

Untersuchungen zum mehrstufigen Trennen von Kartoffeln und Beimengungen auf Kartoffelerntemaschinen

Dipl.-Ing. W. Schneider, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

Verwendete Formelzeichen

A	Ausgangsgutstrom
E	Eingangsgutstrom
f	Beimengungsanteil im Gemenge
m (m)	Masse (Massestrom)
δ	Trennfehler
η	Trenngüte

Indizes

B	Beimengung
BR	Restbeimengung
E	Eingang
G	gesamt
K	Kartoffel
R	richtig getrennter Anteil
1	erste Trennstufe
2	zweite Trennstufe

1. Problemstellung

Um die Effektivität der Kartoffelproduktion weiter zu erhöhen, sind qualitätserhöhende sowie verlustsenkende Verfahren der Kartoffelernte und -aufbereitung zu entwickeln. Da der Direkteinlagerung des Erntegutes ohne vorherige Aufbereitung künftig größere Bedeutung beizumessen ist, wurde für Kartoffelerntemaschinen die Forderung abgeleitet, durch entsprechende Trenneinrichtungen bei einem Kartoffeltrennfehler von $\leq 1,0\%$ Massenanteil ein einlagerungsfähiges Erntegut mit einem Restbeimengungsanteil von $\leq 10\%$ zu erzeugen [1]. Gegenwärtig auf Kartoffelerntemaschinen eingesetzte mechanische Trenneinrichtungen können diese Anforderungen nicht erfüllen (Tafel 1). Der Einsatz von Kartoffelerntemaschinen mit diesen Trenneinrichtungen ist auf Kartoffelanbauflächen mit einem Beimengungsbesatz von 5 bis 10 t/ha vorgesehen [5]. Das entspricht bei einem Kartoffelertrag von 25 t/ha einem Beimengungsanteil im Rodegemenge von 20 bis 40% Massenanteil. Um die gestellten Forderungen erfüllen zu können, werden die Trennfehler bei Kartoffeln und Beimengungen gegenwärtig durch Handarbeitskräfte korrigiert. Künftig sollen diese Arbeitskräfte durch verbesserte Trenneinrichtungen eingespart werden. Durch eine weitere Optimierung der bekannten mechanischen Trenneinrichtungen ist keine wesentliche Verbesserung der Trennergebnisse zu erwarten, so daß ein mehrstufiges Trennen von Kartoffeln und Beimengungen eine wirkungsvolle Alternative zum Erreichen der hohen Anforderungen darstellen kann. Unter mehrstufigen Trenneinrichtungen sind technische Einrichtungen zu verstehen, die einen Gutstrom in zeitlicher Aufeinanderfolge durch zwei oder mehrere Trennstufen in seine Komponenten zerlegen.

2. Stand der Technik

Mehrstufige Trenneinrichtungen für Kartoff-

elerntemaschinen lassen sich in vier Kategorien einteilen:

- Trenneinrichtungen mit Vor- und Haupttrennstufe
- Trenneinrichtungen mit Haupt- und Nachtrennstufe
- Trenneinrichtungen mit Vor-, Haupt- und Nachtrennstufe
- Trenneinrichtungen mit zwei aufeinander abgestimmten Haupttrennstufen.

Die Vor- und Nachtrennung wird bei gegenwärtig auf Kartoffelerntemaschinen eingesetzten und patentierten mehrstufigen Trenneinrichtungen durch neigungsverstellbare Glatt- oder Gummifingerbänder realisiert [6]. Als Haupttrennstufen werden Trenneinrichtungen nach dem Abweiserprinzip verwendet.

Zur Gewährleistung einer verlustarmen Kartoffelernte und eines beimengungsarmen Erntegutes werden von westeuropäischen Landmaschinenfirmen Kartoffelerntemaschinen mit mehrstufigen Trenneinrichtungen produziert, die gleichwertige Haupttrennstufen aufweisen:

- Fa. A. J. Tröster nutzt in der Steintrenneinrichtung SV zwei hintereinander angeordnete Gummifingerband-Bürstenwalzen-Trenneinrichtungen [7, 8].
- Fa. F. Grimme verwendet bei der Trenneinrichtung ST zwei versetzt hintereinander angeordnete Gummifingerband-Bürstenband-Trenneinrichtungen [8].
- Fa. L. Bergmann kombiniert in ihrer Spezial-Steintrennung zwei exzentergetriebene, über einem Gummifingerband höhenverstellbar angeordnete Abstreifer mit einer Gummifingerband-Bürstenwalzen-Trenneinrichtung [7, 8].
- Fa. Greverer Landmaschinenbau produziert eine zweistufige Trenneinrichtung, die aus zwei Gummifingerbändern und darüber angeordneten umlaufenden Gummifingerketten als Abstreifer besteht [9].

Den bisher eingesetzten mehrstufigen Trenneinrichtungen ist gemeinsam, daß eine Trenneinrichtung nach dem Abweiserprinzip mit einer weiteren mechanischen Trenneinrichtung in Reihe angeordnet und der Kartoffelgutstrom der zweiten Trennstufe dem Kartoffelgutstrom der ersten Trennstufe zugeführt wird.

3. Verfahrenstechnische Betrachtungen

Das Trennen von Kartoffeln und Beimengungen kann in Kartoffelerntemaschinen durch folgende Anordnung von Trenneinrichtungen realisiert werden (Bild 1):

- a) Einzelanordnung
- b) Reihenanordnung mit Zuführung eines

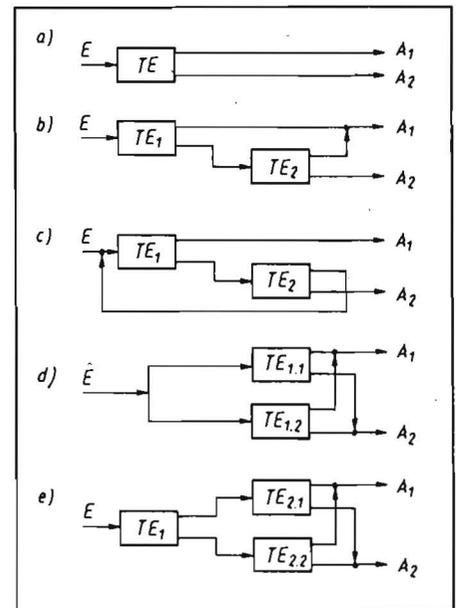


Bild 1. Möglichkeiten der Anordnung von Trennstufen in Kartoffelerntemaschinen

- c) Reihenanordnung mit Rückführung eines Teilgutstroms der zweiten Trenneinrichtung in den Eingangsgutstrom der ersten Trenneinrichtung
- d) Parallelanordnung, wobei der Gesamtgutstrom vor den Trenneinrichtungen in zwei oder mehrere Teilgutströme aufgeteilt wird
- e) gemischte Anordnung.

Bei der Festlegung der Anordnung der Trenneinrichtungen und der Anzahl der Bearbeitungsstufen sind neben dem zu erzielenden Trennergebnis die zulässige Beanspruchung der Kartoffeln, die Gesamtmasse und der maximale Leistungsbedarf der Kartoffelerntemaschine sowie der Platzbedarf auf der Maschine zu berücksichtigen.

Die weiteren Betrachtungen zum mehrstufigen Trennen auf Kartoffelerntemaschinen werden auf die Reihenanordnung nach Bild 1b und zwei Bearbeitungsstufen beschränkt. Die zweite Trennstufe wird dabei in den Beimengungsgutstrom der ersten Trennstufe eingeordnet, da die Einordnung in den Kartoffelgutstrom höhere Kartoffelverluste und zusätzliche Kartoffelbeanspruchungen zur Folge hat. Aus der Analyse der Masseströme für eine zweistufige Trenneinrichtung in Reihenanordnung auf der Grundlage eines Durchfluschemas (Bild 2) lassen sich Bilanzgleichungen ableiten, die zur Ermittlung von Prozeßparametern der Trenneinrichtung dienen.

Jede Trennstufe läßt sich durch den Prozeßparameter Trenngüte (Trennfehler) charakterisieren. Die Trenngüte stellt das Verhältnis des richtig getrennten Massenanteils einer Gemengekomponente zur Gesamtmasse dieser Komponente dar:

Tafel 1. Trenngüte von eingesetzten mechanischen Trenneinrichtungen in % Massenanteil

Trenneinrichtung	Trenngüte	
	Kartoffeln	Beimengungen
Gummifingerband - Bürstenwalze [2]	95	75
Gummifingerband - Bürstenband [3]	97	80
Gummifingerband - Gummifingerkamm [4]	95	65

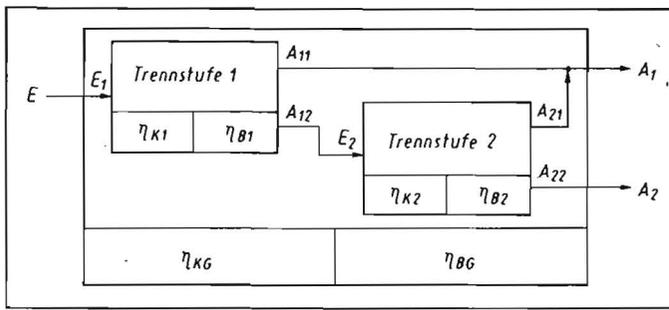


Bild 2
Durchflussschema einer zweistufigen Trenneinrichtung in Reihenanordnung

$$\eta = \frac{\dot{m}_R}{\dot{m}_G} = \frac{\dot{m}_R}{\dot{m}_K} \quad (1a)$$

Für Trennfehler gilt:

$$\delta = 1 - \eta \quad (1b)$$

Die Gutströme in Kartoffelerntemaschinen sind durch den Beimengungsanteil f_B , das Verhältnis zwischen der Masse der Beimengungen und der Kartoffelmasse, zu kennzeichnen:

$$f_B = \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_K} = \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_K} \quad (1c)$$

Der Eingangsmassestrom $\dot{m}_E = E$ einer zweistufigen Trenneinrichtung setzt sich aus einem Massestrom Kartoffeln \dot{m}_K und einem Massestrom Beimengungen \dot{m}_B zusammen:

$$\dot{m}_E = E = \dot{m}_K + \dot{m}_B \quad (2)$$

Dieser Gemengestrom wird durch die erste Trennstufe in die Ausgangsgutströme A_{11} und A_{12} getrennt. Der Gutstrom A_{11} bildet den Kartoffelgutstrom, in dem richtig getrennte Kartoffeln und falsch getrennte Beimengungen enthalten sind. Er ergibt sich zu:

$$A_{11} = \dot{m}_K \eta_{K1} + \dot{m}_B (1 - \eta_{B1}) \quad (3)$$

Der Beimengungsgutstrom A_{12} mit den richtig getrennten Beimengungen und den falsch getrennten Kartoffeln ist der Eingangsgutstrom der zweiten Trennstufe:

$$A_{12} = \dot{m}_K (1 - \eta_{K1}) + \dot{m}_B \eta_{B1} \quad (4)$$

Durch die zweite Trennstufe wird dieser Teilgutstrom erneut in zwei Ausgangsgutströme A_{21} und A_{22} aufgeteilt. Der Gutstrom A_{22} ist dabei identisch mit dem Beimengungsgutstrom A_2 der zweistufigen Trenneinrichtung:

$$A_2 = A_{22} = \dot{m}_K (1 - \eta_{K1})(1 - \eta_{K2}) + \dot{m}_B \eta_{B1} \eta_{B2} \quad (5)$$

Der Teilgutstrom A_{21} enthält die aus dem Beimengungsgutstrom A_{12} der ersten Trennstufe richtig getrennten Kartoffeln und fehlgetrennten Beimengungen:

$$A_{21} = \dot{m}_K (\eta_{K2} - \eta_{K1} \eta_{K2}) + \dot{m}_B (\eta_{B1} - \eta_{B1} \eta_{B2}) \quad (6)$$

Der Kartoffelgutstrom A_1 der zweistufigen Trenneinrichtung entsteht durch Zusammenführen der Teilgutströme A_{11} und A_{21} :

$$A_1 = A_{11} + A_{21} \quad (7a)$$

$$A_1 = \dot{m}_K (\eta_{K1} + \eta_{K2} - \eta_{K1} \eta_{K2}) + \dot{m}_B (1 - \eta_{B1} \eta_{B2}) \quad (7b)$$

Die aufgestellten Bilanzgleichungen für die Masseströme der zweistufigen Trenneinrichtung dienen als Grundlage für die Ermittlung

– der Gesamt-Trenngüte für Kartoffeln

$$\eta_{KG} = \eta_{K1} + \eta_{K2} - \eta_{K1} \eta_{K2} \quad (8)$$

und Beimengungen

$$\eta_{BG} = \eta_{B1} \eta_{B2} \quad (9)$$

– des Restbeimengungsanteils im Erntegut

$$f_{BR} = f_B \frac{1 - \eta_{BG}}{\eta_{KG}} \quad (10)$$

– des maximal zulässigen Beimengungsanteils im Rodegemenge in Abhängigkeit vom vorgegebenen Restbeimengungsanteil im Erntegut

$$f_B = f_{BR} \frac{\eta_{KG}}{1 - \eta_{BG}} \quad (11)$$

Bei zweistufigen Trenneinrichtungen sind die Betriebsparameter der ersten und zweiten Trennstufe so einzustellen, daß die Summe der Beimengungstrennfehler der beiden Trennstufen den zulässigen Restbeimengungsanteil im Erntegut nicht überschreitet.

Werden für die erste und zweite Trennstufe die in Tafel 1 aufgeführten Trenngüten für die Gemengekomponenten zugrunde gelegt und wird ein Restbeimengungsanteil von $\leq 10\%$ im Erntegut gefordert, so lassen sich mit den Gln. (8) bis (11) die in Tafel 2, Teil I, dargestellten Trennergebnisse ermitteln.

Wenn beide Trennstufen auf eine hohe Kartoffeltrenngüte eingestellt werden, können Kartoffeltrennfehler $\leq 1,0\%$ erzielt werden. Mit den erreichbaren Gesamt-Beimengungs-

trenngüten bleibt aber der Einsatz derartig eingestellter Trenneinrichtungen auf Standorte mit einem Beimengungsanteil im Rodegemenge von 19,5 bis 27,8% Massenanteil beschränkt.

Wird durch die erste Trennstufe eine hohe Trenngüte für Beimengungen erreicht, so entsteht ein großer Kartoffeltrennfehler, der in der zweiten Trennstufe durch eine hohe Trenngüte für Kartoffeln zu korrigieren ist. Die erzielbaren Trennergebnisse bei veränderter Einstellung der Trenngüte der ersten Trennstufe sind im Teil II von Tafel 2 zusammengefaßt.

Bei veränderten Prozeßparametern der ersten Trennstufe kann nur die zweistufige Gummifingerband-Bürstenband-Trenneinrichtung die gestellten Anforderungen erfüllen. Bei den anderen zweistufigen Trenneinrichtungen wird der zulässige Kartoffeltrennfehler überschritten.

Aus den Ergebnissen in Tafel 2 wird deutlich, daß zwischen den Prozeßparametern der beiden Trennstufen enge Wechselbeziehungen bestehen. In Abhängigkeit vom zu erzielenden Gesamtergebnis sind die erste und die zweite Trennstufe nur gemeinsam in ihren Prozeßparametern zu optimieren.

Durch Umstellen der Gln. (8) bis (10) und Einsetzen der geforderten Werte für die Gesamt-Kartoffeltrenngüte und den Restbeimengungsanteil im Erntegut lassen sich die erforderlichen Trenngüten der zweiten Trennstufe für Kartoffeln und Beimengungen ermitteln:

$$\eta_{K2} = \frac{\eta_{KG} - \eta_{K1}}{1 - \eta_{K1}} \quad (12)$$

$$\eta_{B2} = \frac{1 - \frac{f_{BR}}{f_B} \eta_{KG}}{\eta_{B1}} \quad (13)$$

Sie sind in Abhängigkeit von der erreichbaren Trenngüte der ersten Trennstufe in den Bildern 3 und 4 grafisch dargestellt.

Erreicht die erste Trennstufe Trenngüten für Kartoffeln von 75% und für Beimengungen von 95%, so werden für die zweite Trennstufe eine Kartoffeltrenngüte von 96% und bei Beimengungsanteilen im Rodegemenge von 20 bis 40% eine Beimengungstrenngüte von 53 bis 79% notwendig.

Die Gutstromzusammensetzung des Eingangsgemenges der zweiten Trennstufe und die Auswahl von Trennmerkmalen, die in der zweiten Stufe zur Trennung genutzt werden sollen, sind vom Wirkprinzip und von den Betriebs- und Konstruktionsparametern der ersten Trennstufe abhängig. Zur Auswahl einer Trenneinrichtung, die als zweite Trenn-

Tafel 2. Gesamt-Trenngüte für Kartoffeln η_{KG} und Beimengungen η_{BG} , Restbeimengungsanteil f_{BR} und maximal zulässiger Beimengungsanteil im Rodegemenge f_B für zweistufige Trenneinrichtungen in % Massenanteil

erste Trennstufe	zweite Trennstufe	η_{K1}	η_{K2}	η_{KG}	η_{B1}	η_{B2}	η_{BG}	f_{BR} ($f_B = 20\%$)	f_{BR} ($f_B = 40\%$)	f_B ($f_{BR} = 10\%$)
I Gummifingerband – Bürstenwalze	Gummifingerband – Bürstenwalze	95	95	99,8	75	75	56,3	8,8	17,5	22,8
	Gummifingerband – Bürstenband	97	97	99,9	80	80	64,0	7,2	14,4	27,8
	Gummifingerband – Gummifingerkamm	95	95	99,8	65	65	48,8	10,3	20,6	19,5
II Gummifingerband – Bürstenwalze	Gummifingerband – Bürstenwalze	75	95	98,8	95	75	71,3	5,8	11,6	34,3
	Gummifingerband – Bürstenband	80	97	99,4	97	80	77,6	4,5	9,0	44,4
	Gummifingerband – Gummifingerkamm	65	95	98,3	95	75	71,3	5,9	11,7	34,2

stufe verwendet werden soll, sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Anforderungen an das Gesamt-Trennergebnis
- Trennergebnis der ersten Trennstufe
- gegenüber der ersten Trennstufe veränderte Gutstromzusammensetzung des Eingangsgemenges der zweiten Trennstufe
- mögliche Veränderung der Häufigkeitsverteilung von Merkmalswerten bestimmter Trennmerkmale.

4. Zusammenfassung

Mehrstufige Trenneinrichtungen in Kartoffelerntemaschinen sind eine Möglichkeit, um die Trennergebnisse gegenwärtig eingesetzter mechanischer Trenneinrichtungen im Sinne der Verlustsenkung und Reduzierung des Beimengungsanteils im Erntegut zu verbessern. Im Beitrag werden theoretische Grundlagen sowie Möglichkeiten und Grenzen mehrstufiger Trenneinrichtungen dargestellt.

Literatur

- [1] Adermann, H.; Kühn, G.: Zur pneumatischen Beimengungstrennung bei der Kartoffelernte und -aufbereitung. Wissenschaftliche Beiträge der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Berlin 5 (1986) 3, S. 24-34.
- [2] Röhrs, F.: Trennung von Kartoffeln und Steinen auf einem Gummifingerband mit Bürstenwalze. Landtechnische Forschung, München 14 (1964) 4, S. 106-110.
- [3] Untersuchungen zum Trennen von Kluten und Kartoffeln RTL E686 (Ablenprinzip). VEB Inge-

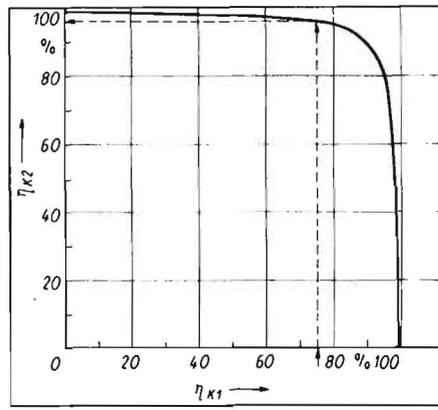


Bild 3. Abhängigkeit der Kartoffeltrenngüte der zweiten Trennstufe von der Kartoffeltrenngüte der ersten Trennstufe ($\eta_{KG} = 99\%$)

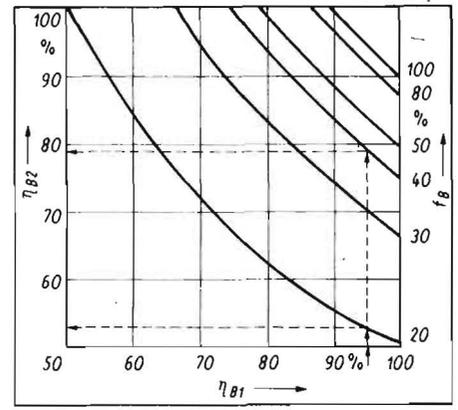


Bild 4. Abhängigkeit der Beimengungstrenngüte der zweiten Trennstufe von der Beimengungstrenngüte der ersten Trennstufe ($\eta_{KG} = 99\%$, $f_{BR} = 10\%$)

nieurbetrieb für Landmaschinentechnik Leipzig, Bericht 1982.

- [4] Kricheldorf, A.; Vent, W.: Zur Konstruktion der einreihigen Kartoffelerntemaschine E689. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 3, S. 110-113.
- [5] Leberecht, P.; Hacker, A.: Ergebnisse und Hinweise zum Einsatz des neuen Rodetrennladers E686. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 8, S. 340-343.
- [6] Kasbohm, P.: Untersuchungen zur Auswahl geeigneter Kombinationen und Kopplungen physikalischer Wirkprinzipie für eine zweistufige Trenneinrichtung auf Kartoffelerntemaschinen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sek-

tion Mechanisierung der Pflanzenproduktion, Diplomarbeit 1986.

- [7] Specht, A.: Maschinen für das Legen und Ernten auf der DLG-Ausstellung in Frankfurt. Der Kartoffelbau, Gelsenkirchen-Buer 35 (1984) 7, S. 296-299.
- [8] Peters, R.: Verbesserte Trenneinrichtungen für Kartoffelsammelroder. Landtechnik, Lehrte 39 (1984) 9, S. 422-425.
- [9] Specht, A.: Maschinen für das Kartoffellegen und -ernten auf der AGRITECHNICA '85. Der Kartoffelbau, Gelsenkirchen-Buer 36 (1985) 12, S. 440-443.

A 4984

Technologische Möglichkeiten zur rationellen Gestaltung des Erntesammeltransports von Kartoffeln

Dr. sc. H. Heimbürgel, KDT, Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock der AdL der DDR

In der Landwirtschaft der DDR werden rd. 40% der Kosten und der Arbeitskräfte sowie 58% des Dieselkraftstoffs [1] für Transport-, Umschlag- und Lagerarbeiten (TUL-Arbeiten) benötigt. Dabei stellen die TUL-Prozesse allgemein einen Schwerpunkt bei der rationellen und bodenschonenden Gestaltung der Produktion dar. Vielfältige Ansatzpunkte hierzu resultieren auch aus den Prozessen, die den TUL-Arbeiten vor- oder nachgelagert sind.

Derzeitiger Stand

Hohe Beimengungsanteile im Kartoffelerntegut bedeuten immer eine Verschlechterung der Transportökonomie und gleichzeitig eine entsprechend höhere Bodenbelastung. Hauptächlichste Ursachen für eine Effektivitätsminderung beim Transport sind:

- nicht ausreichende agronomische Disziplin bei der Bearbeitung der Kartoffelflächen und daraus resultierend höhere Klutenanteile
- Einsatz von Rodeladern auf dafür nicht geeigneten Standorten, was zwangsläufig zum höheren Beimengungsbesatz führt
- Ernte und Transport im ungünstigen Feuchtigkeits- und Temperaturbereich,

was auch zu einer höheren Beschädigungsempfindlichkeit der Kartoffeln führt

- zu große Fahrstrecken auf dem Feld bei der Zu- und Abfahrt zur bzw. von der Erntemaschine bis zum Feldrand
- zu große Transportentfernungen.

Außerdem ist generell festzustellen, daß mit den derzeitigt verfügbaren Transportmitteln - LKW W50, Anhänger HW 80.11 und HW 60.11 - Auflagedrücke zwischen 250 und 340 kPa und Radlasten zwischen 2 und 3 t verursacht werden, was eine viel zu hohe Bodenbelastung bedeutet. Darüber hinaus ist der Erntesammeltransport von Kartoffeln (vor allem beim Einsatz von Doppelzügen) mit viel zu großem Schlupf der Zugfahrzeuge und einer zu hohen Überrollhäufigkeit verbunden.

Spezifische Probleme der Bodenbelastung

Zur Quantifizierung der Schädwirkungen von Fahrzeugen auf den Boden wird in der DDR seit einigen Jahren interdisziplinäre Grundlagenforschung betrieben. Aus dem gegenwärtigen Erkenntnisstand kann bereits abgeleitet werden, daß

- die Radlast
- der Auflagedruck

- die Überrollhäufigkeit
- die über das Feld bewegten Gesamtmasse (dazu gehört auch die Eigenmasse der technischen Arbeitsmittel)

gravierenden Einfluß auf die Bodenschädigung haben.

In der DDR werden derzeit verschiedene technische Maßnahmen zur Verringerung des spezifischen Auflagedrucks realisiert (z. B. Zwillingbereifung, Niederdruckbereifung). Forschung und Industrie stehen vor der Aufgabe, künftig nur solche neuen technischen Lösungen zu bringen, die einen spezifischen Auflagedruck von ≤ 200 kPa und später von < 150 kPa bzw. < 80 kPa aufweisen.

Unabhängig von bereits technisch realisierbaren bzw. gegenwärtig noch nicht umsetzbaren Maßnahmen zur Senkung der Bodenbelastung kann bereits jetzt von den Landwirtschaftsbetrieben über technologische Maßnahmen zu einer Senkung der Bodenbelastung beigetragen werden. Das betrifft besonders die über das Feld zu bewegendes Eigenmassen und die dabei gefahrenen Strecken.

In der Praxis werden gegenwärtig viel zu große Strecken vom Feldrand zur Erntema-