

# Methoden zum Bewerten von Bodenbearbeitungswerkzeugen und -geräten bei experimentellen Untersuchungen

Dr. sc. techn. W.-D. Kalk, KDT/Dr. agr. O. Bosse, KDT  
Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

## Verwendete Formelzeichen

c	Wichtungsfaktor für Bewertungskriterien
$D_o$	Differenz der vor und nach der Bearbeitung aufgenommenen Werte
$D_z$	Differenz aus Zielwert und vor der Bearbeitung aufgenommenem Wert
E	Bearbeitungsergebnis
$E_s$	erreichte Arbeitsqualität
M	aufgenommener Meß- bzw. Boniturwert für ein Bewertungskriterium
$M_n$	M nach der Bearbeitung
$M_v$	M vor der Bearbeitung
$M_z$	Zielwert für ein Bewertungskriterium
n	Anzahl der Bewertungskriterien
$W_s$	kNm für die erreichte Arbeitsqualität aufgewendete Energie
$W_i$	kNm Energiefehlbetrag
w	kNm/m <sup>2</sup> , auf die bearbeitete Fläche bzw. das bearbeitete Volumen bezogener Energieaufwand
$w_v$	kNm/m <sup>2</sup> , Vergleichsenergie
Z	Bewertungszahl
$Z_k$	korrigierte Bewertungszahl
Indizes	
i	Zählindex der Bewertungskriterien
j	Zählindex der Varianten

## 1. Problemstellung

Zur strukturschonenden, den Pflanzenansprüchen und dem Bodenzustand angepaßten Bodenbearbeitung müssen den Pflanzenproduktionsbetrieben Werkzeuge und Geräte zur Verfügung gestellt werden, die möglichst unter allen typischen Einsatzbedingungen untersucht und nach objektiven Gesichtspunkten verglichen und ausgewählt worden sind. Für den Vergleich und die Auswahl fehlt jedoch eine Bewertungskenngröße, die sowohl den Energieaufwand als auch die ermittelten Werte aller für die Beurteilung des Bodenzustands wichtigen Kriterien beinhaltet. In [1] wurde die Kenngröße „Energiefehlbetrag“ zum Bewerten von Bodenbearbeitungswerkzeugen vorgeschlagen und zur Diskussion gestellt, die sowohl das Bearbeitungsergebnis als auch den Energieaufwand berücksichtigt. Diese Bewertungskenngröße, die sich aus der Differenz des Energiebedarfs für das geforderte Bearbeitungsergebnis und der verbrauchten Energie für das erreichte Bearbeitungsergebnis entsprechend Gl. (1) errechnet, weist noch Mängel auf:

$$W_i = W_s \left( \frac{100}{E_s} - 1 \right) \quad (1)$$

Die für das Bearbeitungsergebnis verbrauchte Energie ist nicht im Energiefehlbetrag enthalten, wodurch Fehlansagen möglich sind. Die erreichte Arbeitsqualität  $E_s$  wurde nicht mit einer einheitlichen Gleichung ermittelt [1, 2]. Deshalb war eine Kenngröße als Grundlage für die Bewertung abzuleiten, die diese Mängel nicht aufweist.

## 2. Berechnen der Bewertungskenngröße

Je nach Aufgabenstellung ist bei experimentellen Untersuchungen entweder die beste Variante auszuwählen oder die Varianten sind mit einem Standard zu vergleichen. Die Anzahl der Wiederholungen wird entsprechend der Streuung der Einzelwerte festgelegt, sie kann auch anhand von Vorversuchen errechnet werden [3]. Zur Ermittlung der Bewertungskenngröße sind drei grundsätzliche Bearbeitungsschritte erforderlich.

### 2.1. Wertebeschaffung und Berechnen vergleichbarer Bewertungszahlen

Aus dem vor der Bearbeitung vorliegenden Bodenzustand und dem mit dem Arbeitsgang angestrebten Bodenzustand ergeben sich die vom einzusetzenden Werkzeug bzw. Gerät zu erreichenden Bearbeitungswirkungen. Daraus sind Kriterien für die Bewertung der Varianten abzuleiten; z. B. Lockern, Zerkleinern, Einebnen.

Neben diesen für das Auflaufen des Saatgutes und die Durchwurzelung wichtigen Wirkungen der Bodenbearbeitungsmaßnahmen können auch weitere ackerbauliche Forderungen bestehen und in die Bewertung einbezogen werden, z. B. die Verteilung von Pflanzenresten der größeren Bodenaggregate an der Oberfläche hinsichtlich Erosionsminderung.

Für eine sichere Aussage beim Vergleich experimentell untersuchter Werkzeuge und Geräte sind i. allg. mehrere Bearbeitungswirkungen zu erfassen. Die Doppelnutzung von Kriterien, d. h. mehrfaches Erfassen von Bearbeitungswirkungen, ist zu vermeiden. Ausnahmen bilden solche Bearbeitungswirkungen, die schwer erfassbar sind. Werden z. B. zur Verminderung der Verschlämmungsneigung neben feinen Bodenaggregaten in der Saatgutablagezone auch grobe Aggregate an der Bodenoberfläche gefordert, ist die Siebanalyse für die Wertebeschaffung nicht ausreichend, weil die schichtweise Entnahme des bearbeiteten Bodens zu größeren Entnahmefehlern führt. Neben der Siebanalyse zur Bestimmung der Zerkleinerungswirkung in der bearbeiteten Schicht ist eine Bonitur des nach der Bearbeitung erreichter Zustands der Bodenoberfläche vorteilhaft.

Die Bewertung eines Werkzeugs oder Geräts ist in jedem Fall mit Mängeln behaftet, wenn aufgrund fehlender Meßverfahren auf die Erfassung wichtiger Bearbeitungswirkungen verzichtet wird.

Messen ist immer besser als Bonitieren, aber Bonitieren ist besser als das Nichterfassen wichtiger Kriterien.

Das Vergleichsbarmachen der ermittelten Werte der unterschiedlichen Bewertungskriterien als Voraussetzung für das Berechnen des Bearbeitungsergebnisses mit einer Gleichung erfordert ihre Zuordnung zu einer hundertteiligen Skala zwischen 0 und 1,0. Zunächst sind für jedes Bewertungskriterium i jeder Variante j die erreichte Differenz  $D_o$  anhand der vor der Bearbeitung aufgenom-

menen Werte  $M_v$  und der nach der Bearbeitung aufgenommenen Werte  $M_n$

$$D_{oij} = M_{nij} - M_{vij} \quad (2)$$

sowie die geforderte Differenz  $D_z$  mit Hilfe des Zielwerts für das Bewertungskriterium  $M_z$

$$D_{zij} = M_{zi} - M_{vij} \quad (3)$$

zu errechnen.

Zielwerte sind z. B. die spezifischen Werte der entsprechenden agrotechnischen Forderung bzw. TGL.

Liegt vor dem betreffenden Arbeitsgang un- bearbeiteter Boden vor, ist  $M_v$  gleich Null. Weist der Bodenzustand vor der Bearbeitung für alle Varianten keine gesicherten Unterschiede auf, ist ein einheitlicher Bodenzustand  $M_{vi}$  zu ermitteln.

Die Berechnung der Bewertungszahlen Z für alle Kriterien i der Varianten j erfolgt mit Hilfe des Quotienten

$$Z_{ij} = \frac{D_{oij}}{D_{zij}} = \frac{M_{nij} - M_{vij}}{M_{zi} - M_{vij}} \quad (4)$$

Wenn der nach der Bearbeitung aufgenommene Wert  $M_n$  dem Zielwert  $M_z$  entspricht, ergibt sich die Bewertungszahl 1. Wenn  $M_n = M_v$  ist, wird die Bewertungszahl Null, d. h., das entsprechende Bewertungskriterium ist nicht verändert worden. Meistens wird jedoch eine Bearbeitungswirkung erreicht, aber der Bodenzustand entspricht noch nicht dem angestrebten Zustand. Das gilt sowohl wenn die geforderten Zielwerte nicht erreicht worden sind (z. B. nicht ausreichendes Zerkleinern, nicht ausreichendes Verdichten) als auch wenn die Zielwerte überschritten wurden (z. B. zu starkes Verdichten, zu intensives Zerkleinern durch ungeeignete Geräte, wie Fräsen auf Sandboden). Im ersten Fall ergeben sich Bewertungszahlen  $< 1,0$ . Im zweiten Fall sind die Bewertungszahlen  $> 1,0$  so zu korrigieren, daß die umgerechneten Bewertungszahlen  $< 1,0$  werden (z. B. muß  $Z_i = 1,1$  bei zu stark verdichtetem Boden in  $Z_{ki} = 0,9$  umgerechnet werden).

Kann bei einem Bewertungskriterium kein Zielwert, sondern nur ein Zielwertbereich angegeben werden, sind unter der für diesen Bereich gültigen Bedingung  $M_n = M_z$  Bewertungszahlen von 1,0 zu errechnen. Unterhalb des Zielwertbereichs sind die Bewertungszahlen unter Nutzung des unteren Grenzwerts und oberhalb des Zielwertbereichs unter Nutzung des oberen Grenzwerts des Zielwertbereichs nach Gl. (4) zu errechnen.

Liegen für bestimmte Untersuchungen keine Zielwerte vor (z. B. das Bearbeitungsergebnis für den ersten von mehreren vorgesehenen Saattbettbereitungsgängen, das Lockerungsergebnis nach der Saattfurche), kann bei der Untersuchung mehrerer Werkzeug- oder Gerätevarianten auch ein angenommener Bodenzustand als Zielwert genutzt werden. Bei der Annahme von Zielwerten ist jedoch zu beachten, daß ein Überschreiten dieser

Werte ausgeschlossen sein muß, weil sonst Fehlaussagen bei der Variantenauswahl möglich sind.

## 2.2. Zusammenfassen der Bewertungszahlen zum Bearbeitungsergebnis

Sind die erfaßten Bewertungskriterien in ihrer Bedeutung für den angestrebten Endzustand gleichwertig, ergibt der arithmetische Mittelwert der Bewertungszahlen nach Gl. (4) das erreichte Bearbeitungsergebnis  $E_j$ :

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

Ist bei der Bodenbearbeitung die Bedeutung einzelner Kriterien je nach dem Bodenzustand vor der Bearbeitung und dem angestrebten Endzustand unterschiedlich [4], sind die Bewertungszahlen zu wichten, wobei eine lineare Bewertungsfunktion mit normierten Wichtungsfaktoren zu wählen ist, deren Summe 1 ergibt [3, 5]:

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

Das Bearbeitungsergebnis errechnet sich dann durch Summation der gewichteten Bewertungszahlen:

$$E_j = \sum_{i=1}^n c_i Z_{ij}. \quad (7)$$

## 2.3. Berechnen der Bewertungskenngröße „Vergleichsenergie“

Zur Bewertung von Werkzeugen und Geräten bei experimentellen Untersuchungen sind das Bearbeitungsergebnis und die für die Verrichtung der Arbeit aufgewendete Energie zu einer Kenngröße zusammenzufassen. Als aufgewendete Energie kann beim Vergleich von gezogenen Werkzeugen bzw. Geräten die den Werkzeugen bzw. den Geräten zugeführte Energie genutzt werden, weil sich die Energieverluste zwischen Traktormotor und Werkzeug im gleichen Verhältnis zur Energie ändern, die von den Werkzeugen verbraucht wird.

Bei Vergleichsuntersuchungen von Werkzeugen mit unterschiedlichen Energieverlusten zwischen Motor und Werkzeug, z. B. bei gezogenen und getriebenen Werkzeugen, sind die den Werkzeugen bzw. den Geräten zugeführte Energie und die Energieverluste im Getriebe sowie durch Schlupf und Rollwiderstand am Traktorfahrwerk, d. h. die mechanische Motorenergie, als Energieaufwand zu verwenden.

Aus der aufgewendeten Energie  $w_j$  und dem nach den Gln. (5) oder (7) errechneten Bearbeitungsergebnis wird die für den angestrebten Endzustand des Bodens erforderliche Energie berechnet [6], die als Vergleichsenergie  $w_{vj}$  zur Bewertung von Bodenbearbeitungswerkzeugen und -geräten genutzt werden kann:

$$w_{vj} = \frac{w_j}{E_j} \quad (8)$$

## 3. Bemerkungen zur Anwendung

Die Vergleichsenergie hat sich bei der Bewertung experimentell untersuchter Bodenbearbeitungswerkzeuge und -geräte bereits bewährt, da sowohl der Energieaufwand als

auch alle entsprechend dem Bearbeitungsziel wichtigen Bearbeitungswirkungen gleichwertig oder nach der Bedeutung gewichtet einbezogen werden können [7]. Die Bewertungszahlen beinhalten i. allg. die Differenz des Bodenzustands vor und nach der Bearbeitung, bei Untersuchungen auf un bearbeitetem Boden nur den Zustand nach der Bearbeitung. Durch Einbeziehung des angestrebten Bodenzustands (Zielwerte) geht bei jedem Bewertungskriterium die prozentuale Erfüllung und beim Bearbeitungsergebnis die durchschnittliche prozentuale Erfüllung des angestrebten Endzustands in die Bewertungskenngröße ein. Dadurch ist in jedem Fall eine objektive Unterscheidung der Varianten gesichert.

Die Vergleichsenergie als Quotient aus Energieaufwand und Bearbeitungsergebnis ist physikalisch interpretierbar. Sie stellt anschaulich die Energie dar, die zum Erreichen des angestrebten Bodenzustands bei der Bearbeitung mit dem untersuchten Werkzeug oder Gerät hätte aufgewendet werden müssen. Ausnahmen dazu bilden Varianten, bei denen Zielwerte von einzelnen Bewertungskriterien durch zu intensives Bearbeiten mit ungeeigneten Werkzeugen überschritten wurden und demzufolge die Bewertungszahlen dieser Kriterien auf Werte unter 1,0 umgerechnet worden sind. Für diese Varianten wurde mehr Energie aufgewendet, als zur Realisierung des angestrebten Endzustands eigentlich erforderlich war. Trotz dieses Mangels in der physikalischen Interpretation ist die Vergleichsenergie als Bewertungskenngröße für exakte Variantenvergleiche auch in diesem Fall vorteilhaft, weil auch Werkzeuge und Geräte, die den Boden zu intensiv bearbeiten, wegen dieses Nachteils ausgeschlossen werden können.

Die Vergleichsenergie ist zum Errechnen des Energieaufwands für das weitere Bearbeiten des Bodens bis zum geforderten Zustand sowie für Energiekalkulationen nicht geeignet, weil der Bodenzustand vor der Bearbeitung sehr unterschiedlich ist und weitere Arbeitsgänge gegenüber dem durchgeführten Arbeitsgang unterschiedliche Energieaufwendungen und Werkzeugwirkungen erfordern.

Die Zuverlässigkeit der Entscheidungen bei der Variantenauswahl mit der Bewertungskenngröße „Vergleichsenergie“ wird durch die bildliche Darstellung der aufgenommenen Werte und der Bewertungszahlen [1, 2], eine ergänzende Einschätzung jedes Bewertungskriteriums hinsichtlich der Erfüllung des Zielwerts, eine statistische Verrechnung der Versuchsergebnisse und eine Fehlerbeurteilung verbessert.

Ist für einen Vergleich von Werkzeugen, Geräten oder Verfahren bei ackerbaulichen und technologischen Untersuchungen der Energieaufwand von untergeordneter Bedeutung, kann die Bewertung auch mit Hilfe des nach den Gln. (5) oder (7) errechneten Bearbeitungsergebnisses vorgenommen werden.

Die dargestellte Methode kann grundsätzlich zum Bewerten von experimentell untersuchten Werkzeugen, Geräten und Verfahren genutzt werden, bei denen mehrere Bearbeitungswirkungen und der Aufwand in die Bewertung einzubeziehen sind.

## 4. Zusammenfassung

Eine objektive Bewertung von Bodenbearbeitungswerkzeugen und -geräten bei experimentellen Untersuchungen erfordert die Ein-

beziehung aller für das Ergebnis wichtigen Bearbeitungswirkungen sowie des Energieaufwands und deren Zusammenfassung in einer Bewertungskenngröße. Zur Erfüllung dieser Aufgabe wurde die Bewertungskenngröße „Vergleichsenergie“ als Quotient aus Energieaufwand und Bearbeitungsergebnis abgeleitet.

Anhand der geforderten Bearbeitungswirkungen sind die Kriterien für die Bewertung des Bodenzustands auszuwählen. Aus den vor und nach der Bearbeitung aufgenommenen Werten und den Zielwerten für jedes Bewertungskriterium werden mit Hilfe angegebener Gleichungen dimensionslose Bewertungszahlen errechnet. Bei gleicher Bedeutung der einzelnen Bewertungskriterien für den geforderten Bodenzustand sind die Bewertungszahlen durch arithmetische Mittelwertbildung und bei unterschiedlicher Bedeutung nach Einführung von Wichtungsfaktoren zum Bearbeitungsergebnis zusammenzufassen.

Beim Vergleich gezogener Werkzeuge oder Geräte ist die den Werkzeugen oder Geräten zugeführte Energie, beim Vergleich von Werkzeugen mit unterschiedlichen Energieverlusten zwischen Motor und Werkzeug die Motorenergie als Energieaufwand zu verwenden.

Durch eine kritische Einschätzung jedes Bewertungskriteriums hinsichtlich der Erfüllung des für den angestrebten Bodenzustand geforderten Zielwerts wird die Genauigkeit bei der Unterscheidung der untersuchten Varianten verbessert. Ist der Energieaufwand von untergeordneter Bedeutung, kann das errechnete Bearbeitungsergebnis zur Bewertung genutzt werden.

Die Methode eignet sich zum Bewerten experimentell untersuchter Werkzeug-, Geräte- und Verfahrensvarianten unabhängig vom zu bearbeitenden oder verarbeitenden Stoff.

## Literatur

- [1] Bosse, O.; Kalk, W.-D.: Vorschlag zur Bewertung von Bodenbearbeitungswerkzeugen hinsichtlich Arbeitsqualität und Energieaufwand. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 10, S. 444–446.
- [2] Bosse, O.; Kalk, W.-D.: Krümelung und Einbebung des Bodens mit neuen Werkzeugkombinationen. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 6, S. 264–266.
- [3] Busch, K.; Herrendorfer, G.; Feige, K.-D.: Gesteuerte Intuition – Arbeitsanleitung zur Variantensuche und -bewertung. Heft 2, Variantenbewertung. Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf–Rostock, gedrucktes Manuskript 1979.
- [4] Frese, H.: Aussichten für eine exakte Beurteilung des Arbeitserfolges von Bodenbearbeitungsgeräten. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 6 (1956) S. 5–10.
- [5] Müller, M.: Technologische Grundlagen für die industriemäßige Pflanzenproduktion. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag 1980.
- [6] Bosse, O.; Kalk, W.-D.: Ableitung einer Kenngröße zum Bewerten von Bodenbearbeitungswerkzeugen und -geräten bei experimentellen Vergleichen. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf (im Druck).
- [7] Kalk, W.-D.: Untersuchungen zum Bewerten von Bodenbearbeitungswerkzeugen. Technische Universität Dresden, Dissertation B, 1987.