädlingsbekämpfung	6,4	5,8	6,4	4,0
Schnitt	12,7	11,8	13,2	19,3
Lese	19,9	22,9	29,1	44,8
Sonstiges	1,3	1,5	1,1	0,4
Gesamtaufwand	100,0	100,0	100,0	100,0

über den bisherigen Verfahren nicht nur zum biologischen Erfolg bei geringeren Aufwands- und Wirkstoffmengen führen, sondern kann auch die Wirtschaftlichkeit der Pflanzenschutzmaßnahmen wesentlich verbessern.

Im Zuge dieser Entwicklung wurden von der Industrie Geräte entworfen, die zur Erzeugung des Trägerluftstromes Radial-, vorwiegend aber Axialventilatoren benutzen. Die notwendige Antriebsleistung solcher Sprühgeräte ist um ein Mehrfaches höher als diejenige der bisher bekannten Spritzgeräte. Für die Praxis wurden daher Schlepper größerer Leistungsklassen notwendig, beziehungsweise Geräte, die mit Aufbaumotoren versehen werden mußten. Der Gesamtleistungsbedarf dieser Geräte setzt sich aus der Fahrleistung und der Antriebsleistung von Pumpe, Mischwerk und Lufterzeuger zusammen. Wird diese erforderliche Gesamtleistung analysiert und in einer Leistungsbilanz dargestellt, so zeigt es sich, daß bei den derzeitigen Geräten unter normalen Bedingungen bereits 60–75 Prozent für den Antrieb des Gebläses, 15–25 Prozent für den Antrieb des Pumpenaggregates der Mischeinrichtung und nur etwa 10–15 Prozent für die Fahrleistung benötigt werden [8].

Diese Tatsache führte zu der Frage, ob die im Sprühverfahren vorhandenen technischen Möglichkeiten voll ausgeschöpft sind und welche Zusammenhänge zwischen der Reichweite, der Luftgeschwindigkeit, des Luftdurchsatzes und des biologischen Erfolges bestehen. Eine Konzentration des Forschungsvorhabens auf Aggregate, die zur Erzeugung des Luftstromes und dessen Verteilung im Raum führen, erschien nicht nur energetisch gesehen, sondern auch hinsichtlich der biologischen Erfolge solcher Geräte unerlässlich. Die Untersuchungen im Rahmen dieser Forschungsarbeit umfaßten deshalb die nachfolgenden beiden Teilgebiete:

1. Bewegungsablauf eines Flüssigkeitsteilchens in einem gerichteten Luftfreistrahle
2. Ermittlung der Gebläsekennwerte von Lufterzeugern für Sprühgeräte

Zur Lösung dieser Probleme mußten umfangreiche theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt, sowie Prüfstände entworfen und gebaut werden. Praktische Einsatzversuche mit Sprühgeräten wurden zum Teil in Zusammenarbeit mit der Landeslehr- und Forschungsanstalt für Wein- und Gartenbau in Neustadt (Dir. EHRENHARDT) durchgeführt.

Das Forschungsvorhaben wurde in dankenswerter Weise vom Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft e. V., Frankfurt (Main), finanziert.

2. Theoretische Betrachtungen über den Bewegungsablauf eines Flüssigkeitsteilchens in einem gerichteten Luftfreistrahle

Ausbringverfahren, die mit einem Trägerluftstrom arbeiten, sind dadurch gekennzeichnet, daß Flüssigkeit unter Druck in einer Düse fein zerteilt, in einen gerichteten Luftstrom eingeleitet wird. Um die Einflußgrößen, die ein Flüssigkeitsteilchen vom Verlassen der Düse bis zum Auftreten auf das Objekt erfährt, zu bestimmen, wurde mit Hilfe bekannter Gesetzmäßigkeiten des Luftfreistrahls der Bewegungsvorgang eines kugelförmigen Tropfens untersucht [9 bis 19]. Für die theoretische Untersuchung wurde der idealisierte Fall angenommen, daß ein Teilchen mit einer vorgegebenen Anfangsgeschwindigkeit in einen gerichteten Luftstrom eingespritzt wird. Diese Betrachtungen führen, wie im folgenden gezeigt wird, auf ein Differentialgleichungssystem, nach dessen Auflösung es möglich ist bei gegebenen Ausgangsbedingungen, Austrittsgeschwindigkeit und -fläche am Lufterzeuger die Reichweite des Pflanzenschutzmittels zu bestimmen.

Auf Grund der unterschiedlichen Gebläsebauarten, die in Sprühgeräten verwendet werden, müssen verschiedene Formen der Luftstrahlausbreitung betrachtet werden. Bei Radialgebläsen und Axialgebläsen ohne Luftumlenkung und kreisförmiger Austrittsöffnung, wie beispielsweise an Großsprühgeräten, bildet sich auf der Ausblasseite eine achsensymmetrische, kegelförmige Luftströmung aus. Bei Axialgebläsen mit radialer Luftumlenkung tritt der Freistrahle aus einem Zylinderspalt aus, so daß man eine ebene Quellströmung erhält. Für alle Formen gilt jedoch, daß Luft aus einer Düse ausströmt und sich dabei ein Freistrahle ausbildet. Durch turbulente Bewegungen vermischt sich der Strahl mit seiner Umgebung, die dadurch in Strahlrichtung mitgerissen wird. Die geförderte Luftmenge nimmt laufend zu, während sich die Strahlgeschwindigkeit verringert.

In den nachfolgenden theoretischen Betrachtungen werden vorwiegend nur die Lösungsgleichungen ohne Ableitungen und Zwischenrechnungen dargestellt. Diese sind mit Hilfe der vorgenannten Literatur zu erarbeiten.

2.1. Der achsensymmetrische Luftfreistrahle

Tritt ein Luftstrahl aus einer kreisrunden Düsenöffnung mit dem Durchmesser D aus, so besitzt er an der Austrittsstelle ein rechteckiges Geschwindigkeitsprofil mit einer über die ganze Öffnung gleichen Geschwindigkeit u_0 , das sich auf der Strecke x_0 zu einem GAUSSprofil ausgebildet (Bild 1). Für dieses Umwandlungsgebiet liegen keine Untersuchungen vor. Für die weitere Rechnung wird angenommen, daß bereits im Ursprung ein dem Rechteckprofil impuls gleiches GAUSSprofil vorhanden ist, das bis x_0 unverändert erhalten bleibt. Im Luftfreistrahle bildet sich somit eine Längsgeschwindigkeit u und eine Querschnittsgeschwindigkeit v , die im Vergleich zu u sehr klein ist, aus.

Die Länge x_0 des Übergangsgebietes beträgt nach Überlegungen von REGENSCHIEDT [10]

$$x_0 = \frac{D}{m}$$

wobei die Mischzahl m je nach Turbulenz des Strahles zwischen

$$0,1 < m < 0,4 \text{ variiert.}$$

Nach diesem Übergangsgebiet, also für $x > x_0$ kann nach REICHHARDT [9] für die Längsgeschwindigkeit u eine Geschwindigkeitsverteilung in Form eines GAUSSprofils angenommen werden, das sich mit wachsender Entfernung x affin ändert. Es wird dabei angenommen, daß der Impulsinhalt des Luftstromes beziehungsweise des Flüssigkeitsteilchens beibehalten wird.

Unter Verwendung von Zylinderkoordinaten mit x als Hauptströmungsrichtung und y^* als Radiusvektor errechnet sich die bezogene Längsgeschwindigkeit zu:

$$\gamma = \frac{u}{u_M} = e^{-1/2 \xi^2}$$

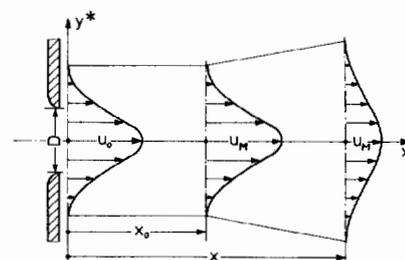


Bild 1: Die Strahlausbreitung beim achsensymmetrischen Luftfreistrahle

Als bezogener Querabstand erhält man:

$$\xi = \frac{y^*}{b}$$

wobei u = Geschwindigkeit in x -Richtung, $u_M = u$ für $y^* = 0$ die Mittelgeschwindigkeit und b das Breitenmaß bedeuten. Für die Mittelgeschwindigkeit u_M und das Breitenmaß b gilt im Übergangsgebiet (rechteckförmiges Geschwindigkeitsprofil)

$$b = b_0 = 1/2 D$$

$$\text{und } u_M = u_0$$

im ausgebildeten Freistrah (Gauss-Geschwindigkeitsprofil)

$$b = 0,072 \cdot x + b_0$$

$$b_0 = 1/2 D$$

$$u_M = x_0/x \cdot u_0$$

Diese Gleichung zeigt, daß die Mittelgeschwindigkeit u_M in einer Exponentialfunktion von der Ausbreitungsentfernung x abhängt, das heißt der Logarithmus der Mittelgeschwindigkeit u_M ist linear vom Logarithmus der Ausbreitungsentfernung x abhängig, was auch die praktischen Messungen ergeben haben (siehe Bild 7).

Für die Quergeschwindigkeit erhalten wir nach mathematischem Ansatz von REICHHARDT [9]

$$\frac{v}{\alpha \cdot u_M} = \xi \cdot \gamma - \frac{1}{\xi} \int_0^{\xi} \xi \gamma d\xi$$

γ eingesetzt und umgeformt führt auf die Lösungsgleichung

$$\frac{v}{\alpha \cdot u_M} = \xi \cdot e^{-1/2 \xi^2} + \frac{1}{\xi} \cdot e^{-1/2 \xi^2} - \frac{1}{\xi}$$

$$= \left(\xi + \frac{1}{\xi} \right) \cdot e^{-1/2 \xi^2} - \frac{1}{\xi}$$

mit dem dimensionslosen Querabstand:

$$\xi = \frac{y^*}{b}$$

wobei v = Quergeschwindigkeit, α = Ausbreitungswinkel, u_M = Mittelgeschwindigkeit, ξ = dimensionsloser Querabstand, y^* = Querkoordinate, b = Breitenmaß bedeuten.

Im Übergangsgebiet (rechteckförmiges Geschwindigkeitsprofil) gilt:

$$\alpha = 0; v = 0$$

Im ausgebildeten Freistrah (Gauss-Geschwindigkeitsprofil)

$$\alpha = 0,072$$

$$b = 0,072 \cdot x + b_0$$

$$b_0 = \frac{1}{2} D$$

2.2 Der Luftfreistrah aus einem Zylinderspalt

Ein Luftstrahl, der aus einem Zylinderspalt gleichmäßig radial austritt, verhält sich ähnlich wie ein achsensymmetrischer Freistrah (Bild 2). Mit Hilfe des Ansatzes für den ebenen Freistrah nach REGENSCHEIDT [10]

$$x_0 = \frac{s}{m}$$

erhalten wir für die Übergangszone vom rechteckförmigen zum GAUSS'schen Geschwindigkeitsprofil

$$x'_0 = \sqrt{2 r_0 x_0 + r_0^2} - r_0$$

$$x'_0 = \sqrt{2 r_0 \frac{s}{m} + r_0^2} - r_0$$

x'_0 = Länge der Übergangszone, r_0 = Zylinderradius, s = Spaltbreite, x_0 = Übergangszone beim ebenen Freistrah,

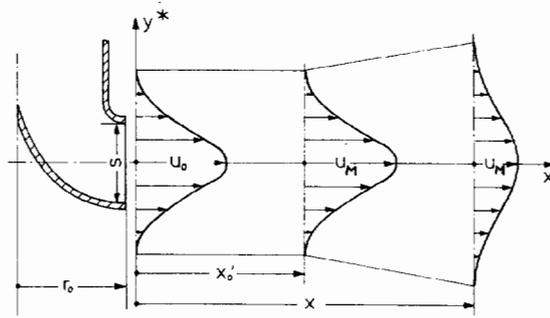


Bild 2: Die Strahlausbreitung beim Luftfreistrah aus einem Zylinderspalt

wobei die Mischzahl m , je nach Turbinen des Strahles zwischen $0,1 < m < 0,4$ variiert.

Analog zum achsensymmetrischen Freistrah erhalten wir für das bezogene Längsgeschwindigkeitsprofil des Freistrahls aus dem Zylinderspalt:

$$\gamma = \frac{u}{u_M} = e^{-1/2 \xi^2}$$

worin u = Längsgeschwindigkeit, u_M = Mittelgeschwindigkeit, ξ = dimensionsloser Querabstand bedeuten, sowie einen bezogenen Querabstand von:

$$\xi = \frac{y^*}{b}$$

wobei y^* = Querkoordinate, b = Breitenmaß bedeuten.

Für die Mittelgeschwindigkeit u_M und das Breitenmaß b gilt im Übergangsgebiet

$$b = b_0 = s/\sqrt{\pi}$$

$$u_M = u_0$$

und im ausgebildeten Freistrah

$$b = 0,095 \cdot x + b_0$$

$$b_0 = s/\sqrt{\pi}$$

$$u_M = K \sqrt{\frac{r_0 \cdot s}{x(x-r_0)}} \cdot u_0$$

wobei K = Konstante, x = Längskoordinate, r_0 = Zylinderradius und u_0 = Geschwindigkeit im Austrittsquerschnitt bedeuten. Nach REICHHARDT erhalten wir wiederum eine bezogene Quergeschwindigkeit von:

$$\frac{v}{\alpha \cdot u_M} = \xi \cdot \gamma - \frac{1}{2} \int_0^{\xi} \gamma d\xi$$

mit einem Querabstand von:

$$\xi = \frac{y^*}{b}$$

Im Übergangsgebiet ist $\alpha = 0$ und $v = 0$,

im ausgebildeten Freistrah $\alpha = 0,095$

$$b = 0,95 \cdot x + b_0$$

$$b_0 = s/\sqrt{\pi}$$

2.3. Bewegungsbahnen von Flüssigkeitsteilchen im Luftfreistrah

Die allgemeine Bewegungsgleichung eines Flüssigkeitsteilchens im Luftfreistrah kann nach dem D'ALEMBERTSchen Prinzip aus dem Gleichgewicht der Trägheitskraft, der um den Auftrieb verminderten Schwerkraft und der von dem Strömungswiderstand auf den Körper ausgeübten Wider-

standskraft in vektorieller Schreibweise angesetzt werden als:

$$m \frac{d\mathbf{w}}{dt} = V (\varrho_{FL} - \varrho_L) \mathfrak{G} + \mathfrak{R}$$

dabei wird angenommen, daß ein Teilchen mit einer Anfangsgeschwindigkeit \mathbf{w}_0 in einen Luftstrom eingespritzt wird.

In dieser Gleichung bedeuten:

m = Masse des Teilchens, V = Volumen des Teilchens, \mathbf{w} = Vektor der absoluten Geschwindigkeit, t = Zeit, ϱ_{FL} = Dichte der Spritzbrühe, ϱ_L = Dichte der Luft, \mathfrak{G} = Vektor der Erdbeschleunigung, \mathfrak{R} = Vektor des Strömungswiderstandes.

Die Strömungswiderstandskraft R des Flüssigkeitsteilchens errechnet sich nach NEWTON zu:

$$R = c_w \frac{\varrho_L}{2} \cdot v_{rel}^2 \cdot F$$

worin: F = größte Fläche des umströmten Körpers, rechtwinklig zur Bewegungsrichtung, ϱ_L = Dichte der senkrecht strömenden Luft, v_{rel} = Relativgeschwindigkeit zwischen Teilchen und Luft, c_w = Widerstandsbeiwert bedeuten.

Für stationäre Strömungsvorgänge liegen zahlreiche Meßwerte für den Widerstandsbeiwert vor [11; 12]. Bei instationären Strömungsvorgängen ist ein Einfluß des Widerstandsbeiwertes vorhanden, er kann jedoch formelmäßig nicht erfaßt werden.

Ein kleiner, relativ zum umgebenden Medium nicht zu schnell bewegter Flüssigkeitstropfen nimmt Kugelform an, so daß sich für die anströmende Fläche eine Kreisfläche ergibt.

Für die dreidimensionale Bewegungsbahn des Flüssigkeitstropfchens im Freiluftstrahl sind folgende allgemeine Bewegungsgleichungen anzusetzen:

$$\begin{aligned} m \cdot \ddot{x} + R_x &= 0 \\ m \cdot \ddot{y} + R_y &= 0 \\ m \cdot \ddot{z} + R_z - m \cdot g &= 0 \end{aligned}$$

Dieser Ansatz gilt nur für den untersuchten Fall, also wenn die Dichte der Flüssigkeit gegenüber derjenigen der Luft sehr groß ist ($\varrho_{FL} \gg \varrho_L$).

In diesen Gleichungen bedeuten:

$$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad \ddot{y} = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad \ddot{z} = \frac{d^2z}{dt^2} \text{ und}$$

die Geschwindigkeitskomponenten der Luft im Raum u in x -Richtung, v in y -Richtung, w in z -Richtung (senkrecht zur Erdoberfläche).

Der Strömungswiderstand der Flüssigkeitsteilchen errechnet sich aus:

$$\begin{aligned} R_x &= - \frac{v_{rel x}}{v_{rel}} \cdot R \\ R_y &= - \frac{v_{rel y}}{v_{rel}} \cdot R \\ R_z &= - \frac{v_{rel z}}{v_{rel}} \cdot R \end{aligned}$$

deren Geschwindigkeitskomponenten zu:

$$\begin{aligned} v_{rel x} &= \dot{x} + u \\ v_{rel y} &= \dot{y} + v \\ v_{rel z} &= \dot{z} + w \end{aligned}$$

und somit die relative Geschwindigkeit zu:

$$v_{rel} = \sqrt{v_{rel x}^2 + v_{rel y}^2 + v_{rel z}^2}$$

Damit erhalten wir die Strömungsgleichung für die Bewegungsbahn der Flüssigkeitsteilchen im Raum:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= c_w (Re) \cdot v_{rel} \cdot v_{rel x} \cdot \frac{3 \varrho_{FL}}{4 \varrho_L d} \\ \ddot{y} &= c_w (Re) \cdot v_{rel} \cdot v_{rel y} \cdot \frac{3 \varrho_{FL}}{4 \varrho_L d} \\ \ddot{z} &= c_w (Re) \cdot v_{rel} \cdot v_{rel z} \cdot \frac{3 \varrho_{FL}}{4 \varrho_L d} - g \end{aligned}$$

Dieses System von Differentialgleichungen ist nicht mehr allgemein lösbar. Es wurden deshalb Rechenprogramme für Analogrechner aufgestellt. Mit Hilfe solcher Rechner ist es auch möglich, die veränderlichen Größen (Parameter) zu variieren, um die unterschiedlichen Einflußgrößen, die auf ein Teilchen wirken, deutlich zu machen. Dabei kann der Einfluß der Luftgeschwindigkeit, die Form der Ausblasöffnung, die Tröpfchengröße und -geschwindigkeit ermittelt werden.

Leider stand zu der Zeit der Untersuchungen kein geeigneter Rechner mit ausreichender Kapazität zur Verfügung, so daß diese Untersuchungen nicht zu Ende geführt werden konnten.

3. Experimentelle Freiland- und Laboruntersuchungen am Luftfreistrahler

Zur Bestätigung der theoretischen Überlegungen und mathematischen Ansätze wurden in den Jahren 1967/68 experimentelle Untersuchungen am Luftfreistrahler vorgenommen. Diese Untersuchungen wurden unter normalen Einsatzbedingungen, praxisnah, in verschiedenen Weinberganlagen mit Sprühgeräten durchgeführt, die sich bereits im Einsatz bewährt haben. Gleichzeitig wurden von der Landeslehr- und Forschungsanstalt für Weinbau in Neustadt in diesen Versuchsflächen Messungen über die Menge des an der Rebe abgelagerten Pflanzenschutzwirkstoffes vorgenommen.

3.1. Experimentelle Untersuchungen am achsensymmetrischen Luftfreistrahler

Zur Erzeugung eines achsensymmetrischen Freistrahlers wurde ein Großraumsprühgerät als Aufbau- und Anhängergerät benutzt. Der Lufterzeuger, ein Axialgebläse, liefert nach Firmenangabe bei einer Drehzahl von 1750 U/min 75 000 m³/h Luft, was einer Geschwindigkeit am Ausblasquerschnitt von etwa 35–40 m/s entspricht. Der Luftstrahl kann durch Schwenken des Gerätes in weiten Grenzen gerichtet werden. Der Antrieb des gesamten Aggregats, bestehend aus Pumpe, Rührwerk und Lufterzeuger, erfolgt durch einen Motor mit 46 PS-Leistung.

Die Untersuchungen wurden auf dem Gelände der Bayerischen Landesanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau in Veitshöchheim und auf dem Staatsweingut Meersburg durchgeführt. In beiden Fällen wurden Steillagen mit normaler Drahterziehung und einer Hangneigung, die zwischen 40 und 50 % lag, behandelt. Die Schlaglängen — Abstand zwischen den beiden Fahrwegen — betragen in Veitshöchheim 76 m, in Meersburg 67,5 m, der Rebzeilenabstand 1,5 m beziehungsweise 1,6 m. Die atmosphärischen Bedingungen waren an beiden Orten mit einer Windgeschwindigkeit von 0 bis 1 m/s und einer Temperatur, die während der Versuche zwischen 20–30° C schwankte, gleich. Die Rebzeilen waren immer in Falllinie, die Fahrstraßen beziehungsweise die Vorgewende in Schichtenlinie angeordnet. Die Ausbreitung des achsensymmetrischen Luftstrahlers in der Rebanlage wurde durch Messen der Luftgeschwindigkeit in verschiedenen Abständen vom vorbeifahrenden Sprühgerät über einen Fahrweg von 10 m ermittelt. Die Meßwertgeber für die Messung der Luftgeschwindigkeit wurden jeweils in den Rebzeilen und in den Rebzeilenmitten in 2,5; 10; 20;

30; 40 und 50 m Abstand vom Ausblasquerschnitt des Sprühgerätes und in Höhen von 1,8 und 1,0 m angebracht. Die unterschiedlichen Höhen der Meßwertgeber entsprechen der Gipfel- beziehungsweise Traubenzone dieser Rebanlage. Die Bewegungsgeschwindigkeit beziehungsweise die Fahrgeschwindigkeit des Gerätes wurde dabei in Grenzen, wie sie denjenigen in der Praxis entsprechen, variiert. Die Versuche wurden vom unteren Fahrweg, mit einer Ausblasrichtung hangaufwärts und vom oberen Fahrweg mit einer Ausblasrichtung hangabwärts, in mehreren Wiederholungen durchgeführt.

Zur Messung der Luftgeschwindigkeiten dienten elektronische Flügelradanemometer mit Meßgeneratoren. Die Wirkungsweise solcher Flügelradanemometer beruht darauf, daß die Größe des Staudruckes beziehungsweise des ausgeübten Drehmoments auf die Schalenkreuzwelle und damit die Drehzahl des Gerätes ein Maß für die Größe der Luftgeschwindigkeit ist. Alle Meßwerte wurden auf einen Lichtstrahl-Oszillographen gegeben, der den Verlauf sowie die momentane Größe der Luftgeschwindigkeit an allen Meßstellen gleichzeitig aufzeichnete.

Zur Ermittlung der abgelagerten Wirkstoffmengen wurden an den jeweiligen Meßstellen für die Luftgeschwindigkeitsbestimmung von der Landeslehr- und Forschungsanstalt in Neustadt Proben des abgelagerten Wirkstoffes entnommen. Dabei wurden in der Gipfel- und Traubenzone aus der Ober- und Unterseite der Blätter die je Flächeneinheit vorhandene Kupfermenge der kupferhaltigen Spritzbrühe bestimmt.

In Bild 3 und Bild 4 sind die Meßergebnisse aus den Versuchen in Veitshöchheim mit dem Aufbaugerät dargestellt. Bild 3 zeigt die Mittelwerte der maximal erzielten Luftgeschwindigkeiten in den verschiedenen Zonen und in den verschiedenen Rebreihen und -gassen aus zwei Wiederholungen. Über der Entfernung von Gerät beziehungsweise des Weges wurden vom unteren Fahrweg mit Ausblasrichtung hangaufwärts beziehungsweise vom oberen Fahrweg mit Ausblasrichtung hangabwärts die maximal erzielten Luftgeschwindigkeiten in der Gipfel- und Traubenzone aufgetragen. Die mittlere Fahrgeschwindigkeit des Gerätes betrug bei diesen Versuchen 0,84 km/h. In der Gipfelzone sind, wie das Diagramm zeigt, in der Rebreihe und in der Rebgasse bei allen Messungen keine Unterschiede in der Größe der Luftgeschwindigkeit festgestellt worden. Der Verlauf ist einer Hyperbel ähnlich, weshalb die Luftgeschwindigkeit mit wachsender Entfernung vom Gerät rasch abnimmt. Der Kurvenverlauf für die Luftgeschwindigkeit in der Gipfelzone ist beim Hangauf- und beim Hangabwärtsblasen, wie zu erwarten war, nahezu symmetrisch. Daraus ist deutlich erkennbar, daß der Luftfreistrahle in dieser Zone sich nach den physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die im theoretischen Teil ermittelt wurden, ohne äußere Einflüsse ungestört ausbreitet. In 2,5 m Abstand vom Ausblasquerschnitt beträgt die maximale Luftgeschwindigkeit immer noch 37 m/s und fällt bis zu einer Entfernung von 10 m steil auf etwa 12 m/s ab. Bis zur Mitte des Schlages, in der noch eine Luftgeschwindigkeit von 4 m/s herrscht, ist der Geschwindigkeitsabfall sehr viel geringer.

Gegenüber der Gipfelzone sind in der Traubenzone die Luftgeschwindigkeiten in der Rebgasse und in der Rebreihe beim Sprühen hangauf- und -abwärts sehr unterschiedlich. Während hier die Luftgeschwindigkeitsabnahme beim Hangabwärtsarbeiten den theoretischen Überlegungen entspricht, tritt in umgekehrter Richtung ein Staudruck auf, der bewirkt, daß die Luftgeschwindigkeit in der Rebgasse bei einem Abstand von etwa 8 m vom Gerät ein ausgeprägtes Maximum besitzt. Durch die dabei auftretenden Luftwirbel wird auch in der Rebreihe eine sehr viel geringere Luftgeschwindigkeit erreicht, als rechnerisch vorauszusehen war. Die Ursache konnte nicht eindeutig aufgeklärt werden. Es ist aber anzunehmen, daß der Grund auch in der Stellung des Gerätes zum Hang und der damit zur Geltung

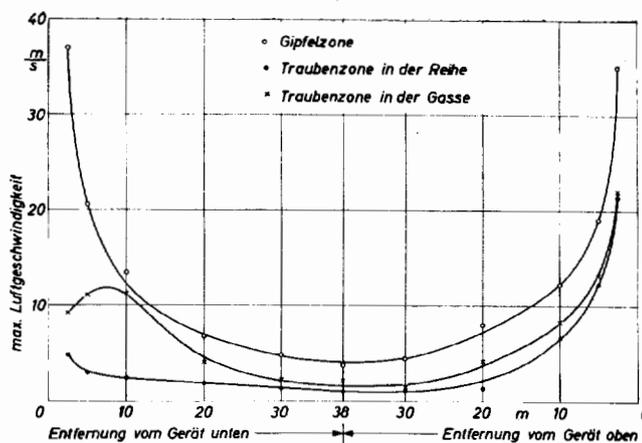


Bild 3: Luftgeschwindigkeitsverlauf bei einem Aufbau-Sprühgerät in einer Steilhang-Anlage mit einer Schlaglänge von 76 m

kommenden Form des schwalbenschwanzförmigen Ausblasquerschnittes zu suchen ist. Die Luftgeschwindigkeiten in der Traubenzone, insbesondere in der Traubenzone der Rebreihe, sind erheblich niedriger als in der Gipfelzone und betragen in der Mitte des Schlages — also in 38 m Entfernung vom Gerät — nur noch etwa 2 m/s. Das ist darauf zurückzuführen, daß der Luftfreistrahle in dieser Zone durch die Rebreihen, insbesondere durch die Laubwand, in seiner Ausbreitung erheblich gestört wird.

Der mittlere Luftgeschwindigkeitsverlauf an dem einzelnen Flügelradanemometer, der ebenfalls gemessen und ausplaniert wurde, zeigt gegenüber den gemittelten Maximalwerten einen ähnlichen, doch sehr viel niedrigeren Verlauf.

Die Ergebnisse über die am Blatt abgelagerte Wirkstoffmenge beziehungsweise Kupfermenge einer kupferhaltigen Spritzbrühe zeigt Bild 4. Um die Zusammenhänge zwischen Luftgeschwindigkeit und Wirkstoffniederschlag zu analysieren, wurden die Proben an den jeweiligen Meßstellen für die Luftgeschwindigkeitsbestimmung in der Gipfel- und Traubenzone entnommen. Obwohl die aus der Blattober- und -unterseite gewonnenen Werte nur wenig über die Wirkstoffverteilung aussagen, reicht dieses anerkannte Verfahren zur Beurteilung eines Pflanzenschutzgerätes aus. Nach EHRENHARDT [2] liegt die unterste, für den Bekämpfungserfolg noch vertretbare Wirkstoffmenge bei $1,5 \times 10^{-6}$ g/cm². Dieser Wert wurde in der Traubenzone in den Versuchen bei der größten Entfernung von 38 m vom Gerät nicht ganz erreicht. Der Verlauf der Wirkstoffniederschlagsmengen über der Entfernung ist in der Traubenzone der Rebreihe bis zu einem Abstand von 10 m zum Gerät derjenigen der Luftgeschwindigkeit sehr ähnlich. In dieser Ent-

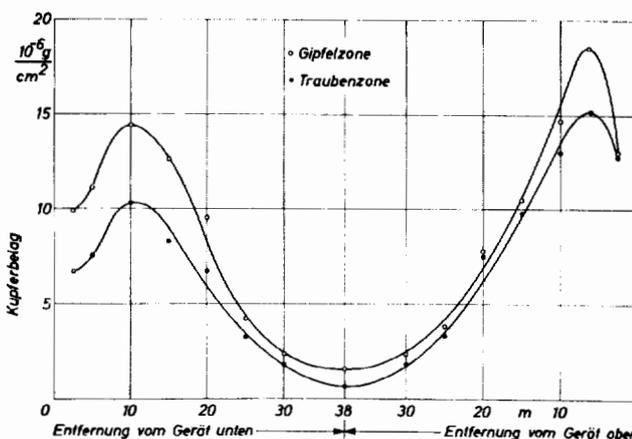


Bild 4: Wirkstoffmengenverteilung bei einem Aufbau-Sprühgerät in einer Steilhang-Anlage mit einer Schlaglänge von 76 m

fernung ist sowohl in der Gipfel-, wie auch in der Traubenzone ein Maximum der Niederschlagsmenge vorhanden. Die Kupfermenge fällt zum Ausblasquerschnitt des Gerätes hin rasch ab. Der Unterschied in der Belagsdichte zwischen Gipfel- und Traubenzone ist nicht in dem Maße vorhanden wie bei den Luftgeschwindigkeiten in diesen Zonen. Das ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß die Wirkstofftröpfchen aus dem Freiluftstrahl der Gipfelzone am Zonenrand durch die Laubwand abgebremst werden, aus dem Luftstrahl ausfallen und in die Traubenzone schweben.

Vergleicht man für die Gipfelzone den gemittelten, maximalen Luftgeschwindigkeitsverlauf mit der abgelagerten Wirkstoffmenge in Abhängigkeit von der Entfernung des Gerätes, so sind, wie Bild 5 veranschaulicht, folgende Zusammenhänge ersichtlich. Fällt die Geschwindigkeit des Trägerluftstromes in der Gipfelzone der Rebreihe unter den Wert von 4 m/s ab, was einer Geschwindigkeit von etwa 2 m/s in der Traubenzone der Rebreihe entspricht, so wird die Grenze der Mindestwirkstoffmenge in der Gipfelzone mit Sicherheit, in der Traubenzone nicht mehr ganz erreicht. Der maximale Wirkstoffniederschlag wird bei einer Luftgeschwindigkeit von etwa 12–15 m/s erzielt. Bei höherer Luftgeschwindigkeit nimmt der Ausfall von Flüssigkeitströpfchen aus dem Trägerluftstrom ab. Das ist auf das Verhältnis von Größe beziehungsweise Masse des Tröpfchens und dessen Geschwindigkeit zurückzuführen.

Zur Bestätigung der in Veitshöchheim gewonnenen Ergebnisse wurde mit einem Anhängegerät gleichen Typs im Staatsweingut Meersburg unter gleichen Bedingungen weitere Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse, die nur durch die geringere Luftleistung des Gerätes von den bisherigen

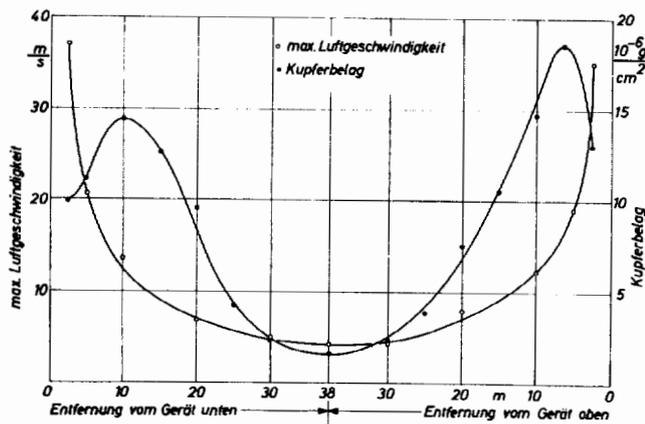


Bild 5: Luftgeschwindigkeits- und Wirkstoffmengenverlauf in der Gipfelzone bei einem Aufbau-Sprühgerät in einer Steilhang-Anlage mit einer Schlaglänge von 76 m

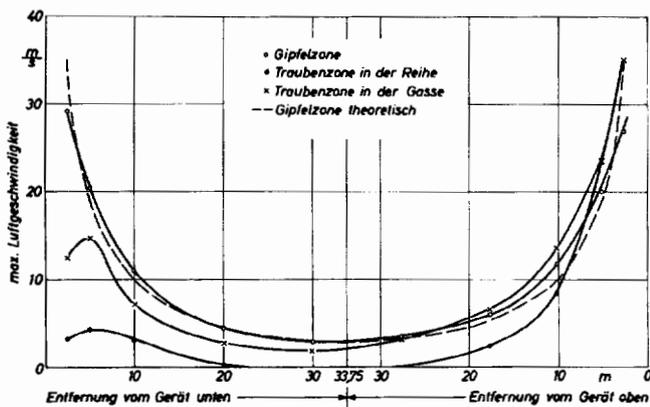


Bild 6: Theoretischer und experimenteller Geschwindigkeitsverlauf bei einem Anhäng-Sprühgerät in einer Steilhang-Anlage mit einer Schlaglänge von 67,5 m

Versuchen abweichen, sind in Bild 6 zusammengestellt. Obwohl die Schlaglänge nur 67,5 m betrug, konnten hier in der Traubenzone der Rebreihe in einer Entfernung von 22 bis 28 m vom Gerät bereits keine meßbaren Luftbewegungen mehr festgestellt werden. In dieser Zone waren wegen der zu kleinen Luftleistung des Gerätes auch zu geringe Wirkstoffniederschläge zu verzeichnen. Durch ungenügend genaue Führung des Gerätes bei der Arbeit zur Talseite wurden in den Traubenzone in der Nähe des Ausblasquerschnittes größere Luftgeschwindigkeiten und damit höhere Niederschlagsmengen gemessen. Der in diesem Diagramm eingezeichnete, vorausberechnete theoretische Geschwindigkeitsverlauf in der Gipfelzone deckt sich weitgehendst mit dem experimentell ermittelten. Der gemittelte maximale Luftgeschwindigkeitsverlauf in den übrigen Zonen ist dem von Veitshöchheim sehr ähnlich und weist auf gleiche Tendenzen hin.

Die ersten Vorversuche mit Großraumsprühgeräten hatten bereits vermuten lassen, daß die Fahrgeschwindigkeit einen gewissen Einfluß auf die Strahlausbreitung nimmt. Da sich diese Einflußgrößen theoretisch nur sehr schwer erklären beziehungsweise erfassen lassen, wurden gezielte Versuche bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Bild 7 in doppellogarithmischer Darstellung wiedergegeben. Diese Darstellungsart wurde deshalb gewählt, weil die experimentellen Ergebnisse auf eine Exponentialfunktion des Geschwindigkeitsverlaufes schließen ließen. Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, konnten die einzelnen Meßpunkte bis zu einer Entfernung des Gerätes von 20 m gut durch eine Gerade, mit der Steigung von etwa -0,85 verbunden werden. Der nichtlineare Kurvenverlauf bei großen Entfernungen vom Ausblasquerschnitt ist auf die dort herrschenden kleinen Luftgeschwindigkeiten, hauptsächlich aber auf die äußeren Einflüsse, wie Standard- und Erziehungsverhältnisse sowie Windeinflüsse, und auf die Genauigkeit der Meßwertgeber in diesem Luftgeschwindigkeitsbereich zurückzuführen. Der Verlauf dieser Geraden und deren Steigung bestätigen die theoretischen mathematischen Ansätze über den achsensymmetrischen Freistrahler vollauf.

Die Ergebnisse zeigen außerdem deutlich, daß die maximale Luftgeschwindigkeit wesentlich von der Bewegungsgeschwindigkeit des Gerätes beziehungsweise der Luftquelle abhängt. So wird beispielsweise bei einer Steigerung der Fahrgeschwindigkeit von 0,26 m/s auf 0,8 m/s und einer geforderten Mindestgeschwindigkeit des Trägerluftstromes in der Gipfelzone von 4 m/s die Reichweite des Gerätes von etwa 36 m auf etwa 21 m herabgesetzt. Die Verminderung der Reichweite der Geräte nimmt außerdem, wie der Abstand der Geraden zeigt, nicht linear, sondern überproportional mit der Fahrgeschwindigkeit zu.

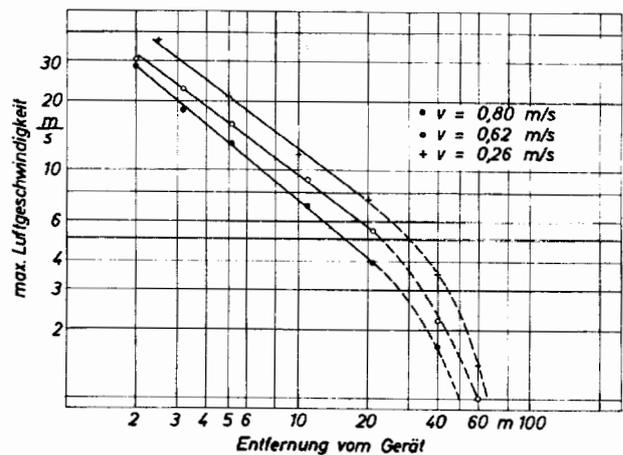


Bild 7: Luftgeschwindigkeitsverlauf in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit bei einem Anhäng-Sprühgerät in einer Steilhang-Anlage mit einer Schlaglänge von 67,5 m

3.2. Experimentelle Untersuchungen am Luftfreistrah, der aus einem Zylinderspalt austritt

Für die Untersuchungen am Freistrah, der aus einem Zylinderspalt austritt, wurden verschiedene Schlepper-Aufbausprühgeräte eingesetzt. Die Ergebnisse aller untersuchten Geräte zeigten dieselben Tendenzen, so daß zur Darstellung in Diagrammen nur zwei Geräte herangezogen wurden. Die Lufterzeuger, Axiallüfter mit Umlenkung, saugen die Luft in Achsrichtung an und lenken sie kurz nach dem Laufrad um 90° um, wobei die Luft radial aus einem Zylinderspalt austritt. Der Antrieb beider Geräte wurde bei den Laborversuchen über einen Elektromotor vorgenommen.

Zunächst wurde versucht, wie bei den unter 3.1. beschriebenen Versuchen die Messungen praxisnah, also in Rebanlagen, unter normalen Bedingungen durchzuführen. Es stellte sich aber bald heraus, daß infolge der dichten Reblaubwand die Ausbreitung des Freistrahls derart stark beeinflusst wurde, daß für diese Untersuchungen keine geeigneten Meßergebnisse erzielt werden konnten. Aus diesem Grunde wurden die im theoretischen Teil gewonnenen Gesetzmäßigkeiten am Luftfreistrah, der aus einem Zylinderspalt austritt, in Laboruntersuchungen überprüft. Die maximale Luftgeschwindigkeit in dem ausgebildeten, ebenen Quell-Freistrah wurde wiederum in verschiedenen radialen Abständen vom Laufradmittlepunkt mit Flügelradanemometer bestimmt und die Meßergebnisse mit einem Lichtstrahl-Oszillographen registriert.

Stellvertretend für Untersuchungen an vier Gebläsetypen, die alle einen ähnlichen Verlauf der maximalen Luftgeschwindigkeit und dieselben Tendenzen aufwiesen, sind in Bild 8 die Ergebnisse eines Gerätes zusammengefaßt. Die Ausblasöffnung des Gebläses mit einem Laufraddurchmesser von 480 mm ist auf der unteren Seite in einem Kreis Sektor von 120° abgedeckt. Für die Darstellung der gewonnenen Meßergebnisse wurde ein Polarkoordinatendiagramm gewählt, in dem die Meßpunkte beziehungsweise der Kurvenverlauf gleicher maximaler Luftgeschwindigkeiten (Isotachen) über der Entfernung vom Laufradmittlepunkt aufgetragen sind. Der Verlauf der Isotachen für eine Luftgeschwindigkeit von 5, 10 und 15 m/s zeigt auch hier, wie bei den übrigen anderen untersuchten Geräten, deutlich, daß die Luftgeschwindigkeitsverteilung und damit bei konstantem Ausblasquerschnitt beziehungsweise Zylinderspalt die Verteilung des Luftvolumens sehr unregelmäßig ist. Deutlich erkennbar ist der Einfluß des unteren Abdeckbleches auf die Ausbreitung des Luftfreistrahles. Der Verlauf der einzelnen Isotachen weist außerdem auf die Drehrichtung des Laufrades — entgegen dem Uhrzeigersinn — hin. Die größten Luftgeschwindigkeiten beziehungsweise Luftmengen werden kurz nach dem Abdeckblech, parallel zur Bodenfläche erreicht. Das ist vorwiegend auf den Luftstau im Kreis Sektor der abgedeckten Ausblasfläche, auf den Rückstau durch die Bodenoberfläche und auf den Drall, herrührend von der Drehrichtung des Laufrades zurückzuführen. Der erfolgreiche Einsatz solcher Geräte ist deswegen sehr von der Lage zur Bodenoberfläche und der Entfernung beziehungsweise Höhe der Rebreihe abhängig. Durch Richten des Luftstrahles mit Hilfe verstellbarer Luftleitbleche im Umlenkungskanal können je nach Rebreihenabstand und Erziehungsart gleichmäßige, auf das jeweilige Objekt gerichtete Luftmengen beziehungsweise Luftgeschwindigkeiten erzielt werden.

Zur Bestätigung der theoretisch mathematischen Ansätze über den Freistrah, der aus einem Zylinderspalt austritt, wurden auch hier die Meßergebnisse zweier Axialgebläse mit Luftumlenkung in einem doppellogarithmischen Diagramm aufgetragen (Bild 9). Der Verlauf der maximalen Luftgeschwindigkeit über der Entfernung des Laufradmittlepunktes ergibt bei beiden Geräten eine Gerade, womit die Richtigkeit der theoretischen Ansätze wiederum bestätigt ist.

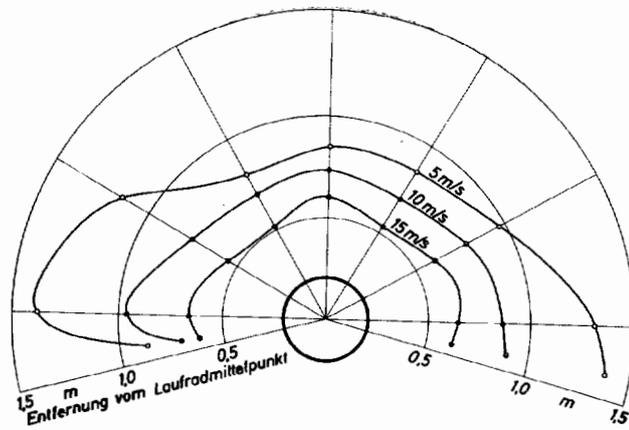


Bild 8: Luftgeschwindigkeitsverteilung bei einem Axialgebläse in verschiedenen Entfernungen vom Laufradmittlepunkt

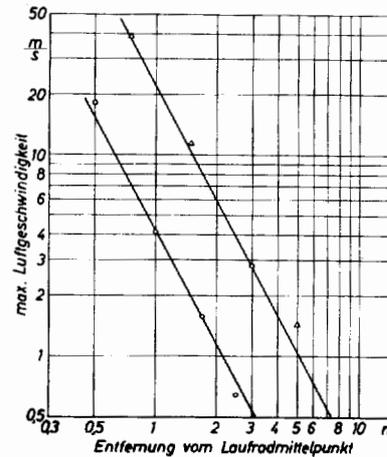


Bild 9: Mittlerer Luftgeschwindigkeitsverlauf zweier Axialgebläse in verschiedenen Entfernungen vom Laufradmittlepunkt

4. Experimentelle Untersuchungen an Lufterzeugern für Sprühgeräte

Für die Beurteilung über die Eignung von Lufterzeugern in Sprühgeräten wurden die Gebläsekennlinien von verschiedenen, in der Praxis verwendeten Axialgebläse, ermittelt. Zur Bestimmung der Gebläsekennlinien muß das Betriebsverhalten dieser Lufterzeuger, das heißt der Volumenstrom, der Gesamtdruck und der Leistungsbedarf bei verschiedenen Betriebszuständen gemessen werden. Neben diesen lufttechnischen Untersuchungen an Axialgebläse wurden die Strömungsverhältnisse — Luftgeschwindigkeit und deren Richtung — am Ausblasquerschnitt der Lufterzeuger bestimmt. Diese Aufgabenstellung erforderte die Konstruktion und den Bau eines speziellen Meßstandes für Untersuchungen an diesen Lufterzeugern.

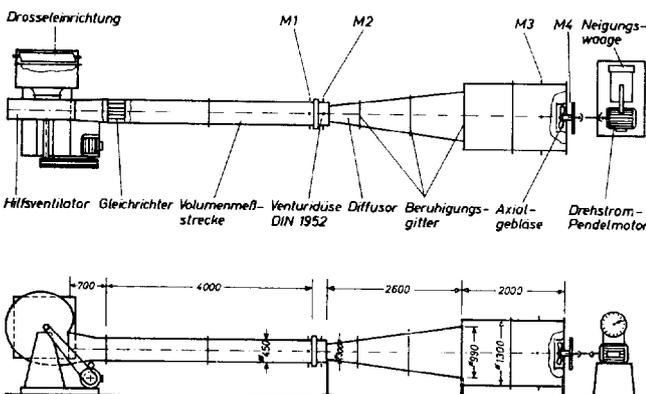
4.1. Technischer Aufbau des Gebläse-Meßstandes

Zur Ermittlung der Betriebskennlinie muß bekanntlich der Energieunterschied zwischen Lufteintritt und -austritt des Ventilators bei verschiedenen Betriebspunkten bestimmt werden. Dazu müssen in den entsprechenden Querschnitten die Drücke und die Geschwindigkeiten der Luft gemessen werden. Sind in einem Strömungsquerschnitt die Luftgeschwindigkeiten über den ganzen Querschnitt konstant, so genügt eine Druckentnahmestelle. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, müssen die Meßwerte punktweise ermittelt und Mittelwerte über dem ganzen Querschnitt gebildet werden. Bei den zu untersuchenden Lufterzeugern können konstante Strömungsverhältnisse für den Lufteintritt durch entsprechende Ausbildung des Prüfstandes erreicht werden. Schwierigkeiten bereitet der Austrittsquerschnitt, da hier sowohl der Druck als auch die Geschwindigkeitshöhe und -richtung der Luft ungleichförmig über den Querschnitt ver-

leitet sind. Grundsätzlich ergeben sich für die Meßanordnung am Austrittsquerschnitt zwei Möglichkeiten. Man ordnet hinter den Ventilatoraustritt einen großen Raum an und mißt den statischen Druck an einer Stelle, an der alle Luftgeschwindigkeiten einschließlich einer am Austritt vorhandenen Drallkomponente abgeklungen sind und berechnet die Austrittsgeschwindigkeit der Luft aus dem Volumenstrom und den Abmessungen des Austrittsquerschnittes. Eine weitere baulich nicht so aufwendige Versuchsanstellung beruht darauf, daß der Druck, die Geschwindigkeitshöhe und -richtung der Luft am Austrittsquerschnitt punktweise gemessen wird und die Meßergebnisse gemittelt werden.

Die zu untersuchenden Gebläse fördern Luft ohne Trennung des Saug- und Druckraumes, das heißt Saug- und Druckraum stehen unter demselben Atmosphärendruck. Zur Messung der Betriebskennlinie ist es nun aber notwendig, Saug- und Druckraum zu trennen. Durch diese Trennung wird aber andererseits das strömungstechnische Gesamtsystem beeinflusst, weil die Charakteristik eines strömungstechnischen Bauteils stark von der Zuströmung abhängig ist. Dies gilt besonders für Axialventilatoren. Da eine Lösung ähnlich der des Instituts für Strömungslehre und Strömungsmaschinen der Technischen Hochschule Karlsruhe mit einem sehr großen Raum auf der Ansaug- und Ausblasseite konstruktiv zu aufwendig erschien, wurde die in den Bildern 10 und 11 dargestellte Ausführung gewählt, wie sie auch in ähnlicher Form von NAFM [20] vorgeschlagen wird. Der Meßstand wurde in seinen geometrischen Abmessungen so ausgeführt, daß Axialgebläse bis zu etwa 600 mm Durchmesser mit Volumenströmen bis zu $7 \text{ m}^3/\text{s}$ untersucht werden können, ohne daß die Anströmverhältnisse gegenüber derjenigen in der Praxis beeinflusst werden. Das zu untersuchende Gebläse wird von einem Gleichstrom-Pendelmotor angetrieben, der über einen Leonardsatz gespeist wird und Drehzahlen bis zu 3 300 U/min zuläßt. Die Gebläseantriebsleistung wird aus der jeweiligen Drehzahl und aus dem abgestützten Motordrehmoment errechnet. Das zu untersuchende Gebläse saugt, wie das Funktionsschema in Bild 10 zeigt, die Luft aus einem druckdichten Behälter mit Beruhigungsgitter und anschließendem Kegeldiffusor ab. Zur Messung des Volumenstromes wurde eine Norm-Venturidüse [21] in eine Meßrohrleitung mit Gleichrichter eingebaut. Ein Hilfsventilator (Radialgebläse) mit regelbarer Saug-Drossel erlaubt die Einstellung verschiedener Betriebspunkte des zu untersuchenden Sprühgebläses. Mit dieser Anordnung ist es möglich, die Druckverluste im saugseitigen Meßkanal zu kompensieren, so daß Betriebszustände des Lüfters erreicht werden, wie sie im praktischen Einsatz beim Ansaugen aus der Atmosphäre vorhanden sind.

Lufttechnische Messungen an Lufterzeugern für Großraumsprühgeräte konnten wegen den sehr viel größeren Volumendurchsätzen mit diesem Gebläsemeßstand nicht durchgeführt werden.



Meßstellen:
M1 stat. Druck p_1 , Temperatur T_1 , M2 stat. Druck p_2 , Temp. T_2 , M3 stat. Druck p_3 , Temp. T_3 ,
M4 stat. Druck p_4 , dyn. Druck p_{em} , Strömungsrichtungswinkel β

Bild 10: Funktionsschema mit Hauptabmessungen des Gebläsemeßstandes

Die Meßwerte für den statischen und dynamischen Druck sowie für die Druckdifferenz bei den Volumenstrommessungen an der Venturidüse wurden in bekannter Weise mit Ringleitungen beziehungsweise Prandtl-Staurohren ermittelt und mit Feinst-Luftdruckmeßgeräten (Bild 11) saugseitig an den Meßstellen M1 bis M3 registriert. Die Lufttemperaturen wurden mit Quecksilberthermometern bestimmt. Für die Messung der Strömungsverhältnisse am Ausblasquerschnitt — statischer Druck, dynamischer Druck und Strömungsrichtung — wurde ein Vierfach-Prandtl-Druckmeßgerät verwendet. Der Ausblasquerschnitt, Meßstelle M4, wurde in fünf verschiedenen Ebenen und in acht bis zwölf verschiedenen Zentriwinkeln abgetastet. Diese zusätzlichen, zeitaufwendigen Messungen am Ausblasquerschnitt des zu untersuchenden Lufterzeugers sollten einmal die hier vorliegenden Strömungsverhältnisse erkennen lassen, zum andern konnte so die hier durch Drall behaftete Strömung bei der Aufstellung der Kenndaten mit berücksichtigt werden. Für die Berechnung des Volumenstromes und des Gesamtdruckes am Ausblasquerschnitt wurde ein Rechenprogramm erstellt, so daß diese Werte mit einem Computer ermittelt werden konnten.

4.2. Experimentelle Untersuchungen an Axiallüfter mit Luftumlenkung auf dem Gebläsemeßstand

Umfangreiche Tastuntersuchungen an Axialgebläsen mit Luftumlenkung verschiedener Firmen und Gebläsetypen ergaben alle ähnliche Gebläsekennfelder. Wegen der sehr zeitaufwendigen Messungen wurden deshalb die Untersuchungen auf drei in der Praxis bewährten Gebläsegrößen mit unterschiedlichen Luftleistungen beschränkt. Die dafür ausgewählten Lufterzeuger (Typ 01 und Typ 02) erbrachten bei einem Laufraddurchmesser von 350 mm und einer Betriebsdrehzahl von 3 320 U/min im Betriebspunkt einen Volumenstrom von etwa $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ beziehungsweise bei einem Laufraddurchmesser von 600 mm und einer Betriebsdrehzahl von 3 000 U/min einen Volumenstrom von etwa $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Das Aggregat Typ 03 förderte bei einem Laufraddurchmesser von 490 mm und einer Betriebsdrehzahl von 2 200 U/min im Betriebspunkt etwa $3,1 \text{ m}^3/\text{s}$ Luft.

Die Kennfelder der untersuchten Gebläse wurden bei verschiedenen Drehzahlen und zum Teil mit und ohne untere Abdeckung aufgenommen. Außerdem wurden bei den Gebläsen Typ 03 und Typ 02 die Strömungsverhältnisse im Querschnittsaustritt untersucht. Die am Austrittsquerschnitt punktweise gewonnenen Ergebnisse sind zusätzlich für die Aufstellung der Gebläsekennfelder berücksichtigt beziehungsweise herangezogen worden. Die Kenndaten beziehungsweise Kennfelder der untersuchten Gebläse wurden wie in der Strömungstechnik üblich in Diagrammen zusammengestellt. Über dem Volumenstrom V beziehungsweise dem Durchflußvolumen eines Gebläses wird die Gesamtdruckdifferenz Δp_t zwischen Ansaug- und Ausblasquerschnitt, die Wellenleistung P_w und der Wirkungsgrad η aufgetragen.

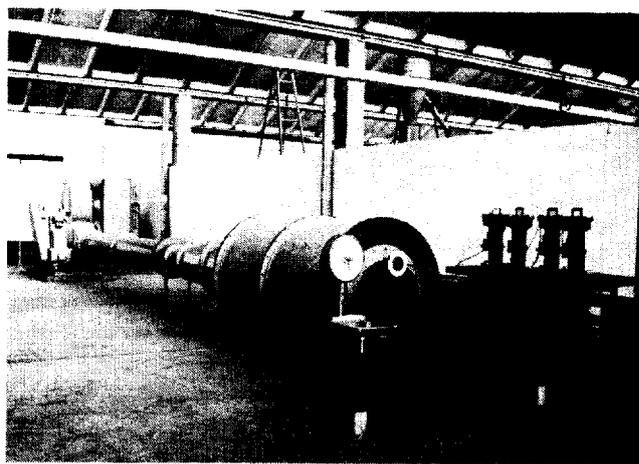


Bild 11: Meßstand zur Aufnahme von Gebläsekennlinien

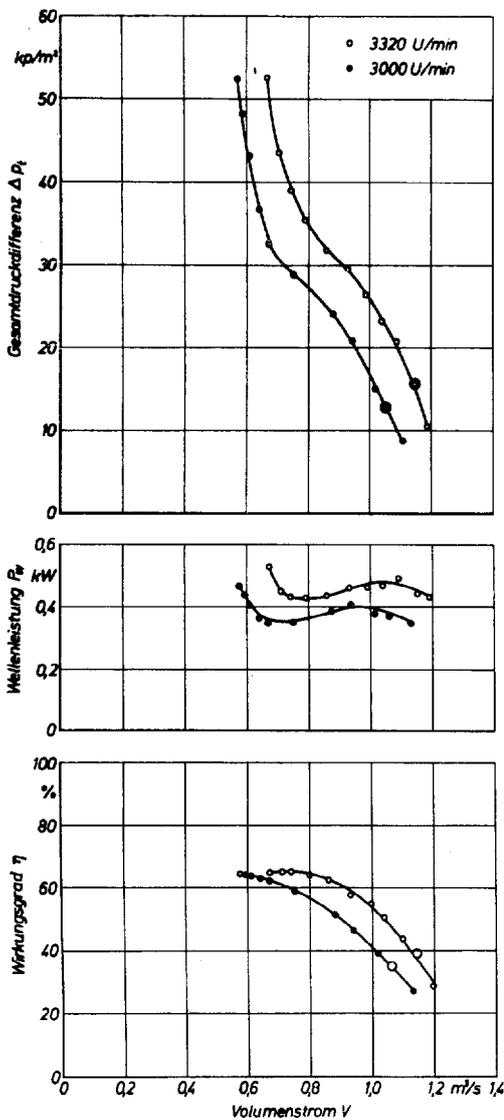


Bild 12: Gebläsekennfeld des Lufterzeugers Typ 01 (Laufraddurchmesser 350 mm; Betriebsdrehzahl 3 320 U/min)

Das auf dem Gebläsemeßstand ermittelte Kennfeld des Axialgebläses mit Luftumlenkung, Typ 01, ist in Bild 12 dargestellt. Die Kenndaten wurden bei Gebläsedrehzahlen von 3 320 und 3 000 U/min aufgenommen. Der Druckvolumenverlauf ist gegenüber üblichen Axialgebläsen sehr steil und besitzt nur einen Wendepunkt. Der Axiallüfter arbeitet also immer im stabilen Bereich. Die aufgenommene Wellenleistung sowie der Wirkungsgradverlauf des Lufterzeugers entsprechen der Charakteristik eines Axialgebläses. Obwohl das Gebläse einen guten maximalen Wirkungsgrad von etwa 65 % erreicht, arbeitet es in einem Bereich beziehungsweise Betriebspunkt, bei dem nur Wirkungsgrade von 35 beziehungsweise 40 % erreicht werden. Dies ist darauf zurückzuführen daß Lufterzeuger in Sprühgeräten ohne Gegen-druck arbeiten. Im Betriebspunkt werden im Verhältnis zu den Konstruktionsabmessungen des Gebläses große Luft-durchsätze, die bei 1,05 beziehungsweise 1,15 m³/s liegen, erzielt.

Das Gebläsekennfeld des Lufterzeugers Typ 03 mit einer unteren Abdeckung des Ausblasquerschnittes über einen Zentrierwinkel von 72° ist in Bild 13 dargestellt. Neben dem Gebläsekennlinienverlauf bei verschiedenen Drehzahlen und saugseitiger Messung wurden in verschiedenen Betriebspunkten die im Ausblasquerschnitt vorhandene Drallenergie der Luftströmung mit berücksichtigt und aufgezeichnet (gestrichelte Linie). Der Druck-Volumenverlauf weist auch hier keinen instabilen Bereich auf. Die mit diesem Lüfter erreich-

ten maximalen Wirkungsgrade liegen nur zwischen 35 und 39 %. Der maximale Volumendurchsatz liegt im Betriebspunkt des Gebläses bei einer Drehzahl von 2 200 U/min bei 3,06 m³/s. In diesem Betriebspunkt, der demjenigen im praktischen Einsatz des Gerätes entspricht, wird ein Wirkungsgrad von nur noch etwa 30 % erreicht. Berücksichtigt man den Drall an der Ausblasöffnung, das heißt den nicht radialen Luftaustritt, so erzielen man Wirkungsgrade, die etwa um 5 % höher liegen.

Gegenüber den bisher besprochenen Lüfter-Kennfelder besitzt der Lüfter Typ 02 wie Bild 14 zeigt, ein instabiles Verhalten. Die Druck-Volumenkurve weist ein ausgeprägtes Maximum und Minimum, so daß beispielsweise bei einer Drehzahl von 3 000 U/min des Lüfters bei konstantem Gegen-druck drei verschiedene Volumendurchsätze, die zwischen $V = 3,7$ und $5,7$ m³/s liegen, möglich sind. Für Lufterzeuger in Sprühgeräten ist dieses Verhalten unbedeutend, da der Betriebspunkt jenseits des Umschlagpunktes beziehungs-

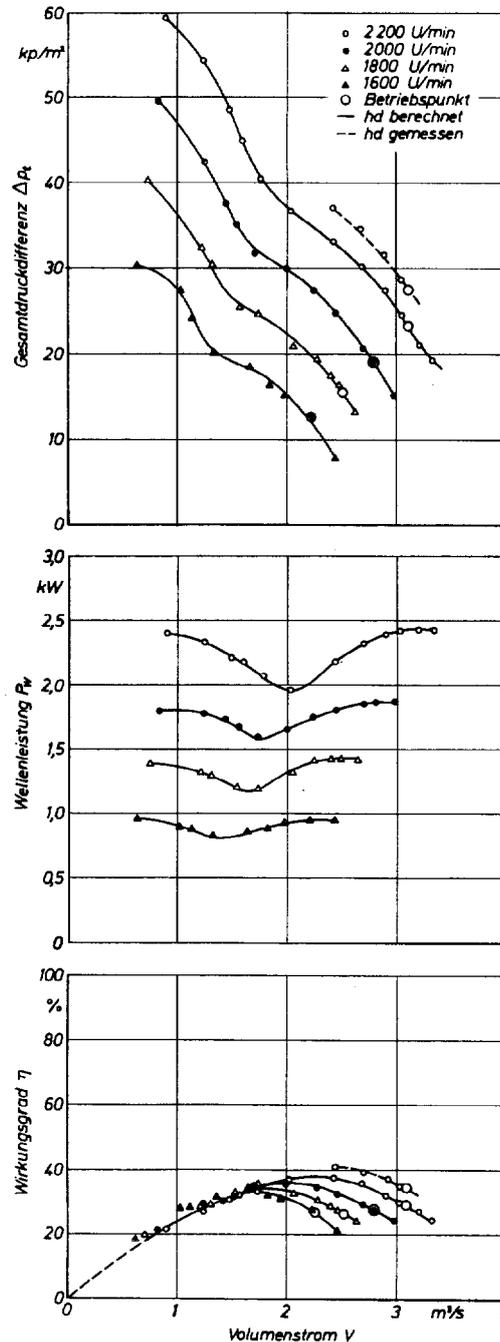


Bild 13: Gebläsekennfeld des Lufterzeugers Typ 03 mit Abdeckung des unteren Ausblasquerschnittes (Laufraddurchmesser 490 mm; Betriebsdrehzahl 2 200 U/min)

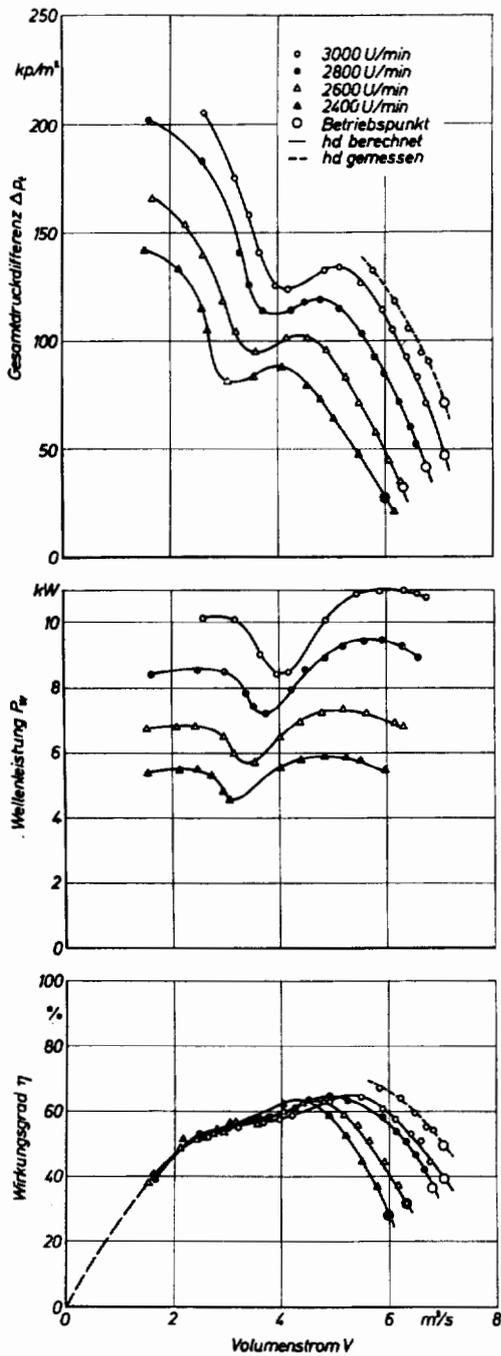


Bild 14: Gebläsekennfeld des Lufterzeugers Typ 02 mit Abdeckung des unteren Ausblasquerschnittes (Laufraddurchmesser 600 mm; Betriebsdrehzahl 3 000 U/min)

weise Abreißpunktes ($V = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$) bei größeren Volumendurchsätzen liegt. Die mit diesem Axialgebläse erzielten maximalen Wirkungsgrade liegen bei etwa 65 %. Dagegen werden im Betriebspunkt beziehungsweise praktischen Einsatz des Gerätes bei einer Drehzahl von 3 000 U/min und einem Volumendurchsatz von $6,73 \text{ m}^3/\text{s}$ Wirkungsgrade von nur noch 40 %, unter Berücksichtigung der Drallströmung am Ausblasquerschnitt etwa 50 % erzielt.

Zur Bestimmung des Einflusses einer teilweisen Abdeckung des Ausblasquerschnittes von Axialgebläsen mit Luftumlenkung wurde das Betriebsverhalten des Lufterzeugers Typ 03 untersucht. Die gewonnenen Ergebnisse sind in Bild 15 dargestellt. Bei Entfernen der unteren Abdeckung die einen Kreisbogen über einen Zentrierwinkel von 72° umschließt, wird die Druck-Volumen-Kurve parallel zu höheren Durchsätzen verschoben. Die Wellenleistung nimmt entsprechend dem höheren Volumendurchsatz analog zu. Der Betriebs-

punkt des Gebläses liegt gegenüber dem Gerät mit unterer Abdeckung nun bei einem höheren Volumendurchsatz von $3,42 \text{ m}^3/\text{s}$ gegenüber demjenigen mit unterer Abdeckung von $3,06 \text{ m}^3/\text{s}$. Infolge des Gegendruckes an der Ausblasseite der durch die Abdeckung verursacht wird, wandert der Betriebsdruck in günstigere beziehungsweise höhere Wirkungsgradbereiche. So wird beispielsweise im vorliegenden Fall durch die Abdeckung eine Erhöhung des Wirkungsgrades um etwa 8 % erreicht. Die Gebläsekennlinien, welche die Drallströmungen am Austrittsquerschnitt berücksichtigen, verlaufen ähnlich.

Ergänzend zur Bestimmung der Gebläsekennfelder von Lufterzeugern für Sprühgeräte wurden die Strömungsverhältnisse am Austritt des Zylinderspaltes untersucht. Diese zeitlich sehr umfangreichen Messungen mußten auf das Gebläse, Typ 03, mit und ohne Abdeckung und auf das Gebläse, Typ 02, beschränkt werden. Die Größe der Luftgeschwindigkeit und deren Richtung wurden jeweils in fünf Meßebenen

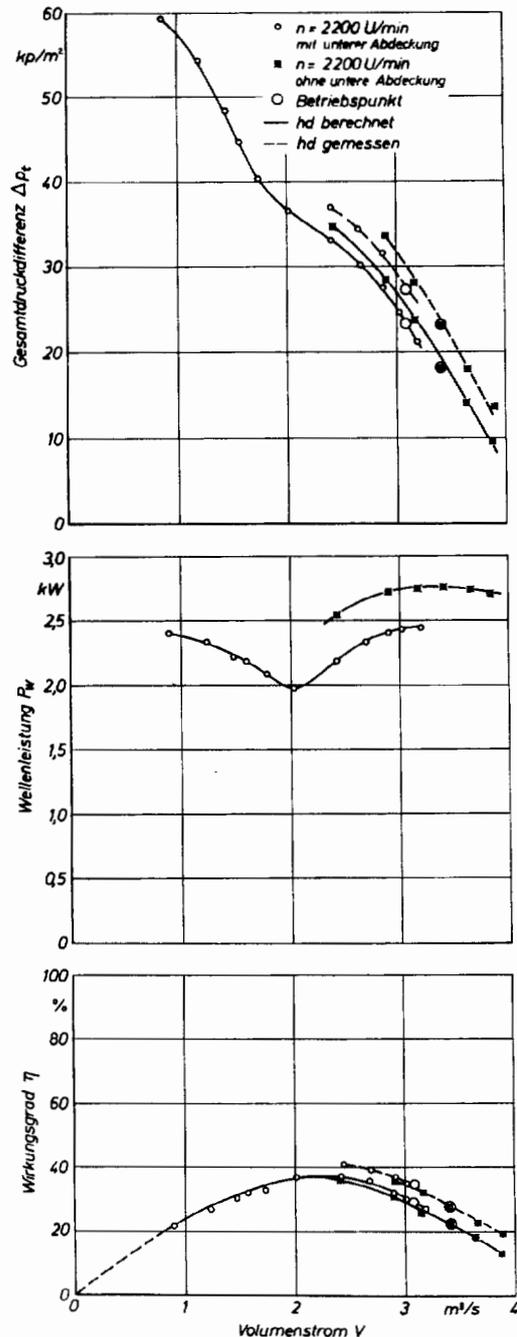


Bild 15: Gebläsekennfeld des Lufterzeugers Typ 03 mit und ohne untere Abdeckung des Ausblasquerschnittes

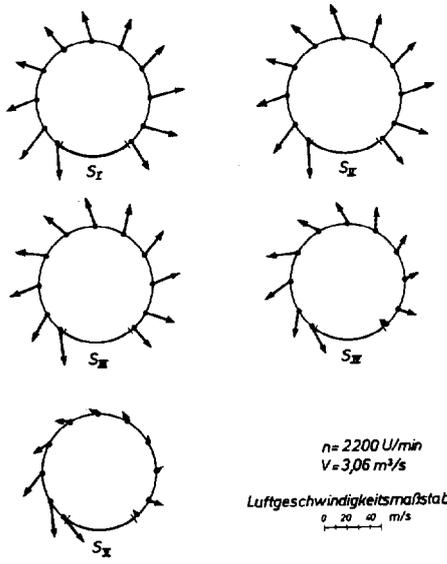
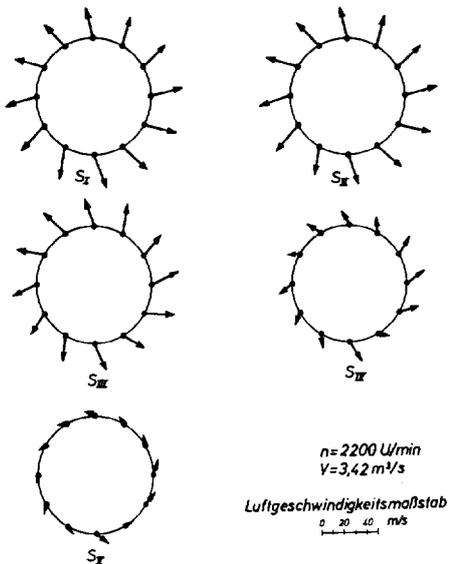
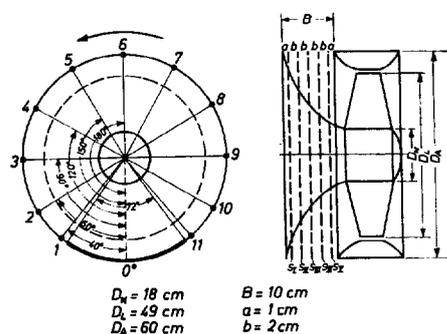
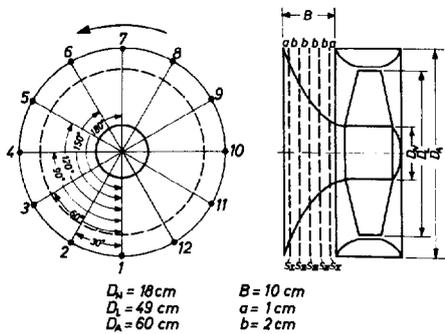


Bild 16: Strömungsverhältnisse am Ausblasquerschnitt des Gebläses Typ 03 ohne untere Abdeckung

Bild 17: Strömungsverhältnisse am Ausblasquerschnitt des Gebläses Typ 03 mit unterer Abdeckung

$S_I - S_V$ und in jeder dieser Ebenen in acht bis zwölf Einzelmesspunkten ermittelt. Aus der Vielzahl der Messergebnisse, die für die Aufnahme der Gebläsekennfelder unter Berücksichtigung der Drallströmung notwendig waren, wurden nur die Ergebnisse der oben erwähnten Gebläse im jeweiligen Betriebspunkt und bei der entsprechenden Betriebsdrehzahl dargestellt.

In Bild 16 sind die Strömungsverhältnisse — Luftgeschwindigkeit und -richtung — ohne, in Bild 17 mit unterer Abdeckung des Ausblasquerschnittes des Gebläses, Typ 03, dargestellt. Die Messergebnisse zeigen in beiden Fällen eindeutig, wie sich die Luftströmung an die Umlenkkontur anschmiegt, so daß in den beiden Meßebenen S_{IV} und S_V zum Laufrad hin der Volumenstrom beziehungsweise die Luftgeschwindigkeit rasch abnimmt. Die Geschwindigkeitshöhe und -richtung in den Ebenen S_I bis S_{III} weisen auf eine gleichmäßige Luftgeschwindigkeitsverteilung am Austrittsquerschnitt hin, lassen aber deutlich den Drall, der von der Drehrichtung des Laufrades herrührt, in der Strömung erkennen. Die Größe des Luftdralles nimmt mit der Abnahme der Luftgeschwindigkeit in diesen Querschnitten zu.

Die Anbringung einer Abdeckung an der unteren Seite des Gebläses hindert die Strömungsverhältnisse an den Querschnitten S_I bis S_{III} nur in unmittelbarem Bereich des Abdeckbleches (Bild 17). Außerdem bewirkt dieser Luftstau eine etwas günstigere Luftvolumenverteilung über dem Ausblaszylinderspalt.

Die Strömungsverhältnisse am Ausblasquerschnitt des Lufterzeugers, Typ 02 (Bild 18), zeigen ähnliche Charaktere. Der Einfluß der unteren Abdeckung über einen Zentriwinkel

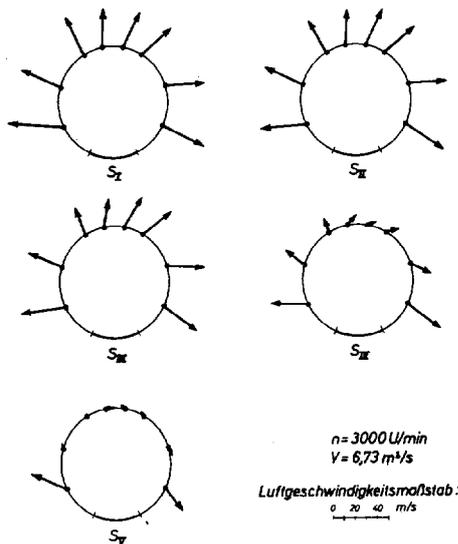
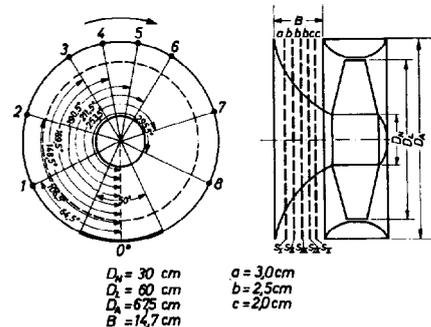


Bild 18: Strömungsverhältnisse am Ausblasquerschnitt des Gebläses Typ 02 mit unterer Abdeckung

von nur 50° auf die Luftströmung ist hier wegen des größeren Luftdurchsatzes beziehungsweise wegen der höheren Luftgeschwindigkeit, bezogen auf die Austrittsfläche, sehr viel größer. Die Drallströmung des in Uhrzeigerichtung drehenden Laufrades ist in Richtung und Größe über dem Umfang ungleichmäßig. In den Ebenen S_{IV} und S_V konnten nur noch im unteren Teil, in der Nähe des Abdeckbleches Luftströmungen ermittelt werden.

4. Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren hat im Weinbau das Ausbringverfahren für Pflanzenschutzmaßnahmen, das den Wirkstoff in hoher Konzentration durch einen Trägerluftstrom an das Objekt heranbringt, eine stürmische, technische Entwicklung durchgemacht. Obwohl der Mechanisierungsgrad in der Schädlingsbekämpfung sehr hoch ist und einen Arbeitszeitaufwand bei der Produktion von Trauben von nur noch 4 bis 6,4 Prozent erfordert, sind die Anschaffungs- und Betriebskosten dieser Maschinen und Geräte im Verhältnis zu den gesamten Investitionskosten solcher Weinbaubetriebe hoch.

Während die Einflußgrößen eines Wirkstoff-Flüssigkeitströpfchens auf die Haftfähigkeit an der Pflanzenoberfläche weitgehendst bekannt und faßbar sind, wurden die Vorgänge beim Sprühen und damit die Auswirkung auf diese Einflußgrößen bisher noch nicht untersucht. Außerdem sollte nach der Ursache für die sehr hohen Antriebsleistungen von Lufterzeugern der Sprühgeräte, die 60 bis 75 Prozent der gesamten erforderlichen Leistung betragen, gesucht werden.

Zur Klärung dieser Fragen wurden theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Ausbreitung des Luftfreistrahles und der darin geförderten Flüssigkeitströpfchen angestellt und die Eignung von heute in der Praxis verwendeten Aggregate zur Erzeugung eines Trägerluftstromes beurteilt.

Die Strömungsverhältnisse am achsensymmetrischen Luftfreistrahle sowie am Freistrahle der aus einem Zylinderspalt austritt, konnten theoretisch erfaßt und mathematisch dargestellt werden. Für die Bewegungsbahnen wurden physikalische Gesetzmäßigkeiten erarbeitet und formelmäßig zusammengefaßt. Eine quantitative Analyse der einzelnen Einflußgrößen auf die Bewegungsbahn der Tröpfchen konnte nicht ermittelt werden, da eine geeignete Rechenanlage mit einem entsprechend großen Speichervermögen nicht zur Verfügung stand.

Die experimentellen Untersuchungen an einem achsensymmetrischen Luftfreistrahle und an einem Luftfreistrahle, der aus einem Zylinderspalt austritt, wurden mit Lufterzeugern von bereits in der Praxis bewährten Sprühgeräten in verschiedenen Weinbergsanlagen durchgeführt. Von der Landeslehr- und Forschungsanstalt für Weinbau in Neustadt wurden gleichzeitig Messungen über die an den Reben abgelagerten Wirkstoffmengen vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen übereinstimmend, daß sich in der Gipfelzone der Rebzeilen und -gassen ein den theoretischen Überlegungen entsprechender Geschwindigkeitsverlauf einstellte. Die Reichweite solcher Großraumsprühgeräte ist sowohl von der Austrittsluftgeschwindigkeit wie vom Volumendurchsatz abhängig. Die Luftgeschwindigkeit in der Traubenzone ist durch die Beeinflussung der Laubwand sehr viel niedriger. Ihr Verlauf kann durch die Stellung des Gerätes beziehungsweise des Ausblasquerschnittes zur Anlage sehr stark beeinflußt werden. Die Wirkstoffmengenverteilung über der Entfernung vom Gerät ist wegen der Größenverteilung der Flüssigkeitströpfchen und deren Geschwindigkeit sehr ungleichmäßig. Eine genügend große Bedeckung wird ab einer Trägerluftgeschwindigkeit von etwa 3 m/s erreicht. Mit Großraumsprühgeräten konnten bei bergauf- und -abwärtsfahrten Anlagen bis zu 76 m bezie-

ungsweise bei einem Gerät mit geringerer Luftleistung Anlagen bis zu etwa 60 m mit Erfolg behandelt werden. Der Einfluß der Bewegungs- beziehungsweise Fahrgeschwindigkeit des Gerätes auf die Luftstrahlausbreitung ist erheblich. Die Reichweite eines Gerätes nimmt überproportional mit der Fahrgeschwindigkeit ab.

Die Luftgeschwindigkeitsverteilung von Axialgebläsen mit Luftumlenkung ist über dem Ausblasquerschnitt sehr unregelmäßig. Sie wird von der Drehrichtung des Laufrades, vom Abdeckblech und der Lage des Gerätes zur Bodenfläche stark beeinflußt. Die theoretischen, mathematischen Ansätze konnten auch hier durch die experimentellen Untersuchungen bestätigt werden.

Für die Beurteilung der Eignung von Lufterzeugern in Sprühgeräten mußte ein spezieller Gebläsemeßstand, der die besonderen Betriebsbedingungen dieser Gebläse berücksichtigt, entworfen und gebaut werden. Neben der Ermittlung des Gebläsekennfeldes der Lufterzeuger wurden die Strömungsverhältnisse — Luftgeschwindigkeit und deren Richtung — am Ausblasquerschnitt der Lufterzeuger ermittelt. Die Druck-Volumenkurven entsprechen denjenigen von Axiallüftern und weisen nur in einzelnen Fällen ein instabiles Verhalten auf. Die maximal erreichbaren Wirkungsgrade liegen zwischen 35 und 65 %. Im Lüfterbetriebspunkt der demjenigen im praktischen Einsatz des Gerätes entspricht, werden aber meist nur noch Wirkungsgrade von 30 bis 40 % erreicht. Durch eine teilweise Abdeckung des Ausblasquerschnittes wird ein Gegendruck erzeugt, so daß der Betriebspunkt des Lüfters in günstigere Wirkungsgradbereiche fällt. Dadurch wird aber ein geringeres Durchsatzvolumen erzielt. Die heute verwendeten Gebläse für die Erzeugung des Trägerluftstromes in Sprühgeräten sind hinsichtlich ihres Betriebsverhaltens ungeeignet. Die Strömungsverhältnisse — Luftgeschwindigkeitshöhe und -richtung — sind über dem ganzen Ausblasquerschnitt sehr verschieden und lassen deutlich den Luftdrall, der von der Drehrichtung des Laufrades herrührt, erkennen. Infolge der Luftverteilung und deren Ausbreitungsrichtung werden bei den vorliegenden Gebläsebauarten bis zu maximal 50 % der geförderten Luftmenge nutzlos, ohne die Aufgabe eines Trägerluftstromes zu erfüllen, ausgeblasen.

Durch Einbau verstellbarer, den jeweiligen Anbauverhältnissen anpaßbarer Luftleitbleche sowie durch eine eventuelle, teilweise, untere und obere Abdeckung des Ausblasquerschnittes, können sehr viel günstigere lufttechnische Strömungsverhältnisse erzielt werden. Eine Verringerung der Breite des Zylinderspaltes kann außerdem zu einer gleichmäßigeren Luftgeschwindigkeitsverteilung führen. Diese Maßnahmen würden mit geringstem konstruktivem Aufwand bereits zu einer lufttechnischen Verbesserung des Gebläses führen. Der im Betriebspunkt erzielbare Wirkungsgrad kann damit aber nicht wesentlich beeinflußt werden. Ein Optimum hinsichtlich der Ausströmverhältnisse, des erzielbaren Wirkungsgrades und damit der Wirtschaftlichkeit solcher Geräte ist nur durch eine Neukonstruktion zu erreichen, welche die besonderen Einsatzbedingungen berücksichtigt.

5. Schrifttum

- [1] ADAMS, K.: Die Kosten der Arbeiterledigung im Weinbau unter besonderer Berücksichtigung der Mechanisierung. KTBL-Berichte über Landtechnik, H. 78, Wolftratshausen 1963
- [2] EHRENHARDT, H.: Stand der weinbaulichen Pflanzenschutztechnik und ihre Probleme. Der Deutsche Weinbau 22 (1967) S. 44—52
- [3] GÖHLICH, H.: Differenzierte Anwendungstechnik für Pflanzenschutzmaßnahmen. Landtechnik 26 (1971), S. 206—212
- [4] NICKELS, H.: Analytische und experimentelle Untersuchungen an Pflanzenschutzgeräten unter besonderer Berücksichtigung ihrer Verteilorgane und deren Spitzschleier. Diss. 1952, TH Braunschweig
- [5] BRUNSKILL, R. T.: Physical Factors Affecting the Retention of Spray Droplets on the Leaf Surfaces. Research Report No. D. 11 (1970) Fisons Pest Control Ltd.

- [6] BLACKMAN, G. E.: Differential Spray Retention and the Selective Action of Herbicides. In: Proc. African Weed Control Conference (Viktoria Falls), 1958, S. 99—117
- [7] BENGSSON, A.: Der Einfluß der Tropfengröße auf die Wirkung von Unkrautbekämpfungsmitteln. Schriftenreihe des Institutes für Pflanzenbau Nr. 17, Uppsala/Schweden 1961
- [8] MOSER, E.: Leistung der Pflanzenschutzgeräte aus der Sicht der technischen Grundlagenforschung. Rebe und Wein 20 (1967) S. 71—74
- [9] REICHHARDT, H.: Gesetzmäßigkeiten der freien Turbulenz. VDI-Forschungsheft 414 Ausgabe B, Bd. 13. Berlin 1942
- [10] REGENSCHIEDT, B.: Die Luftbewegung in klimatisierten Räumen. Kältetechnik 11 (1959) S. 3—11
- [11] SCHLICHTING, H.: Grenzschicht-Theorie. Verlag G. Braun, Karlsruhe 1958
- [12] MÜLLER, K.: Die Grundlagen der Gegenstrom-Umlenkung. VDI-Forschungsheft 513, Düsseldorf 1966
- [13] GEBHARD, H.: Zerstäubung durch Dralldüsen. Maschinenbau-Technik 3 (1959) S. 83—91
- [14] GÖRTLER, H.: Berechnung von Aufgaben der freien Turbulenz auf Grund eines neuen Näherungssatzes. Zeitschrift für angew. Mathematik und Mechanik 22 (1942) S. 244—254
- [15] GÖRTLER, H.: Decay of swirl in an axially symmetrical jet, far from the orifice. Revista Matematica Hispano-Americano (1954) S. 143—178
- [16] HAUSCHILDT, H.: Die Bewegung eines einzelnen Tropfens bei Zerstäubungsvorgängen. Energie 13 (1961) S. 207—211
- [17] PRANDTL, L.: Bemerkungen zur Theorie der freien Turbulenz. Zeitschrift für angew. Mathematik und Mechanik. 22 (1942) S. 241—244
- [18] SQUIRE, H. B.: The round laminar jet. Quarterly. Journal Mechanics, Applied Mathematics. 4(1951) S. 321—329
- [19] TOLLMIEN, W.: Berechnung turbulenter Ausbreitungsvorgänge. Zeitschrift für angew. Mathematik und Mechanik 6 (1926) S. 468—477
- [20] National Association of Fan Manufacturers Soc.: Standards, Definitions, Terms and Test Codes for Centrifugal, Axial and Propeller Fans. Bulletin No. 110 (1952)
- [21] DIN 1952: VDI-Durchflußmeßregeln. Regeln für die Durchflußmessung mit genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen. VDI-Verlag, Düsseldorf 1963

Ehrendoktor für Helmut Meyer

Prof. Dipl.-Ing. HELMUT MEYER erhielt am 5. November 1971 in einer akademischen Feier der Technischen Universität München die Urkunde über die ihm auf Vorschlag der Fakultät für Maschinenwesen und Elektrotechnik

„In Würdigung seiner Verdienste um die Entwicklung der Forschung auf dem Gebiet der Ackerschlepper und um die Motorisierung und Mechanisierung der Deutschen Landwirtschaft“

verliehene Würde des Doktor-Ingenieurs ehrenhalber.

Der „Schlepper-MEYER“, wie wir ihn nennen, wurde 1898 in Aschaffenburg geboren, legte 1917 in Speyer die Reifeprüfung ab und nahm am ersten Weltkrieg, zum Schluß als Leutnant, teil. Von 1919 bis 1922 studierte er an der TH München Maschinenbau mit dem Abschluß des Diplom-Ingenieurs.

Von 1922 bis 1925 war er als Ingenieur bei den Deutschen Werken in München tätig, die Landmaschinen herstellten. Nach deren Stilllegung führte er 1926 im Auftrag der Deutschen Werke Spandau Untersuchungen an Dreschmaschinen-gebläsen im Institut für Landmaschinenkunde der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin unter Leitung von Geheimrat Prof. Dr.-Ing. GUSTAV FISCHER durch. Nach einer Ausbildungszeit als Stipendiat der DLG auf Gütern in Oberbayern und Brandenburg trat er 1928 in dieses Institut als Mitarbeiter ein, „um die durch das Reichskuratorium für Technik in der Landwirtschaft (RKTL) in Berlin, finanzierten Arbeiten zur Schlepperuntersuchung durchzuführen“.

Damals hatten sich eisenbereifte Greiferradschlepper und Raupenschlepper zwar gegen Motorpflüge und Dampfseilpflüge durchgesetzt, aber die weitere Entwicklung der Motorisierung der Landwirtschaft war nicht zu überblicken. In dieser Situation verschrieb sich HELMUT MEYER dieser Entwicklung.

Unter seiner Leitung entstanden in den folgenden Jahren bis 1933 in Bornim bei Potsdam die Prüfungseinrichtungen des Schlepperprüffeldes, die „Forschungsstelle des RKTL Berlin“. Dieses wurde 1938 aus dem Landmaschinen-Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule, dessen Leiter inzwischen Prof. Dr.-Ing. CARL HEINRICH DENCKER war, ausgegliedert und mit HELMUT MEYER als Direktor, verselbständigt.

MEYER richtete in Bornim Prüfstände für Leistungsmessungen ein und baute einen Bremswagen und zwei Prüfbahnen mit

verschiedenen Böden für die Zugleistungsmessungen. Das war damals ein Vorstoß in Neuland.

Grundsatzversuche erlaubten die Aufstellung von Leistungsbilanzen der untersuchten Schlepper, wonach 1931 feste Prüfungsregeln für Ackerschlepper erarbeitet werden konnten. Nach diesen konnten in den folgenden Jahren eine Anzahl von Schleppern einzeln und in Vergleichen geprüft werden.

Da der damalige Stand der Schleppertechnik zum Teil noch recht unbefriedigend war, zogen die Hersteller aus diesen Prüfungen großen Nutzen für die weitere Entwicklung, besonders zur Erzielung größerer Betriebssicherheit und Lebensdauer. Zum Beispiel im Getriebe des Lanz-Bulldogs waren, bezeichnend für den damaligen Stand, die Getriebezahnräder symmetrisch ausgebildet, „damit man sie nach Abnutzung umdrehen und noch einmal benutzen kann“.

Über die Prüfungen hinaus fand die Arbeit HELMUT MEYERS bereits damals in grundlegenden Veröffentlichungen, die seinen Namen und den seiner Mitarbeiter trugen, ihren bleibenden Niederschlag. Er hat eine Anzahl von Untersuchungen durchgeführt, durch die die Konstruktion von Schleppern und Ackerwagen und deren Entwicklung in wesentlichen Schritten beeinflusst wurden. Nach anfänglichen Untersuchungen von eisernen Triebrädern mit Greifern und von Raupenkettens bildete sich bereits 1931 sehr bald der Schwerpunkt seiner Forschungsarbeiten durch Vergleichsversuche von Luftreifen für Wagen und für Schlepper auf verschiedenen Fahrbahnen aus.

Es ist das Verdienst HELMUT MEYERS, durch seine ersten grundlegenden wissenschaftlichen Arbeiten die Überlegenheit der Luftreifen gegenüber „Elastik-Reifen“ oder Eisenrädern bezüglich des Rollwiderstandes an Ackerwagen und bezüglich der Zugkraft an Schleppern überzeugend nachgewiesen zu haben. Außerdem hat er die Herstellung von Luftreifen, Schleppern und Ackerwagen mit Erfolg dazu ange-regt, an landwirtschaftlichen Fahrzeugen auf Luftreifen über-zugehen. Schließlich konnte die zunächst zögernde landwirt-schaftliche Praxis von ihm durch Einsatzversuche wirkungs-voll davon überzeugt werden, daß die Eignung der luft-bereiften Schlepper für die landwirtschaftlichen Transport-arbeiten auf Wagen und Straßen nicht auf Kosten der Zugkraft auf dem Acker ging.

Die ersten zehn Jahre seines Wirkens in Bornim waren der Förderung der Kleinschlepper und Bauernschlepper mit ihren