

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Kennfelder der dynamischen Federsteifigkeit und des Dämpfungsgrades als Funktion des Reifeninnendruckes und der Fahrgeschwindigkeit ermöglichen einen Gesamtüberblick über die dynamischen Grundschiwingungseigenschaften von AS-Reifen.

Generell liegen die dynamischen Federkennwerte der rollenden Reifen um etwa 15–20 % niedriger als die aus den statischen Federkennlinien der nicht-rollenden Reifen ermittelten.

Die dynamische Federsteifigkeit steigt linear mit dem Reifeninnendruck an. Sie fällt vom nicht-rollenden zum rollenden Zustand um etwa 15 % ab und bleibt im Geschwindigkeitsbereich 5–50 km/h nahezu konstant. Wesentliche reifenspezifische Einflußgrößen sind die Reifenprofilierung, das Bauvolumen und die Bauart.

Die Reifenprofilierung führt zu einer Versteifung des Reifenaufbaus; das Bauvolumen bestimmt die Aufstandsfläche und damit die Traglast und die Bauart die Karkassensteifigkeit. Diagonalreifen weisen prinzipiell höhere Federsteifigkeiten auf als Radialreifen.

Die Dämpfungseigenschaften von AS-Reifen werden insbesondere im Geschwindigkeitsbereich bis 25 bzw. 30 km/h vom Reifeninnendruck und der Reifenbauart beeinflusst. Ein höherer Reifeninnendruck reduziert die Reifendämpfung. Diagonalreifen haben wegen der größeren inneren Verformungsvorgänge und der größeren Kontaktflächenreibung größere Dämpfungswerte als Radialreifen.

Oberhalb einer Fahrgeschwindigkeit von 25–30 km/h liegen die Werte bei allen untersuchten Reifen und unabhängig von sonstigen Betriebsbedingungen auf gleichem niedrigem Niveau.

Eine Verbesserung der Fahrsicherheit im höheren Geschwindigkeitsbereich kann aus diesen Gründen nicht durch eine Anhebung der inneren Dämpfung des Reifens erfolgen. Lediglich größere Einfederungswege, d.h. kleinere dynamische Federsteifigkeiten, sind ein taugliches Mittel zur Verbesserung der Fahrdynamik.

Da neben den niederfrequenten Schwingungseigenschaften von AS-Reifen mit zunehmender Rollgeschwindigkeit Eigenschaften wie das Überrollverhalten, die Profilerregung und das Rundlaufverhalten von zunehmendem Interesse hinsichtlich der Fahrdynamik und Fahrsicherheit sind, werden diese Größen in einer weiteren Veröffentlichung vorgestellt und bewertet.

Schrifttum

- [1] *Göhlich, H. u. A. Kising:* Flachbahnreifenprüfstand zur Kennwertermittlung von großvolumigen Traktor- und Baumaschinenreifen. TU-Forschung aktuell Jg. 4 (1987) Nr. 16/77, S. 52/54.
- [2] *Kising, A.:* Kenndatenermittlung von AS-Reifen für höhere Geschwindigkeiten als Basis numerischer Simulation. Vortrag Internationale Tagung Landtechnik, Braunschweig 22./23. Okt. 1987.
- [3] *Kising, A. u. H. Göhlich:* Dynamic properties of agricultural tyres. Vortrag AG-ENG, Paris 1988.
- [4] *Kising, A. u. H. Göhlich:* AS-Reifendynamik — Teil 1: Fahrbahn- und Prüfstandsergebnisse. Grndl. Landtechnik Bd. 38 (1988) Nr. 3, S. 78/87.
- [5] *Hahn, W.D.:* Die Federungs- und Dämpfungseigenschaften von Luftreifen bei vertikaler Wechsellast. Diss. TH Hannover 1972.

Kenngröße zum Bewerten von Bodenbearbeitungswerkzeugen und -geräten bei experimentellen Vergleichen

Von Otto Bosse und Wolf-Dieter Kalk, Müncheberg*)

DK 631.31:631.43

Für den Vergleich experimentell untersuchter Bodenbearbeitungswerkzeuge und -geräte und die Auswahl am besten geeigneter Varianten wird eine Bewertungskenngröße gefordert, die sowohl den Energieaufwand als auch die aufgenommenen Werte aller für die Bewertung des Bodenzustandes wichtigen Kriterien beinhaltet.

Es wird hier als Bewertungskenngröße die Vergleichsenergie vorgeschlagen, die als Quotient aus Energieaufwand und Bearbeitungsergebnis definiert ist. Das Bearbeitungsergebnis wird mit entsprechender Wichtung errechnet aus dimensionslosen Bewertungszahlen, die für jedes Bewertungskriterium — z.B. Bodenzustand, Zerkleinerung und Verdichtung — aus den vor und nach der Bearbeitung aufgenommenen Werten und den für den angestrebten Endzustand geforderten Zielwerten bestimmt werden.

*) *Dr. agr. O. Bosse und Dr. sc. techn. W.-D. Kalk sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg (Direktor: Prof. Dr. sc. P. Kundler) der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR.*

1. Einleitung

Ein wichtiger Gegenstand der landtechnischen Bodenbearbeitungsforschung ist die möglichst objektive Auswahl von Werkzeugen und Geräten zur zielgerichteten und strukturschonenden Veränderung des Bodenzustandes. Jedes Bodenbearbeitungswerkzeug wird durch Zufuhr von Energie entsprechend den Betriebsparametern gegenüber dem Boden bewegt, wodurch Kräfte und Momente zwischen Werkzeug und Boden entstehen, die infolge mechanischer Spannungen im Boden (Beanspruchungszustand) dessen Deformation und Zerkleinerung (Bruchzustand) sowie das Verschieben des Bodens verursachen und die angestrebte Bodenzustandsveränderung bewirken, **Bild 1**. Der veränderte Bodenzustand ist der Nutzen der Bodenbearbeitung, die dafür aufgewendete Energie der Aufwand [3 bis 6].

Für die Bewertung von Werkzeugen und Geräten beim Bearbeiten des Bodens wird in der Regel der Zerkleinerungserfolg, d.h. das Verhältnis aus Zerkleinerungsergebnis und Energieaufwand genutzt [3]. Diese Bewertungskenngröße ist jedoch nicht umfassend genug. Neben dem Zerkleinern auftretende Bearbeitungswirkungen, z.B. Wenden, Lockern, Mischen, bleiben unberücksichtigt. Beim Vergleich von Werkzeugen, bei deren Einsatz unterschiedliche Energieverluste zwischen Schleppermotor und Werkzeug auftreten, z.B. bei gezogenen bzw. getriebenen Werkzeugen [7], führt das alleinige Verwenden der am Werkzeug verbrauchten Energie als Energieaufwand zu Fehlaussagen. Ändern sich Zerkleinerungsergebnis und Energieaufwand verhältnismäßig, ist ein Unterscheiden der Varianten nicht möglich.

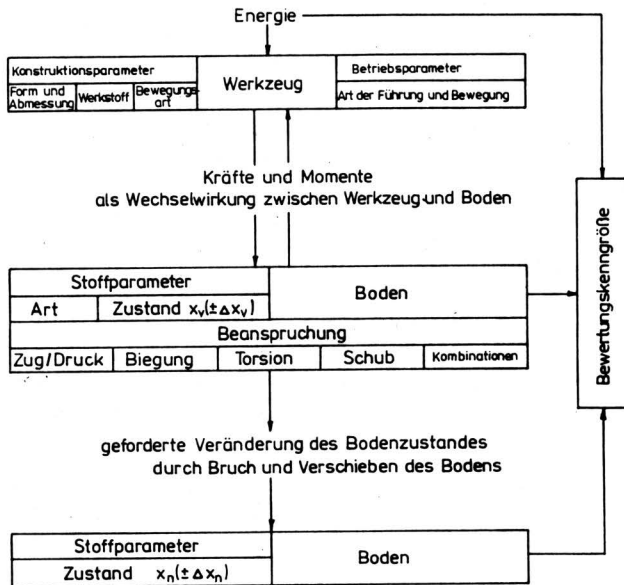


Bild 1. Blockschema für die Wirkpaarung Werkzeug – Boden; in Anlehnung an Plötner [1] und Soucek u.a. [2].

Demnach ist eine neue Bewertungskenngröße abzuleiten, die das für den Vergleich der jeweiligen Varianten geeignete Maß des Energieaufwands und die repräsentativen Kenngrößen der Bodenzustandsveränderung beinhaltet.

2. Ableiten einer Bewertungskenngröße

Nach Müller [8] ist Bewerten keine ausschließlich mathematische Aufgabe, die mit Berechnungsverfahren allein gelöst und vollständig objektiviert werden kann. In erster Linie ist es eine schöpferische Tätigkeit zur Lösung eines Problems. Das Bewerten läßt sich nur durchführen, wenn Klarheit über das zu erreichende Ziel besteht. Anhand einer zweckmäßigen Operationsfolge für die Bewertung [9, 10] ist die gesuchte Bewertungskenngröße abzuleiten.

2.1 Festlegen der Bewertungskriterien

Die vom einzusetzenden Werkzeug bzw. Gerät zu erfüllenden Forderungen ergeben sich aus dem vor der Bearbeitung vorliegenden Zustand des Bodens und dem angestrebten Endzustand für den jeweiligen Arbeitsgang, Tafel 1. Für die Erfüllung der Forderungen ist ein Gerät mit nur einer Werkzeugart trotz mehrerer Bearbeitungswirkungen, Bild 2, meist nicht ausreichend. Werkzeuge mit unterschiedlichen Haupt- und Nebenwirkungen werden kombiniert, um den angestrebten Endzustand im festgelegten Toleranzbereich zu erreichen. Anhand der geforderten Bodenzustandsveränderung, d.h. des Bearbeitungszieles, sind die Bewertungskriterien für die Varianten abzuleiten, z.B. Lockern, Zerkleinern, Einebnen.

Nicht in jedem Fall müssen die Bearbeitungswirkungen nach Bild 2 als Bewertungskriterien gewählt werden. Zum Beispiel kann auf erosionsgefährdeten Flächen die Verteilung organischer Rückstände an der Bodenoberfläche oder die Rauigkeit wichtig sein.

Fruchtart	Richtwert		Prüfmethode
	Rauhtiefe cm		
Getreide und Körnerfrüchte	5		Messen der Rauhtiefe nach der Bearbeitung; visuelle Kontrolle der Arbeitsrichtung
Beta-Rüben	4		
Kartoffeln	6		
	Aggregatgröße mm	Aggregatanteil %	
Weizen, Mais, Körnerleguminosen	≤ 40 ≤ 10	≥ 75 ≥ 40	Aggregatgrößenverteilung mit Gitterrahmen 50 cm mal 50 cm ermitteln
Roggen, Gerste, Hafer	≤ 40 ≤ 10	≥ 80 ≥ 45	
Raps und Feinsämereien	≤ 40 ≤ 10	≥ 90 ≥ 75	
Beta-Rüben	≤ 40 ≤ 10	≥ 90 ≥ 50	
Kartoffeln	≤ 40 ≤ 10	≥ 90 ≥ 40	
Bodenaggregate > 80 mm dürfen nicht vorkommen			

Tafel 1. Auszug aus den Gütevorschriften für die Saatbettbereitung [11].

Analog zur Bewertung technischer und technologischer Varianten [8, 12] genügt es nicht, nur ein Bewertungskriterium für den Vergleich zu nutzen [13, 14]. Alle Gebrauchseigenschaften sind Bewertungskriterien. Die Auswahl der Kriterien hat entsprechend dem Bearbeitungsziel zu erfolgen. Mehrfaches Erfassen einer Bearbeitungswirkung durch Nutzen von Kriterien verschiedener Kri- terienebenen ist zu vermeiden. Ein Abweichen von dieser Regel kann erforderlich werden, wenn nicht alle gewünschten Bearbeitungswirkungen durch die Bewertungskriterien einer Ebene erfassbar sind, z.B. können auf Böden, die zur Verschläm- mung neigen, an der Bodenoberfläche neben feinen Aggregaten auch grobe Aggregate gefordert werden [15], die jedoch innerhalb der Saatgutablagezone von Nachteil sind. Mit der Siebanalyse sind diese Unterschiede nicht bestimmbar. Das Bonitieren des nach der Bearbeitung erreichten Bodenzustandes kann eine Lösung des Problems sein.

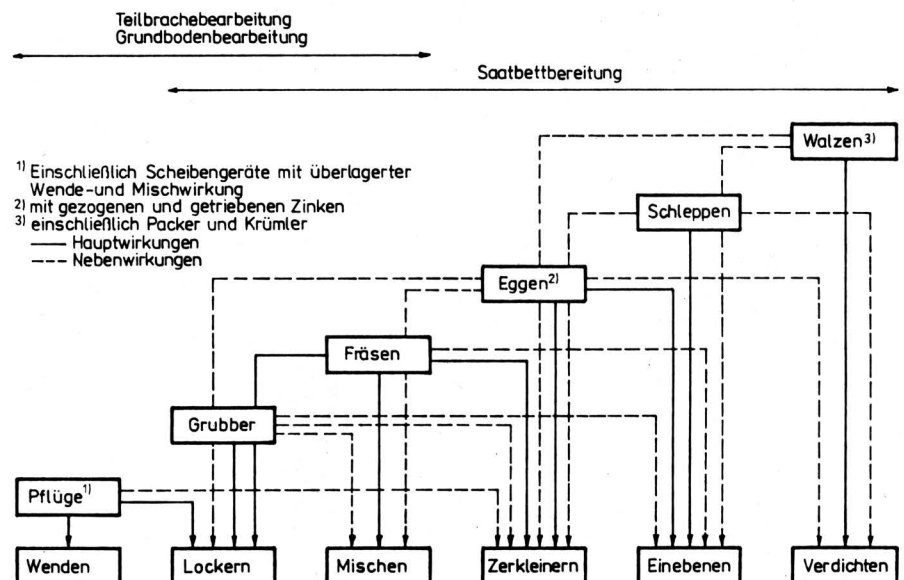


Bild 2. Geräte zur Bodenbearbeitung und ihre Bearbeitungswirkungen.

2.2 Wertebeschaffung

Die Werte für die Kriterien werden beim Messen oder Bonitieren der Bearbeitungswirkungen von Bodenbearbeitungswerkzeugen in Modell- oder Feldversuchen ermittelt. Je nach Aufgabenstellung ist durch die experimentellen Untersuchungen die beste Variante auszuwählen, oder die Varianten sind mit einem Standard zu vergleichen. Die Anzahl der Wiederholungen hängt von der Streuung der aufgenommenen Werte ab und kann anhand von Vorversuchen errechnet werden [9].

Nicht für alle Bewertungskriterien der Bodenbearbeitung gibt es gegenwärtig bei experimentellen Untersuchungen handhabbare Meßverfahren und zu ermittelnde Meßgrößen. Solche Bewertungskriterien sind z.B. die Bearbeitungswirkungen Wenden, Mischen. Um diese Bewertungskriterien trotzdem in die Bewertung einzu-beziehen, muß die Wertebeschaffung über Bonitieren durch Experten erfolgen. Die Bewertung eines Werkzeuges oder Gerätes ist in jedem Fall mit Mängeln behaftet, wenn aufgrund fehlender Meßverfahren auf die Bewertung wichtiger Bearbeitungswirkungen verzichtet wird.

Grundsätzlich gilt die Regel: Messen ist besser als Bonitieren, und Bonitieren ist besser als Nichterfassen eines wichtigen Kriteriums. Gelingt es, auch für gegenwärtig nur durch Bonitieren zu erfassende Bewertungskriterien Meßgrößen und geeignete Meßverfahren mit exakter Widerspiegelung der Bearbeitungswirkung zu finden, kann auf das Bonitieren dieser Bewertungskriterien verzichtet werden.

2.3 Berechnen der Bewertungszahlen

Es besteht die Notwendigkeit, die aufgenommenen Werte der Kriterien jeder Variante in einer Zahl zusammenzufassen, die ein Maß für den Gebrauchswert des Bearbeitungsergebnisses darstellt [8, 16, 17]. Eine Verknüpfung mehrerer unterschiedlich skaliertes Bewertungszahlen setzt ein Vergleichsbarmachen voraus. Meist werden Bewertungszahlen auf eine Intervallskala mit den Elementen 0; 1; 2; 3; 4 transformiert [8, 9]. Wegen der im Acker- und Pflanzenbau üblichen Boniturskala mit den Elementen 1 bis 9 [18] ist die Skala von 0 bis 4 nicht geeignet. Frese [13] schlug bereits vor 30 Jahren vor, eine Zahlenskala von 0 bis 100 für jede meßbare Eigenschaft bei der Bodenbearbeitung zu schaffen. Analog dazu wird zum Vergleichsbarmachen eine hundertteilige Skala zwischen 0 und 1,0 gewählt. Die Zuordnung der aufgenommenen Werte zu dieser Skala erfordert zwei Schritte.

Zunächst sind für jedes Bewertungskriterium i jeder Variante j die erreichte Differenz D_e anhand der vor der Bearbeitung aufgenommenen Werte M_v und der nach der Bearbeitung aufgenommenen Werte M_n

$$D_{e,ji} = M_{n,ji} - M_{v,ji} \quad (1)$$

sowie die geforderte Differenz D_z mit Hilfe des Zielwertes für das Bewertungskriterium M_z zu errechnen

$$D_{z,ji} = M_{z,i} - M_{v,ji} \quad (2)$$

Zielwerte für die Bewertungskriterien sind die geforderten Optimalwerte des Bearbeitungsergebnisses, **Tafel 2**. Liegt vor der Bearbeitung unbearbeiteter Boden vor, ist M_v gleich Null. Weist der Bodenzustand vor der Bearbeitung für alle Varianten keine gesicherten Unterschiede auf, ist ein einheitlicher Bodenzustand $M_{v,i}$ zu ermitteln.

Die Bewertungszahlen der Kriterien i jeder Variante j sind mit Hilfe des Quotienten

$$Z_{ji} = \frac{D_{e,ji}}{D_{z,ji}} = \frac{M_{n,ji} - M_{v,ji}}{M_{z,i} - M_{v,ji}} \quad (3)$$

zu errechnen. Die Bewertungszahl 1 ergibt sich, wenn der nach der Bearbeitung aufgenommene Wert M_n gleich dem Zielwert M_z ist.

Bearbeitungswirkung	Meßmethode	gemessene bzw. errechnete Größe	Wert vor der Bearbeitung $M_{v,ji}$	Zielwert $M_{z,i}$
Zerkleinern	Zählrahmen	Anteil bestimmter Aggregatgrößen	Anteil der Aggregate ≤ 40 mm ... %	Anteil der Aggregate ≤ 40 mm 80 % ¹⁾
	Siebung	gewogener mittlerer Durchmesser (GMD)	GMD = ... mm	GMD = 10–12 mm ²⁾
Aufrauen	Festpunkt-methode [19]	Streuung der Rauhgigkeit	gemessene Streuung	Streuung 10 mm ³⁾
Einebnen	Festpunkt-methode	Streuung der Rauhgigkeit	gemessene Streuung	Streuung 10 mm
Lockern	Festpunkt-methode	Differenz der Oberflächenhöhe vor und nach der Bearbeitung	Oberflächenhöhe ...	je nach Arbeitsart, z.B. beim Pflügen 100 mm Lockern gegenüber M_v
Verdichten	Festpunkt-methode	Differenz der Oberflächenhöhe vor und nach der Bearbeitung	Oberflächenhöhe ...	je nach Bodendichte, z.B. nach dem Pflügen 100 mm Verdichten gegenüber M_v
Bodenzustand ⁴⁾	keine	Boniturnote	Note ...	Note 9
Oberflächen-gestaltung ⁵⁾	keine	Boniturnote	Note ...	Note 9

1) Beispiel für die Saatbettbereitung zu Getreide (Tafel 1)

2) Beispiel für Winterroggen und Winterweizen [15]

3) $M_z = 10$ mm entspricht einer Rauhtiefe von 50 mm (Tafel 1), wenn man berücksichtigt, daß sich 99 % der Werte im Bereich $\pm 2,58$ s befinden [20]. Dieser Zielwert wird je nach Bodenzustand vor der Bearbeitung durch Werkzeuge zum Aufrauen oder durch Werkzeuge zum Einebnen erreicht

4) unter Berücksichtigung der Strukturverbesserung, z.B. der Verteilung grober Aggregate an der Bodenoberfläche hinsichtlich des Vermeidens von Verschlämmung, der Gleichmäßigkeit der Bearbeitung, verschmierter oder verdichteter Aggregate

5) unter besonderer Berücksichtigung technologisch bedingter Unebenheiten

Tafel 2. Beispiele zur Werteermittlung.

Die Bewertungszahl wird Null, wenn M_n gleich M_v ist. Bei Überschreiten des Optimalwertes ist die Skalierung so zu erweitern, daß die umgerechnete Bewertungszahl ebenfalls kleiner 1,0 wird (z.B. folgt aus $Z_i = 1,1$ bei zu stark verdichtetem Boden $Z_{ki} = 0,9$). Soll der Optimalwert einen Bodenzustandbereich repräsentieren, kann für diesen Bereich der Wert 1,0 vorgesehen werden.

Ist das unter den jeweiligen Bedingungen geforderte Ergebnis als Zielwert nicht bekannt (z.B. Verdichtungsergebnis für einen beliebigen Saatbettbereitungsgang) oder sind für das Erreichen des angestrebten Endzustandes noch weitere Arbeitsgänge erforderlich, kann bei Vergleichsuntersuchungen mehrerer Werkzeug- oder Gerätevarianten auch ein für den Arbeitsgang erreichbares Ergebnis als Zielwert genutzt werden. Bei der Annahme von Zielwerten ist jedoch zu beachten, daß ein Überschreiten dieser Werte nicht erfolgen darf, weil sonst Fehlaussagen bei der Variantenauswahl möglich sind.

2.4 Berechnen des Bearbeitungsergebnisses

Sind alle Bewertungskriterien gleichwertig, ergibt der arithmetische Mittelwert der Bewertungszahlen nach Gl. (3) das erreichte Bearbeitungsergebnis:

$$E_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{ji} \quad (4)$$

Bei der Bodenbearbeitung kann sich je nach gegebenem Bodenzustand und angestrebtem Endzustand die vordringliche Bedeutung einzelner Bewertungskriterien gegenüber anderen ändern [13]. Diese Differenzierung ist durch Wichtung der Kriterien und die Verknüpfung der gewichteten Kriterien zu berücksichtigen

$$E_j = \sum_{i=1}^n c_i Z_{ji} \quad (5)$$

Wie bei technischen und technologischen Vergleichen [8, 9] wird bei der Bodenbearbeitung eine lineare Bewertungsfunktion gewählt. Die Wichtungsfaktoren sind zu normieren

$$\sum_{i=1}^n c_i = 1 \quad (6)$$

2.5 Berechnen der Bewertungskenngröße

Für die Auswahl der besten Variante sind Nutzen und Aufwand miteinander zu verrechnen. *Regge* [3] benutzte dazu den Quotienten aus Zerkleinerungsergebnis und Energieaufwand

$$\kappa = \frac{D_0}{W_B} \quad (7)$$

In der Regel ermöglicht diese Bewertungskenngröße eine Unterscheidung der Varianten. Ändert sich jedoch, z.B. beim Vergleich von gezogenen und getriebenen Werkzeugen, das Zerkleinerungsergebnis um einen bestimmten Betrag und die für die Zerkleinerung verbrauchte Energie im gleichen Verhältnis, ergibt sich der gleiche Zerkleinerungserfolg.

Einen Ausweg zeigte bereits *Frese* [13], indem er vorschlug, den Erfolg eines zu prüfenden Gerätes durch den Arbeitsaufwand zu kennzeichnen, der für das Herstellen des angestrebten Endzustandes notwendig ist. Der angestrebte Endzustand ist anhand der Zielwerte zu errechnen und entspricht einem Bearbeitungsergebnis E_j von 1,0. Da bei den experimentellen Untersuchungen nicht die im Boden verrichtete Nutzarbeit sowie die Verlustarbeit an Stützelementen und Werkzeugen, sondern die an das Werkzeug oder Gerät übertragene Energie gemessen wird, sollte die für das Bearbeitungsergebnis verbrauchte Energie und nicht der Arbeitsaufwand verwendet werden. Für reale Vergleiche bei unterschiedlichen Energieverlusten zwischen Motor und Werkzeug ist die Motorenergie zu verwenden [7]. Aus der verbrauchten Energie w_j und dem errechneten Bearbeitungsergebnis (Gln. (4) bzw. (5)) läßt sich die für den angestrebten Endzustand erforderliche Energie errechnen, die als Vergleichsenergie $w_{v,j}$ zur Bewertung genutzt werden kann

$$w_{v,j} = \frac{w_j}{E_j} \quad (8)$$

3. Diskussion der abgeleiteten Bewertungskenngröße

Die Bewertungskenngröße Vergleichsenergie (Gl. (8)) stellt zwar gegenüber dem Zerkleinerungserfolg (Gl. (7)) mathematisch nur den Kehrwert dar, sie hat aber gegenüber diesem folgende Vorteile:

Es werden alle entsprechend dem Bearbeitungsziel wichtigen Bewertungskriterien gleichwertig oder nach der Bedeutung gewichtet einbezogen. Die Bewertungszahlen der Kriterien beinhalten in der Regel die Differenz des Bodenzustandes vor und nach der Bearbeitung, bei Untersuchungen auf un bearbeitetem Boden den Zustand nach der Bearbeitung. Durch Einbeziehung des angestrebten Endzustandes (Zielwerte Tafel 2) geht bei jedem Kriterium die prozentuale Erfüllung und beim Bearbeitungsergebnis die

durchschnittliche prozentuale Erfüllung des angestrebten Endzustandes ein. Die Vergleichsenergie als Quotient aus Energieaufwand und Bearbeitungsergebnis stellt anschaulich den Energiebedarf dar, der zum Erreichen des angestrebten Endzustandes mit dem untersuchten Werkzeug und Gerät hätte aufgewendet werden müssen. Eine Ausnahme bilden Varianten, bei denen der Zielwert eines oder mehrerer Bewertungskriterien durch zu intensives Bearbeiten überschritten wird und die Bewertungszahlen dieser Kriterien — wie oben begründet — kleiner 1,0 werden. Für diese Varianten wurde mehr Energie aufgewendet als zur Erfüllung des angestrebten Endzustandes notwendig gewesen wäre. Deshalb kann die Vergleichsenergie nicht zur exakten Berechnung des Energiebedarfs für einen angestrebten Endzustand verwendet werden.

Ein Vorschlag, die Differenz aus dem Energiebedarf für das geforderte Bearbeitungsergebnis und der verbrauchten Energie für das erreichte Bearbeitungsergebnis als Bewertungskriterium zu nutzen [21], hat sich nicht bewährt, weil die für das Bearbeitungsergebnis verbrauchte Energie in der errechneten Energiedifferenz nicht enthalten ist und demzufolge Fehlaussagen möglich sind.

Zuverlässige Entscheidungen bei der Variantenauswahl mit Hilfe der Bewertungskenngröße Vergleichsenergie erfordern ergänzend eine Einschätzung jedes Bewertungskriteriums hinsichtlich der Erfüllung des Zielwertes und eine Fehlerbetrachtung.

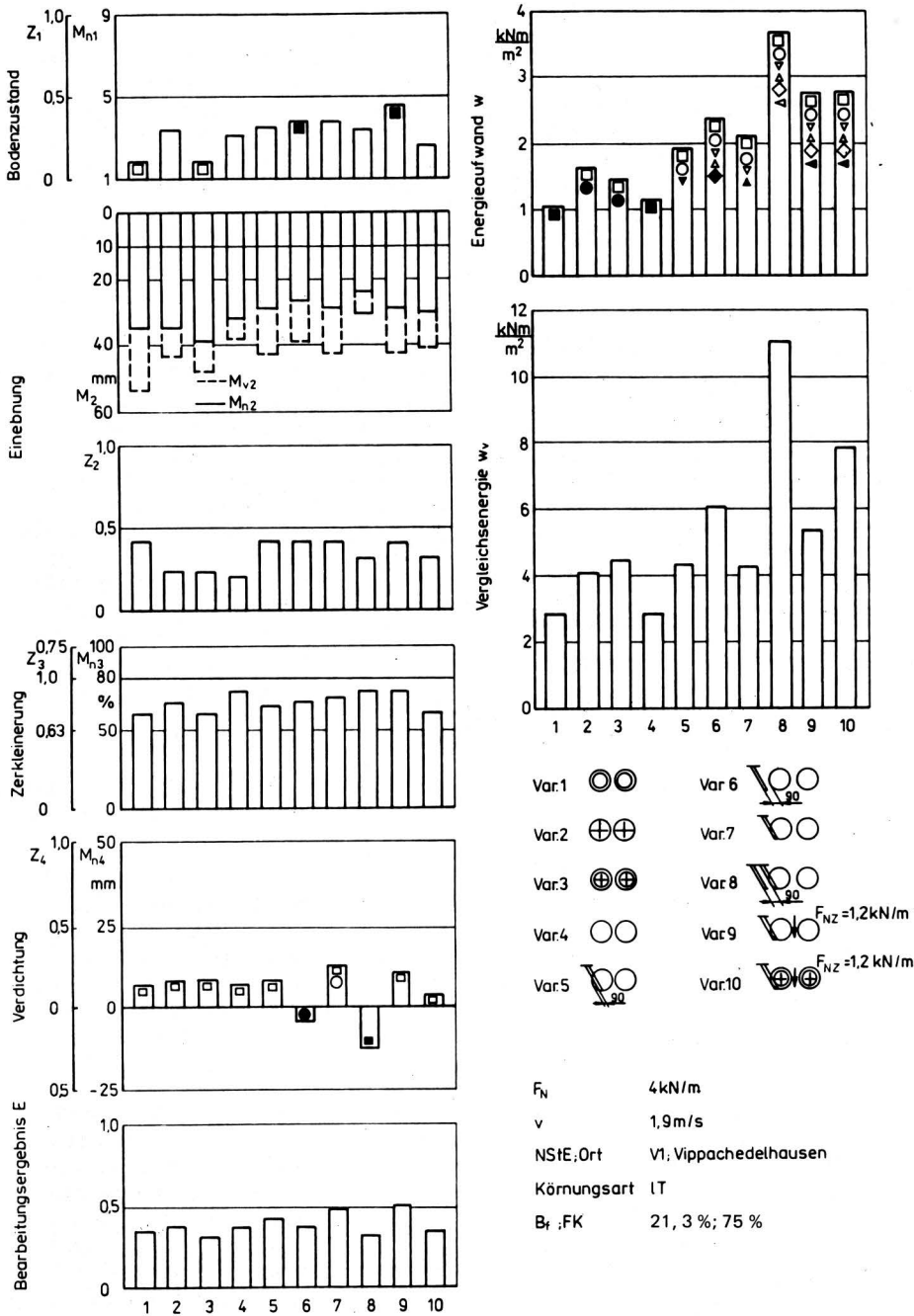
4. Anwendungsbeispiel

Als Anwendungsbeispiel werden Untersuchungen zur Entwicklung eines mit dem Pflug zu kombinierenden Saatbettbereitungsgärates genutzt.

Bei der Bewertung der Werkzeuge wurden die Kriterien berücksichtigt, die das gewünschte Bearbeitungsergebnis am besten repräsentieren. Der nach der Bearbeitung bonitierte Bodenzustand beinhaltet vor allem die Homogenität des Bodens und die Oberflächengestaltung. Die entsprechend Tafel 2 ermittelte Streuung der Rauigkeit wurde nach Gl. (3) zur Bewertungszahl verrechnet. Die Ermittlung der Zerkleinerung mittels Zählrahmenmethode erfolgte nur nach der Bearbeitung. Infolgedessen ergaben sich für die Bewertungszahl der Zerkleinerung gegenüber den anderen Bewertungszahlen relativ hohe Werte. Die Bewertungszahl der Verdichtung wurde anhand der vor und nach der Bearbeitung aufgenommenen Werte und eines angenommenen Zielwertes (Tafel 2) errechnet. Auf Lehm- und Tonböden sind alle Bewertungskriterien gleich wichtig für das Bearbeitungsergebnis, so daß die Einführung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren nicht notwendig war. Da feuchter Sandboden sehr zerfallsbereit ist, wurde beim Berechnen des Bearbeitungsergebnisses auf dem Standort D3 die Zerkleinerung mit 0,1, der Bodenzustand mit 0,4 und die Verdichtung mit 0,5 gewichtet. Die Messung der Zugkräfte erfolgte mittels Dehnungsmeßtechnik. Die varianzanalytisch verrechneten Werte wurden mittels Newman-Keuls-Test ($\alpha = 0,05$) auf Signifikanz geprüft. Gesicherte Unterschiede zwischen den Varianten sind in den Säulen der Bilder anhand von schwarzen und weißen Symbolen gleicher Form gekennzeichnet.

Ziel der Voruntersuchungen, Ergebnisse in **Bild 3**, war vor allem eine gute Verdichtung und Zerkleinerung frisch gepflügten, schwer bearbeitbaren Bodens.

Beim Vergleich von Packerwerkzeugen, **Tafel 3**, deren Normalkraft der Belastung von Packern in einem neuen Saatbettbereitungsgärat für die Kombination mit Pflügen der 50 kN-Zugkraftklasse (Typenbezeichnung B 601 [22]) entsprach, konnte durch Gußpacker (Var. 2 und 3, **Bild 3**) zwar eine geringfügig bessere Verdichtung als mit Linsen- bzw. Scheibenpackern (Var. 1 und 4) erreicht werden. Unter Berücksichtigung der anderen Bearbeitungswirkungen ergab sich jedoch vor allem beim Gußpacker mit schmaleren Wirkelementen (Var. 3) kein besseres Bearbeitungsergebnis. Wegen der statistisch gesichert kleineren Zugenergie ist die Vergleichsenergie für Linsenpacker (Var. 1) und Scheibenpacker (Var. 4) am geringsten. Deshalb sind diese Werkzeuge zur Bearbeitung frisch gepflügten Bodens am besten geeignet.



Durch Zuordnung einer Messersechreihe zur ersten Packerreihe sollten Zerkleinerung und Einebnung verbessert werden, ohne zusätzlichen Bauraum aufzuwenden. Die Ebenheit war bei eingeordneten Messersechen deutlich besser (Var. 5 bis 7 gegenüber Var. 4). Beim Boden Zustand ergab sich kein gesicherter Vorteil. Da sich auch die Zerkleinerung nicht verändert hatte, verbesserte sich das Bearbeitungsergebnis E durch Einordnung der Messerseche nur wenig. Vor der ersten Scheibenpackerreihe angeordnete Messerseche führten zu Verstopfungen (Var. 6 und 8) und demzufolge zu unerwünschter Lockerung des Bodens sowie gleichzeitiger Erhöhung des Energieaufwandes. Die größten Vorteilswirkungen wurden erreicht, wenn die Messersechreihe tangential zur vorderen Scheibenpackerreihe angeordnet ist (Var. 7). Der Energieaufwand nahm aber wesentlich stärker zu als das Bearbeitungsergebnis, so daß sich die Vergleichsenergie gegenüber der Variante ohne Messersechreihe (Var. 7 gegenüber 4) wesentlich erhöhte.

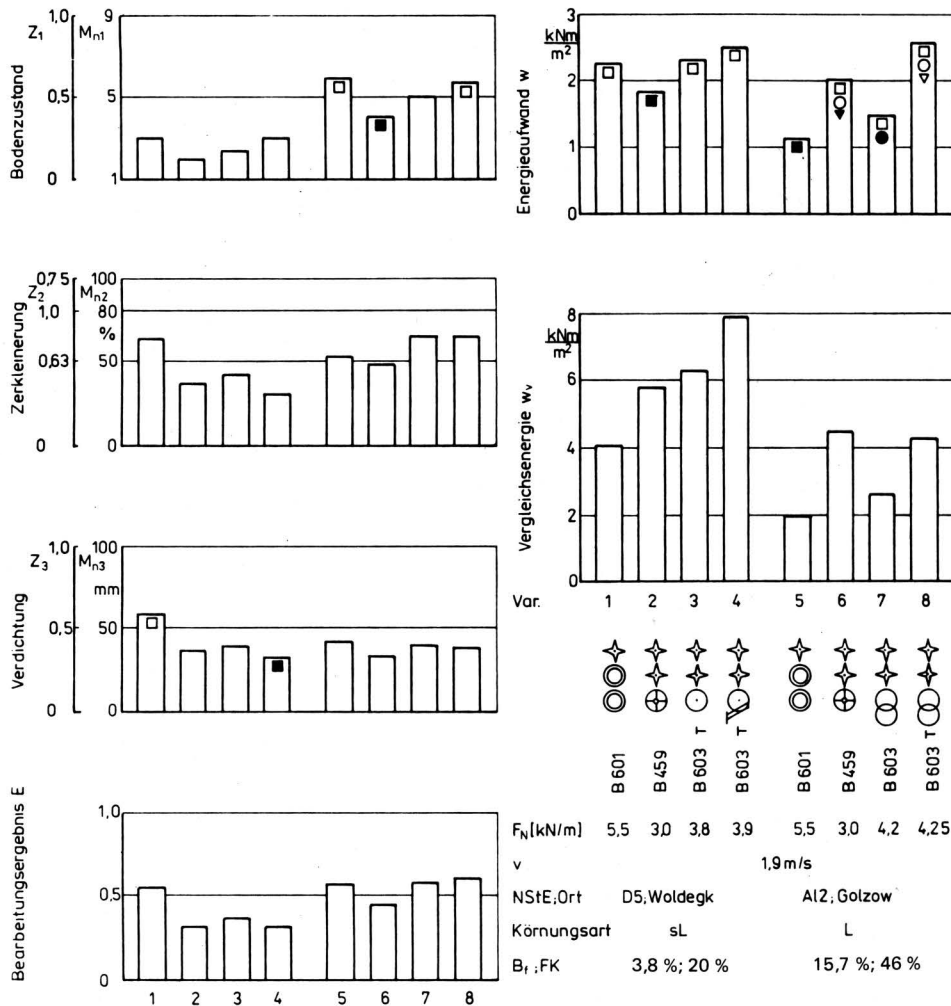
Bild 3. Bewerten von Werkzeugkombinationen mit rollenden Packern beim Einsatz auf lehmigem Ton; Annahmen für Motorenergerechnung: Getriebewirkungsgrad 0,85; Rollwiderstandsbeiwert 0,18; Treibkraftbeiwert 0,35; Schlepperschlupf 0,1 [7].

Symbol	Werkzeug	Werkzeugelement				Achsenabstand mm
		Durchmesser mm	Breite mm	Keilwinkel °	Abstand mm	
	Linenpacker mit Verschleißring aus Rundstahl [22]	500	20	—	180	500
	ineinandergreifende Linenpacker	500	20	—	180	350
	Scheibenpacker	490	7	—	180	500
	ineinandergreifende Scheibenpacker	490	7	—	180	350
	Gußpacker, breit	520	37	28	180	500
	Gußpacker, schmal	500	30	24	180	500
	Krumenpacker	580	20	24	150	—
	Sternkrümmer	350	20	—	80	500
	Messersechreihe	—	7	—	180	—
	Zinkenreihe	—	35	—	180	—
	Schleppschiene aus Profilstahl	—	80	—	—	—

Eine größere Normalkraft verbesserte bei günstigen Bodenbedingungen das Bearbeitungsergebnis kaum (Var. 7 und 9), führte aber zu höherer Vergleichsenergie. Messerseche und größere Normalkraft hatten bei Gußpackern die gleiche negative Wirkung (Var. 3 und 10).

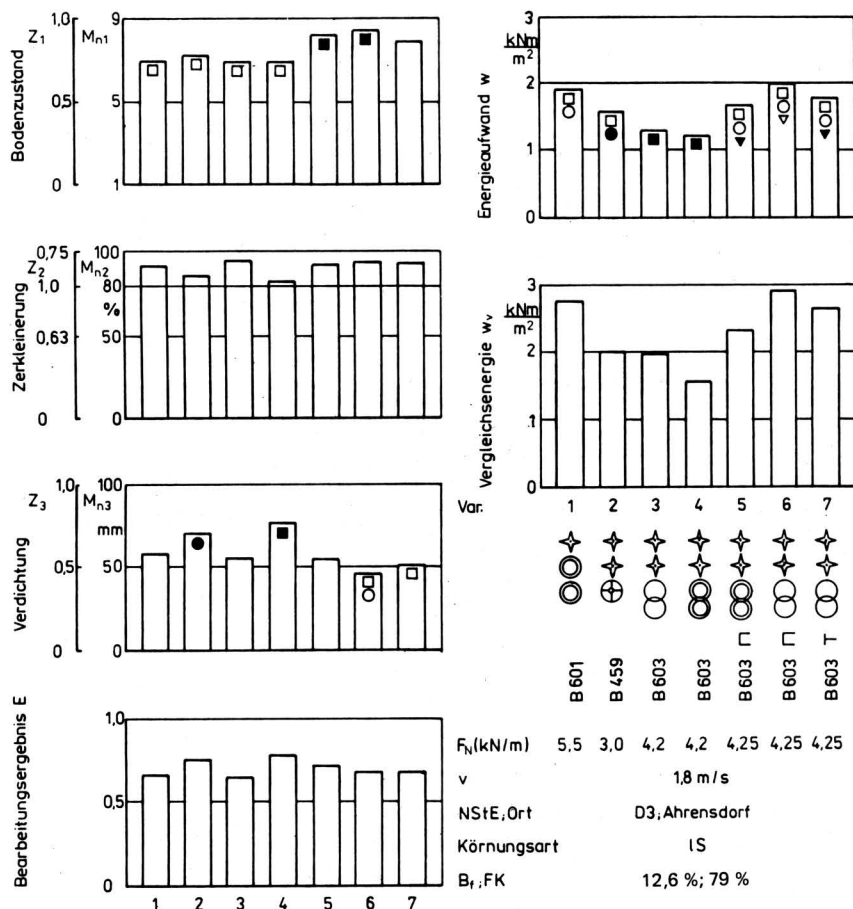
Die Untersuchungen zur Einordnung der Packer in ein mit einem Pflug der 20 kN-Zugkraftklasse kombinierendes Saatbettbereitungsgerät (Typenbezeichnung B 603), das das veraltete Saatbettbereitungsgerät B 459 ablösen sollte, erfolgten auf 3 Standorten, **Bild 4 und 5.**

Tafel 3. Konstruktionsparameter der untersuchten Werkzeuge.



Auf schwer bearbeitbaren Böden wurde zunächst versucht, eine endgültige Aussage zur Messersechreihe zu treffen. Ebenso wie bei den Voruntersuchungen zeigte sich bei diesem Gerätevergleich (Bild 4), daß die Messersechreihe im wesentlichen zur Erhöhung des Energieaufwandes und zur Verstopfungsneigung führt, ohne eine entsprechende Veränderung des Bearbeitungsergebnisses zu bewirken (Var. 3 und 4). Auch die Einordnung anderer Zinkenreihen in die Kombination zur Verbesserung des Bodenzustandes auf schwer bearbeitbaren Böden führte sowohl bei sehr geringer (Var. 3 gegenüber 2) als auch bei optimaler Bodenfeuchtigkeit (Var. 8 gegenüber 7) nur andeutungsweise zu einem besseren Bearbeitungsergebnis, jedoch zu signifikant höherem Energieaufwand.

Bild 4. Bewerten mit Pflügen kombinierter Saatbettbereitungsgeräte beim Einsatz auf schwer bearbeitbaren Böden.



Wird die Zinkenreihe durch einen zweiten Packer ersetzt, ergibt sich gegenüber dem B 459 sowohl eine Verbesserung des Bearbeitungsergebnisses (vor allem der Zerkleinerung) als auch eine Verminderung des Energieaufwandes, so daß die Vergleichsenergie des B 603 wesentlich niedriger liegt (Var. 7 gegenüber 6). Unter trockenen Bedingungen war bei den Geräten B 603 und B 459 die Normalkraft zu niedrig, wenn man Zerkleinerung, Verdichtung und Bearbeitungsergebnis des höher belasteten Saatbettbereitungsgerätes B 601 beachtet (Var. 2, 3, 4 gegenüber Var. 1). Bei optimaler Bodenfeuchtigkeit wurde der Vorteil des mit höherer Normalkraft belasteten B 601 durch die bessere Zerkleinerungswirkung der Scheibenpacker im B 603 ausgeglichen (Var. 5 und 7).

Bild 5. Bewerten mit Pflügen kombinierter Saatbettbereitungsgeräte beim Einsatz auf leicht bearbeitbarem Boden.

Der lehmige Sandboden (Bild 5) wurde bei gleichem Energieaufwand mit Linsenpackern besser verdichtet als mit Scheibenpackern (Var. 3 und 4). Bei der Linsenpackervariante des B 603 verminderte sich gegenüber dem B 459 bei gleichem Bearbeitungsergebnis der auf die Bearbeitungsfläche bezogene Energieaufwand und demzufolge auch die Vergleichsenergie (Var. 2 und 4). Die mit geringerer Normalkraft belasteten Werkzeugkombinationen (Var. 2, 3, 4) hatten unter diesen Bedingungen bei Vorteilen im Bearbeitungsergebnis gleichzeitig Vorteile beim Aufwand an flächenbezogener Energie und sind demzufolge dem Saatbettbereitungsgerät B 601 (Var. 1) in der Vergleichsenergie überlegen. Der Versuch, auf leicht bearbeitbarem Boden die Zinkenreihe durch eine mit Hilfe von Ketten angehängte Schleppschiene zu ersetzen (Var. 5 und 6 gegenüber Var. 7), führte zu einem besseren Bodenzustand vor allem hinsichtlich der Oberflächengestaltung. An der Erhöhung des Energieaufwandes und der Vergleichsenergie infolge des Staus von Boden scheiterte jedoch auch dieser Lösungsweg.

Die Ergebnisse erlauben die Schlußfolgerung, daß bei unterschiedlichen Bodenbedingungen mit angepaßter Werkzeugbelastung große Energieeinsparungen erreicht werden können. Bei trockenharten Bedingungen auf schwer bearbeitbarem Boden sinkt die Vergleichsenergie mit zunehmender Belastung der Werkzeuge (Bild 4; Var. 1 gegenüber Var. 2, 3 und 4). Auf leicht bearbeitbarem Boden sinkt die Vergleichsenergie mit abnehmender Belastung der Werkzeuge (Bild 5; Var. 2, 3 und 4 gegenüber Var. 1). Für die Bearbeitung von Lehm- und Tonböden sind Scheibenpacker, für Sandböden Linsenpacker am besten geeignet. Eine Nutzung von Zinkenreihen oder Schleppschiene kann für ein mit dem Pflug kombiniertes Saatbettbereitungsgerät nicht empfohlen werden. Die optimale Kombination für das Saatbettbereitungsgerät B 603 besteht aus zwei ineinandergreifenden Packern und zwei Krümlern.

Das Anwendungsbeispiel bestätigt die Eignung der abgeleiteten Bewertungskenngröße für den Vergleich und die Auswahl von Werkzeugen und Geräten zur Bodenbearbeitung.

5. Zusammenfassung

Bei experimentellen Untersuchungen mit Bodenbearbeitungswerkzeugen und -geräten kann das Bearbeitungsergebnis nur in Ausnahmefällen mit einem Bewertungskriterium, z.B. der Zerkleinerung, charakterisiert werden.

In der Regel sind mehrere Bearbeitungswirkungen und die verbrauchte Energie in die Bewertung der Werkzeuge und Geräte einzubeziehen. Grundlage für eine Bewertungskenngröße, die Bearbeitungsergebnis und Energieaufwand beinhaltet, ist das Errechnen dimensionsloser Bewertungszahlen für die Bearbeitungswirkungen und deren Zusammenfassen entsprechend den entwickelten Gleichungen.

Anhand der vor und nach der Bearbeitung aufgenommenen Werte für jede Bearbeitungswirkung und der für den angestrebten Endzustand geforderten Zielwerte lassen sich dimensionslose Bewertungszahlen errechnen. Die Bewertungszahlen werden bei gleicher Bedeutung der Kriterien für die angestrebte Bodenzustandsveränderung durch arithmetische Mittelwertbildung und bei unterschiedlicher Bedeutung gewichtet zu einem Bearbeitungsergebnis zusammengefaßt. Der Quotient aus Energieaufwand und Bearbeitungsergebnis ergibt den für den angestrebten Endzustand erforderlichen Energiebedarf; diese als Vergleichsenergie bezeichnete Größe ist zum Bewerten experimentell untersuchter Bodenbearbeitungswerkzeuge und -geräte geeignet.

Ändern sich die Energieverluste zwischen Motor und Werkzeug bei den Varianten verhältnismäßig zu der am Werkzeug verbrauchten Energie, ist die am Werkzeug verbrauchte Energie ohne Berücksichtigung der Energieverluste als Energieaufwand zu nutzen. Bei Vergleichsuntersuchungen von Werkzeugen mit unterschiedlichen Energieverlusten zwischen Motor und Werkzeug muß als Aufwand die mechanische Motorenergie verwendet werden, d.h. es sind die am Werkzeug verbrauchte Energie und die Energieverluste zwischen Motor und Werkzeug zu berücksichtigen.

Anhand eines Anwendungsbeispiels zur Entwicklung von Werkzeugkombinationen für die Saatbettbereitung in Verbindung mit dem Pflügen wurde bestätigt, daß unabhängig von der Anzahl der Bearbeitungswirkungen der Werkzeuge oder Geräte mit Hilfe der abgeleiteten Bewertungskenngröße Vergleichsenergie und der Methodik zu ihrer Errechnung eine wissenschaftlich begründete Unterscheidung von experimentell untersuchten Varianten möglich ist.

Durch eine kritische Einschätzung jedes Bewertungskriteriums hinsichtlich der Erfüllung des Bearbeitungszieles, eine statistische Verrechnung der Bewertungszahlen und eine Fehlerabschätzung wird die Zuverlässigkeit der Aussage erhöht.

Verwendete Formelzeichen

B_f	%	Bodenfeuchtigkeit, Massenanteil
c		Wichtungsfaktor für Bewertungskriterien
D_e		Differenz der vor und nach der Bearbeitung aufgenommenen Werte
D_0	cm^2/dm^3	Differenz der volumenbezogenen Aggregatoberfläche
D_z		Differenz aus Zielwert und vor der Bearbeitung aufgenommenem Wert
E		Bearbeitungsergebnis
FK	%	prozentualer Anteil der Bodenfeuchtigkeit an der Feldkapazität
F_N	kN, kN/m	Normalkraft einer Werkzeugbaugruppe oder eines Gerätes
F_{NZ}	kN/m	zusätzliche Normalkraft einer Werkzeugbaugruppe
i		Zählindex der Bewertungskriterien
j		Zählindex der Varianten
M		aufgenommener Meß- bzw. Boniturwert
M_n		M nach der Bearbeitung
M_v		M vor der Bearbeitung
M_z		Zielwert für ein Bewertungskriterium
n		Anzahl der Bewertungskriterien
s		Streuung der aufgenommenen Werte
v	m/s	Fahrgeschwindigkeit
w	$\text{kN m}/\text{m}^2$	auf die bearbeitete Fläche bzw. das bearbeitete Volumen bezogener Energieaufwand
w_v	$\text{kN m}/\text{m}^2$	Vergleichsenergie
x_n		Bodenzustand nach der Bearbeitung
x_v		Bodenzustand vor der Bearbeitung
Z		Bewertungszahl
Z_k		korrigierte Bewertungszahl
α		Irrtumswahrscheinlichkeit
κ	$\text{cm}^2/\text{kN m}$	Zerkleinerungserfolg

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] Plötner, K.: Zur Zerkleinerung landtechnischer Stoffe. Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock Bd. 22 (1973), math.-naturw. Reihe Nr. 1, S. 67/74.
- [2] Soucek, R., G. Bernhardt, K. Bernhardt u. B. Leithold: Die Bedeutung des Bodens als Werkstoff für das Entwickeln von Bodenbearbeitungswerkzeugen. Agrartechnik (Berlin) Bd. 24 (1974) Nr. 9, S. 444/46.
- [3] Regge, H.: Der Zerkleinerungserfolg als Bewertungsmaßstab für Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen. Deutsche Agrartechnik (Berlin) Bd. 15 (1965) Nr. 8, S. 376/78.
- [4] Kalk, W.-D. u. O. Bosse: Zur Ermittlung des Leistungsbedarfs von Saatbettbereitungskombinationen. Agrartechnik (Berlin) Bd. 28 (1978) Nr. 8, S. 362/63.
- [5] Nagorny, N.N. u. M.P. Belotkakh: Energetische Bewertung von Bodenbearbeitungsgeräten. Traktory i sel'chozmasiny Bd. 51 (1980) Nr. 7, S. 12/13.

- [6] *Stroppel, A. u. R. Reich:* Vergleichsuntersuchungen an Geräten zur Saatbettbereitung mit zapfwellengetriebenen, rotierenden Werkzeugen. Grundl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 3, S. 86/95.
- [7] *Kalk, W.-D., O. Bosse u. C. Bernard:* Energiebilanz beim Einsatz rotierender Werkzeuge mit horizontaler Drehachse. Grundl. Landtechnik Bd. 37 (1987) Nr. 4, S. 142/51.
- [8] *Müller, M.:* Technologische Grundlagen für die industriemäßige Pflanzenproduktion. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1980.
- [9] *Busch, K., G. Herrendörfer u. K.-D. Feige:* Gesteuerte Intuition – Arbeitsanleitung zur Variantensuche und -bewertung; Heft 2, Variantenbewertung. Gedrucktes Manuskript des FZT Dummerstorf-Rostock der Akademie Landwirtsch.-Wiss. der DDR, 1979.
- [10] *Busch, K.:* Methodologische Untersuchungen zum Erfindungsprozeß. Diss. B, Akademie Landwirtsch.-Wiss. der DDR Berlin, 1985.
- [11] Standard TGL 33738; Gütevorschriften für Arbeiten der Pflanzenproduktion. Akademie Landwirtsch.-Wiss. der DDR Berlin, 1977.
- [12] *Plötner, K.:* Konstruktionsmethodische Grundlagen für die Entwicklung von Landmaschinen. Diss. B, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, 1975.
- [13] *Frese, H.:* Aussichten für eine exakte Beurteilung des Arbeitserfolges von Bodenbearbeitungsgeräten. Grundl. Landtechnik Nr. 7 (1956) S. 5/10.
- [14] *Rid, H. u. A. Süß:* Zur Methodik der Prüfung des Effektes von Bodenbearbeitungsgeräten. Landt. Forschung Bd. 10 (1960) Nr. 3, S. 62/70.
- [15] *Estler, M., H. Knittel u. E. Zeltner:* Bodenbearbeitung aktuell – schlagkräftig – bodenschonend – energiesparend. Frankfurt/Main: DLG-Verlag 1983.
- [16] *Busch, K. u. H. Busch:* Gesteuerte Intuition – Arbeitsanleitung zur Variantensuche und -bewertung; Heft 1 Variantensuche. Gedrucktes Manuskript des FZT Dummerstorf-Rostock der Akademie Landwirtsch.-Wiss. der DDR, 1979.
- [17] *Müller, J.:* Programmbibliothek zur systematischen Heuristik für Naturwissenschaftler und Ingenieure. Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen des Zentralinstitutes für Schweißtechnik der DDR, Halle, 1973.
- [18] Standard TGL 21168/03: Landwirtschaftliche Feldversuche; Boniturskala für Prüfmerkmale landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturpflanzen. Akademie Landwirtsch.-Wiss. der DDR Berlin, 1978.
- [19] *Kalk, W.-D. u. O. Bosse:* Untersuchungen an Werkzeugen zur Lockerung der Traktorspur. Tag.-Ber., Akademie Landwirtsch.-Wiss. der DDR, Berlin (1984) Nr. 227, S. 127/32.
- [20] *Storm, R.:* Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1979.
- [21] *Bosse, O. u. W.-D. Kalk:* Vorschlag zur Bewertung von Bodenbearbeitungswerkzeugen hinsichtlich Arbeitsqualität und Energieaufwand. Agrartechnik (Berlin) Bd. 35 (1985) Nr. 10, S. 444/46.
- [22] *Bosse, O., W.-D. Kalk, J. Erler u. K. Gerlach:* Verbesserte Arbeitsqualität des Saatbettbereitungsgerätes B 601 durch neue Werkzeugbestückung. Agrartechnik (Berlin) Bd. 32 (1982) Nr. 1, S. 29/32.

Untersuchungen mit Wärmepumpen-Heizungsanlagen, die den Erdboden als Wärmequelle nutzen

Von Jan Janssen, Braunschweig-Völkenrode*)

DK 697:621.577

Für Wärmepumpen-Heizungsanlagen kann der Erdboden bei ausreichendem Flächenangebot eine sichere, natürliche Wärmequelle sein. Am Beispiel von zwei baugleichen Wärmepumpen mit unterschiedlicher Auslegung der Erdbodenwärmetauscher wird die Auskühlung des Erdbodens durch den Wärmeentzug aufgezeigt. Trotz einer zeitweiligen Vereisung des Erdbodens im Bereich der Wärmetauscher werden im Frühjahr jedoch relativ schnell wieder Temperaturen wie in einem Boden ohne Wärmeentzug erreicht. Aufgrund vergleichsweise hoher Investitionskosten sind Wärmepumpen-Heizungsanlagen bei den gegenwärtig sehr niedrigen Ölpreisen jedoch nicht wirtschaftlich.

*) Dipl.-Ing. J. Janssen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Biosystemtechnik ehemals Inst. für landtechnische Grundlagenforschung (komm. Leiter: Prof. Dr. H. Schön) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

1. Einleitung

Das Prinzip der Wärmepumpe, einem Medium Wärme auf niedrigerem Temperaturniveau zu entziehen und diese dann durch Zufuhr höherwertiger Energie auf einem höheren Temperaturniveau für die praktische Nutzung verwendbar zu machen, ist bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt. Wirtschaftliche Bedeutung erlangte die Wärmepumpe aber fast nur als Kältemaschine (umgekehrte Wärmepumpe), denn für die kontinuierliche Kühlung gibt es kein konkurrierendes Verfahren [1]. So verrichten zahlreiche Wärmepumpen in Haushaltskühlschränken schon seit einigen Jahrzehnten zuverlässig ihre Arbeit.

Etwas anders ist die Situation für Wärmepumpen-Heizungsanlagen, obgleich bereits vor dem 2. Weltkrieg in der Schweiz vorbildliche Anlagen geschaffen wurden [2] und in dem Einsatz von Wärmepumpen-Heizungsanlagen eine Möglichkeit gesehen wird, den Verbrauch hochwertiger und nur begrenzt verfügbarer Primärenergie zu senken. Aber sie müssen mit den bekannten Heizverfahren konkurrieren und hatten solange keine Chancen, wie Heizenergie in fossilen Brennstoffen billig und reichlich zur Verfügung stand.

Mit der Verknappung der fossilen Brennstoffe bzw. deren drastischer Preiserhöhung in den siebziger Jahren nahm das Interesse an Wärmepumpen-Heizungsanlagen jedoch wieder zu. Optimistische Perspektiven sahen sie bereits in klimatisch geeigneten Gebieten die konventionelle Heizung weitgehend ablösen [3]. Wie in der Vergangenheit behindern aber außer den erforderlichen höheren Investitionen zusätzlich noch bestehende Unsicherheiten über die tatsächlich erreichbaren Energieeinsparungen eine derartige Umstellung auf breiter Basis.