

Messung des Durchsatzes von losem Schüttgut mit Hilfe von Ultraschall-Meßwertgebern

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

1. Problemstellung

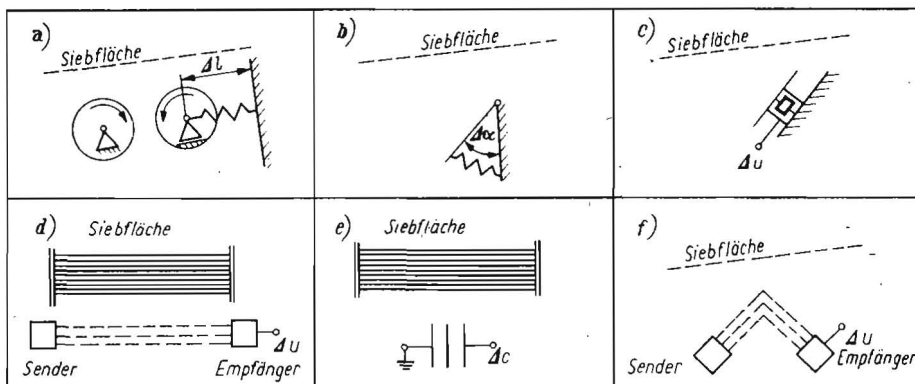
Zum Trennen loser Beimengungen mit einer Fraktionsgrenze von ≤ 40 mm Quadratmaß werden in der Landwirtschaft meist Schwingsiebe oder umlaufende Siebketten verwendet. Die Bestimmung des Siebdurchsatzes ist direkt durch eine Wägung der abgeseibten Masse, bezogen auf eine Zeiteinheit, möglich. Für stationäre Einrichtungen erfolgt diese Wägung zweckmäßigerweise mit Hilfe von Bandwaagen. Problematisch wird die Bestimmung des Siebdurchsatzes an mobilen Landmaschinen. An Kartoffelerntemaschinen werden z. B. abrollbare Planen oder Behälter angebracht, die über eine bestimmte Meßstrecke die abgeseibte Masse aufnehmen. Nach dem Durchfahren der Meßstrecke muß die abgeseibte Masse gewogen werden. Eine kontinuierliche Messung des Siebdurchsatzes an mobilen Landmaschinen konnte bisher durch die radiometrische Messung der Siebbeaufschlagung und des Siebüberlaufs verwirklicht werden [1]. Eine solche Meßmethode verringert einerseits den Erprobungsaufwand in der Landmaschinenentwicklung und ermöglicht andererseits die Steuerung bzw. Regelung des Siebdurchsatzes an Erntemaschinen für Hackfrüchte, Wurzelgemüse u. ä. Allerdings erfordern radiometrische Meßeinrichtungen u. a. einen erheblichen Bauraum, der durch die Anwendung von Ultraschall wesentlich verringert werden soll.

2. Diskussion von Meßprinzipen

Für die kontinuierliche Messung des Durchsatzes sind verschiedene Prinzipien denkbar

Bild 1. Prinzipie der kontinuierlichen Messung des Durchsatzes von Schüttgut:

- a) Dichte \rightarrow Länge
 Meßprinzip: mechanisch
 DDR-WP 93449
- b) Dichte, Kraft \rightarrow Winkel
 Meßprinzip: mechanisch
- c) Dichte, Kraft \rightarrow Spannung
 Meßprinzip: piezoelektrisch, magnetostruktiv
- d) Dichte \rightarrow Spannung
 Meßprinzip: akustisch, optisch, radiometrisch
 DDR-WP 99 913
- e) Dichte \rightarrow Kapazität
 Meßprinzip: kapazitiv
- f) Dichte \rightarrow Spannung
 Meßprinzip: akustisch, optisch, radiometrisch



(Bild 1). Im folgenden seien nur wenige wesentliche Vor- und Nachteile der Prinzipien aufgeführt. Die mechanisch wirkenden Prinzipien (Bilder 1a und b) sind für leichte Gutarten, wie Getreide, Pellets u. a., zu unempfindlich, für Hackselgut kommt zur Unempfindlichkeit die Störanfälligkeit hinzu und für feuchtes Schüttgut, wie lose Erde, besteht die Gefahr der Verklebung der Oberflächen, was in diesem Fall auch für die in den Bildern 1c und e dargestellten Prinzipien gilt. Große Vorteile weisen demgegenüber die rückwirkungsfrei arbeitenden akustischen, optischen und radiometrischen Meßprinzipien auf (Bilder 1d und f.). Sie unterscheiden sich in Empfindlichkeit, Störanfälligkeit, Meßfehler usw. voneinander. Gegenüber den mechanisch wirkenden Prinzi-

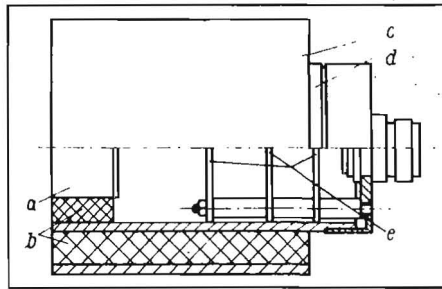


Bild 2. Aufbau des Ultraschallempfängers
 a) Ultraschallwandler, b) PUR-Schaum zur Schwingungsdämpfung, c) äußerer Mantel (für Ultraschallempfänger), d) Gehäuse mit Anschlußdose, e) Leiterplatten für elektronischen Sender oder Verstärker

pen haben alle anderen genannten Prinzipien den Nachteil eines relativ hohen Aufwands für die elektronische Meßwertverarbeitung. Die Probleme und die Einsatzgrenzen optischer und radiometrischer Prinzipien der Meßwertfassung und -verarbeitung sind bereits weitestgehend bekannt. Aufgrund des zunehmenden Einsatzes von Ultraschallwandlern in Luft (vgl. [2 bis 5]), des geringen Bedarfs an Bauraum, des einfachen Aufbaus, der geringen Störbeeinflussungen und anderer Faktoren wird die Möglichkeit zur Messung des Siebdurchsatzes von losem Schüttgut mit Hilfe von Ultraschall-Meßwertgebern nach dem Durchstrahlungsprinzip (Bild 1d) untersucht.

3. Prinzip einer Ultraschallmessung

Das Grundprinzip dieser Ultraschallmessung besteht in der Schwächung des empfangenen Ultraschallpegels und der daraus resultierenden veränderten elektrischen Spannung. Eine Beeinflussung des Schallpegels bewirken u. a. Dichte-, Absorptions- und Reflexionsunterschiede der untersuchten Stoffe. Für eine bestimmte Gutart mit gleicher Zusammensetzung und für gleiche Betriebs- und Konstruktionsparameter der Siebeinrichtung wird im Eignungsbereich die Schwächung des Ultraschalls der Dichte des Gutstromes und folglich dem Durchsatz proportional sein.

3.1. Aufbau des Ultraschall-Meßwertgebers

Der Ultraschall-Meßwertgeber besteht aus einem Sender und einem Empfänger. Beide sind mechanisch in der gleichen Grundkonzeption aufgebaut und bestehen aus Ultraschallwandler, elektronischer Schaltung sowie aus einer Dämpfungseinrichtung gegen mechanische Schwingungen von Landmaschinen besonders am Empfänger (Bild 2). Die Kombination der mechanischen Dämpfung mit einem schmalbandigen elektronischen Verstärker sichert bei geringem Aufwand einen hohen Störabstand. Entsprechend der Richtcharakteristik von Luftultraschallwandlern [6] kann das zu bewertende Volumen V in Abhängigkeit von der Gutstrombreite b , dem aktiven Wandlerdurchmesser d , dem akustischen Öffnungswinkel β und dem Abstand a berechnet werden (Bild 3):

$$V = \frac{3}{4} \pi b [d^2 + d(2a - b) \tan^2 \beta + \left(\frac{b}{2}\right)^2 \tan^2 \beta] \quad (1)$$

Die Kenntnis über dieses Bewertungsvolumen ist erforderlich, um Kalibrierungen vornehmen zu können.

3.2. Konzeption der elektronischen Ansteuerung

Der Wandler des Ultraschallsenders wird mit Hilfe eines rückgekoppelten Verstärkers kontinuierlich erregt (Bild 4a). Diese Rückkopplung sorgt dafür, daß die Schaltung auf der gewünschten elektrischen Resonanzfrequenz des Wandlers schwingt. Der Sender kann mit einer unstabilierten Gleichspannung von 24 V

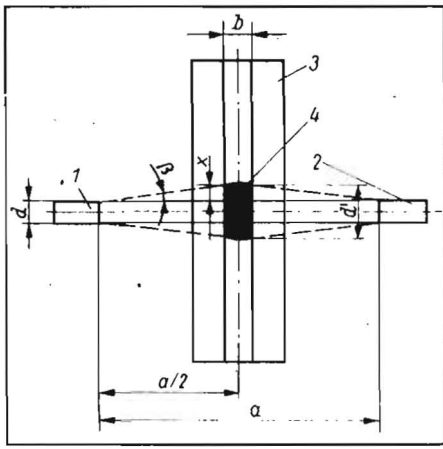


Bild 3. Schematische Darstellung des Durchdringungsvolumens einer Ultraschallschranke: 1 Sender, 2 Empfänger, 3 Dosierbehälter, 4 Bewertungsvolumen

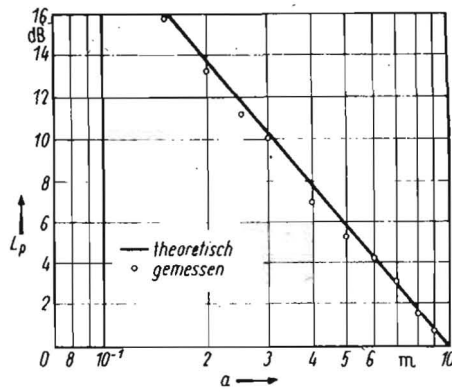


Bild 6. Schalldruckpegel im Abstand zwischen Luftultraschallsender und -empfänger

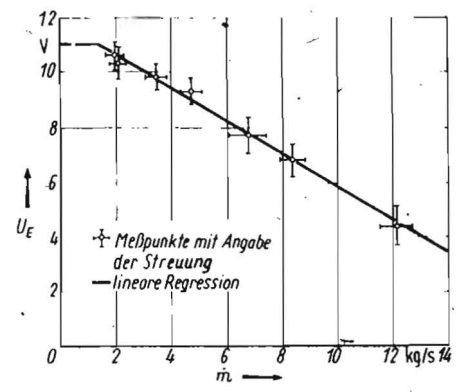


Bild 7. Versuchsaufbau zur Durchsatzmessung mit Hilfe einer Ultraschallschranke: a Förderband, b Bandwaage, c Steilförderer, d Vorratsbehälter mit Zellenradschleuse, e Gummifingerband, f Ultraschallschranke, g Blechverkleidung

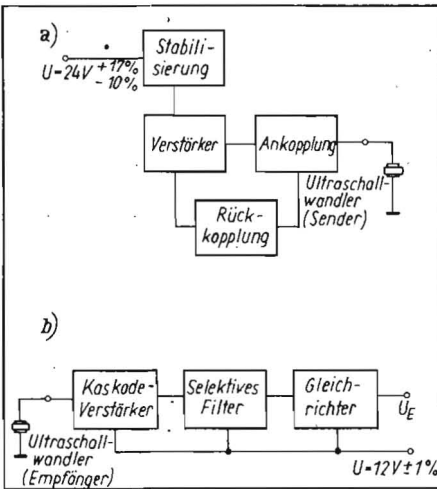


Bild 4. Blockschaltung der elektronischen Steuerung der Ultraschallschranke

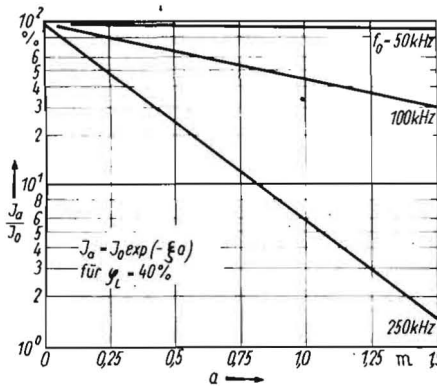


Bild 5. Abnahme der Schallintensität in Luft mit zunehmender Entfernung vom Sender

betrieben werden (Bordspannung moderner Landmaschinen). Die am Wandler des Ultraschallempfängers entstehende Spannung (mV-Bereich) wird verstärkt, zur Verringerung von Störeinflüssen selektiv gefiltert und gleichgerichtet (Bild 4b). Das gleichgerichtete Signal kann z. B. direkt angezeigt oder einem Schwellenwertschalter zugeführt werden. Der Empfänger benötigt eine stabilisierte Gleichspannung von 12 V.

Bild 8. Spannung am Ultraschallempfänger in Abhängigkeit vom Durchsatz

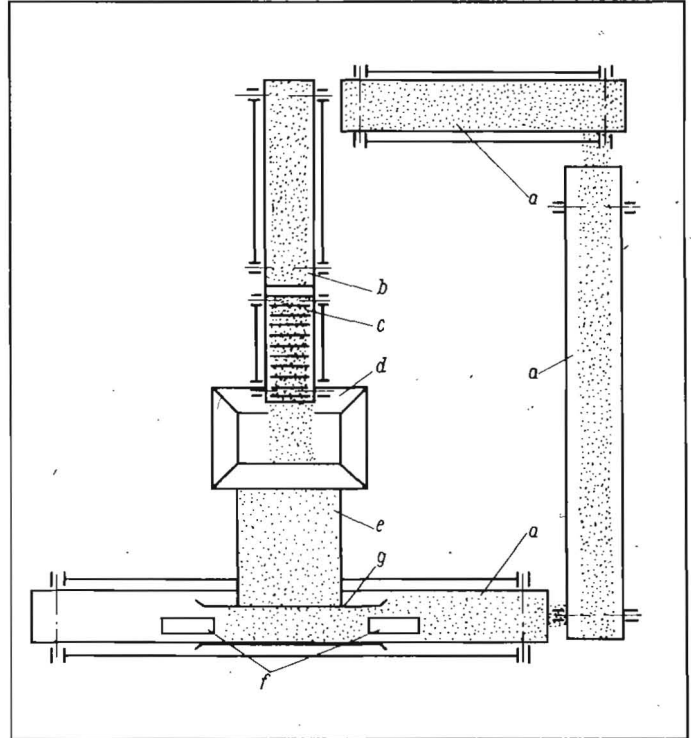


Bild 8

3.3. Wesentliche Eigenschaften der Ultraschallmessung in Luft

Je nach der Dicke der Membran und den Eigenschaften der Piezokeramik stellen sich für den als Biegeschwinger arbeitenden Luftultraschallwandler Grundschwingungen mit einer Resonanzfrequenz von $f_0 = 30 \dots 50$ kHz ein. Dieser Bereich ist für die geforderte Anwendung günstig, da hierbei die durch Luft hervorgerufene Dämpfung gering ist. Als Maß für die Luftdämpfung dient die Schallintensität I_a , die in Abhängigkeit vom Abstand a zwischen Sender und Meßort bestimmt wird:

$$I_a = I_0 \exp(-\xi a) \quad (2)$$

In [7] wurde die von der Luftfeuchtigkeit φ_L (in %) und der Frequenz f_0 (in kHz) abhängige Variable ξ (in 1/m) explizit bestimmt:

$$\xi = 37 \cdot 10^{-6} f_0^2 + \frac{12,5 \cdot 10^{-3} \cdot f_0}{3,65 \cdot 10^{\varphi_L/40} + \frac{3,65 \cdot 10^{\varphi_L/40}}{f_0}} \quad (3)$$

Bei der Sendefrequenz $f_0 = 50$ kHz beträgt beispielsweise der Verlust an Schallintensität in einem Abstand $a = 1,5$ m nur rd. 10 % gegenüber 98,5 % bei $f_0 = 250$ kHz (Bild 5). Im Temperaturbereich von $\vartheta = -10 \dots +50$ °C ändert sich die Resonanzfrequenz der untersuchten

Luftschallwandler um $\Delta f_0 \leq 4,5$ %. Dieser Temperaturgang tritt bei Ultraschall-Meßwertgebern sender- und empfängerseitig mit unterschiedlichem Fehler gleichsinnig auf. Die Bandbreite des elektronischen Verstärkers mindert diesen Fehler auf resultierende Spannungsabweichungen von < 1 %. Wie bei vergleichbaren akustischen Wandlern verringert sich der Schalldruckpegel bei Verdopplung des Abstands zwischen Sender und Empfänger um $\Delta L_p = 6$ dB. Dieses Verhalten ist in reflexionsarmen Räumen nachweisbar (Bild 6).

3.4 Ergebnis der Messung des Durchsatzes unter Laborbedingungen

Anlehmiger Sand konstanter Feuchte (Modellboden für Siebversuche) diente als loses Schüttgut zur Messung des Durchsatzes. Der aus einem Vorratsbehälter über eine Zellenradschleuse mit konstanter Drehzahl von einem Gummifingerband aufgefächerte und dosierte Massenstrom fällt durch den Ultraschall-Meßwertgeber auf ein Transportband (Bild 7). Die Meßwertgeber stehen sich im Abstand von 1200 mm auf einer optischen Achse gegenüber. Aufgrund geringerer Störbeeinflussung bilden zwei Leitbleche einen Schacht von 1200 mm \times 250 mm, durch den das Schüttgut fällt. Zusätzliche Fördereinrichtungen trans-

portieren das Schüttgut in einem geschlossenen Kreislauf. Mit Hilfe einer Bandwaage wird der Vergleich zum zu ermittelnden Durchsatz hergestellt. Die Drehzahl der Zellenradschleuse bestimmt den Durchsatz. Der Durchsatz könnte zwischen 2 kg/s und 15 kg/s variiert werden. Mit dieser Versuchsanordnung ist es möglich, lange Meßzeiten und somit einen großen Stichprobenumfang zu realisieren. Die Spannung am Ultraschallempfänger hängt im Bereich zwischen 2 kg/s und 12 kg/s linear vom Durchsatz ab (Bild 8). Bei linearer Regression nach der Gleichung

$$U_E = 11,82 - 0,6 \dot{m} \quad (4)$$

für $1,4 \text{ kg/s} \leq \dot{m} \leq 15 \text{ kg/s}$
 ($U_{E_{\text{Sätt}}} = 11,0 \text{ V}$ für $\dot{m} < 1,4 \text{ kg/s}$)

errechnet sich ein mittlerer Fehler von $\Delta U_E = 0,19 \text{ V}$ (Linearitätsabweichung) für die Spannung am Ultraschallempfänger. Bei einem Durchsatz von $\dot{m} < 1,4 \text{ kg/s}$ nähert sich die Spannung ihrem Sättigungswert von $U_{E_{\text{Sätt}}} = 11,0 \text{ V}$, der bei einem Durchsatz von

$\dot{m} = 0$ erreicht ist. Bei einem Durchsatz von $\dot{m} > 15 \text{ kg/s}$ nähert sich die Spannung am Ultraschallempfänger der Störspannung, die für \dot{m} gegen ∞ ungefähr 0,5 V beträgt. Die Zellenradschleuse erzeugt keinen vollkommen gleichmäßigen Gutstrom. Die Streuung der Meßwerte beinhaltet diesen Fehler. Die an dem Ultraschall-Meßwertgeber gemessene Streuung ist höher als die an der Bandwaage. Das hängt u. a. davon ab, daß durch die Länge der Bandwaage eine Mittelwertbildung erfolgt.

4. Zusammenfassung

Mit der vorgestellten Methode der Ultraschallmessung ist es möglich, den Siebdurchsatz von losem Schüttgut zu messen. Zwischen der am Ultraschallempfänger entstehenden Spannung und dem Durchsatz herrscht in einem den konkreten Versuchsbedingungen entsprechenden Bereich 1,4 kg/s bis 15 kg/s Linearität. Der prinzipielle Aufbau des Ultraschall-Meßwertgebers wurde beschrieben. Die Diskussion auftretender Meßfehler und deren Minderung erfolgte nicht vollständig, da für spezielle

Anwendungen entsprechende Untersuchungen und Betrachtungen notwendig sind.

Literatur

- [1] Aufbau und Erprobung einer radiometrischen Apparatur zur Durchsatzmessung an Kartoffelerntemaschinen. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim, Forschungsbericht 1972 (unveröffentlicht).
- [2] Ultraschallschranke VSS 403, VEB Ultraschalltechnik Halle, Prospekt 1977.
- [3] Böhme, H.: Ultraschall in der Steuerungstechnik. Steuerungstechnik 4 (1971) H. 4, S. 95—99.
- [4] Massa, F.: Ultrasonic Transducers for Use in Air (Ultraschallwandler zur Anwendung in Luft). Proceedings of the IEEE (1965) October, S. 1263—1371.
- [5] Lankjavičius, A. M.: Ul'trazvukovoj profilograf počvy (Ultraschall-Bodenprofilmeßgerät). Mechanizacija i elektrifikacija (1973) H. 11, S. 53—54.
- [6] Piecoxide-Wandler. VALVO-GmbH Hamburg (BRD), Firmenschrift, Ausgabe 1968.
- [7] Winkler, H.: Die Kompensation der zu großen Luftabsorption bei raumakustischen Messungen mit Echogrammen. HF-Technik und Elektroakustik (1964) H. 4, S. 124—130.

A 2388

Analyse der Kapazitätsausnutzung der Maschinenkette für die Welkguternte

Dipl.-Ing. H. Ludley, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

1. Problemstellung

Die Ernte des Welkgutes beansprucht mehr als 50% der Verfahrenskosten und mehr als 60% des Arbeitszeitaufwands für die Welksilageproduktion [1]. Wenn man davon ausgeht, daß die Verfahrenskosten je Einsatzstunde und die Anzahl der Arbeitskräfte durch den Nutzer nur in einem begrenzten Bereich verändert werden können, stellt die Verfahrenskapazität die beeinflussbare Größe dar. Mit dieser Kennzahl wird auch der Grad der Erfüllung des Kapazitätsanspruchs gesteuert. Maßnahmen zur Sicherung des Kapazitätsanspruchs, d. h. zur Einhaltung agrotechnischer Zeitspannen, sind aber notwendig, da sonst Mindererlöse infolge Qualitätsabbau und hohe Verluste eintreten.

Zur Realisierung einer zur Abdeckung des Kapazitätsanspruchs ausreichenden Verfahrenskapazität besteht die Möglichkeit, die technologische Maschinenkapazität, die Anzahl der Maschinen, ihre Ausnutzung und Einsatzform sowie die Abstimmung der Kapazitäten in der Maschinenkette zu ändern. Für den Nutzer landtechnischer Arbeitsmittel sind die vier letztgenannten Bestimmungsgrößen variierbar, davon die Anzahl der Maschinen nur bedingt. Bei konstanter Maschinenkapazität sind demzufolge die zeitlichen Beziehungen in der Maschinenkette ein wichtiges Gestaltungsmittel im Einsatzbetrieb. Im vorliegenden Artikel sollen daher anhand von Ergebnissen aus Simulationsrechnungen Ansatzpunkte und Hinweise für die gezielte Beeinflussung der Kontinuität des Prozeßablaufs gegeben werden.

2. Zusammenhänge zwischen der Verfahrenskapazität und der Kontinuität des technologischen Prozesses

Im Bild 1 sind die Verfahren der Halmfuttermaternte dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß

als Betrachtungsgegenstand eine dreigliedrige Maschinenkette, bestehend aus erntender, transportierender und annehmender Einheit, gewählt wird. Es wird eine Abgrenzung zum Schwadmähen, die zeitlich relativ unabhängig von der Ernte des gewelkten Gutes ist, und zur Weiterverarbeitung nach der Annahme vorgenommen. Für die Welkguternte ergibt sich daher als Eingangsgröße das in Schwaden liegende Gut und als Ausgangsgröße die im Silo oder am Trockenwerk befindliche Erntemasse. Im weiteren werden als annehmende Einheit Horizontalsilos betrachtet.

Zur Ableitung der Beziehungen zwischen realisierter Verfahrenskapazität und Kontinuität des Prozesses ist eine Erläuterung der Kapazitätsbegriffe erforderlich, die einer Präzisierung der Vorstellungen aus [2] entspricht.

Die *technische Maschinenkapazität* charakterisiert das technisch-konstruktiv vorgegebene maximale Leistungsvermögen einer Maschine. Dieses Leistungsvermögen wird nur realisiert bei Einhaltung der agrotechnischen Forderungen für diese Maschine bei determinierten Prozeßvorgängen und determinierter Beschaffenheit des Arbeitsgegenstands ohne leistungsmindernde Einflüsse des arbeitenden Menschen. Grundsätzlich gilt als Bezugsbasis die Zeitkategorie T_1 (Grundzeit nach TGL 22290).

Unter *technologischer Maschinenkapazität* wird das Leistungsvermögen eines einzelnen landtechnischen Arbeitsmittels verstanden. Sie charakterisiert das Arbeitsvermögen der einzelnen Maschine bei bestimmten, konkreten Bedingungen, die daher mit der Bezugsbasis Zeitsumme T_{02} festgelegt wird.

Zur Kennzeichnung des Leistungsvermögens von mehreren landtechnischen Arbeitsmitteln einer Maschinengruppe oder mehrerer, miteinander verketteter Maschinengruppen wird der Begriff *Verfahrenskapazität* eingeführt,

wobei zwischen potentieller und realisierter Größe unterschieden wird.

Unter *potentieller Verfahrenskapazität* ist die realisierbare zu verstehen, die unter Einhaltung der technologisch vorgegebenen Parameter bei störfreiem Prozeßablauf erreicht wird und in der Zeitkategorie T_{02} angegeben wird.

Die *realisierte Verfahrenskapazität* ist die Kategorie, bei der auch Einflüsse von anderen Arbeitsmitteln, von den arbeitenden Menschen oder auch vom Arbeitsgegenstand eingehen. Es sind ausnahmslos kapazitätsmindernde Einflüsse. Sie wird in der Zeitkategorie T_{05} angegeben und stellt somit die Beziehung zum planmäßig nutzbaren Anteil der Einsatzzeit her. Bei der realisierten Verfahrenskapazität ist darauf zu achten, daß der Grenzfall Maschinenkettenlänge und/oder Maschinengruppenbreite gleich 1 enthalten ist.

Entsprechend dem Betrachtungsgegenstand erfolgt die Zuordnung der Kapazitätsbegriffe nach einfachen und verketteten Funktionssystemen (Bild 2).

Die realisierte Verfahrenskapazität $\dot{m}_{T_{04}}$ ergibt sich wie folgt:

$$\dot{m}_{T_{04}} = n \dot{m}_{T_{02}} \prod_{i=1}^n V_i \quad (1)$$

n Maschinengruppenbreite (im allgem. Sprachgebrauch Komplexgröße)
 $\dot{m}_{T_{02}}$ technologische Maschinenkapazität
 V_i technologische Verfügbarkeit der Maschinengruppe.

Der Ausdruck $n \dot{m}_{T_{02}}$ stellt die potentielle Verfahrenskapazität dar und wird im weiteren als Konstante behandelt. Demzufolge findet das Zusammenwirken der Maschinengruppen in der multiplikativen Verknüpfung der Verfügbarkeit seinen Ausdruck.

1) Da die arbeitsbedingte Erholungszeit T_1 als Normativ ohne Schwierigkeiten eingeführt werden kann, wurde die Zeitkategorie T_{04} gewählt.