

## Eine Methode zur Feststellung der Flächenleistung von Pflanzenschutz-Geräten

Bei verschiedenen Versuchen, die mit Pflanzenschutz-Geräten durchgeführt wurden, ergab sich die Notwendigkeit, eine einheitliche Methode aufzustellen, mit der man die zu erwartenden Flächenleistungen von beliebigen, unter bestimmten Bedingungen eingesetzten Pflanzenschutz-Geräten bestimmen kann. Im folgenden wird diese Methode erläutert.

Bei der Anschaffung eines Pflanzenschutz-Gerätes muß darauf geachtet werden, daß dieses dem im jeweiligen Betrieb bestehenden Pflanzenschutz-Gerätebedarf entspricht, daß also die Fläche der bedrohten und im ungünstigsten Fall erkrankten Pflanzen während der Dauer von rund 30 Arbeitsstunden (das entspricht der zumeist gegebenen Inkubationszeit von drei Tagen) mit dem dazu bestimmten Gerät behandelt werden kann. Zu diesem Zweck muß die Fläche der zu behandelnden Pflanzenkulturen sowie die Flächenleistungsfähigkeit des anzuschaffenden Gerätes bekannt sein.

In einem gemischten Betrieb ist die innerhalb von 30 Arbeitsstunden zu behandelnde Fläche in etwa gleichzusetzen mit der Flächensumme der zwei flächenmäßig stärksten von Schädlingen und Krankheiten bedrohten Pflanzenkulturen [1]. In Betrieben mit nur einer Pflanzenkultur (Weinbau) muß die im jeweiligen Betrieb vorhandene Pflanzenschutz-Geräte-ausrüstung die Behandlung der gesamten Kulturfläche während der Zeitspanne von 30 Arbeitsstunden ermöglichen.

Etwas aufwendiger ist die Feststellung der zu erwartenden Flächenleistung eines unter bestimmten Bedingungen eingesetzten Pflanzenschutz-Gerätes. Im folgenden wird eine Beziehung zwischen den am Einsatz eines Pflanzenschutz-Gerätes beteiligten Daten (Ausbringleistung der Pumpe, Aufwandmenge der Mittel je Fläche, Behältergröße) aufgestellt, die die Berechnung der zu erwartenden Flächenleistung eines beliebigen unter bestimmten Bedingungen eingesetzten Pflanzenschutz-Gerätes ermöglicht.

Die Flächenleistung  $A$  ist eine je Zeiteinheit  $t$  bearbeitete Fläche  $F$

$$A = \frac{F}{t} \quad (1)$$

Wenn man die zum Füllen des entleerten Behälters erforderliche Zeit  $t_F$  ausschließt, so ist die auf die reine Arbeitszeit  $t_R$  beruhende Flächenleistung

$$A_R = \frac{F}{t_R} \quad (2)$$

Die Füllzeit  $t_F$  muß aber berücksichtigt werden, weil sie ebenso wie die Entleerungsdauer des Behälters zur Gesamt-arbeitszeit ( $t_R + t_F$ ) gehört.

Die tatsächliche, auf der Gesamtarbeitszeit beruhende Flächenleistung eines Pflanzenschutz-Gerätes ist somit

$$A_G = \frac{F}{t_R + t_F} \quad (3)$$

Durch die Division von Gl. (3) durch Gl. (2) erhält man:

$$\frac{A_G}{A_R} = \frac{t_R}{t_R + t_F}$$

beziehungsweise

$$A_G = A_R \cdot \frac{t_R}{t_R + t_F} \quad (4)$$

Die für die Bearbeitung einer Fläche  $F$  erforderliche reine Arbeitszeit wird durch den Quotienten — Aufwandmenge  $Q$

in l(kg)/ha, dividiert durch die Ausbringleistung  $q$  des jeweiligen Gerätes in l(kg)/min — ausgedrückt:

$$t_R = \frac{Q}{q} \left[ \frac{\text{min}}{\text{ha}} \right] \quad (5)$$

Aus der sich für  $t_R$  in Gl. (5) ergebenden Dimension erkennt man, daß die auf der reinen Arbeitszeit beruhende Flächenleistung  $A_R$  dem Kehrwert von  $t_R$  gleich ist:

$$A_R = \frac{1}{t_R} = \frac{q}{Q} \left[ \frac{\text{ha}}{\text{min}} \right] \quad (6)$$

Durch Einsetzen von Gl. (6) in Gl. (4) erhält man die Formel für die auf der Gesamtarbeitszeit beruhende Flächenleistung:

$$A_G = \frac{q}{Q} \cdot \frac{t_R}{t_R + t_F} \left[ \frac{\text{ha}}{\text{min}} \right] \quad (7)$$

Der Ausdruck  $\frac{t_R}{t_R + t_F}$  bedeutet den Anteil der reinen Arbeitszeit (Zeitdauer zum Entleeren des Behälters) an der Gesamtarbeitszeit (Zeitdauer zum Entleeren und Auffüllen des Behälters).

Er ist somit von der Behältergröße und der jeweils eingestellten Förderleistung der Pumpe abhängig. Ersetzt man ihn durch  $f$ , so erhält man die kürzere Form der Gleichung

$$A_G = \frac{q}{Q} \cdot f \quad (8)$$

Der Faktor  $f$  drückt also die Zweckmäßigkeit der Auslastung eines unter bestimmten Bedingungen eingesetzten Pflanzenschutz-Gerätes aus. Ein Gerät, dessen Füll- und Vorbereitungszeit ebenso lang wie seine reine Arbeitszeit ( $f$ -Wert = 0,5 beziehungsweise 50 %) oder noch länger als diese ist ( $f$ -Wert < 50 %), hat entweder einen zu kleinen Behälter, oder arbeitet mit einer weit über den Normalzustand belasteten Pumpe. Andererseits ist es einleuchtend, daß ein Pflanzenschutz-Gerät, dessen reine Arbeitszeit etwa 80 % und mehr seiner Gesamtarbeitszeit einnimmt ( $f$ -Wert  $\geq$  80 %), entweder leistungsmäßig nicht ausgelastet ist oder der Förderleistung der Pumpe gegenüber einen zu großen Behälter hat und daher mit einem zu großen Gewicht über das Feld gefahren werden muß.

Der  $f$ -Werte-Bereich von etwa 55 bis 75 % charakterisiert somit das optimale Verhältnis zwischen der Behältergröße und der jeweiligen Ausbringleistung der Pumpe.

Der  $f$ -Wert für ein bestimmtes Pflanzenschutz-Gerät berechnet sich in folgender Weise. Es sei ein bestimmtes Pflanzenschutz-Gerät gegeben: die Behältergröße dieses Gerätes betrage 300 l, die Förderleistung der Pumpe 30 l/min und die des zum Füllen verwendeten Injektors 100 l/min. Die Entleerungsdauer des Behälters entspricht der reinen Arbeitszeit des betreffenden Gerätes und ist somit  $t_R = 300 : 30 = 10$  Minuten. Das Auffüllen des Behälters durch den Injektor mit 100 l/min dauert 3 Minuten. Rechnet man die für das Heranfahren des Gerätes bis zum Reservefaß und zurück erforderliche Zeit von schätzungsweise 4 Minuten hinzu, so ergibt sich eine Füllzeit  $t_F$  von 7 Minuten, die der Behälter-Entleerungsdauer  $t_R$  von 10 Minuten gegenübersteht. Demnach ist für dieses Gerät unter angegebenen Bedingungen

$$f = \frac{t_R}{t_R + t_F} = 10 : 17 = 0,59.$$



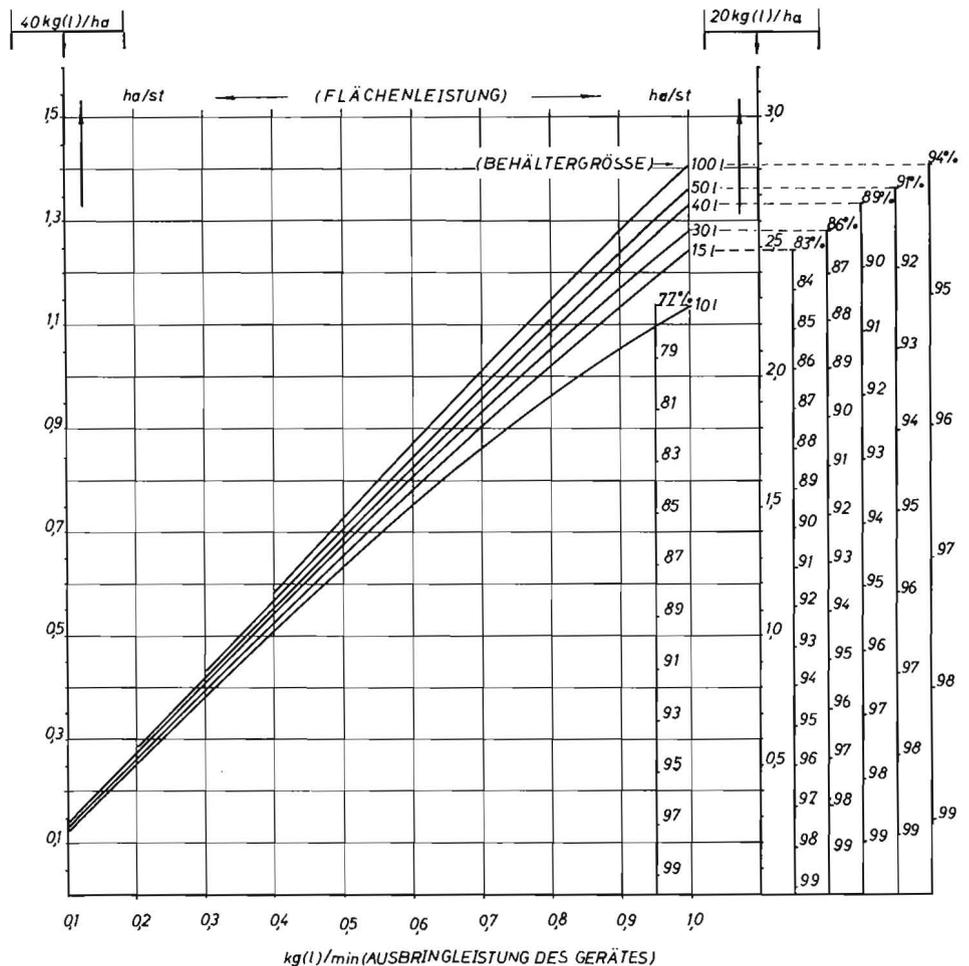


Bild 1: Kurvendarstellung zum Ablesen der Beziehung zwischen der jeweils gegebenen Behältergröße (10 — 100 l), der jeweiligen Ausbringleistung (0,1 bis 1,0 kg (l)/min) und der zu erwartenden maximalen Flächenleistung von Pflanzenschutz-Stäubern beziehungsweise Nebellösungs-Aufwandmengen von 20 und 40 kg (l)/ha

### 1. Feststellung der zu erwartenden maximalen Flächenleistung von beliebigen Pflanzenschutz-Geräten unter bestimmten Einsatzbedingungen

Aus der zeichnerischen Darstellung soll beispielsweise die zu erwartende maximale Flächenleistung des vorher schon erwähnten Gerätes abgelesen werden.

Dazu wird das untere Ende des vertikalen Stäbchens der T-Figur so auf die Abszisse gesetzt, daß es auf den der betreffenden Pumpenleistung ( $q = 30 l/min$ ) entsprechenden Punkt zu liegen kommt. Das obere Ende des vertikalen Stäbchens wird in seinem Schnittpunkt mit der 300-l-Leistungskurve durch das horizontale parallel zur Abszisse verlaufende Querstäbchen abgeschlossen (wodurch sich die T-Figur der beiden Stäbchen oder Lineale ergibt). Je nachdem, ob die der in Frage kommenden Aufwandmenge  $Q$  entsprechende Ordinate (siehe Tafel 2; im vorliegenden Beispiel sei  $Q = 800 l/min$ ) sich auf dem linken oder dem rechten Ende der Abszisse befindet, wird das linke oder das rechte Ende des Querstäbchens bis zu seinem Schnittpunkt mit der betreffenden Ordinate verlängert. In diesem Schnittpunkt wird die zu erwartende maximale Flächenleistung des betreffenden Gerätes abgelesen. Im vorliegenden Beispiel ist  $A_G = 1,32 ha/h$  (siehe in Bild 4 die kurz-kurz-lang gestrichelte Linie).

### 2. Bestimmung des leistungsgemäß passenden Pflanzenschutz-Gerätes für den in einem landwirtschaftlichen Betrieb im Hinblick auf den Pflanzenschutz bestehenden Flächenleistungsbedarf

Eine solche Aufgabe kann sich bei einer Überprüfung der vorhandenen Pflanzenschutz-Geräteausrüstung oder bei einer Neuanschaffung ergeben. In einem landwirtschaftlichen Betrieb soll beispielsweise ein neues Pflanzenschutz-Gerät angeschafft werden.

Die Flächensumme der zwei flächenmäßig stärksten auf Pflanzenschutz angewiesenen Kulturen dieses Betriebes beträgt 42,9 ha. Das bedeutet einen Flächenleistungsbedarf von 42,9  $ha/30 h$  beziehungsweise 1,43  $ha/h$ . Die Daten (Dauerleistung der Pumpe sowie die Behältergröße) des hierzu leistungsmäßig passenden Gerätes werden aus der Kurvendarstellung in folgender Weise abgelesen.

Da es sich hier angenommenerweise um das Spritzverfahren im Feldbau handelt, ist mit einer Aufwandmenge von 800  $l/ha$  zu rechnen (siehe Tafel 2). Zum Ablesen der gesuchten Werte wird zuerst auf der Ordinate, die der Aufwandmenge von 800  $l/ha$  entspricht, der der Flächenleistung von 1,43  $ha/h$  entsprechende Punkt festgestellt (siehe Bild 4 die kurz-lang gestrichelte Linie). Dann wird das eine Ende des parallel zur Abszisse verlaufenden Querstäbchens an diesen Punkt gesetzt. Das Stäbchen schneidet in dieser Stellung sowohl die Leistungskurven als auch die ihnen zugeordneten  $f$ -Werte-Skalen.

Für die weitere Betrachtung kommen nur die Leistungskurven in Frage, deren Schnittpunkte mit dem Querstäbchen dem günstigen  $f$ -Werte-Bereich (55—75 %) gegenüber liegen. Der dem jeweiligen Schnittpunkt genau gegenüber liegende  $f$ -Wert wird im Schnittpunkt desselben Stäbchens mit der entsprechenden  $f$ -Werte-Skala abgelesen. Die Schnittpunkte der für die Behältergrößen von 300 l, 400 l und 600 l gezeichneten Kurven liegen jeweils den  $f$ -Werten von rund 56, 67 und 74 % gegenüber. Der geringere  $f$ -Wert bedeutet eine stärkere Auslastung des Behälters. Da das Gerät voll ausgelastet werden soll, wird die dem kleineren  $f$ -Wert entsprechende Behältergröße von 300 l gewählt. Von dem Schnittpunkt des Querstäbchens mit der 300-l-Leistungskurve wird jetzt das vertikale Stäbchen senkrecht auf die Abszisse herabgelassen, so daß die letzte dabei geschnitten wird. In diesem Schnittpunkt wird die für das gesuchte Gerät erforderliche Ausbringleistung abgelesen.

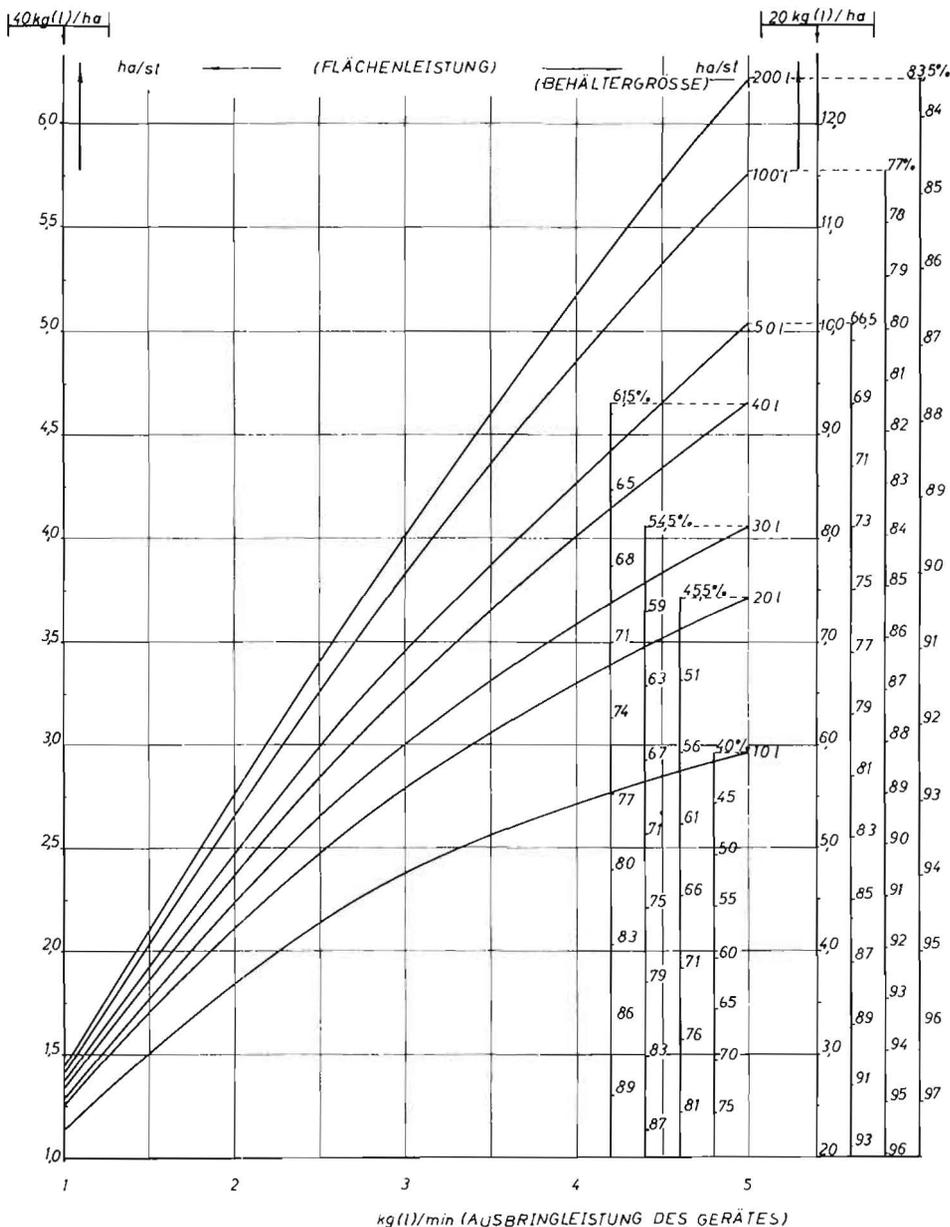


Bild 2: Fortsetzung der in Bild 1 gezeigten Darstellung

derliche Förderleistung der Pumpe abgelesen. Sie beträgt 35 l/min.

Für einen 300-l-Behälter ist diese Förderleistung der Pumpe als maximal anzusehen, denn bei einer noch höheren würde der  $f$ -Wert kleiner als 55 % werden.

Zur Deckung eines Flächenleistungsbedarfs von 1,43 ha/h wird also im Spritzverfahren ein Gerät benötigt, dessen Behälter mindestens 300 l faßt und dessen Pumpe eine Dauerleistung von mindestens 35 l/min hat.

### 3. Festsetzung des zweckmäßigen Verhältnisses zwischen der gegebenen Behältergröße und der maximalen dauerhaften Förderleistung einer dazu bestimmten Pumpe

Hierbei handelt es sich also entweder um die Bestimmung der für eine gegebene Behältergröße leistungsmäßig passenden Pumpe, oder um die Zuordnung der passenden Behältergröße für die maximale Dauerleistung einer Pumpe. Beide Möglichkeiten sollen an folgenden Beispielen erläutert werden.

Es ist ein Behälter von 600 l gegeben. Für diesen soll eine Pumpe von passender dauerhafter Leistung bestimmt werden, das heißt eine solche, die mit dem 600-l-Behälter einen im günstigen Bereich (55—75 %) liegenden  $f$ -Wert ergibt, während sie im optimalen Belastungsbereich arbeitet. Bei der maximalen Förderleistung der Pumpe soll sich also

annähernd ein  $f = 55\%$  und bei der minimalen ein  $f = 75\%$  ergeben. Für die Bestimmung dieser Förderleistung wird die der 600-l-Behältergröße entsprechende Leistungskurve herangezogen (siehe Bild 4).

Sie wird zuerst mit dem parallel zur Abszisse verlaufenden Querstäbchen der T-Figur in dem Punkt geschnitten, der dem  $f$ -Wert von 55 % gegenüber liegt. Das in diesem Schnittpunkt senkrecht nach unten herabgelassene vertikale Stäbchen schneidet die Abszisse genau in dem Punkt, wo die gesuchte Förderleistung abgelesen wird. Sie beträgt hier rund 60 l/min. Sie ist als maximal anzusehen, weil eine noch höhere Pumpenleistung einen  $f < 55\%$  ergeben würde.

Zum Ablesen der für den 600-l-Behälter erforderlichen minimalen Förderleistung wird die 600-l-Leistungskurve mit dem Querstäbchen in dem Punkt geschnitten, der gegenüber dem  $f$ -Wert von 75 % liegt. Das aus diesem Schnittpunkt herabgelassene vertikale Stäbchen schneidet die Abszisse gerade dort, wo die gesuchte Förderleistung der Pumpe abgelesen wird, sie beträgt rund 27 l/min. Sie kann als minimal angesehen werden, weil eine noch kleinere bei der vorliegenden Behältergröße einen  $f > 75\%$  ergeben würde. Für einen 600-l-Behälter ist also eine Pumpe mit einem optimalen Dauerleistungsbereich von rund 27 bis 60 l/min zu verwenden.

Bei der Zuordnung der passenden Behältergröße zu dem optimalen Bereich der Förderleistung einer Pumpe soll dar-

auf geachtet werden, daß für die maximale Pumpenleistung der Behälter nicht zu klein, daß also der  $f$ -Wert nicht kleiner als 55 % ist und daß er bei der Einstellung der minimalen Förderleistung nicht zu groß wird, daß also der  $f$ -Wert nicht größer als 75 % wird. Mit Hilfe der Kurvendarstellung wird die Behälterbestimmung in folgender Weise vorgenommen. Es sei eine Pumpe mit einem optimalen Leistungsbereich von 20–40 l/min gegeben. Für diese Pumpe soll ein passender Behälter bestimmt werden. Zu diesem Zweck wird das vertikale Stäbchen der T-Figur senkrecht auf den Abszissenpunkt von 20 l/min gesetzt, auf den Punkt also, der dem Minimalwert des optimalen Pumpenleistungsbereiches entspricht. In dieser Stellung schneidet das Stäbchen mehrere Leistungskurven. Der für einen dieser Schnittpunkte entsprechende  $f$ -Wert wird durch Anlegen des parallel zur Abszisse verlaufenden Querstäbchens über diesen Schnittpunkt bestimmt, indem der betreffende  $f$ -Wert im Schnittpunkt des Querstäbchens mit der entsprechenden  $f$ -Werte-Skala abgelesen wird. Als erste wird die dem 100-l-Behälter entsprechende Kurve geschnitten (siehe Bild 4). Dieser Schnittpunkt liegt einem  $f$ -Wert von rund 46 % gegenüber. Das bedeutet, daß ein 100-l-Behälter für eine Förderleistung von 20 l/min

zu klein ist. Der zweite Schnittpunkt des vertikalen Stäbchens liegt auf der 150-l-Leistungskurve, ihm gegenüber befindet sich ein  $f$ -Wert von rund 52 Prozent. Auch der 150-l-Behälter ist also für eine Förderleistung der Pumpe von 20 l/min noch zu klein. Erst dem Schnittpunkt des betreffenden Stäbchens mit der 300-l-Kurve entspricht ein günstiger  $f$ -Wert von 68 %. Die 300-l-Behältergröße eignet sich somit für die Pumpe mit der Förderleistung von 20 l/min.

Es bleibt nun zu prüfen, ob dieser Behälter auch für die Förderleistung von 40 l/min ausreichend ist. Durch das Aufsetzen des vertikalen Stäbchens auf die Abszisse in dem der Förderleistung von 40 l/min entsprechenden Punkt stellt man fest, daß dem Schnittpunkt des Stäbchens mit der 300-l-Kurve gegenüber ein  $f$ -Wert von 53 % liegt. Da dieser Wert sich nur knapp außerhalb des günstigen  $f$ -Werte-Bereiches befindet, ist die 300-l-Behältergröße für die Förderleistung von 40 l/min und somit auch für die vorliegende Pumpe als geeignet anzusehen.

Außer der Anwendung, die durch die zeichnerische Darstellung (Bilder 1–4) gegeben ist, erkennt man aus der in Gl. (8) ersichtlichen Beziehung, daß zur Steigerung der Flächen-

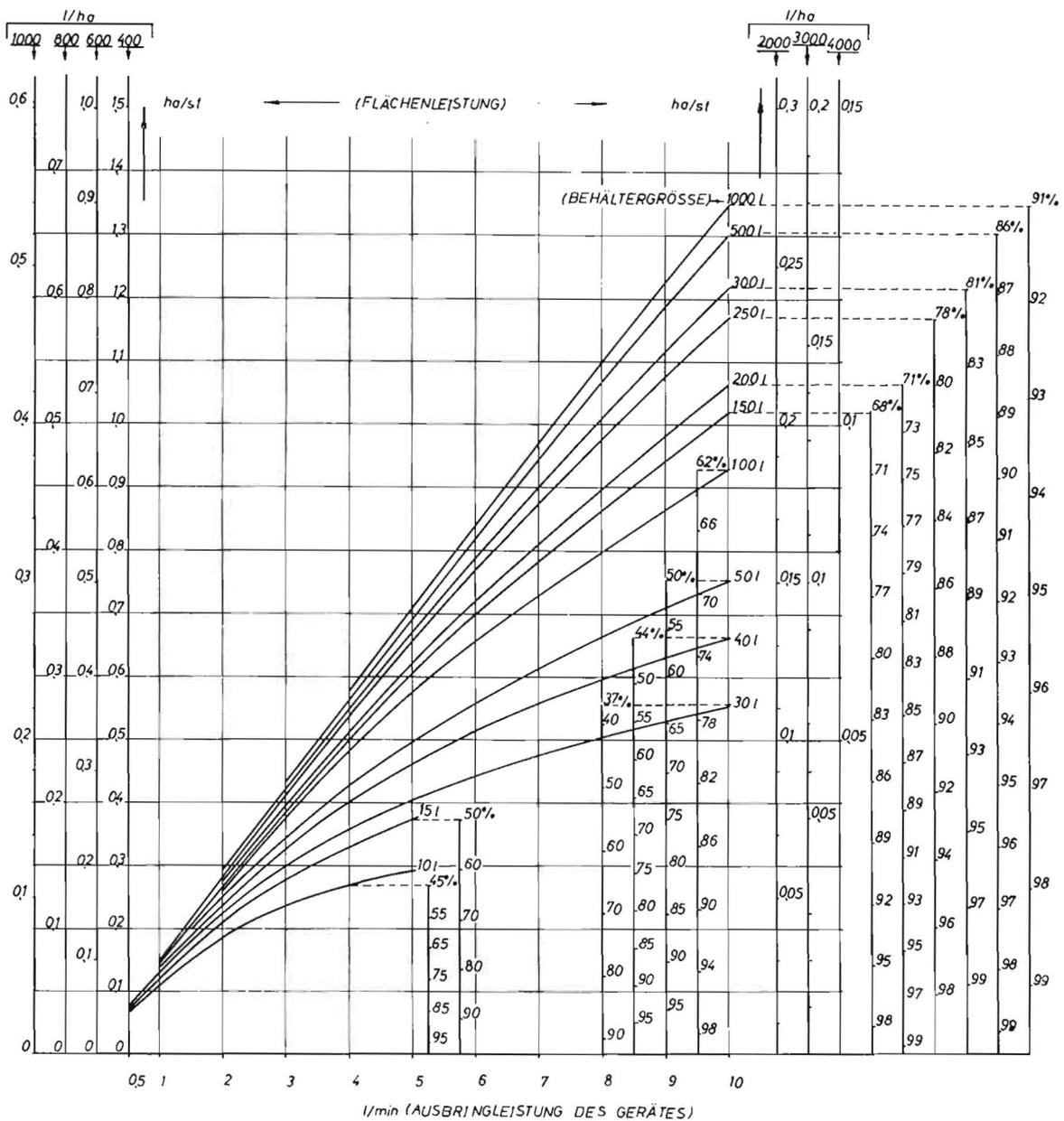


Bild 3: Kurvendarstellung zum Ablesen der Beziehung zwischen der jeweils gegebenen Behältergröße (10 — 1000 l), der jeweiligen Ausbringleistung (0,5 — 10,0 l/min) und der zu erwartenden maximalen Flächenleistung von Pflanzenschutz-Spritzen beziehungsweise -Sprüheräten bei Flüssigkeits-Aufwandmengen von 400; 600; 800; 1000; 2000; 3000 und 4000 l/ha

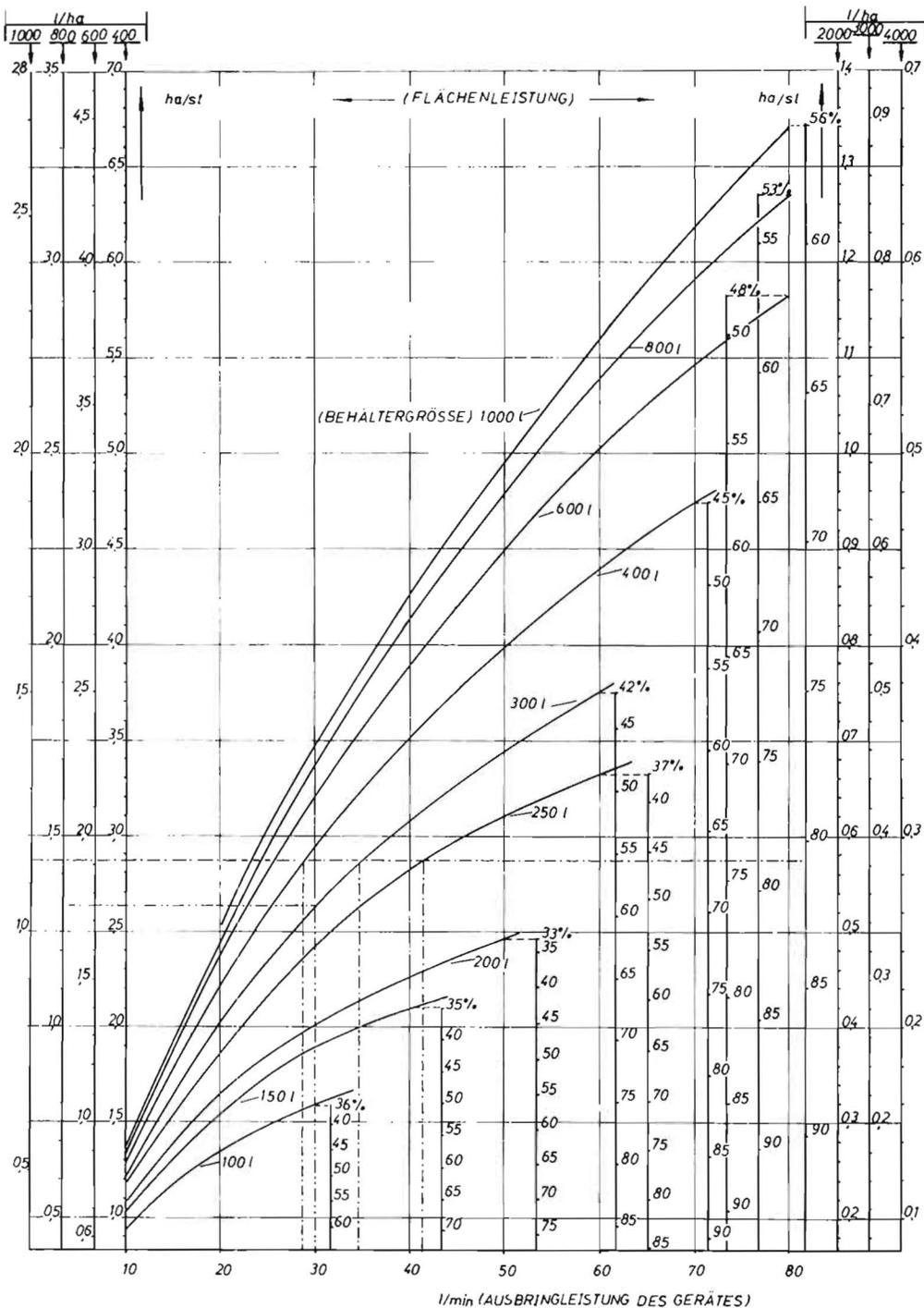


Bild 4: Fortsetzung der in Bild 3 gezeigten Darstellung

leistung von Pflanzenschutz-Geräten folgende Möglichkeiten bestehen:

1. Erhöhung der Pumpenleistung  $q$  bei unveränderter Aufwandmenge  $Q$  je Fläche (also Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit beziehungsweise der Arbeitsbreite mit gleichzeitiger Erhöhung der Ausbringleistung der Pumpe).
2. Herabsetzung der Aufwandmenge je Fläche (also Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit beziehungsweise der Arbeitsbreite bei unveränderter Förderleistung der Pumpe).
3. Sorgfältige Arbeitsorganisation und -vorbereitung (also maximale Verkürzung der Füllzeit).

Neben der je Fläche ausgebrachten Mittelmenge  $Q$  und der Pumpenförderleistung  $q$  spielen in der Praxis noch die Arbeitsbreite  $b$  und die Vorschubgeschwindigkeit  $v$  eine wichtige Rolle. Von der Geschwindigkeit als einer Wegstrecke je Zeiteinheit ausgehend, läßt sich die zwischen diesen vier Größen bestehende Beziehung leicht übersehen.

Die beim Herausbringen einer bestimmten Mittelmenge  $Q$  zurückgelegte Wegstrecke ergibt sich als Quotient der mit diesem Mittel behandelten Fläche  $F$  durch die Arbeitsbreite  $b$  und die dafür erforderliche Zeit als ein solcher der Mittelmenge  $Q$  durch die Förderleistung  $q$ . Somit ist

$$v = \frac{F \cdot q}{b \cdot Q} \quad (9)$$

Sollten beispielsweise 800 l/ha bei einer Pumpenleistung von 50 l/min und einer Arbeitsbreite von 10 m herausgebracht werden, so ergibt sich für die Vorschubgeschwindigkeit (für  $F$  wird die Fläche eingesetzt, auf die sich auch die Aufwandmenge  $Q$  bezieht, also 1 ha = 10 000 m<sup>2</sup>)

$$v = \frac{10^4 \cdot 50}{10 \cdot 800} = 62,5 \text{ m/min beziehungsweise } 3,75 \text{ km/h.}$$

Jetzt muß ein Schleppgang gewählt werden, der eine Ge-

schwindigkeit hat, die gegenüber der erforderlichen am nächsten gelegen ist. Das wäre beispielsweise ein Gang mit der Geschwindigkeit 3,5 km/h. Um durch diese etwas niedrigere Geschwindigkeit die Aufwandmenge  $Q$  nicht zu weit zu erhöhen, muß die Förderleistung  $q$  durch Druckregelung etwas niedriger eingestellt werden. Die Berechnungsweise ergibt sich aus der umgewandelten Gl. (9).

$$q = \frac{b \cdot Q \cdot v}{F} = \frac{10 \cdot 800 \cdot 58,33}{10000} = 46,7 \text{ l/min}$$

(da man die Förderleistung  $q$  in l/min erhalten will, werden die 3,5 km/h in 58,33 m/min umgewandelt). Statt 50 l/min müßte also die Förderleistung der Pumpe durch Druckverminderung auf rund 47 l/min eingestellt werden.

Falls man bei den festgesetzten Größen der Förderleistung  $q$  der Vorschubgeschwindigkeit  $v$  und der Arbeitsbreite  $b$  bleiben will, so ist es notwendig, die sich dabei ergebende Aufwandmenge je Fläche zu berechnen, damit die richtige Wirkstoffkonzentration des Wassers eingestellt werden kann. Die Berechnung erfolgt ebenfalls nach der umgestellten Gl. (9):

$$Q = \frac{q \cdot F}{b \cdot v}$$

#### Schrifttum

[1] KÖNIG, A.: Ein Betrieb organisiert seinen Pflanzenschutz. Unser Hof 6 (1965), S. 162—165

Andreas König

## Bestimmung des Elastizitätsmoduls für Knollenfrüchte durch Versuche mit Druckstempeln

Bei der Untersuchung der rheologischen Eigenschaften von Knollenfrüchten wurden bisher Kolben oder Stempel verschiedener Größe benutzt, mit denen die Untersuchungsproben belastet wurden. Diese Methode ergibt aber ziemlich komplexe Ergebnisse und kann zu irrigen Schlußfolgerungen führen, wenn nicht geeignete Korrekturen vorgenommen werden.

TIMBERS, STALEY und WATSON haben eine Methode entwickelt, nach der man den Elastizitätsmodul für solche Früchte aus Messungen bestimmen kann, die bei Versuchen mit Belastungskolben kleineren Durchmessers vorgenommen werden [1]. Für die Versuche wurden Kartoffeln benutzt. Um die natürliche, durch die verschiedenen Kartoffelsorten gegebene Varianz zu eliminieren, wurden nur Kartoffeln einer Sorte benutzt, die zur gleichen Zeit geerntet und eingelagert worden waren [2].

TIMOSHENKO [3] hat eine Methode zur Berechnung des Elastizitätsmoduls von elastischen Werkstoffen entwickelt, bei der kleine, unelastische Stempel benutzt werden. Die Stempel werden in die glatte Oberfläche einer Materialprobe gedrückt, die als elastischer Halbraum angesehen werden kann.

Die theoretische Spannungsverteilung unter einer solchen Belastung wurde von BOUSSINESQ nach folgender Formel ermittelt:

$$\sigma = \frac{P}{2\pi a \sqrt{a^2 - r^2}}$$

Hierin ist  $P$  = die über den Stempel verteilte Last,  
 $a$  = Stempelradius,  
 $r$  = Entfernung des betrachteten Punktes vom Mittelpunkt der Stempelfläche und  
 $\sigma$  = Spannung.

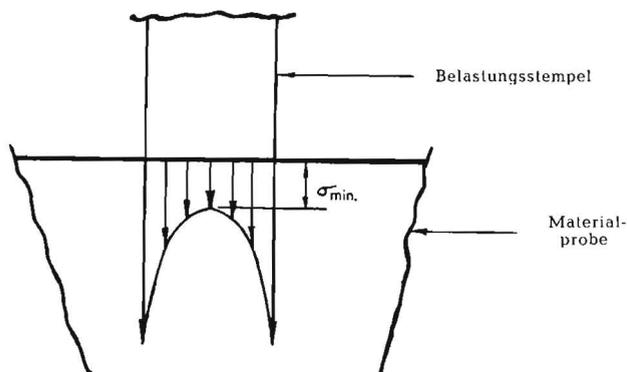


Bild 1: Spannungsverlauf unter einem starren Druckstempel

Die Spannung hat ein Minimum unter dem Stempelmittelpunkt ( $\sigma_{\min} = \frac{P}{2\pi a^2}$ ) und steigt von dort bis zum Rand des Stempels auf einen unendlichen Wert an (Bild 1).

Die unendlich große Randspannung führt zur örtlichen Zerstörung des Materials in dieser Region. Die Verschiebung des Materials unter der Stempelfläche ist gegeben durch:

$$e = \frac{P(1-\mu^2)}{2aE}$$

Hierin ist  $e$  = Verschiebung,  
 $\mu$  = Poissonsche Querszahl und  
 $E$  = Elastizitätsmodul.

Aus dieser Gleichung kann der Elastizitätsmodul berechnet werden, wenn Belastung, Verschiebung und Querszahl bekannt sind. Für die Querszahl wurde der von FINNEY [4] gefundene Wert 0,492 der Berechnung zugrundegelegt.

Bei den Belastungsversuchen mit Stempeln wurden die Werte für den Elastizitätsmodul sowohl nach der Methode von TIMOSHENKO als auch aus der Steigung der Spannungs-Dehnungs-Kurve berechnet.

Tafel 1: Vergleich der Werte für den Elastizitätsmodul nach zwei Berechnungsmethoden

Versuchs- Nummer	Stempel- durchmesser [Zoll]	$Ea^*)$ [pound/Quadratzoll]	$Ea^{**})$
1	1/4	3260	481
2	1/4	3300	483
3	1/4	3071	457
4	1/4	3521	527
5	3/8	2271	493
6	3/8	2393	533
7	3/8	2300	512
8	3/8	1885	567
9	1/2	1808	538
10	1	579	579
11	1	533	533

\*)  $Ea$  = Scheinbarer Elastizitätsmodul, aus der Spannungs-Dehnungs-Kurve berechnet

\*\*)  $Ea'$  = Korrigierter Elastizitätsmodul, nach der Methode von TIMOSHENKO berechnet