

# Bedeutung von Stoff- und Wirkpaarungskenngrößen im Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß

Dr.-Ing. Chr. Füll, KDT / Hochschuling. D. Ehlert / Hochschuling. B. Freitag, Universität Rostock, Sektion Landtechnik

## 1. Problematik

Das Entwickeln und Konstruieren von Arbeitselementen für Landmaschinen und landtechnische Anlagen ist in Anlehnung an Lucius /1/ (zitiert in /2/) nach folgenden Methoden möglich:

- a) empirisches Entwickeln und Konstruieren
- b) systematische theoretische und experimentelle Untersuchung von Teilelementen der Arbeitselemente und Kombination der Teilelemente zu Arbeitselementen als Ausgangspunkt des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses
- c) Berechnen von Arbeitselementen auf der Grundlage der physikalisch-mechanischen Eigenschaften landtechnischer Stoffe.

Die Effektivität des Entwicklungsprozesses ist bei der Methode a) am geringsten, weil häufig sehr lange Erprobungszeiten erforderlich sind, und bei der Methode c) am höchsten. Die Methoden b) und c) setzen jedoch die Kenntnis der physikalisch-mechanischen Eigenschaften der landtechnischen Stoffe voraus.

## 2. Definitionen

Der Konstrukteur benötigt beim Entwickeln von Landmaschinen und landtechnischen Anlagen sowohl Angaben über die Eigenschaften der Stoffe als auch über das Verhalten der Stoffe und Arbeitselemente und über die Wechselbeziehungen zwischen Stoff und Arbeitselement. Dies gilt in gleicher Weise für Vorgänge im Bereich der Pflanzenproduktion und der Tierproduktion.

Man muß deshalb grundsätzlich zwischen Stoffkenngrößen und Wirkpaarungskenngrößen unterscheiden.

**Stoffkenngrößen** geben Auskunft über die Eigenschaften eines Stoffes, die unabhängig von den Vorgängen an der Wirkpaarung „landtechnischer Stoff — Arbeitselement“ existieren. Sie werden vorrangig für das Kennzeichnen der Eingangs- und Ausgangszustände der Stoffe und zum Festlegen der Bedingungen beim Durchführen von technologischen Grundverfahren oder von Kombinationen mehrerer

technologischer Grundverfahren benutzt. Quantitative Angaben von Stoffkenngrößen werden als **Stoffkennwerte** bezeichnet.

**Wirkpaarungskenngrößen** geben Auskunft über das Verhalten von Stoffen und Arbeitselementen sowie über die bestehenden Wechselbeziehungen an der Wirkpaarung „landtechnischer Stoff — Arbeitselement“. Quantitative Angaben von Wirkpaarungskenngrößen werden als **Wirkpaarungskennwerte** bezeichnet. Wirkpaarungskennwerte müssen immer durch die Stoffkennwerte entsprechender Stoffkenngrößen der an der Wirkpaarung vorhandenen Stoffe, durch die Konstruktionsparameter des Arbeitselements und die Betriebsparameter charakterisiert werden.

Für den Begriff „Wirkpaarungskenngröße“ werden oft die Bezeichnungen „Verarbeitungskenngröße“ oder „Bearbeitungskenngröße“ benutzt. Sie sind jedoch für den Bereich der Tierproduktion nicht sinnvoll.

Bild 1 zeigt einige technologische Grundverfahren mit den dazugehörigen Wirkpaarungen und Wirkpaarungskenngrößen, die sich bei einer Wirkpaarungsanalyse als Funktion der Stoffkenngrößen, der Konstruktionsparameter des Arbeitselements und der Betriebsparameter ergeben.

## 3. Stellung und Anwendung von Stoffkenngrößen und Wirkpaarungskenngrößen im Konstruktionsprozeß

Der Konstrukteur muß bestrebt sein, für jede formulierte Aufgabenstellung zur Schaffung technischer Gebilde, die das Verwirklichen eines oder mehrerer technologischer Grundverfahren ermöglichen sollen, unter Berücksichtigung der Stoffeigenschaften optimale Lösungen zu finden.

Erforderlich sind für das Entwickeln des Grund- und Arbeitsprinzips in erster Linie Angaben über Wirkpaarungen in Form von Wirkpaarungskenngrößen, die für entsprechende Stoffkenngrößen, Konstruktionsparameter der Arbeitselemente und Betriebsparameter gelten. Der Konstrukteur muß in dieser Phase auf einen Speicher, einen Katalog von Wirkpaarungen mit allen erforderlichen Wirkpaarungskenngrößen zurückgreifen können, wenn optimale Lösungen

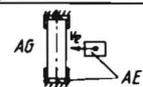
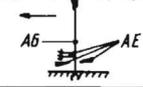
Grundverfahren TGV	Eingangsgröße E	Schematische Darstellung d. Wirkpaarung	Ausgangsgröße A	Wirkpaarungskenngrößen
Reißen	unzerkleinerte Hackfrüchte		zerkleinerte Hackfrüchte mit Zerkleinerungsgrad $\alpha$	$\alpha = f(E\text{-Modul, Trockenmasse, Rohfaser, geometrische Gestalt des Reibelementes, Zerkleinerungsgeschwindigkeit})$
Schneiden	Halm mit einer Länge $l_i$ fest im Boden eingespannt		Halm mit einer Länge $l_k < l_i$ in einem bestimmten Ab- stand abgeschn.	Schnittwiderstand = $f(\text{Trockenmasse, Biegesteifigkeit, Rohfaser, geometrische Gestalt d. Arbeitselementes, Schnittgeschwindigkeit})$
Verdichten u. mechanisch Fördern	Haufwerk von Halmen mit einer Dichte $\rho_n$		Haufwerk von Halmen mit einer Dichte $\rho_n \ll \rho_m$	$\rho_m = f(\text{Trockenmasse, Biegesteifigkeit, Struktur, Textur, äußere stat. u. dynamische Reibbeiwerte, Kanalabm., Verd.geschwindigkeit})$
Lagern	Schwein und abgegrenzter Raum		Schwein im abgegrenzten Raum	Platzbedarf = $f(\text{Tierlänge, Tierbreite, Tierhöhe, Tierverhalten})$
mechanisch Fördern	Kot und Harn auf dem Spaltenboden		Kot und Harn im Güllesammel- behälter	Förderstrom = $f(\text{Trockenmasse, Viskosität, Klauenbreite, Klauenlänge, Spaltbreite, Tierverhalten})$

Bild 1. Beispiele von Wirkpaarungen „landtechnischer Stoff — Arbeitselement“

hervorgebracht werden sollen. Pauschale Richtwerte nützen nur wenig. Um die Zielfunktion für das Entwickeln von Arbeitselementen für Landmaschinen und landtechnische Anlagen [2] zu erfüllen, müssen Wirkpaarungskenngrößen als konkrete Zahlenangaben (Wirkpaarungskennwerte) vorliegen. Erforderlich sind z. B. Angaben über den minimalen Energieaufwand zum Erreichen eines geforderten Ausgangszustands bei gegebenem Eingangszustand eines Stoffes beim Durchführen eines technologischen Grundverfahrens.

Das Gestalten und Dimensionieren von Arbeitselementen erfordert neben dem Beachten der allgemeinen Richtlinien des Maschinenbaus primär die Kenntnis der Kräfte, der Bewegungsabläufe und der geometrischen Bedingungen an der Wirkpaarung „landtechnischer Stoff — Arbeitselement“. Der Konstrukteur muß auch hier auf Wirkpaarungskenngrößen mit zahlenmäßig konkreten Wirkpaarungskennwerten unter Angabe der sie charakterisierenden Stoffkennwerte, Konstruktionsparameter und Betriebsparameter zurückgreifen können. Es genügt in diesen Fällen nicht, wenn Mittelwerte vorliegen. Es müssen mögliche Schwankungsbereiche, Extremwerte, Häufigkeiten, statistische Sicherheiten und zeitliche Abhängigkeiten angegeben werden.

Aus den bisherigen Ausführungen ist hervorgegangen, daß ein wichtiges Kriterium für das Entwickeln von Arbeitselementen für Landmaschinen und landtechnische Anlagen Wirkpaarungskenngrößen bilden, die die Wechselbeziehungen an der Wirkpaarung charakterisieren. Ist ein entsprechender Speicher noch nicht vorhanden, so sollte jede Entwicklung mit Wirkpaarungsanalysen beginnen, aus denen dann Wirkpaarungskenngrößen resultieren.

#### 4. Methoden zum Ermitteln von Wirkpaarungskenngrößen und Stoffkenngrößen

Für das Ermitteln von Wirkpaarungskenngrößen können theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt werden (Bild 2). Die theoretische Analyse ist in vielen Fällen mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Dafür gibt es folgende Ursachen:

- Es fehlen überwiegend konkrete und verwendbare Angaben über die Eigenschaften landtechnischer Stoffe, viele vorhandene sind wegen der Fragwürdigkeit der Bestimmungsmethoden anzuzweifeln.
- Landtechnische Stoffe weisen komplizierte rheologische Eigenschaften auf, die geschwindigkeits- und zeitabhängig sind.
- Die Eigenschaften landtechnischer Stoffe hängen sehr von Struktur und Textur ab, die sich in vielen Fällen durch verschiedene Ursachen verändern.
- Landtechnische Stoffe sind in ihren Eigenschaften anisotrop und ihre Struktur ist inhomogen.
- Der Variationsbereich der Stoffkennwerte ist aufgrund vieler Einflüsse groß.
- Zusammenwirken von Stoff und Arbeitselement an der Wirkpaarung kann kinematisch und dynamisch oft nicht vollständig in mathematischer Form beschrieben werden, bzw. liefert oft komplizierte Ausdrücke.

Das methodische Vorgehen beim Bestimmen von Wirkpaarungskenngrößen auf theoretischem Wege ist am Beispiel der Lagerungsdichte von Halmgütern in Behältern im Bild 3 gezeigt. Am Ende jeder theoretischen Wirkpaarungsanalyse muß zum Überprüfen der Aussagen das Experiment stehen. Erst wenn sich eine Übereinstimmung ergeben hat, können Berechnungsverfahren in der Praxis angewendet werden.

Experimentelle Untersuchungen zum Bestimmen von Wirkpaarungskenngrößen können grundsätzlich an der Originalwirkpaarung oder an einem Wirkpaarungsmodell durchgeführt werden. Zur Präzisierung der Aufgabenstellung für die experimentellen Untersuchungen muß immer eine theoretische Wirkpaarungsanalyse vorangestellt werden.

Ergebnisse aus Untersuchungen an der Originalwirkpaarung sind sofort übertragbar. Sie können jedoch nur für diese

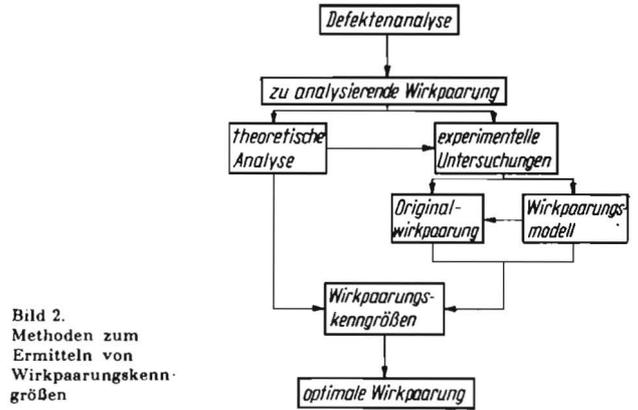


Bild 2. Methoden zum Ermitteln von Wirkpaarungskenngrößen

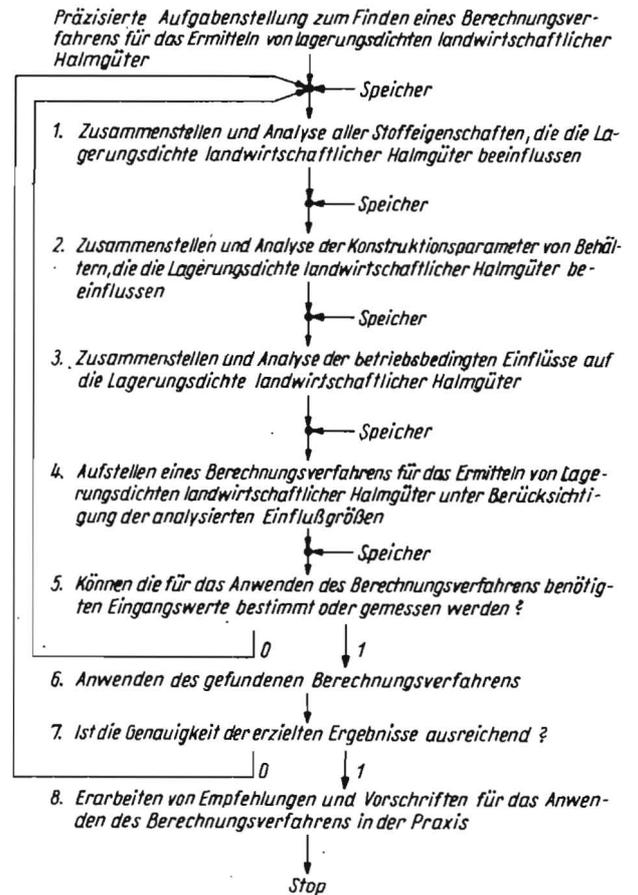


Bild 3. Methode zum Aufstellen eines Verfahrens zum Berechnen von Lagerungsdichten landwirtschaftlicher Halmgüter in Behältern [4]

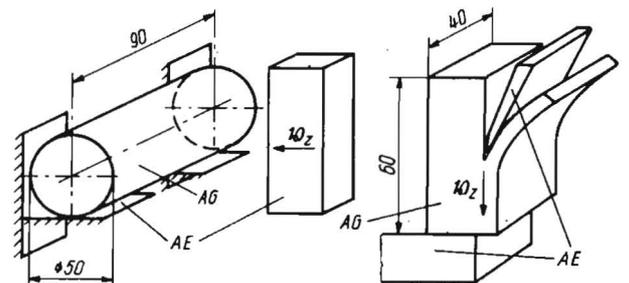


Bild 4. Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Untersuchung des Schneidens und Reißens von Zuckerrüben

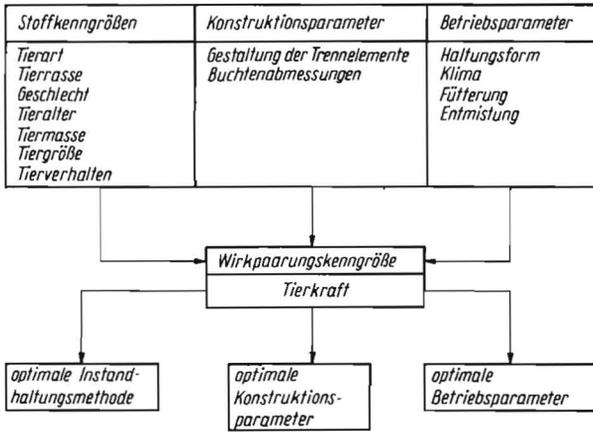


Bild 5. Einflußgrößen auf die Wirkpaarungskenngröße „Tierkraft“

Wirkpaarung verwendet werden und gelten nur für die Bedingungen, unter denen sie ermittelt wurden.

Durch Modelluntersuchungen wird die experimentelle Versuchsarbeit vereinfacht und rationeller gestaltet. Die Ergebnisse sind aber nicht ohne Bedenken sofort übertragbar. Das liegt vor allem daran, daß aufgrund der Modellgesetze auch die dynamischen Bedingungen verändert werden. Damit ergeben sich jedoch für das Zusammenwirken „landtechnischer Stoff — Arbeitselement“ neue Verhältnisse, weil die Eigenschaften vieler Stoffe geschwindigkeitsabhängig sind. Es müssen deshalb im Anschluß an Modelluntersuchungen Kontrollexperimente an der Originalpaarung durchgeführt werden.

Im Folgenden wird an einigen Beispielen die Methode des Ermitteln von Wirkpaarungskenngrößen durch experimentelle Untersuchungen demonstriert:

#### 4.1. Beispiel: Reißen und Schneiden von Zuckerrüben

Eine gründliche Auswertung des gegenwärtigen Wissensstands ergab, daß Wirkpaarungskenngrößen für das Zerkleinern von Zuckerrüben auf theoretischem Wege nicht ermittelt werden können. Deshalb ist es erforderlich, für das Reißen und Schneiden von Zuckerrüben Wirkpaarungskenngrößen durch experimentelle Untersuchungen zu bestimmen. Der jeweilige Versuchsaufbau ist schematisch im Bild 4 dargestellt. Der Zerkleinerungserfolg  $\alpha$  als die Wirkpaarungskenngröße, die die Effektivität der entsprechenden Arbeitselemente am besten bewertet, wurde an der Originalwirkpaarung ermittelt.

Für den Zerkleinerungserfolg  $\alpha$  gilt folgende Gleichung:

$$\alpha = \frac{O_2 - O_1}{W_z} \quad (1)$$

- $\alpha$  Zerkleinerungserfolg in m/Nm
- $O_1$  Oberfläche des Arbeitsgegenstandes vor dem Zerkleinern in  $m^2$
- $O_2$  Oberfläche des Arbeitsgegenstandes nach dem Zerkleinern in  $m^2$
- $W_z$  Zerkleinerungsenergie in Nm

Der Zerkleinerungserfolg  $\alpha$  wird beim Schneiden von den Konstruktionsparametern Keilwinkel, Freiwinkel, Schneidenradius und Zügigkeit des Schnitts, von den Betriebsparametern Spandicke und Schnittgeschwindigkeit sowie von den Stoffkenngrößen Trockenmassegehalt, Rohfasergehalt und Elastizitätsmodul beeinflusst. Beim Reißen sind die Einflußgrößen bei den Konstruktionsparametern die geometrische Gestalt des Arbeitselements und die Zuordnung der Arbeitselemente, bei den Betriebsparametern die Zerkleinerungsgeschwindigkeit und bei den Stoffkenngrößen der Trockenmassegehalt, der Rohfasergehalt und der Elastizitätsmodul.

Der Zerkleinerungserfolg  $\alpha$  wird unter Variation der Einflußgrößen in Einzelkornuntersuchungen bestimmt. Die Versuchsergebnisse ermöglichen das Festlegen von optimalen Konstruktions- und Betriebsparametern.

#### 4.2. Beispiel: Wirkpaarung Tier — Standausrüstung

Zum Gestalten und Dimensionieren von Standausrüstungen der Schweinehaltung müssen die Beanspruchungen bekannt sein, die vom Tier auf die jeweiligen Bauteile ausgeübt werden. Eine theoretische Behandlung der Wirkpaarung Tier — Standardausrüstung ist vollständig nicht möglich, weil vor allem das Tierverhalten gegenwärtig noch nicht mathematisch erfaßbar ist.

Es müssen deshalb experimentelle Untersuchungen durchgeführt werden. Im Bild 5 sind die Einflußgrößen auf die Wirkpaarungskenngröße „Tierkraft“ dargestellt. Zum Bestimmen der Beanspruchungen, die vom Tier auf den Spaltenboden der Standausrüstung ausgeübt werden, können zwei Methoden gewählt werden. Die Methode, das Schwein mit Meßgebern, z. B. an den Füßen, auszurüsten, bringt objektive Schwierigkeiten, die vor allem aus dem Tierverhalten resultieren. Es wurde deshalb die Methode benutzt, Dehnungen und damit auch Spannungen am Spaltenbodensegment zu messen. Diese Versuche wurden an einer serienmäßig hergestellten Standausrüstung durchgeführt. Die auf diese Weise an der Originalwirkpaarung gewonnenen Ergebnisse gelten deshalb ohne Einschränkung nur für diese Standausrüstung. Das Übertragen auf andere Standausrüstungen ist nur dann möglich, wenn die Ergebnisse so aufbereitet werden, daß aus den an der Originalwirkung gemessenen Dehnungen und Spannungen die Tierkräfte berechnet werden können.

Stoffkenngrößen lassen sich grundsätzlich nur durch experimentelle Meßmethoden bestimmen. Es müssen dabei solche Meßmethoden ausgewählt werden, die eindeutige und reale Ergebnisse liefern. Der gegenwärtig teilweise vorhandene Tatbestand, daß beim Anwenden verschiedener Meßmethoden für gleiche Stoffkenngrößen verschiedene Werte ermittelt werden, kann nicht befriedigen und muß verändert werden.

Für schwer zu ermittelnde Stoffkenngrößen sollten funktionelle Abhängigkeiten mit einfach bestimmbareren Stoffkenngrößen als unabhängige Variable aufgestellt werden.

Zum Beispiel wird beim Verdichten, Lagern und Belüften von Halmguthaufwerken für das Berechnen einiger Wirkpaarungskenngrößen die mittlere Biegesteifigkeit der Halme benötigt. Die relativ zeitaufwendige Messung der mittleren Biegesteifigkeit kann umgangen werden, wenn der ursprünglich für die Schüttdichte aufgestellte Zusammenhang verwendet wird /3/:

$$e_s = \frac{3272}{TM} + \frac{2,6}{\sqrt{EI}} - 0,026 l_H + 0,3 \quad (2)$$

$$EI = \left( \frac{2,6}{(-3272,0/TM) + 0,026 l_H + e_s - 0,3} \right)^2 \quad (3)$$

- $e_s$  Schüttdichte in  $kg/m^3$
- TM Trockenmassegehalt in Prozent
- EI Biegesteifigkeit der Einzelhalme in  $kp \cdot cm^2$
- $l_H$  mittlere Häcksellänge in mm

Die mittlere Biegesteifigkeit EI kann nach Gleichung (3) aus dem Trockenmassegehalt TM, der mittleren Häcksellänge  $l_H$  und der Schüttdichte  $e_s$  bestimmt werden.

#### 5. Aufgaben von Lehre und Forschung

Wirkpaarungs- und Stoffkenngrößen bilden in den einzelnen Phasen des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses wichtige Kriterien für das Finden von optimalen Lösungen. Entsprechend dieser Bedeutung kann der gegenwärtige Erkenntnisstand auf diesem speziellen Gebiet der

landtechnischen Forschung noch nicht befriedigen. Es ergeben sich daraus für Lehre und Forschung folgende Aufgaben:

- Für das Bestimmen von Stoffkenngrößen sollten eindeutige Meßmethoden erarbeitet werden, die klare Ergebnisse liefern. Es ist erforderlich, daß daran anschließend entsprechende Standards ausgearbeitet werden.
- Wirkpaarungskenngrößen für landtechnische Wirkpaarungen müssen systematisch ermittelt und entsprechend aufbereitet gespeichert werden.
- Bei der Angabe der Wirkpaarungskenngrößen müssen auch deren Variationsbereiche angegeben werden.
- Vorrangig sind zunächst Analysen an den Wirkpaarungen durchzuführen, die sich aus Defektenanalysen in Landmaschinen und landtechnischen Anlagen ergeben.
- In der landtechnischen Lehre müssen klare Methoden für das Durchführen von Wirkpaarungsanalysen und das Gewinnen von Wirkpaarungskennwerten sowie Methoden und Kriterien für das Anwenden von Wirkpaarungskenngrößen und Stoffkenngrößen im Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß vermittelt werden.
- Es muß das erklärte Ziel aller Bestrebungen sein, die Wirkpaarungsanalysen und die Stoffuntersuchungen, die zunächst mit sehr speziellen Aufgabenstellungen durchgeführt werden, schrittweise so anzulegen und ihre Ergebnisse versuchen so zu verallgemeinern, daß allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten einer landtechnischen Mechanik aufgestellt werden können.

Das Lösen dieser Aufgaben kann in der landtechnischen Wissenschaft nur durch ein konzentriertes Zusammenarbeiten erreicht werden. Es wird darüber hinaus erforderlich sein, bei einigen Problemen Wissenschaftler von Grundlagendisziplinen (Mathematik, Physik, Chemie, Biologie) hinzuzuziehen.

## 6. Zusammenfassung

Nach der Definition der Begriffe „Stoffkenngröße“ und „Wirkpaarungskenngröße“ wird deren Stellung, Bedeutung und Anwendung im Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß erläutert. Der Konstrukteur muß bei seiner Arbeit auf konkrete zahlenmäßige Angaben über das Verhalten von Stoffen und Arbeitselementen und ihr Zusammenwirken an der Wirkpaarung zurückgreifen können, wenn optimale Lösungen erreicht werden sollen. Pauschale Richtwerte nützen hier nur wenig.

Für das Ermitteln von Stoffkenngrößen müssen sichere Methoden erarbeitet werden, die reale Ergebnisse liefern. Das Bestimmen von Wirkpaarungskenngrößen auf theoretischem und experimentellem Weg wurde an Beispielen erläutert.

Die landtechnische Forschung muß als eine ihrer Hauptaufgaben systematisch Wirkpaarungsanalysen durchführen. Die Ergebnisse (Wirkpaarungskennwerte) müssen entsprechend aufbereitet in einem geeigneten Speicher zusammengefaßt werden.

## Literatur

- /1/ Lucius, J.: Methodik der Werkzeugentwicklung für die Bodenbearbeitung. Vortrag auf der Weiterbildungsveranstaltung der Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik der TU Dresden, am 26. und 27. Februar 1971 (unveröffentlicht).
- /2/ Plötner, K.: Methodische Grundlagen für die Entwicklung von Landmaschinen und Anlagen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 22 (1973) Mathematisch-naturwissenschaftl. Reihe. H. 1, S. 41–53.
- /3/ Plötner, K.: Bedeutung der systematischen Heuristik und der Konstruktionssystematik für die Entwicklung von Landmaschinen. Manuskript einer Veröffentlichung (erscheint 1974 in der Wissenschaftlichen Zeitschrift der Universität Rostock, Mathematisch-naturwissenschaftl. Reihe).
- /4/ Füll, Chr.: Ein Beitrag zum Berechnen von Dichten und Horizontaldrücken bei der Lagerung landwirtschaftlicher Halmgüter in Behältern. Dissertation, Universität Rostock 1972. A 9619

# Die Bedeutung des Bodens als Werkstoff für das Entwickeln von Bodenbearbeitungswerkzeugen

Prof. Dr.-Ing. R. Soucek, KDT / Dr.-Ing. G. Bernhardt, KDT / Dipl.-Ing. K. Bernhardt, KDT / Dipl.-Ing. B. Leitholdt, KDT  
Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

## 1. Besonderheiten des Werkstoffs Boden

Ziel der Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft ist es, den in der landwirtschaftlichen Praxis vorliegenden Boden, der Zustandsänderungen unterworfen ist, mit möglichst geringem Aufwand durch das Einwirken spezieller Werkzeuge so zu verändern, daß er den Pflanzen optimale physikalische, biologische und chemische Wachstumsbedingungen bietet und das Wirksamwerden anderer ackerbaulicher Maßnahmen unterstützt. Somit ist der Boden aus der Sicht seiner Bearbeitung ein Werkstoff, dessen physikalische Eigenschaften durch die Bearbeitung zielgerichtet verändert werden.

Wesentliche Besonderheiten des Werkstoffs Boden gegenüber anderen Werkstoffen, z. B. den Metallen, sind:

- Die Heterogenität des Bodens und die ständige Veränderung seiner Eigenschaften durch Bearbeiten und Befahren, durch Klima und Pflanzenbestand
- Das Vorhandensein von Lebewesen im Boden und seine Funktion als Träger für den ständigen Ablauf von physikalischen, chemischen und biologischen Vorgängen.

Diese Besonderheiten müssen bei Entwicklung und Einsatz von Bodenbearbeitungswerkzeugen berücksichtigt werden.

## 2. Methoden zum Entwickeln von Bodenbearbeitungswerkzeugen

Die landtechnische Forschung beschäftigt sich schon sehr lange mit der Entwicklung von Bodenbearbeitungswerkzeugen. Es wurde eine Vielzahl von Werkzeugen entwickelt, von denen sich nur ein Teil in der Praxis durchsetzen konnte.

Beim Betrachten der Methoden zur Werkzeugentwicklung wird deutlich, daß die Mehrzahl der Werkzeuge für das Bearbeiten des Bodens aufgrund des unzureichenden Stands der Forschung empirisch gefunden wurde. Nur in einigen Sonderfällen war eine wissenschaftliche Entwicklung der Werkzeuge möglich.

Für eine wissenschaftliche Entwicklung von Bodenbearbeitungswerkzeugen existieren nach Lucius /1/ folgende Methoden:

- Systematische Untersuchung der Konstruktions- und Betriebsparameter von Werkzeugelementen oder Werkzeugen
- Berechnen der Werkzeuge aufgrund des mechanischen Verhaltens des Werkstoffs Boden.

Mit einer systematischen Untersuchung der Konstruktions- und Betriebsparameter können für konstante Kenngrößen des