

Berührungsloser Nachweis natürlicher Leitlinien der Pflanzenproduktion mit Hilfe von Ultraschall

Dipl.-Ing. T. Uhlig, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Das automatische Lenken von Landmaschinen kann nach verschiedenen Verfahren erfolgen [1]. Ein ökonomisch günstiges Verfahren ist die Führung von Landmaschinen an Leitlinien, die entweder als natürliche Leitlinien vorhanden sind oder die durch bestimmte Arbeitsgänge geschaffen werden müssen. Eine schematische Übersicht über verschiedenartige Leitlinien der Pflanzenproduktion enthält [2]. Ein Problem für das automatische Lenken von Landmaschinen nach natürlichen Leitlinien stellt die Meßwert-erfassung dar. An sie werden u. a. folgende Forderungen gestellt:

- Geringste Rückwirkungen auf die Leitlinie
- hohe Funktionssicherheit und Witterungsbeständigkeit
- hohes Auflösungsvermögen, um eine Regelabweichung von kleiner als ± 50 mm zu gewährleisten
- geringe Baugröße
- niedrige Kosten.

Nach mechanischen Prinzipien arbeitende Meßwertgeber (z. B. Schleifer, Taster) weisen Rückwirkungen mit unterschiedlichen Kräften und Formen auf und unterliegen einem bestimmten Verschleiß. Berührungslos arbeitende Meßwertgeber nach optischen, akustischen oder anderen Prinzipien sind rückwirkungsfrei, haben aber unterschiedliches Auflösungsvermögen. Im folgenden soll der Nachweis ausgewählter natürlicher Leitlinien mit Hilfe von Ultraschall diskutiert werden.

2. Stand der Technik

In der Landwirtschaft der DDR werden am Rübenrodelader KS-6 und am Mährescher E 516 automatische Lenkungen mit mechanisch wirkenden Meßwertgebern eingesetzt [3, 4, 5]. In der UdSSR [6] und in Großbritannien [7] sind Meßwertgeber auf optischer Basis vornehmlich für den Nachweis von unterschiedlichen Bearbeitungsstufen der Bodenbearbeitung und von Pflugfurchen entwickelt worden.

In den USA wurden Systeme auf der Basis von Ultraschall vorgestellt [8, 9]. Es wird deutlich,

daß der Einsatz von Ultraschall für die automatische Lenkung von Landmaschinen einen erheblichen technischen Aufwand erfordert, der aber durch die Anwendung moderner elektronischer Mikrobauelemente bei entsprechender Stückzahl künftig zu ökonomisch günstigen Lösungen führen kann.

Aus der UdSSR wurde ein Bodenprofilmeßgerät bekannt, das ebenfalls auf der Basis von Ultraschall arbeitet [10]. Eine weitere Anwendung von Ultraschall zur Regelung der Fallhöhe von Kartoffeln auf das Transportfahrzeug ist in [11] gezeigt.

3. Charakteristik natürlicher Leitlinien und deren Auswirkungen

Zu den natürlichen Leitlinien zählen hauptsächlich (vgl. [2]):

- Pflanzenbestände
- lose Haufwerke (z. B. Futterschwaden)
- Bodenprofile
- Strukturunterschiede der Bodenoberfläche.

Für Ultraschallmessungen in Luft ist die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung der elektroakustischen Wandler von Bedeutung. Für solche richtungsorientierten Bauelemente ist einerseits eine gute Bündelung des Schalls erwünscht, weil der Einfluß von Störfrequenzen dann geringer wird und störende Kopplungen der Wandler mit beispielsweise reflektierenden Gegenständen außerhalb des vorgesehenen Wirkungsbereichs weniger leicht auftreten. Andererseits kann bei guter Bündelung durch Turbulenzen oder Temperaturunterschiede in der Luft der Schall aus seiner Richtung leichter abgelenkt werden. Praktisch realisierte Luftschallwandler weisen einen Öffnungswinkel von $0,87$ bis $1,4$ rad (50 bis 80°) auf. Alle o. g. natürlichen Leitlinien zeigen eine grobstrukturierte, aufgelockerte Oberfläche, wodurch aufgrund der Richtcharakteristik der Wandler bei impulsförmiger Beschallung Mischsignale am akustischen Empfänger zu erwarten sind. Diese Mischsignale entstehen durch Überlagerung von Echos unterschiedlicher Amplitude, Phase und Laufzeit. Trotz der strukturierten Ober-

flächen der natürlichen Leitlinien sind diese akustisch dicht und reflektieren den Schall, wobei allerdings in Abhängigkeit vom Reflexionswinkel und von der Oberflächenstruktur Streu- und Absorptionsverluste auftreten.

4. Berührungsloser Nachweis natürlicher Leitlinien durch Ultraschall

Anhand einiger ausgewählter Untersuchungen an künstlich erzeugten Leitlinien, die in ihrer Beschaffenheit den natürlichen ähneln, sollen grundsätzliche Probleme der Luftultraschallmessung erörtert werden.

4.1. Darstellung von Meßprinzip und -aufbau

Die Ultraschallwandler wurden an einem senkrecht zur angenommenen Fahrtrichtung (x -Koordinate) horizontal beweglichen Wagen befestigt (y -Koordinate). Das Leitlinienprofil wurde in einer Bodenrinne mit Hilfe eines Modellbodens oder durch Pflanzenmodelle geschaffen. Der Abstand zwischen Ultraschallwandler und Leitlinienprofil betrug rd. $0,5$ m, so daß Schallaufzeiten (Schallgeschwindigkeit in Luft $c_L = 343,8$ m/s bei 20°C) von rd. 3 ms auftraten. Mit Hilfe einer speziellen Steuerung erfolgte die rechnerkompatible Meßwertgewinnung (Bild 1).

Für eine Profilabtastung der Breite von 450 mm wurden 300 bis 600 Einzelwerte verrechnet.

4.2. Ergebnisse der Modelluntersuchungen

Unter Laborbedingungen wurden untersucht:

- Eine Bodenstufe mit einem Höhenunterschied von 135 mm, wie sie bei Kartoffel-dämmen oder Pflugfurchen vorkommt
- eine Reihe geköpfter Rüben mit einem Abstand des aus dem Boden herausstehenden Teils der Rübe von 35 mm bzw. 15 mm
- eine Halmreihe (Halme einlagig) mit einem Halmabstand von 6 mm bzw. 72 mm
- ein auf einer festen Oberfläche stehender metallischer Prüfkörper.

Die Bodenstufe (Bild 2) wurde nach dem angegebenen Mittelwert geformt und anschließend aufgelockert. Dadurch konnte er-

Bild 1. Meßwertfassung und -aufbereitung

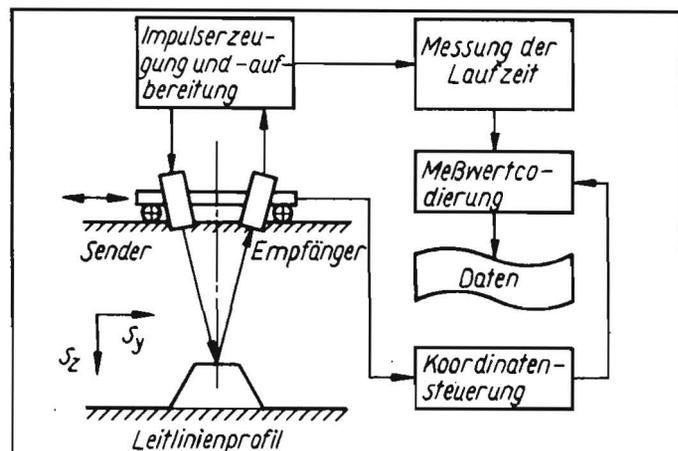
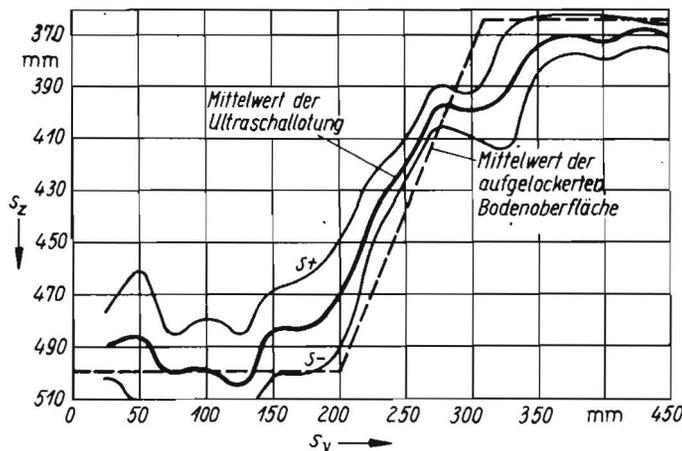


Bild 2. Ultraschallotung einer Bodenstufe



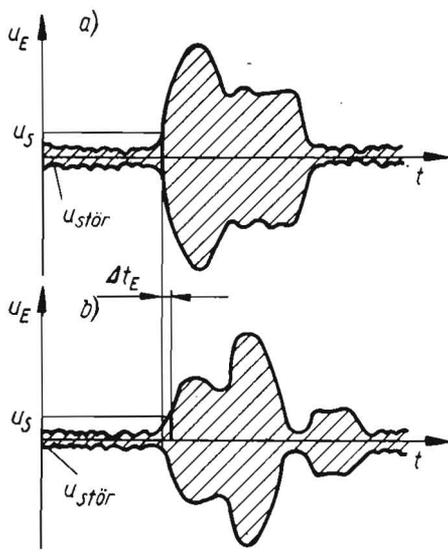


Bild 3. Oszillogramm der Impulsecchos unter verschiedenen Reflexionsbedingungen;
a) Objekt mit gering streuender Oberfläche
b) Objekt mit stark streuender Oberfläche

reicht werden, daß ein eindeutiges geometrisches Profil ausgelotet werden konnte, das gleichzeitig in der Oberflächengestaltung den praktisch auftretenden Werten angenähert wurde. Der Mittelwert der Ultraschallotung weist Abweichungen vom Meßobjekt von ≈ 25 mm auf. Die größten Abweichungen liegen im Bereich von Profilkanten; hier sind die Streuungen des Schalls am größten. Bei der Ultraschallmessung liegen die Probleme in der Auflösung des Echos, denn bereits Abweichungen der ermittelten Laufzeit von $\Delta t_E = 50 \mu s$ führen zu einem Meßfehler von $\Delta s_z = 16$ mm, wenn der Meßabstand $s_m = 500$ mm beträgt. Das skizzierte Oszillogramm (Bild 3) verdeutlicht die auftretende Zeitdifferenz, wenn bei konstanter Empfindlichkeit des Diskriminators u_S das Ultraschallsignal mit unterschiedlicher Intensität empfangen wird. Auf dem Gebiet der Unterwasserlotung werden zur Signalerkennung codierte Signale (z. B. Barker-Code) verwendet [12]. Mit dieser Methode ist es möglich, selbst noch Signale mit hoher Auflösung nachzuweisen, die eine Amplitude in der Größenordnung des Stör- oder Rauschpegels haben. Der Anwendung solcher codierten Signale für den Nachweis natürlicher Leitlinien der Pflanzenproduktion stehen zwei hauptsächliche Nachteile entgegen:

- relativ geringe Schalllaufzeit von kleiner gleich 5 ms

— niedrige optimale Resonanzfrequenz der Luftschallwandler im Bereich von 20 bis 50 kHz.

In den Boden eingesetzte, geköpfte Rüben mit unterschiedlichem Abstand des aus dem Boden herausstehenden Teils sind mit Hilfe von Ultraschall nachweisbar (Bild 4). Bemerkenswert ist, daß bei einem Abstand $h_r = 15$ mm, der in der Größenordnung der Streuung bzw. der Abweichung der Ultraschallotung aus Bild 2 liegt, noch ein deutlicher Unterschied des Mittelwerts der Ultraschallotung (Strich-Punkt-Linie) nachweisbar ist. Bei der Auswertung des Maximums der Kurvenverläufe, das über dem Mittelpunkt der Rübenkörper liegen müßte, treten Abweichungen von rd. 25 mm auf.

Beim Nachweis einer Halmreihe (Bild 5), die parallel zur Oberfläche des Bodens angeordnet wurde, ergeben sich im Bereich der Profilkanten die größten Abweichungen (vgl. Bild 2). Bei einem Abstand der Modellhalme von $a = 6$ mm zeigt der Kurvenverlauf nur geringe Abweichungen vom Meßobjekt. Das bedeutet, daß der Abstand a noch so klein ist, daß keine Reflexionen des Bodens die Meßwerte verfälschen können. Erst mit Vergrößerung des Abstands a entstehen Reflexionen am Boden und erhöhen den Mittelwert des geloteten Objektabstands s_z . Bei einem Abstand der Modellhalme von $a = 72$ mm beträgt z. B. die Abweichung des Mittelwerts der Ultraschallotung von der Modellkante $\Delta s_z \approx 2$ mm. Im Vergleich der Bilder 2, 4 und 5 werden die Unterschiede der Kurvenverläufe (Mittelwert und Streuung) bei der Ultraschallotung eines aufgelockerten und eines ebenen, verdichteten Bodens deutlich.

Versuche, ein akustisch dichtes Profil (Metalloberfläche) auszuloten, zeigen, daß dabei eine Auflösung von $\Delta s_z = 20$ mm erreicht werden kann (Bild 6). Der entstandene Fehler, der 23% aller Meßwerte umfaßt, ist auf Reflexionen an den Wänden der Bodenrinne und an anderen Gegenständen zurückzuführen. Würden diese Versuche innerhalb von reflexionsarmen Räumen durchgeführt, dann verringerten sich solche Fehler wesentlich.

4.3. Schlußfolgerungen

Prinzipiell besteht die Möglichkeit, natürliche Leitlinien der Pflanzenproduktion mit Hilfe von Ultraschall nachzuweisen. Die Auflösung der Ultraschallotung hängt in starkem Maß von folgenden Faktoren ab:

- Übertragungseigenschaften der Ultraschallwandler
- Anwendbarkeit des Verfahrens zur Auswertung der empfangenen Signale
- Beschaffenheit der Oberfläche des Meßobjekts.

Mit einer Auflösung des Meßwertgebers von $\Delta s_z = 20$ mm erscheint es möglich, für die tieffrequenten Vorgänge der Regelung der Lenkung landwirtschaftlicher Maschinen (obere Grenzfrequenz $f_0 < 1$ Hz) eine Regelabweichung von kleiner als ± 50 mm zu realisieren. Der technische Aufwand ist relativ hoch, wodurch z. Z. noch erhebliche Kosten entstehen.

5. Zusammenfassung

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, natürliche Leitlinien der Pflanzenproduktion rückwirkungsfrei nachzuweisen. In der Fachlitera-

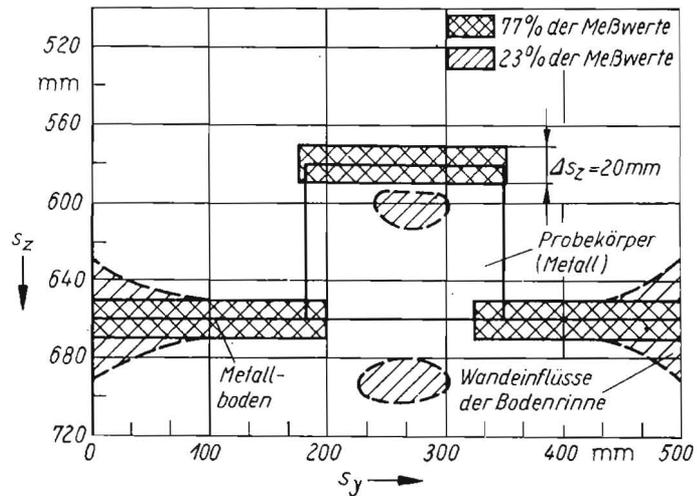
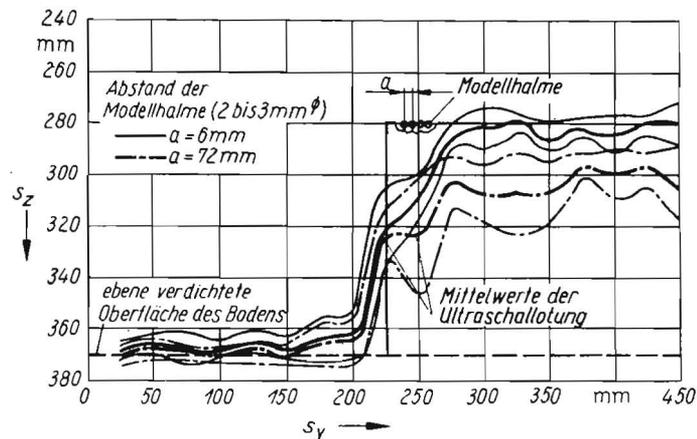
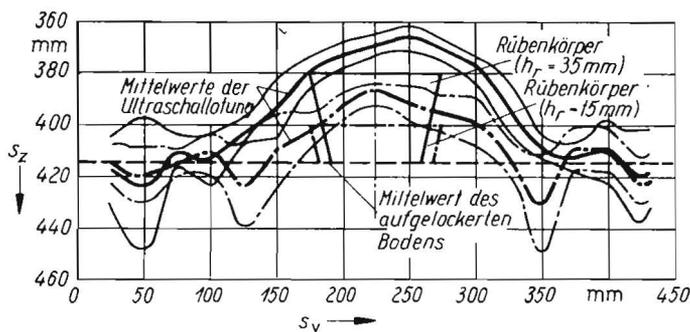


Bild 6. Ultraschallotung eines metallischen Probekörpers

Bild 5. Ultraschallotung einer Halmwand mit unterschiedlichem Halmabstand a

Bild 4. Ultraschallotung einer geköpfte Rübe mit unterschiedlichem Abstand des aus dem Boden herausstehenden Teils



tur sind optische und akustische Verfahren der berührungslosen Messung von Abständen und Bearbeitungsunterschieden aufgeführt. Im vorliegenden Beitrag wurden die Ergebnisse von Untersuchungen zum berührungslosen Nachweis ausgewählter natürlicher Leitlinien der Pflanzenproduktion mit Hilfe von Ultraschall erörtert. Mit einer Auflösung von rd. 20 mm ist es möglich, Bodenprofile, geköpfte Rüben und Halm- bzw. Pflanzenreihen bei einer mittleren Abweichung vom Meßobjekt von ± 15 mm (maximale Abweichung vom Meßobjekt ± 25 mm) im Abstand von rd. 500 mm zwischen Luftschallwandler und Meßobjekt berührungslos nachzuweisen. Die Resonanzfrequenz der verwendeten Luftschallwandler betrug 30 bis 40 kHz. Die Untersuchungen wurden unter Laborbedingungen durchgeführt, wobei zur Minderung störender Fremdrelexionen keine Maßnahmen eingeleitet wurden.

Literatur

- [1] Jahns, G.: Möglichkeiten zum Erzeugen von Kurssignalen für das automatische Lenken von Landfahrzeugen. Grundlagen der Landtechnik 20 (1970) H. 3, S. 65—71.
- [2] Kollar, L.: Automatisierung in der Landwirtschaft. Berlin: VEB Verlag Technik 1975, S. 223—235.
- [3] Jakob, P.; Petzold, E.: Lenkautomatik für den selbstfahrenden Rodelader KS-6. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 11, S. 487—489.
- [4] Jakob, P.; Petzold, E.: Einsatzerfahrungen mit der Lenkautomatik am selbstfahrenden Rodelader KS-6. agrartechnik 25 (1975) H. 4, S. 198—201.
- [5] Buchmann, R.: Untersuchungen an einer Einrichtung zur automatischen Spurhaltung. agrartechnik 27 (1977) H. 5, S. 204—207.
- [6] Dwali, R.R.: Zur automatischen Führung von Traktoren. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 5, S. 207—209; H. 6, S. 247—250.
- [7] Britain tries Automatic Tractor Guidance (Groß-

- britannien untersucht die automatische Traktorensteuerung). Agric. Engng. 55 (1974) H. 9, S. 39.
- [8] Warner, M. G. R.: Automatic Guidance of a Farm Tractor (Automatische Lenkung eines Traktors). Ultrasonics 6 (1968) H. 7, S. 150—151.
- [9] Warner, M. G. R.; Harries, G. O.: An Ultrasonic Guidance System for Driverless Tractors (Ein Ultraschallnavigationssystem für fahrerlose Traktoren). J. agric. Engng. Res. 17 (1972) S. 1—9.
- [10] Laukjavicius, A. M. u. a.: Ul'trazvukovoj profilograf počvy (Ultraschall-Bodenprofilmeßgerät). Mechanizacija i elektrifikacija (1973) H. 11, S. 53—54.
- [11] The Potato Grower: Harvester cruises against bruises (Vorrichtung an Kartoffelerntemaschinen zur Verringerung der Beschädigungen). American vegetable Grower 23 (1975) H. 4, S. 28—30.
- [12] Lange, F. H.: Signalsynthese und Korrelationsmeßtechnik. Technische Hochschule Ilmenau, Vortragsreihe „Nachrichtentheorie und -technik“, 1967.

A 2171

Stand der Untersuchungen zur Belüftung zwei- und vierkanaliger Kartoffelgroßmieten

Dr. W. Günzel, KDT/Ing. P. Delmhorst, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR
Dipl.-Landw. N. Riedel/Dr. D. Köppen, Institut für Kartoffelforschung Groß Lüsewitz der AdL der DDR

Die Lagerung von Pflanz- und Speisekartoffeln in belüftbaren Großmieten hat sich als integrierter Bestandteil der industriemäßigen Kartoffelproduktion bewährt und wie folgt entwickelt:
1975/76: 928 kt
1976/77: 1612 kt
1977/78: 2424 kt.

Bei Berücksichtigung der möglichen Ertragssteigerung und Stabilisierung wird die notwendige Lagerkapazität im Jahr 1980 auf über 3000 kt ansteigen. Bisher wurden vor allem einkanalige Großmieten mit 300 t Lagerkapazität angelegt. Diese werden in zunehmendem Maß durch mehrkanalige Großmieten ergänzt bzw. ersetzt. Von den neuen Mietentypen kann bereits beim gegenwärtigen Stand der Untersuchungen die zweikanalige Großmiete mit rd. 600 t Lagerkapazität wegen folgender Vorteile der Praxis empfohlen werden (Bild 1):

- Erhöhung der Arbeitsproduktivität durch Senkung des Aufwands an Arbeitszeit je Tonne Lagergut um 10%
- Reduzierung des Stroheinsatzes um 30% und des Folieinsatzes um 25% durch ein günstigeres Verhältnis von Mietenoberfläche und Lagerkapazität
- Erweiterung der Belüftungsmöglichkeiten bis -10°C bei längeren Frostperioden durch Lüften mit Frisch-, Misch- und Umluft
- Reduzierung der notwendigen Mietenplatzfläche um 35% und des damit im Zusammenhang stehenden Erschließungsaufwands.

Im Republikmaßstab können bei 2000 angelegten zweikanaligen Großmieten, d. h. rund zwei Drittel der 1978/79 benötigten Großmieten-Lagerkapazitäten, 100 t Folie und 26000 t Stroh eingespart werden.

Somit wird allein durch technologische Maßnahmen der Materialeinsatz bei der Großmietenlagerung um 2,7 Mill. Mark verringert. Ein Schwerpunkt bei der Einführung mehrkanaliger Mieten in die Praxis ist die Belüftung bzw. das Belüftungssystem und die damit in

Wechselwirkung stehenden Faktoren der Anlage und Bewirtschaftung der Mieten. Deshalb sollen zu diesem Problemkreis erste Untersuchungsergebnisse mitgeteilt werden.

Aufbau und Wirkprinzip der Lüftungssysteme

Die Belüftung mehrkanaliger Großmieten erfolgt über Lattenrost-Kanäle, wie sie sich bei einkanaligen Großmieten bewährt haben. Um eine ausreichende Durchlüftung des Kartoffelstapels zu gewährleisten, ist das Verhältnis von Kanalabstand zu Stapelhöhe von 1:1,3 bis 1:1,5 unbedingt einzuhalten, wobei der lichte Abstand zwischen zwei Kanälen maximal 3,0 m bis

3,5 m betragen sollte. Als nahezu idealer Lüfter für den Einsatz bei Großmieten hat sich der Axiallüfter LAN 900/9 des VEB Turbowerke Meißen in der Praxis bewährt. Lufttechnische Messungen haben ergeben, daß dieser Lüfter bei Großmieten mit luftdurchlässiger Abdeckung rd. 25000 m³/h und bei Großmieten mit dichter Abdeckung rd. 20000 m³/h Luftdurchsatz erreicht. Aus den Erfahrungen der Belüftung von Kartoffellagerhäusern ist bekannt, daß eine Luftrate von 60 m³/t · h für lose geschüttete Kartoffeln ausreichend bemessen ist; diese Luftrate kann auch für Großmieten angesetzt werden. Damit ist der genannte Lüftertyp für eine Lagerkapazität von 300 t

Bild 1. Zweikanalige Großmiete; a 200 mm Häckselschicht, b Folienbahn (überlappt), c Strohhallenschicht, d Folienbahnen 6000 mm, e Überlappung 1000 mm mit 200 mm Stroheinlage, f Lüfterkästen mit Umluftkanal, g Stapelhöhe 3800 mm

