

Technisch-ökonomische Modelle zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs für die maschinelle Ernte von Feldgemüse

Prof. Dr.-Ing. J. Leuschner, KDT/Dr. agr. Elsa Leuschner
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

Verwendete Formelzeichen

B_e	kg/h	Kraftstoffverbrauch
b_e	kg/kWh	spezifischer Kraftstoffverbrauch
b_r	m	Reihenabstand
b_0	m	Arbeitsbreite
D		Anzahl der Erntedurchgänge
E	dt/ha	Ernteertrag
E_B	dt/ha	Beimengungen
E_m	dt/ha	Erntemasse
E_0	dt/ha	Rohware
E_v	dt/ha	verfahrensbedingte Verluste
F_S	N	Schnittkraft
F_Z	N	Zugkraft
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
k	N/m ²	Bodenwiderstand
m_A	dt	Transportnutzmasse
M_d	J	Antriebsdrehmoment
m_{ges}	kg	Gesamtmasse (Ladung, Eigenmasse)
n_B		Anzahl der im Boden wirkenden Werkzeuge
n_R		Anzahl der gleichzeitig geernteten Reihen
n_S		Anzahl der gleichzeitig wirkenden Schnittwerkzeuge
n_Z	1/s	Drehzahl des Motors
P_e	kW	effektive Motorleistung
P_G	kW	Getriebeverlustleistung
P_M	kW	Zapfwellenleistung
P_R	kW	Rollwiderstandsverlustleistung
P_S	kW	Schlupfverlustleistung
P_Z	kW	Zugleistung
R_L	m/ha	Reihenlänge je Hektar
S_w	km	mittlere Transportentfernung
s		Schlupf
t_0	m	Arbeitstiefe
v_f	m/s	Fahrgeschwindigkeit
μ_r		Rollwiderstand

1. Erläuterungen zum Ansatz des Kraftstoffverbrauchsmodells

Um die Anwendung verschiedener Produktionsverfahren beurteilen zu können, wurde bisher der Verfahrenvergleich vor allem auf die Verfahrenskosten und den Arbeitszeitaufwand bezogen. Entsprechend den Erfordernissen der Volkswirtschaft ist jedoch auch der Energieaufwand bei der Verfahrensentwicklung vorausschauend zu bewerten. Für das Beurteilen des Kraftstoffverbrauchs der maschinellen Feldgemüseernteverfahren wurde daher ein Kraftstoffverbrauchsmodell abgeleitet, das neben dem stündlichen Kraftstoffverbrauch B_e in kg/h vor allem das Berechnen des auf die Erntefläche bezogenen Kraftstoffverbrauchs $B_{e(ha)}$ in kg/ha und des auf die Erntegutmasse bezogenen Kraftstoffverbrauchs $B_{e(dt)}$ in kg/dt ermöglicht. Bei der Ableitung der Modelle war zu beachten, daß ein Vergleich der Produktionsvarianten für die Ernte von Feldgemüse nicht nur die Maschinenernte auf dem Feld umfaßt, sondern auch die für den Abtransport neben der Erntemaschine fahrenden Transportmittel sowie den Transport zur nächsten Bearbeitungsstufe. Bedeutung haben dabei:

- technische Größen der eingesetzten Maschinen und Geräte
- ökonomische Größen des Einsatzes der Maschinen und Geräte
- technisch-ökonomische Kopplungsgrößen [1].

So kann z.B. der Einsatz einer zwei- oder mehrreihigen Erntemaschine gegenüber einer einreihigen Erntemaschine eine Einsparung des Kraftstoffverbrauchs darstellen, da z.B. eine zweireihige Maschine nicht unbedingt den doppelten Verbrauch an Kraftstoff beim Einsatz benötigen muß. Andererseits kann auch eingesparter Kraftstoff auf dem Feld durch unnötigen Transport z.B. von Beimengungen wieder kompensiert werden. Darüber hinaus ist es auch möglich, Arbeitsgänge vom Feld in die Aufbereitungsstationen zu verlegen, um den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Eine Gegenüberstellung der Varianten mit ihren einzelnen Arbeitsphasen ist dazu notwendig. Dazu gehören:

- Erntemaschine (Selbstfahrer oder Traktor-Landmaschinen-Aggregat)
- Transportmittel, neben der Erntemaschine fahrend
- Transportmittel, Abtransport zur Aufbereitungsstation
- Transportmittel, Rückfahrt zum Feld.

2. Ableitung des Kraftstoffverbrauchsmodells

Der stündliche Kraftstoffverbrauch B_e in kg/h wird bekanntlich aus der effektiven Motorleistung P_e in kW und dem spezifischen Kraftstoffverbrauch b_e in g/kWh berechnet:

$$B_e = P_e b_e \quad (1)$$

Beim Vergleich gleicher Motoren bei verschiedenen Verfahren wird der spezifische Kraftstoffverbrauch $b_e = \text{konst.}$ angenommen. Wesentliche verfahrensbedingte Unterschiede kann jedoch die effektive Motorleistung P_e annehmen. Dabei wird die Motorleistung P_e als Summe der Teilleistungsanteile für die Nutzleistung (Zugleistung P_Z , Zapfwellenleistung P_M) sowie der Verlustleistungsanteile (Rollwiderstandsverlustleistung P_R , Schlupfverlustleistung P_S , Getriebeverlustleistung P_G) angesehen. Leistungsanteile für den Luftwiderstand, für Beschleunigungen und für das Überwinden von Steigungen wurden beim Vergleichsmodell nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse des Vergleichs können daher nur auf gleiche Einsatzbedingungen bezogen werden. Sie dienen nur dem Verfahrenvergleich und nicht der Kraftstoffnormierung.

Charakteristisch für die verschiedenen Erntemaschinen für unterirdisches oder oberirdisches Erntegut ist der Zugkraftanteil F_Z in N. Dabei werden bei unterirdischen Erntegütern der spezifische Bodenwiderstand k in N/m² sowie die Arbeitstiefe t_0 und die Breite der im Boden wirkenden Werkzeuge b_0 und ihre Anzahl n_B berücksichtigt. Bei Maschinen für oberirdische Erntegüter wird die Zugkraft durch Schnittkräfte F_S sowie durch die Anzahl der gleichzeitig wirkenden Schnittwerkzeuge n_S bestimmt. Beiden Erntemaschinenarten wird folgender Zugkraftbedarf gesetzt:

$$F_Z = k b_0 t_0 n_B + n_S F_S$$

Je nach Maschinenart geht einer der beiden

Summanden gegen Null bzw. werden beide Teile wirksam, wenn z.B. Blattabschneiden und Roden in einer Maschine vereinigt sind. Die Zugleistung ist dann:

$$P_Z = v_f (k b_0 t_0 n_B + n_S F_S)$$

Unter Beachtung der übrigen Leistungsanteile ergibt sich für die effektive Motorleistung:

$$P_e = \frac{v_f}{1-s} [(k b_0 t_0 n_B + n_S F_S) + (m_{ges} g \mu_r)] + 2 M_d \pi n_Z \quad (2)$$

Zur Berechnung des auf die Erntefläche bezogenen Kraftstoffverbrauchs ist es notwendig, die Strecke zu bestimmen, die eine Erntemaschine auf dem Feld je Hektar zurückzulegen hat. Diese Strecke ist abhängig vom Reihenabstand b_r der Kultur und von der Anzahl der gleichzeitig geernteten Reihen n_R . Bei noch notwendiger selektiver Ernte ist darüber hinaus die Anzahl der Erntedurchgänge D erforderlich. Unter diesen Voraussetzungen gilt für die Reihenlänge R_L :

$$R_L = \frac{10\,000 D}{b_r}$$

Daraus ergibt sich:

$$B_{e(ha)} = \frac{10\,000 D b_e P_e}{b_r v_f n_R} \quad (4)$$

Bezogen auf den Ernteertrag E in dt/ha gilt:

$$B_{e(dt)} = \frac{10\,000 D b_e P_e}{b_r v_f n_R E} \quad (4)$$

Für ständig neben der Erntemaschine fahrende Transportanhänger gelten die Beziehungen ebenfalls, wenn in Gl. (2) P_Z und P_M gleich Null gesetzt werden. Hinzu kommen die Kraftstoffaufwendungen für den Transport vom Feld zur Aufbereitungs- bzw. Lagerstation. Dieser Anteil ist abhängig von der mittleren Transportentfernung S_w , der Erntemasse E_m , der Fahrgeschwindigkeit v_f sowie der Transportnutzmasse m_A , die mit einem Zug transportiert werden kann. Der Kraftstoffverbrauch für den Abtransport vom Feld ist dann:

$$B_{e(ha)} = \frac{b_e P_e S_w E_m}{v_f m_A} \quad (5)$$

$$B_{e(dt)} = \frac{b_e P_e S_w E_m}{v_f m_A E} \quad (6)$$

Mit den Formeln für den Kraftstoffverbrauch $B_{e(dt)}$ ist es auch möglich, den Einfluß der verfahrensbedingten Ernteverluste (z.B. durch Beschädigungen) auf den Kraftstoffverbrauch sichtbar zu machen. In diesem Fall sind die verfahrensbedingten Verluste E_v , die sich z.T. erst in der Lagerperiode zeigen, beim Ansatz des Ernteertrags abzuziehen:

$$E = E_0 - E_v$$

Beim Vergleich der Aufwendungen für den

Tafel 1. Werte für den Verfahrensvergleich bei der Möhrenernte

Verfahren	Raufrodeverfahren		Rodeverfahren vierreihig
	einreihig	zweireihig	
Ernten	Wurzelgemüseerntemaschine EM 11/ Radtraktor MTS-52; Traktoranhänger HW 80/ Radtraktor MTS-52	Wurzelgemüseerntemaschine E 825/ Radtraktor MTS-80, Traktoranhänger HW 80/ Radtraktor MTS-52	Schlegelernter E 069/ Kartoffelrodeler A 682/ Radtraktor MTS-80; Traktoranhänger HW 80/ Radtraktor MTS-52
Transportieren	Radtraktor MTS-52/ Traktoranhänger HW 80	Radtraktor MTS-52/ Traktoranhänger HW 80	Radtraktor MTS-52/ Traktoranhänger HW 80
Beimengungen in %	10	10	50
Beschädigungen in %	10	10	20
Leistung in ha/h	0,15	0,45	0,45
Fahrgeschwindigkeit in km/h	4,8	6,0	3,6

Transport sind Beimengungen im Erntegut E_B zu berücksichtigen:

$$E_m = E_0 + E_B.$$

Bei der Berechnung ist deshalb auch für die Rückfahrt der Transportmittel der Rücktransport der Beimengungen E_B zu berücksichtigen. Die Anwendung der Modelle soll am Beispiel des Verfahrensvergleichs bei der Möhrenernte erläutert werden.

3. Anwendung der Kraftstoffverbrauchsmodelle beim Vergleich verschiedener Möhrenernteverfahren

Bei diesem Vergleich wurden zwei Ernteverfahren auf der Grundlage der einreihigen Wurzelgemüseerntemaschine EM 11 und der zweireihigen Erntemaschine E 825, die beide nach dem Raufrodeprinzip arbeiten, dem Rodeverfahren mit der umgerüsteten Kartoffelerntemaschine E 682 und dem Schlegelernter E 069 gegenübergestellt.

Die bei Ernte, Transport und Aufbereitung verglichenen Maschinen sowie die angenommenen Beimengungen und Beschädigungsanteile sind in Tafel 1 dargestellt. Bei der Auswahl der in das Modell eingesetzten Beimengungs- und Beschädigungswerte wurden eigene Erfahrungen genutzt und Werte angenommen, wie sie unter schwierigen Bedingungen auftreten können.

Einen großen Einfluß auf den Kraftstoffverbrauch des Traktors mit Erntemaschine und des Traktors mit Anhänger hat die Strecke, die von diesen Traktoren bei der Ernte auf dem Feld zurückzulegen ist. Im Bild 1 ist diese Strecke ohne den Anteil für das Wenden dargestellt. Diese Strecke ist vor allem von der Arbeitsbreite der Maschine abhängig. Da die Arbeitsbreite der Erntemaschine das Produkt aus der Anzahl der gleichzeitig abgeernteten Reihen und dem Reihenabstand ist, kann aus dem Verlauf der Hyperbelkurve ersehen werden, daß die einreihige Erntemaschine bei einem Reihenabstand von 31,25 cm in einem sehr ungünstigen Bereich der Hyperbel liegt und jede weitere Verringerung des Reihenabstands zu einem steilen Anstieg der je Hektar abzurichtenden Strecke und somit auch zu einem steilen Anstieg des Kraftstoffverbrauchs führt. Der auf die Erntegutmasse bezogene Kraftstoffverbrauch würde sich in diesem Fall nur dann nicht erhöhen, wenn die Hektarerträge durch Verringerung des Reihenabstands sich ebenso steil vergrößern. Dies ist jedoch nicht der Fall. Wie eigene Messungen zeigen, nimmt die Masse der Einzelmöhre mit Verringerung des Reihenabstands ab, und die durch die Erntemaschine bedingten Verluste

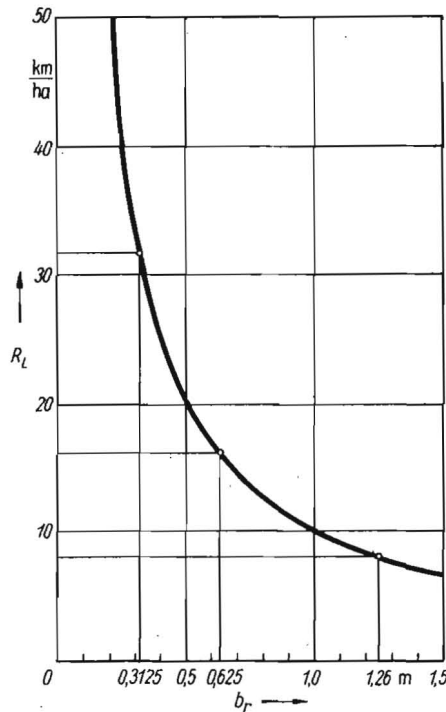


Bild 1. Abhängigkeit zwischen den auf dem Feld je Hektar zurückzulegenden Strecken R_L der Erntemaschine und deren Arbeitsbreite (Reihenabstand b_r)

steigen an. Aus der Sicht des Kraftstoffverbrauchs bei der Ernte sind daher Doppelreihen der Möhren, die von einem Raufrodeinstrument aufgenommen werden können und die einen Abstand von 41,7 cm aufweisen, energetisch günstig, wenn gegenüber dem Reihenabstand von 31,25 cm unter Beachtung der Ernteverluste keine Minderung des marktfähigen Ertrags eintritt. Da der energetisch günstigste Reihenabstand von den konkreten Anbaubedingungen abhängig ist, sollten der Entscheidung entsprechende Anbauversuche vorausgehen. Im Bild 1 ist gleichzeitig erkennbar, daß beim Übergang zum zweireihigen Raufroden die Erntefahrstrecke auf dem Feld entsprechend verkürzt wird. Dadurch kann auch die Verringerung des im Bild 2 dargestellten spezifischen Kraftstoffverbrauchs bei der zweireihigen Möhrenerntemaschine E 825 gegenüber der einreihigen EM 11 erklärt werden. In Abhängigkeit von Ertrag und Transportentfernung ist der Kraftstoffbedarf im Bild 2 für die Ernte und den Transport bis zur Aufbereitungsstation oder bis zum Lager und zurück zum Feld dargestellt. Es ist zu erkennen, daß nicht nur die Maschinenarbeitsbreite, sondern auch der

Anteil der Beimengungen am Erntegut den Kraftstoffbedarf erheblich beeinflusst. Dadurch tritt beim Rodeverfahren unter den angenommenen Bedingungen trotz einer Arbeitsbreite von 125 cm sogar ein Kraftstoffbedarf auf, der höher als der Bedarf beim einreihigen Raufroden sein kann. Einen großen Einfluß auf den spezifischen Kraftstoffbedarf hat der Ertrag. Dabei sollte unter Ertrag der Anteil des Erntegutes verstanden werden, der nach Abzug der Verluste, die zum großen Teil verfahrensbedingt sind, tatsächlich versorgungswirksam wird. Die Bedeutung einer feldnahen Lagerung und Aufbereitung für den Kraftstoffbedarf lassen im Bild 2 die Verbrauchskennlinien für unterschiedliche Transportentfernungen erkennen. Um den Transportanteil zu verdeutlichen, wurde der auf den Hektar bezogene Kraftstoffverbrauch für den Transport zur Aufbereitungsstation bzw. zum Lager ebenfalls abhängig von Ertrag und Transportentfernung dargestellt. Bild 3 läßt erkennen, daß der Kraftstoffbedarf je Hektar mit dem Ertrag je Hektar linear zunimmt. Der lineare Zuwachs des hektarbezogenen Kraftstoffbedarfs ist dabei um so steiler, je größer der Anteil der mitzutransportierenden Beimengungen und je größer die Transportentfernungen sind. Daraus lassen sich Schlußfolgerungen für die territoriale Standortverteilung der Möhrenanbauflächen in bezug auf Aufbereitungs- und Lagerstationen ableiten. Das Beispiel zeigt auch, daß Kraftstoffnormative und Kraftstoffkontingente für die Betriebe in jedem Fall vom marktfähigen Erntertrag je Hektar Anbaufläche abhängig gemacht werden müssen.

4. Schlußfolgerungen

Der Vergleich der untersuchten Möhrenernteverfahren läßt trotz der Vereinfachung beim Ansatz des Kraftstoffverbrauchsmodells folgende Schlußfolgerungen zu:

- Das Raufrodeverfahren mit der zweireihigen Wurzelerntemaschine E 825 für Möhren ermöglicht wesentliche Kraftstoffeinsparungen gegenüber den anderen untersuchten Verfahren. Die beimengungs- und beschädigungsarme Aufnahme des Erntegutes führt dazu, daß der Kraftstoffverbrauch auch je Dezitonne Marktertrag gesenkt werden kann.
- Die Vorteile des Rodeverfahrens werden wirksam, falls erst zu einem Zeitpunkt geerntet werden kann, wenn die für das Raufroden notwendige Laubkraft nicht mehr gegeben ist. Dabei sind für dieses Verfahren solche Standorte mit gut siebfähigen Böden und geringem Steinbesatz vorteilhaft. Die beim Rodeverfahren auftretenden höheren Beschädigungen des Erntegutes wirken sich dann weniger nachteilig aus, wenn das Erntegut sofort bzw. nach kurzer Zwischenlagerung industriell verarbeitet werden kann.
- Der energetisch günstigste Reihenabstand ist nicht in jedem Fall der absolut kleinste. Günstig sind solche Reihenabstände, die einen hohen Marktertrag garantieren, d.h. solche, bei denen beschädigungsbedingte und sonstige maschinenerntebedingte Verluste berücksichtigt werden. Die Aufnahme von Doppelreihen durch ein Erntewerkzeug ist dabei ein Mittel, um die Fahrstrecke bei der Ernte auf dem Feld zu verkürzen. Dabei kann ein solcher Reihenabstand der Doppelreihe realisiert werden, der sowohl eine optimale Pflanzenanzahl je Hektar als auch geringste technisch bedingte Ernteverluste ermöglicht. Weitere

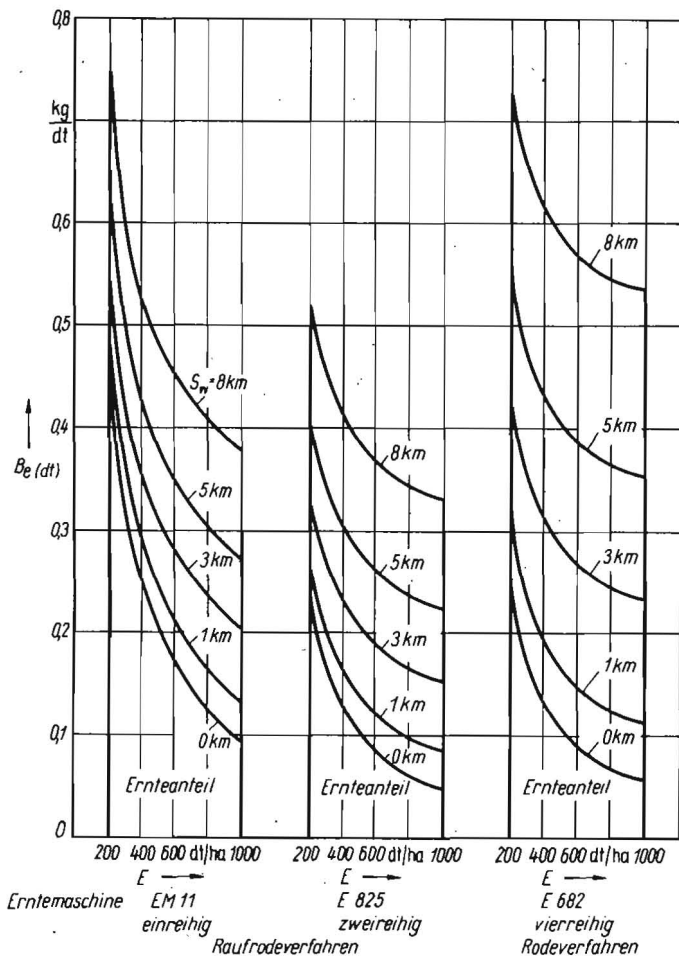


Bild 2. Kraftstoffverbrauch bei Ernte und Transport mit verschiedenen Werten für Ernteertrag und Transportentfernung

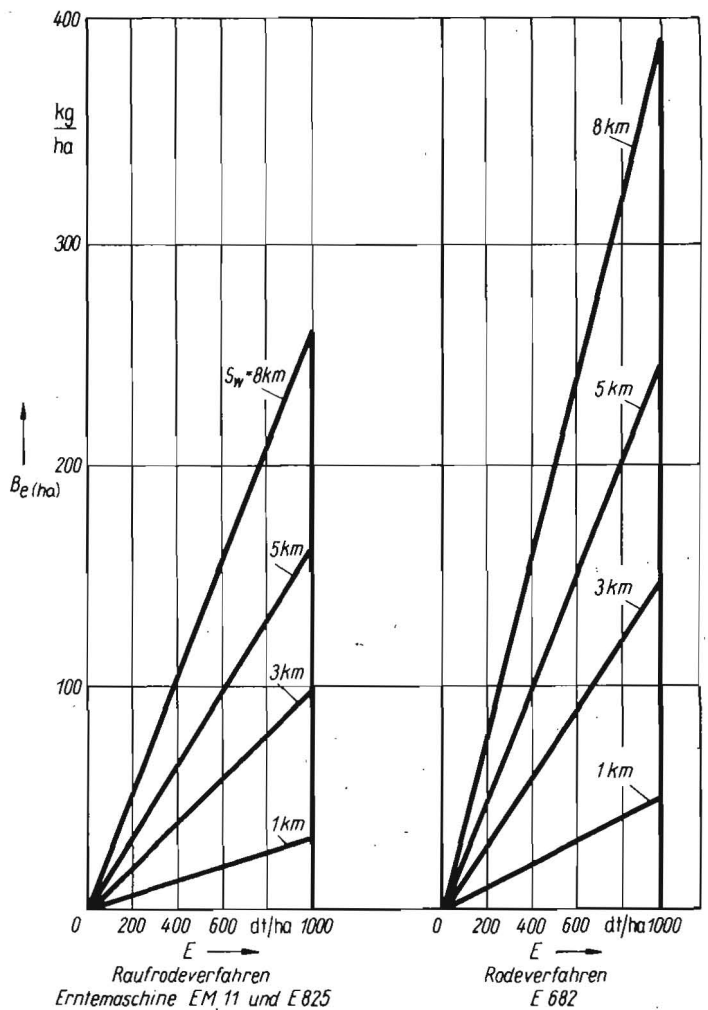


Bild 3. Kraftstoffverbrauch beim Transport mit verschiedenen Werten für Ernteertrag und Transportentfernung

Untersuchungen für die unterschiedlichen Anbaubedingungen sind dazu notwendig.

5. Zusammenfassung

Um verschiedene maschinelle Ernteverfahren für die Feldgemüseproduktion hinsichtlich ihres spezifischen Kraftstoffverbrauchs vergleichen zu können, werden auf der Grundlage elementarer technischer und ökonomischer Zusammenhänge entsprechende Berechnungsmodelle abgeleitet und begründet.

Am Beispiel von drei maschinellen Verfahren für die Möhrenernte werden die auf dem Raufrode- und Rodeprinzip beruhenden Verfahren hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs je Hektar und je Dezitonne Reinertrag verglichen.

Dabei wird die Bedeutung des Beimengungsanteils im Erntegut, der beschädigungsbedingten und technisch bedingten Verluste, der Ertragshöhe sowie der Transportentfernung quantitativ veranschaulicht. Einige Schlußfol-

gerungen für die kraftstoffoptimale maschinelle Möhrenernte werden gezogen, die in verallgemeinerter Form auch für die übrigen maschinellen Feldgemüseernteverfahren gültig sind.

Literatur

- [1] Leuschner, E.: Technisch-ökonomische Modelle zur Entwicklung von Maschinen für die Ernte und Aufbereitung von Feldgemüse, agrartechnik 29 (1979) H. 11, S. 502—503. A 3331

Spülmistungsverfahren für Schweinemastanlagen

Ein neues Spülmistungsverfahren für Schweinemastanlagen wurde in der LPG Aschara, Bezirk Erfurt, unter Mitwirkung von Wissenschaftlern des Instituts für Düngungsforschung Leipzig-Potsdam sowie des Forschungszentrums für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock entwickelt.

Bei diesem Verfahren, das einen geschlossenen Kreislauf bildet, wird mit der aus Gülle gewonnenen Flüssigkeit durch Erzeugung einer

Flutwelle der im Kanal unter dem Spaltenboden liegende Kot und Harn in kurzer Zeit ausgespült. Eine spezielle Trennvorrichtung sondert die festen, nährstoffreichen Stoffe ab. Die flüssige Komponente wird ohne Zuführung von Wasser in das System zurückgeleitet.

(ADN)

Pilzanzeiger

Ein Gerät, das in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann, um festzustellen, ob dem Kartoffelacker Kraut- oder Knollenfäule droht,

wird in Österreich hergestellt. Das mit Mikroprozessoren ausgestattete Gerät des Österreichischen Forschungszentrums GmbH in Wien tastet mit Temperatur- und Benetzungsfühlern sowie Haarhygrometer die Pflanzen ab. Wenn die Witterungsverhältnisse einen Schadpilzbefall begünstigen, wird ein alarmierendes Piep- oder ein Blinkzeichen gegeben.

(ADN)