

## **Bestimmung physikalischer Stoffkennwerte für die mechanische Traubenernte**

von

E. MOSER<sup>1)</sup>

### **1. Einleitung**

Die in vielen Ländern angestellten Bemühungen, die Arbeiten im Weinbau weitgehend zu mechanisieren, haben in den vergangenen Jahren zu einer wesentlichen Intensivierung der Entwicklung auf dem Gebiet der Erntetechnik geführt. Die Produktionskosten können, wenn wirtschaftlich vernünftige Lösungen für die Mechanisierung der Traubenernte vorliegen, wesentlich herabgesetzt werden, weil bei der Handlese immer noch bis zu 45% des gesamten Arbeitszeitaufwandes aufzubringen sind (1).

Obwohl die Mechanisierung der Erntearbeiten im Weinbau wegen der verschiedenen Erziehungs- und Unterstützungssysteme sowie wegen der verschiedenen Standraumverhältnisse und der oftmals schwierigen Geländebeschaffenheit für unmöglich gehalten wurde, sind schon in einigen Ländern Lesemaschinen entwickelt worden (6). Diese lösen die Trauben bzw. die einzelnen Beeren in kontinuierlichem Arbeitsverfahren von den Reben ab. Grundsätzlich sind bis heute mechanische und pneumatische Ernteverfahren bekannt (8). Bei mechanischen Ernteverfahren haben sich nur solche Maschinen in der Praxis bewährt, welche die Trauben von den Tragruten durch Stöße bzw. Schwingungen in horizontaler oder vertikaler Richtung ablösen, das Erntegut von Blatt- und Stockteilen reinigen und in Zwischenlagerbehälter fördern. Pneumatische Erntemaschinen, wie sie in der Bundesrepublik Deutschland entwickelt wurden, arbeiten mit einem stetigen Saugluftstrahl von etwa 130—140 m/s Geschwindigkeit. Bei diesem Verfahren entfallen gegenüber dem mechanisch-dynamischen Prinzip besondere Einrichtungen für die Förderung und das Abscheiden von Blättern und anderen Beimengungen.

### **2. Biotechnische Eigenschaften von Reben und Trauben**

Für die Entwicklung wirtschaftlich geeigneter Produktionsverfahren und Erntetechniken sowie für die konstruktiv optimale Auslegung der Maschinen- und Bauelemente wird aber in Zukunft mehr denn je die Kenntnis der biotechnischen Eigenschaften der zu beerntenden Rebpflanzen wie auch des Erntegutes unerlässlich sein. Solche Grundlagenuntersuchungen ermöglichen es überhaupt erst, bereits bestehende Produktionsverfahren sowie Maschinen- und Bauelemente energetisch und konstruktiv auf ihre Wirtschaftlichkeit und Funktion hin zu beurteilen.

Für die Produktion von Weinen, Spirituosen, Säften — aber auch von Tafeltrauben und Rosinen — müssen die verschiedenen physikalischen, chemischen und biologischen Daten der Rebpflanzen und des Erntegutes erarbeitet werden (Tabelle 1). Das bedingt in Zukunft eine noch engere Zusammenarbeit verschiedener wis-

<sup>1)</sup> Unter Mitwirkung von Dipl.-Landw. DIGGELMANN.

Tabelle 1  
Biotechnische Eigenschaften von Reben und Trauben

Eigenschaften		Lesegut		Rebe			
		Beere	Traube	Blatt	Triebachse		
Physikalisch	mechanisch	Grundgrößen	Geometrische Abmessungen	●	●	●	●
			Masse	●	●	●	●
			Dichte	●	●	●	●
			Schwerpunkt		●		
	mechanisch	statisch	Ablösekraft	●	●	●	
			Festigkeit	●		●	●
			Reibbeiwert	●	●	●	●
			dynamisch	Ablösekraft	●	●	●
	Festigkeit	●		●	●	●	
	Strömungsbeiwert	●		●	●	●	
	Viskosität	●					
	thermisch		Atmungswärme	●			
			spez. Wärme	●			
			Wärmeleitung	●			
			Wärmeausdehnung	●	●		
			Diffusion	●			
	elektr. optisch		Farbe	●			
			Aussehen	●	●		
Leitfähigkeit			●				
elektr. optisch		Strahlungsverhalten	●				
		Chemisch	Säuregehalt	●			
			Zuckergehalt	●			
Gerbstoffgehalt	●						
Wassergehalt	●			●			
Extraktgehalt	●						
Biologisch		Reifegrad	●				
		Epidermis	●				
		Wachsschicht	●				
		Trenngewebe	●	●	●		
		Assimilation	●		●		
		Atmung	●				
		Geruch, Geschmack	●				
		Verh. gegen biochem. Mittel	●	●	●	●	

● Zu untersuchende Stoffkennwerte.

senschaftlicher Disziplinen. Eine derartige Teamarbeit sollte grundsätzlich aber nicht ausschließen, daß beispielsweise bei Nichteignung einer Rebsorte für ein bestimmtes Produktionsverfahren vorhandene Sorten durch bestimmte Kulturmaßnahmen daran angepaßt oder neue, besser dafür geeignete Sorten gezüchtet werden. Zu allererst sind für den Ingenieur die physikalischen Kenngrößen der Rebpflanzen und des Erntegutes zu ermitteln. Hierbei sind vor allem die geometrischen Abmessungen, die Masse und die Dichte sowie die mechanisch-statischen und -dynamischen Eigenschaften festzulegen. Für den Ablösevorgang bzw. für das angewandte Ernteverfahren sind die Größe der Trennkraft zwischen Frucht und Pflanze sowie deren Festigkeit von maßgeblichem Einfluß. Die Reib- und Strömungsbeiwerte von Blatt, Traube und Einzelbeere bestimmen die konstruktive Ausbildung der Förder-, Auffang-, Lager- und Klassier- bzw. Reinigungseinrichtungen von Maschinen und Anlagen. Die Kenntnis der thermischen Eigenschaften des Erntegutes ist beispielsweise für die Lagerung von Tafeltrauben und die Herstellung von Rosinen ausschlaggebend. Für die Klassierung der Produkte müssen neben den geometrischen Abmessungen auch die optischen Eigenschaften herangezogen werden. Für die Wein- und Saftbereitung sind vorwiegend chemische Kenngrößen von Interesse. Bei einer biotechnischen Betrachtungsweise ist es wichtig, aus den zahlreichen biologischen Eigenschaften insbesondere Meßdaten über den Reifegrad, über die Ausbildung eines Trenngewebes zwischen Frucht und Beerenstiel sowie über die histologische Beschaffenheit von Fruchtfleisch und -schale zu gewinnen.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung von Erntemaschinen wurden in den vergangenen Jahren in den USA und in der Sowjetunion einige wenige, speziell an die dortigen Verhältnisse gebundene, biotechnische Untersuchungen an Trauben und Beeren vorgenommen (2, 4, 5). In den Vereinigten Staaten wurden vor allem die Gewichte und Volumina von Trauben, die Beerenfestigkeit und der Schmutzanteil von maschinell geernteten Trauben bestimmt. In der Sowjetunion sind vorwiegend theoretische und experimentelle Untersuchungen über den Ablösevorgang der Früchte durch Einleiten von Schwingungen in die Rebe angestellt worden.

### **3. Theoretische und experimentelle Untersuchungen einiger physikalischer Eigenschaften von Reben und Trauben**

Die lebhaft entwickelte Entwicklung der letzten Jahre in der Bundesrepublik Deutschland auf dem Gebiet der Erntetechnik im Weinbau, die hauptsächlich durch das pneumatische Absaug-Ernteverfahren bestimmt wurde, veranlaßte die Abteilung für Technik im Obst-, Gemüse- und Weinbau der Universität Hohenheim, Untersuchungen über biotechnische Eigenschaften von Reben und Trauben anzustellen. Dabei sollten vor allem die Größen der Ablöse- bzw. Trennkraft von Trauben, Beeren, Blättern und Blatteilen verschiedener heimischer Rebsorten ermittelt werden. Daneben wurden die notwendigen physikalischen Kenngrößen zum Trennen bzw. zum Abscheiden von Blatt und Erntegut sowie zum pneumatischen Fördern bestimmt. Mit Hilfe dieser experimentell ermittelten Größen konnten die beim pneumatischen Ernteverfahren notwendigen Luftgeschwindigkeiten berechnet werden. Ein abschließender Vergleich der erreichten energetischen Wirkungsgrade der einzelnen Ernteverfahren gibt über den gegenwärtigen Stand der Erntetechnik und der möglichen Weiterentwicklung Aufschluß.

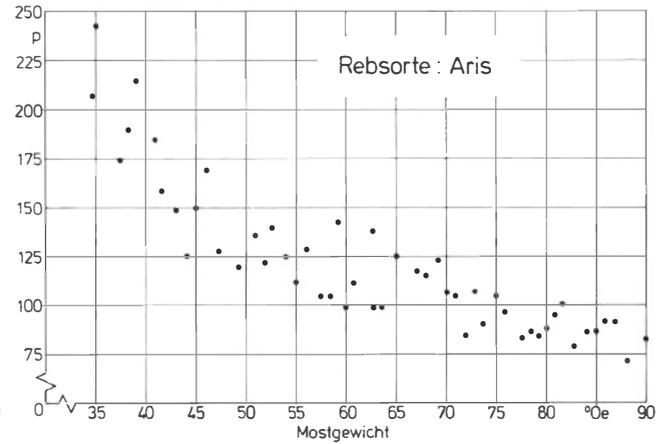
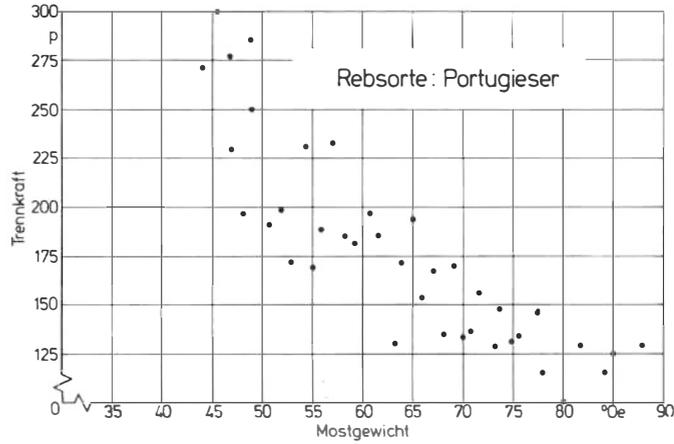
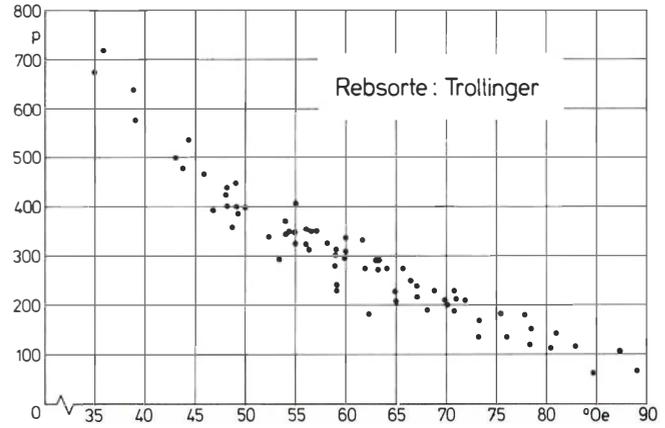
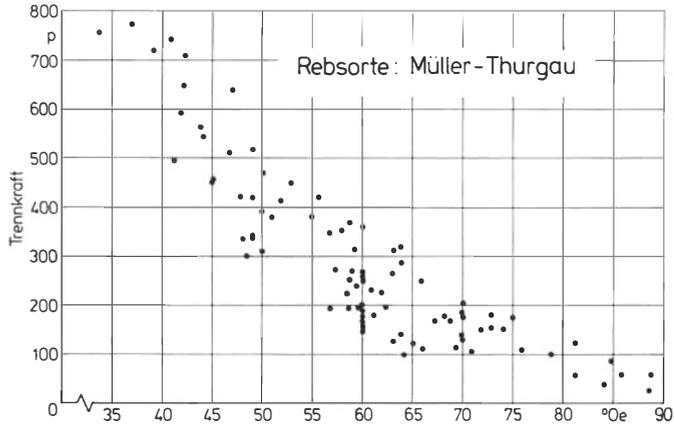
Zur Bestimmung der notwendigen Trennkraft zwischen Triebabse — Traube, Traubenästen — Stiel, Stiel — Beere, Triebabse — Blatt und innerhalb des Blattes wurden bei Feldversuchen Federzugkraftmesser mit verschiedenen Klemmvorrich-

tungen und Schleppzeigern, bei Laborversuchen elektronische Meßeinrichtungen verwendet. Während mit dem mechanisch geeichten Federzugkraftmesser nur maximale Trennkkräfte ermittelt werden konnten, war es mit dem am Lehrstuhl für Landtechnik entwickelten elektronischen Zugkraftdehnungs- bzw. -wegmeßgerät (9) möglich, den Kraftverlauf über dem Trennweg aufzuzeichnen und damit die aufzubringende Trennarbeit zu berechnen. Die Gewichte wurden mit einer elektronischen Waage, die Volumina im Tauchverfahren bzw. mit der Auftriebswaage bestimmt. Zur Bestimmung der Blattflächen wurde ein Luftplanimeter (10) und für die Festlegung der Schwebegeschwindigkeit bzw. Berechnung des Luftwiderstandsbeiwertes ein Schwebestand benutzt (3). Der Reifegrad der Früchte ist durch Bestimmung des Mostgewichtes nach Oechsle mit Hilfe eines Refraktometers ermittelt worden.

### 1. Trennkkräfte für die Ablösung des Erntegutes und der Blätter von den Triebachsen der Reben

Die Versuchsergebnisse über die notwendigen Kräfte zur Trennung der Beere vom Stiel in Abhängigkeit vom Mostgewicht sind für verschiedene Rebsorten in den Abbildungen 1 bis 6 dargestellt. Die Trennkraft wurde über schalenförmige Halterungen auf die Beere in Richtung des Beerenstieles, also senkrecht zur Trennfläche aufgebracht. Die zu untersuchenden Trauben wurden aus verschiedenen Zonen der Rebe entnommen. Bei der Wahl der Rebsorten wurden auch neue, für die mechanische Ernte geeignete Züchtungen berücksichtigt. Die Untersuchungen wurden in gleichen Zeitabständen, etwa 4 Wochen vor dem Erntetermin beginnend, vorgenommen. Es zeigte sich aber bald, daß innerhalb einer Traube die Beeren sehr ungleichmäßig reifen, so daß bei jeder Probenahme Mostgewichte zwischen 35 und 90° Oechsle festgestellt wurden. Eine Abhängigkeit zwischen Trennkraft und Dichte konnte nicht ermittelt werden, da die Meßgenauigkeit der Gewichts- und hauptsächlich der Volumenbestimmung nicht ausreichte. Außerdem werden bei der Messung mit dem Refraktometer gegenüber der Dichteberechnung die Beerenschale und die Samen nicht berücksichtigt. Bei den Sorten „Müller-Thurgau“, „Trollinger“, „Portugieser“ und „Aris“ war ein hyperbolischer Trennkraftverlauf über dem Mostgewicht festzustellen. Die Trennung von Beere und Stiel erfolgte bei Zug jeweils an der Ansatzstelle von Beerenstiel und Beerenschale. Untersuchungen über die eventuelle Ausbildung eines Trenngewebes zwischen Beere und Stiel wurden nicht durchgeführt. Beobachtungen beim Trennvorgang ließen erkennen, daß mit zunehmendem Reifegrad die Verformbarkeit der Beere größer und die Reißfestigkeit der Beerenschale kleiner wurde. Daraus folgt, daß mit fortschreitender Reife Beerenschalen häufig aufreißen und Saft austritt.

Der Verlauf der Trennkraft über dem Reifegrad bzw. dem Mostgewicht bei den Sorten „Müller-Thurgau“ und „Trollinger“ ist, obwohl eine gewisse Streubreite der einzelnen Meßpunkte vorhanden ist, nahezu gleich. Bei niedrigen Mostgewichten, etwa 35° Oe, sind Trennkkräfte von rund 800 p aufzubringen, die mit zunehmender Reife auf Werte zwischen 50 und 125 p abfallen. Die entsprechenden Werte für die Rebsorten „Portugieser“ (Abb. 3) und „Aris“ (Abb. 4) sind dagegen in unreiferem Zustand mit 250 und 300 p wesentlich geringer. Zur Zeit der Ernte nimmt die Trennkraft bei diesen Sorten einen nahezu konstanten Wert von 80 bzw. 120 p an. Die Meßergebnisse für „Perle von Czaba“ (Abb. 5) zeigen, daß der Reifegrad der Beeren bzw. das Mostgewicht bei dieser Sorte keinen Einfluß auf die Größe der Trennkraft hat. Die ermittelten Werte liegen bei einem konstanten Wert von etwa 160 p. Der Trennkraftverlauf über dem Reifegrad der Rebsorte „Sieger“ (Abb. 6) zeigt ein



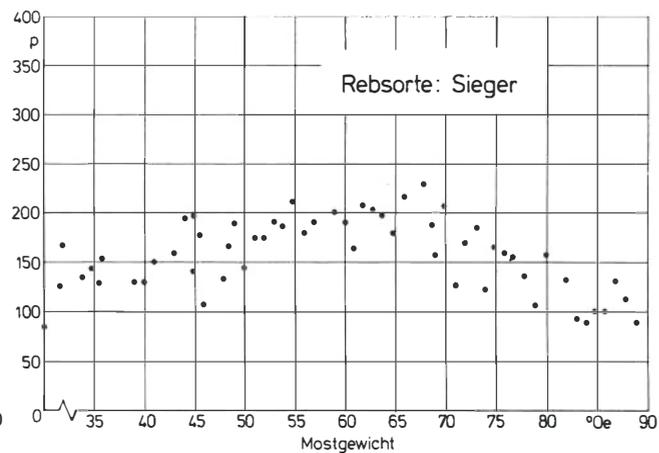
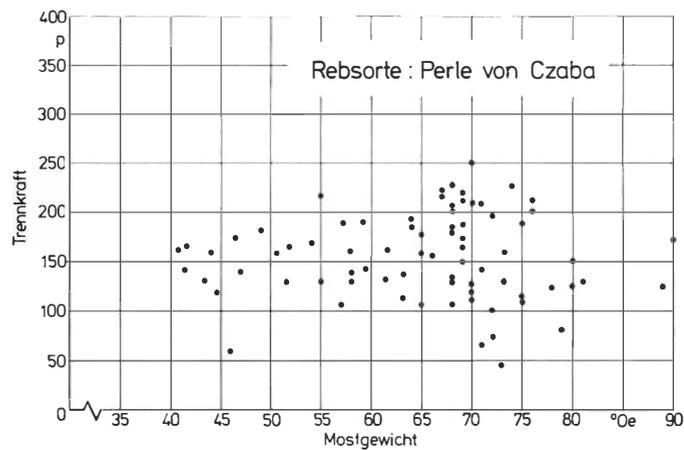


Abb. 1—6: Trennkraften zwischen Beere und Stiel von Erntegut mit unterschiedlichem Reifegrad bei verschiedenen Rebsorten.

Abb. 1: Müller-Thurgau  
 Abb. 3: Portugieser  
 Abb. 5: Perle von Czaba

Abb. 2: Trollinger  
 Abb. 4: Aris  
 Abb. 6: Sieger

unerwartetes Verhalten: Mit zunehmendem Reifegrad nimmt die Trennkraft bis zu einem Mostgewicht von etwa 60° Oe zu, um dann zum Erntetermin hin wieder abzufallen. Beim Erntezeitpunkt wird ein Wert von etwa 100 p erreicht, der nur um etwa 50 p niedriger liegt als bei Beeren in unreifem Zustand.

Die Meßergebnisse der einzelnen Rebsorten wurden gemittelt und in Abb. 7 zusammengefaßt. Zum Erntezeitpunkt liegen die notwendigen maximalen Trennkräfte aller untersuchten Rebsorten im Bereich zwischen 50 und 200 p. Geht man davon aus, daß die Masse der Beeren während des Erntezeitpunktes ein Mostgewicht zwischen 80 und 90° Oe besitzt, so sind alle untersuchten Rebsorten hinsichtlich ihrer Trennung von der Pflanze für eine mechanische Ernte geeignet. Wie schon erwähnt, ist der Reifegrad der einzelnen Beeren einer Traube auch zum Erntezeitpunkt sehr unterschiedlich. Will man daher bei der mechanischen Ernte alle Früchte ablösen, so müssen bei den Rebsorten „Müller-Thurgau“ und „Trollinger“ gegenüber den übrigen untersuchten Sorten sehr viel höhere Energien zum Abtrennen aufgebracht werden. Andererseits besteht aber bei diesen beiden Sorten die Möglichkeit

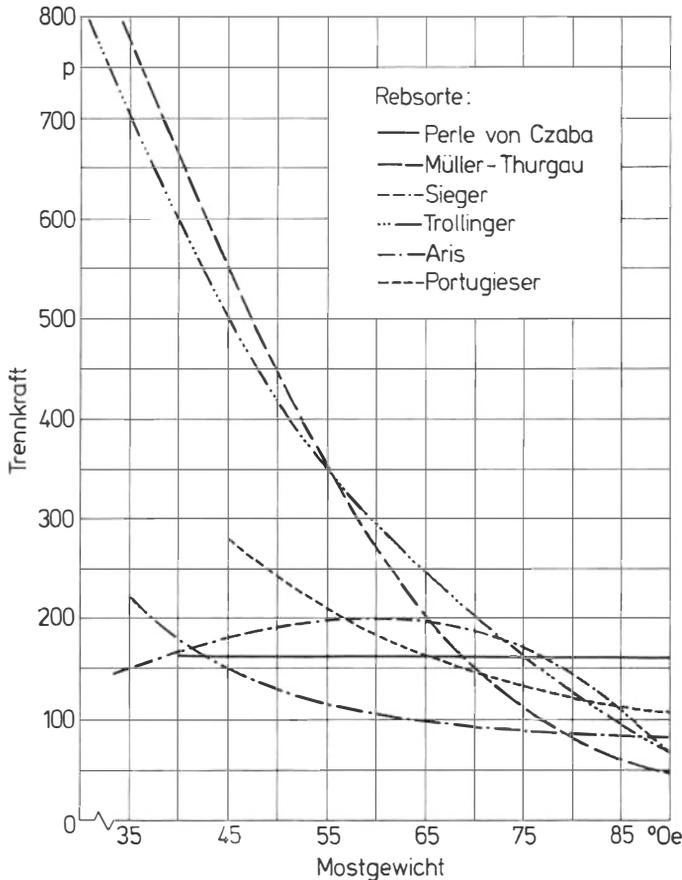


Abb. 7: Trennkraftverlauf zwischen Beere und Stiel verschiedener Rebsorten in Abhängigkeit vom Reifegrad.

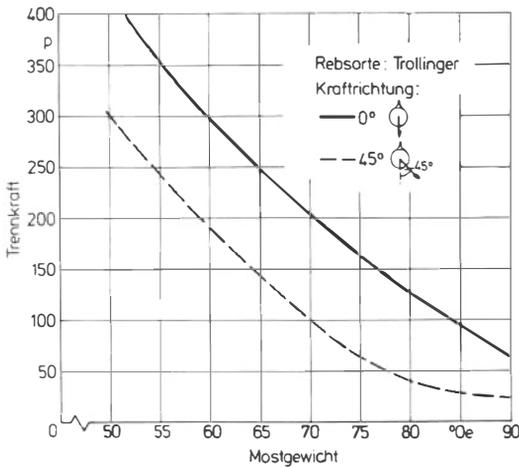


Abb. 8: Einfluß der Krafrichtung auf die Größe der Trennkraft zwischen Beere und Stiel in Abhängigkeit des Reifegrades der Rebsorte „Trollinger“.

einer selektiven Ernte. Es können Stöße bzw. Schwingungen aufgebracht werden, bei denen Massenkräfte wirksam werden, die nur eine bestimmte Trennkraft auf die Frucht ausüben und somit nur zur Ablösung von Beeren mit einem höheren Mostgewicht ausreichen.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde der Einfluß der Krafrichtung auf den Ablösevorgang zwischen Beere und Stiel ermittelt. Die Untersuchungen wurden an Einzelbeeren der Sorte „Trollinger“ mit verschiedenem Mostgewicht durchgeführt. Die Trenn- bzw. Ablösekraft wurde senkrecht auf die Trennfläche, also in Stielrichtung, und im Vergleich unter einem Winkel von 45° vom Beerenstiel aufgebracht. Die Ergebnisse, die in Abb. 8 dargestellt sind, zeigen deutlich, daß bei schrägem Zug über den gesamten Reifegradbereich etwa um 100 p geringere Abtrennkraft aufzubringen sind. Das ist darauf zurückzuführen, daß eine Kugelschale bei radialer Krafrichtung die größte Zug- bzw. Bruchfestigkeit besitzt. Erfolgt die Abtrennung der Beere nicht in Stielrichtung, so wird, wie sich auch durch Beobachtung bei pneumatischem Einsatz von Vollerntemaschinen bestätigen ließ,

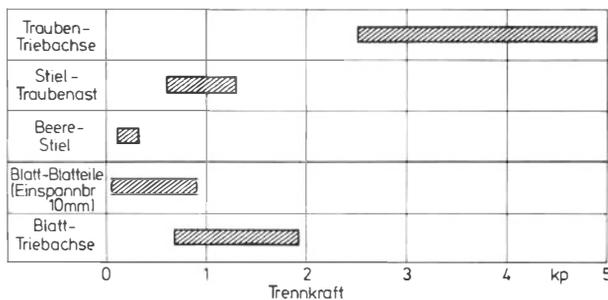


Abb. 9: Größe der Trenn- bzw. Ablösekräfte zwischen Erntegut und Rebe bei verschiedenen Rebsorten und Reifegraden.

die Beerenschale aufgerissen. Dies kann aber zu Saftverlusten und zu einer erhöhten Infektionsgefahr führen.

Ein meßbarer Zusammenhang zwischen Trennkraft und Gewicht oder Volumen von Einzelbeeren konnte nicht festgestellt werden. Die Annahme, daß sich bei größerem Gewicht bzw. Volumen der Beere eine reißfestere Verbindung bzw. eine größere Verbindungsfläche ausbildet, wurde durch die Versuche nicht bestätigt. Außerdem konnte keine Abhängigkeit zwischen Volumen bzw. Gewicht und Mostgewicht festgestellt werden.

In weiteren Versuchen wurde die Trennfestigkeit zwischen Beerenstiel — Traubenästen, Trauben — Triebachse, Blatt — Triebachse sowie die Blattreißfestigkeit bestimmt. Die Untersuchungen wurden an verschiedenen Rebsorten, zum normalen Erntezeitpunkt und vor der Blattwelke, durchgeführt. Die Trennkraften wurden jeweils senkrecht zu der zu erwartenden Bruchfläche aufgebracht. Die Ergebnisse der einzelnen Messungen sind in Abb. 9 in einem Säulendiagramm zusammengefaßt. Für die Trennung des Beerenstiels vom Traubenast ist eine sehr viel größere Kraft aufzuwenden als für die Ablösung der Beere vom Stiel, nämlich zwischen 0,6 und 1,3 kp. Diese Werte lassen erkennen, daß bei der mechanischen Ernte, sofern keine Krankheit, wie beispielsweise Stielähme, vorliegt, keine Beeren mit Stiel geerntet werden. Um ganze Trauben von den Triebachsen zu lösen, sind nach unseren Untersuchungen Trennkraften zwischen 2,5 und 4,9 kp notwendig. Obwohl diese Kräfte sehr viel höher liegen als die zwischen Beere und Stiel, werden bei Vollerntemaschinen zum Teil noch ganze Trauben abgelöst. Das ist darauf zurückzuführen, daß das Verhältnis der Massen Trauben/Einzelbeere gegenüber demjenigen ihrer Trennkraften sehr viel größer ist und außerdem größere Biegekräfte auf den Traubenstiel wirken.

Die Trennung des Blattes von der Triebachse erfolgt durch Zugkräfte zwischen 0,7 und 1,9 kp. Sie sind höher als die Trennkraften, die zum Zerreißen der einzelnen Blätter notwendig sind. Bei Traubenerntemaschinen, die nach dem Stoß- oder Schüttelverfahren arbeiten, werden, sofern kein Welkezustand eingetreten ist, wegen der vergleichsweise kleinen Massen gegenüber den hohen erforderlichen Trennkraften keine Blätter oder Blatteile mitabgetrennt. Nach unseren Beobachtungen, zu deren Bestätigung aber keine mikroskopischen Untersuchungen gemacht wurden, bildet sich zwischen Blattstiel und Triebachse in sehr kurzer Zeit ein Trenngewebe aus. Ähnliches gilt für Traubenstiel und Triebachse. Beim pneumatischen Ernteverfahren werden deswegen im Vorstadium des Welkezustandes nur Blatteile abgerissen, im Welkezustand dagegen ganze Blätter.

## 2. Schwebegeschwindigkeit von Erntegut und Blättern

Für die Auslegung von Bauelementen in Maschinen und Anlagen zum Trennen bzw. Abscheiden von Beimengungen wie Blättern und Holzteilen sowie zur Bestimmung der notwendigen Luftgeschwindigkeit zum Fördern und zum Abtrennen des Erntegutes von der Rebe und zum eventuellen Klassieren von Beeren, Traubenteilen und Trauben muß die Schwebegeschwindigkeit der einzelnen Stoffe bekannt sein. Die Schwebegeschwindigkeit ist diejenige Luftgeschwindigkeit, der ein Teilchen ausgesetzt werden muß, um es im Schwebezustand zu halten. Sie kann aus dem Gewicht und dem Volumen des Körpers, dem Luftwiderstandsbeiwert und der Anströmfläche errechnet oder aber auch experimentell in einem Schwebestand ermittelt werden.

Im Schwebezustand herrscht am Teilchen Kräftegleichgewicht.

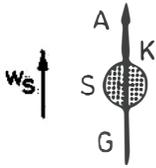


Abb. 10.  
(Erläuterung s. Text).

- G: Gewicht des Teilchens
- K: Kraft des strömenden Mediums auf das Teilchen
- A: Auftrieb
- m: Masse des Teilchens
- g: Erdbeschleunigung
- V: Volumen des Teilchens
- $\rho_L$ : Dichte der Luft
- $\rho_k$ : Dichte des Teilchens
- F: Projizierte Fläche senkrecht zur Strömungsrichtung
- $c_w$ : Widerstandszahl
- $w_s$ : Schwebebeschwindigkeit

$$G = K + A$$

$$G = m \cdot g = V \cdot \rho_k \cdot g$$

$$A = V \cdot \rho_L \cdot g$$

$$K = \frac{\rho_w}{2} \cdot F \cdot w_s^2 \cdot \rho_L$$

Daraus errechnet sich die Schwebebeschwindigkeit zu

$$w_s = \sqrt{\frac{2(G - V \cdot g \cdot \rho_L)}{c_w \cdot F \cdot \rho_L}}$$

Ist die Schwebebeschwindigkeit eines Teilchens experimentell ermittelt worden, so kann daraus der Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$  bzw. das Produkt  $c_w F$  ermittelt werden zu

$$c_w = 2 \cdot \frac{G - V \cdot g \cdot \rho_L}{F \cdot w_s^2 \cdot \rho_L}$$

bzw.

$$c_w \cdot F = 2 \cdot \frac{G - V \cdot g \cdot \rho_L}{w_s^2 \cdot \rho_L}$$

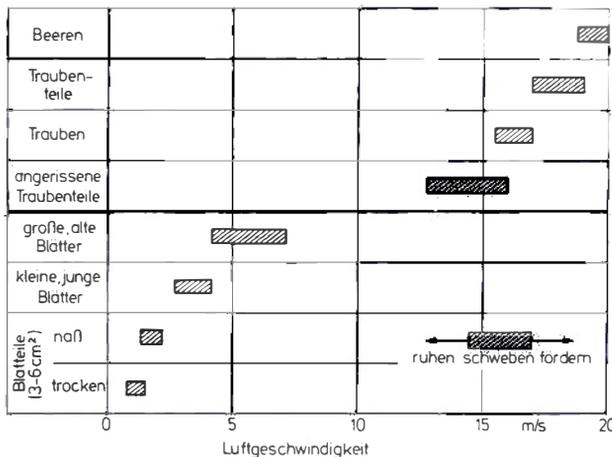


Abb. 11: Schwebebeschwindigkeiten von Erntegut und Blättern verschiedener Rebsorten und Reifegrade.

Die im Schwebestand ermittelten experimentellen Schwebegeschwindigkeiten von Erntegut und Beimengungen sind in Abb. 11 zusammengestellt. Die Schwebegeschwindigkeit von Erntegut (Beeren, Traubenteile, Trauben und angerissene Traubenteile) liegt wesentlich höher als die von Blättern und Blatteilen, so daß eine Trennung im Luftstrom sehr gut möglich ist. Die notwendige Luftgeschwindigkeit, um Einzelbeeren in Schwebезustand zu halten, liegt zwischen 18,5 und 20 m/s und ist somit größer als die für Traubenteile, ganze Trauben und aufgerissene Traubenteile. Die verschiedenen großen Schwebegeschwindigkeiten sind auf die unterschiedlichen Dichten, Anströmflächen und die Teilchenformen des Erntegutes zurückzuführen. Eine Klassierung des Erntegutes im Windsichter ist ohne weiteres möglich.

Die Schwebegeschwindigkeit von Blättern und Blatteilen liegt je nach Zustand des Gutes (Form, Dichte, Anströmfläche) zwischen 0,7 und 7 m/s. Die theoretisch errechneten Werte der Schwebegeschwindigkeit stimmen mit den experimentell ermittelten überein. Eine Trennung von Blatt und Erntegut ist im Windsichter sehr gut möglich. Kleben aber Blatteile durch austretenden Saft an Trauben oder Einzelbeeren an, so kann nach diesem Verfahren keine Trennung mehr erfolgen.

Für die Förderung des Erntegutes ergeben sich aus der Schwebegeschwindigkeit von Einzelbeeren unter Berücksichtigung der Stopfgrenze Mindestluftgeschwindigkeiten von etwa 27—30 m/s (7).

### 3. Mindestluftgeschwindigkeit zum Ablösen des Erntegutes und der Blätter von der Rebe beim pneumatischen Absaugernteverfahren

Mit den experimentell gewonnenen Werten der Ablöse- bzw. Trennkräfte, der Schwebegeschwindigkeit und des Einzelgewichtes von Erntegut und Beimengungen kann im Hinblick auf das Absaug-Ernteverfahren die notwendige Mindestluftgeschwindigkeit zum Ablösen von Erntegut und Blatt von der Rebe ermittelt werden. Die Abtrennung erfolgt nur dann, wenn die Summe von Eigengewicht  $G$  des Teilchens und Kraft des strömenden Mediums  $K$  auf das Teilchen gleich oder größer der Trennkraft  $T$  ist.

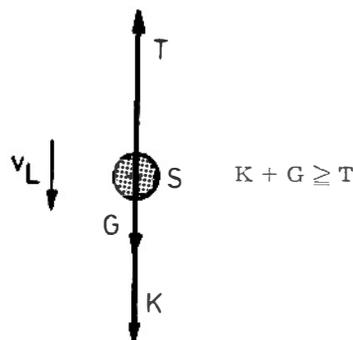


Abb. 12. (Erläuterung s. Text).

Analog zur Berechnung der Schwebegeschwindigkeit erhalten wir die Mindestluftgeschwindigkeit  $v_L$  zur Abtrennung eines Teilchens zu

$$v_L = \sqrt{\frac{2(T - m \cdot g)}{c_w \cdot F \cdot \rho_L}}$$

und durch Einsetzen des Ausdruckes

$$c_w \cdot F = 2 \cdot \frac{G - V \cdot g \cdot \varrho_L}{w_s^2 \cdot \varrho_L}$$

zu

$$v_L = w_s \sqrt{\frac{T - G}{G - V \cdot g \cdot \varrho_L}}$$

Die Auftriebskraft

$$A = V \cdot g \cdot \varrho_L$$

ist gegenüber anderen Faktoren vernachlässigbar klein, so daß in diesem Fall

$$v_L = w_s \sqrt{\frac{T - G}{G}}$$

gesetzt werden kann.

Zum Ablösen von Einzelbeeren benötigen wir dann je nach Trennkraftgröße, Gewicht und Volumen eine Mindestluftgeschwindigkeit, die zwischen 120 und 300 m/s liegt. Der entsprechende Wert für ganze Trauben ist niedriger und beträgt etwa durchschnittlich 80 m/s. Ganze Blätter im Vegetationszustand, also vor der Blattwelke, werden schon bei einer Luftgeschwindigkeit von durchschnittlich 40 m/s von der Rebe abgerissen. Bei einer Luftgeschwindigkeit von etwa nur 14 m/s werden bereits einzelne Blatteile von Blättern abgetrennt.

Diese Berechnungen zeigen deutlich, daß beim pneumatischen Absaugernteverfahren Blätter mit dem Erntegut von den Rebpflanzen abgetrennt werden, da für das Ablösen des Erntegutes höhere Luftgeschwindigkeiten notwendig sind als für Blätter. Eine Trennung der Blätter vom Erntegut im Windsichtverfahren oder in einem Materialabscheider ist nur zum Teil möglich, weil Blatteile, die am Erntegut kleben, nicht abgesondert werden können. Die Blätter in der Traubenzone sind deswegen in einem gesonderten Arbeitsgang vor der Ernte zu entfernen. Die Ablösung der Blätter kann grundsätzlich chemisch, thermisch, pneumatisch oder von Hand erfolgen. Das erfordert aber bei den genannten Verfahren einen zusätzlichen Arbeitsgang, der die Wirtschaftlichkeit des Ernteverfahrens überhaupt in Frage stellen kann. Eine pneumatische Ablösung der Blätter durch Saugluft in einem Arbeitsgang gleichzeitig mit der Lese ist durchaus möglich, erfordert aber bei gleicher Ernteleistung zusätzliche Arbeitskräfte und größere Luftleistungen. Die Absaugdüsen für die Blätter müßten so bemessen sein, daß maximal eine Luftgeschwindigkeit von 40 m/s erreicht wird. Werden die Blätter einem Druckluftstrom ausgesetzt, so weichen sie dem Luftstrom aus, und die volle Kraftwirkung kann nicht zum Tragen kommen.

#### 4. Energetischer Wirkungsgrad verschiedener Ernteverfahren

Für die Beurteilung bzw. Wirtschaftlichkeit eines Ernteverfahrens wird neben anderen Faktoren der erreichte energetische Wirkungsgrad herangezogen. Hierbei wird die spezifische Ernteleistung, also die Erntemenge pro Zeiteinheit und aufzubringende Energie mit derjenigen verglichen bzw. ins Verhältnis gesetzt, die für die Ernte rein theoretisch notwendig ist. Zur Bestimmung des energetischen Wirkungsgrades wurden die in früheren Versuchen (8) gewonnenen Ergebnisse über den Leistungsvergleich benutzt. Die Trennarbeit, die zum Ablösen einer Beere benötigt wird, wurde für die Sorte „Müller-Thurgau“ experimentell in Laborversuchen ermittelt.

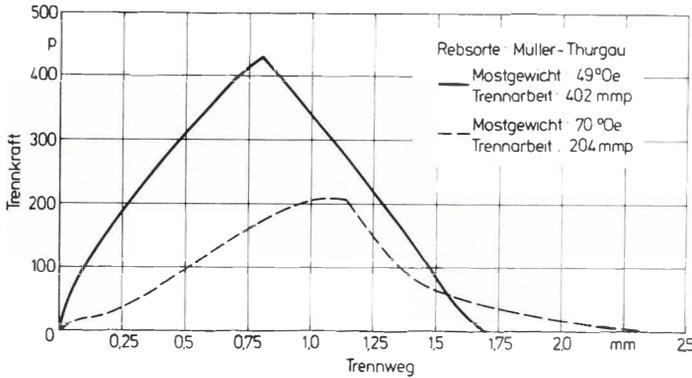


Abb. 13: Trennkraft-Trennweg-Kurven und Trennarbeit zwischen Beere und Stiel von Erntegütern der Rebsorte „Müller-Thurgau“ bei unterschiedlichen Reifegraden.

In Abb. 13 ist die Trennkraft über dem Trennweg zwischen Stiel und Beere von Erntegut mit verschiedenem Reifegrad aufgetragen. Hierbei gilt als Trennweg diejenige Strecke, um die eine Beere unter Krafteinwirkung vom Stiel wegbewegt werden muß, bis eine vollständige Trennung erzielt wird.

Bei unreifen Beeren (49° Oe) ist ein steiler Anstieg der Trennkraft bis zu einem Trennweg von etwa 0,8 mm, bei dem der Bruch zwischen Stiel und Beerenschale erfolgt, zu verzeichnen. In dieser Phase, also bis zu einer Trennkraft von etwa 420 p, wird die Beerenschale elastisch verformt. Der steile Abfall der Trennkraft ist auf die Reibung zwischen den am Stiel anhaftenden Placenten und der Restbeere zurückzuführen. Bei reiferen Beeren (70° Oe) ist der Trennkraftanstieg flacher, und die Bruchgrenze wird sehr viel später — bei etwa 1,2 mm Trennweg — erreicht, weil hier die Elastizität der Beerenschale sehr viel größer ist als bei unreifen Beeren. Um den Beerensiel mit den Placenten ganz von der Beere zu entfernen, ist jedoch sehr viel weniger Kraft aufzubringen bzw. Reibung zu überwinden. Der Trennweg ist dagegen länger. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei reifen Früchten gegenüber unreifen die Placenten weiter gespreizt sind.

Die Trennarbeit, die aus dem Flächeninhalt, die der Trennkraftverlauf mit dem Trennweg einschließt, bestimmt wird, lag bei den Früchten der Sorte „Müller-Thurgau“ zum Erntezeitpunkt mit einigen Ausnahmen zwischen 200 und 400 mmp, so daß eine mittlere Trennarbeit beim Abtrennen der Beeren von etwa 300 mmp angenommen werden kann.

Die Trennleistung  $N$ , die aufgebracht werden muß, um  $n$  Beeren in einer Sekunde von der Rebe abzutrennen, errechnet sich aus der Arbeit  $A$ , die zum Abtrennen einer Beere notwendig ist, zu

$$N = \frac{n \cdot A \cdot 10^{-6}}{75} \quad (\text{PS}).$$

Die spezifisch-theoretische Ernteleistung  $E_{\text{th}}$  ergibt sich aus der Anzahl der Beeren  $n$ , deren Einzelgewicht  $G$  sowie aus der Trennarbeit  $A$  für eine Einzelbeere zu

$$E_{\text{th}} = \frac{n \cdot G \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{n \cdot \frac{A \cdot 10^{-6}}{75}} \left( \frac{\text{kp}}{\text{h PS}} \right).$$

Mit  $G = 1,3 p$  und  $A = 300 \text{ mmp}$  erhält man eine theoretisch-maximale spezifische Ernteleistung von

$$E_{th} = 1170\,000 \left( \frac{\text{kp}}{\text{h PS}} \right)$$

Bei der mechanisch arbeitenden Erntemaschine wurde eine Stundenleistung von 3600 kp/h erreicht. Auf den Antrieb des Pflückaggregates entfallen bei einer Gesamtantriebsleistung der Maschine von 63 PS etwa 30 PS. Das entspricht einer spezifischen Ernteleistung von

$$E_m = 120 \left( \frac{\text{kp}}{\text{h PS}} \right)$$

Beim pneumatischen Absaugernteverfahren wurden dagegen Ernteleistungen von 900 kp/h erzielt. Nimmt man an, daß von den 40 PS Antriebsleistung für den Lufterzeuger 30 PS zur Abtrennung des Erntegutes notwendig sind, so erhält man eine spezifische Ernteleistung von

$$E_p = 30 \left( \frac{\text{kp}}{\text{h PS}} \right)$$

Setzt man die theoretisch-spezifische Ernteleistung, die aus dem Arbeitszeitaufwand zum Abtrennen der einzelnen Beere errechnet wurde, gleich 100%, so ergibt sich bei mechanischen Ernteverfahren ein energetischer Wirkungsgrad von

$$\eta_{m1} = 0,1024\%.$$

Der entsprechende Wert für das pneumatische Absaugernteverfahren errechnet sich dann zu:

$$\eta_p = 0,0256\%.$$

Gegenüber anderen landwirtschaftlichen Ernteverfahren sind die erreichten Wirkungsgrade äußerst gering. Beispielsweise wird beim Dreschen von Getreide ein energetischer Wirkungsgrad von etwa 3—5% erzielt. Ein Vergleich der beiden bereits in der Praxis bewährten Ernteverfahren zeigt deutlich, daß der mechanisch arbeitenden Vollerntemaschine in energetischer Hinsicht der absolute Vorrang gegeben werden muß. Ein Vergleich der theoretisch notwendigen mit der tatsächlich erzielten Leistung macht offenkundig, daß wir in der Erntetechnik von Weintrauben noch am Anfang der Entwicklung stehen.

## 5. Zusammenfassung

Dieser Bericht behandelt Probleme aus dem bis heute noch sehr vernachlässigten Gebiet der Biotechnik im Weinbau. Zur wirtschaftlich-technologischen Beurteilung eines Produktions- und Ernteverfahrens ist die Kenntnis der physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des zu behandelnden Gutes unabdingbare Voraussetzung. Speziell für die Mechanisierung der Weinlese ist es erforderlich, aus der Vielzahl biotechnischer Kenngrößen über Reben und ihr Erntegut bestimmte physikalische Stoffkennwerte zu ermitteln.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden vor allem die Trennkräfte für Einzelbeeren, Trauben und Blätter bestimmt. Bei den untersuchten Rebsorten sind die Ablösekräfte zum Erntezeitpunkt nicht sehr verschieden. Um ganze Trauben und Blätter abzulösen, ist ein weitaus größerer Kraftaufwand nötig als für Einzelbeeren. Beim pneumatischen Absaugernteverfahren müssen zum Ablösen des Erntegutes sehr

viel höhere Luftgeschwindigkeiten aufgebracht werden als für die Abtrennung der Blätter. Die Kenngrößen für die Schwebegeschwindigkeiten von Erntegut und Beimengung ergaben, daß im Windsichtverfahren eine Trennung und Klassierung möglich ist, sofern keine Blatteile am Erntegut kleben bleiben.

Ein Vergleich der erzielten energetischen Wirkungsgrade der verschiedenen Ernteverfahren und eine Gegenüberstellung der zum Ablösen tatsächlich aufzuwendenden Energien zeigen deutlich, daß wir auf dem Gebiet der Erntetechnik noch am Anfang der Entwicklung stehen. Die Untersuchungen ergaben, daß durch die Ermittlung biotechnischer Eigenschaften von Erntegut und Reben nicht nur eine wirtschaftlich-technische Optimierung einzelner Bauelemente, Maschinen und Anlagen möglich wird, sondern sich auch völlig neue Ernteverfahren erreichen lassen. Diese Aufgaben können nur dann gelöst werden, wenn in Zukunft eine engere, verstärkte Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren, Biologen und Chemikern auf dem Gebiet der Biotechnik erfolgt.

### Literaturverzeichnis

1. ADAMS, K., 1963: Die Kosten der Arbeitserledigung im Weinbau unter besonderer Berücksichtigung der Mechanisierung. KTBL-Ber. ü. Landtechnik, H. 78.
2. CYCIV, M. V., DUSKIN, A. J., GERVOL'SKIJ, M. M. und POPOV, V. J., 1968: Zur Frage der Kelterweinlese mit Vibratoren. Tractory i sel'chozmash. (Moskau) 4, 29—31.
3. HASSEBRAUCK, B., 1964: Das Trennen von Korn-Häckselgemischen in Sichern mit senkrecht aufsteigendem Luftstrom. Landtech. Forsch. 14, 16—20.
4. MARSHALL, D. E., LEVIN, J. H. and CARGILL, B. F., 1970: Properties of concord grapes related to mechanical harvesting and handling. ASAE-paper No. 70—388, 1—14.
5. MOHSEIN, N. N., 1968: Physical properties of plant and animal materials. Teil I u. II. Selbstverl. Dept. Agricult. Eng., Pennsylvania State Univ.
6. MOSER, E., 1969 a: Mechanisierung der Traubenernte; Stand und Entwicklungsrichtungen. Vitis, 8, 314—324.
7. — — , 1969 b: Pneumatische Förderanlagen für den Traubentransport in Keltereien. Rebe u. Wein 22, 178—180.
8. — — und SINN, H., 1971: Vergleichende Untersuchungen über verschiedene Ernteverfahren im Weinbau. Dt. Weinbau 466—472.
9. OKONKWO, M.: Kraft- und Energiebedarf zum Trennen des Einzelkorns aus dem Fruchtstand. Diss. Univ. Hohenheim. (In Vorbereitung).
10. SCHEUERMANN, A., 1971: Ein Luftplanimeter für die Bestimmung von unregelmäßigen Flächen landwirtschaftlicher Güter. (In Vorbereitung).

Eingegangen am 18. 10. 1971

Dr.-Ing. E. MOSER  
 Abt. f. Technik im  
 Obst-, Gemüse- und Weinbau  
 Univ. Hohenheim (LH)  
 7 Stuttgart-Hohenheim