

eigenschaften des Fördermediums (Bild 4). Der augenblickliche spezifische Druckverlust an der beliebigen Stelle l errechnet sich nach Gl. (13):

$$\frac{\Delta p}{\Delta l} (l) = \frac{4\tau_w(t_M)}{d} (\delta_0 - m \ln \frac{l}{V}) \quad (13)$$

Das Berechnungsbeispiel verdeutlicht, daß bei Nichtbeachtung der thixotropen Effekte eine Unterbemessung erfolgen würde, die u. U. Betriebsstörungen zur Folge haben könnte.

5. Zusammenfassung

Konzentrierte Schweinegülle mit $TS > 10\%$ hat zunehmend ein zeitabhängiges Fließverhalten. Wenn die thixotropen Effekte bei der Druckverlustberechnung unberücksichtigt bleiben, kann es zur Unterbemessung der Förderanlagen führen. Bekannte Untersuchungsmethoden erfordern einen erheblichen experimentellen Aufwand und setzen

die genaue Kenntnis des Fließverhaltens voraus.

Die dargestellte Meßmethodik ermöglicht eine wesentliche Vereinfachung der Messungen mit Rotationsviskosimetern. Bei konstanter maximaler Schergeschwindigkeit wird die Zeitfunktion $\tau(t)$ aufgenommen, bis ein quasistationärer Zustand zur Zeit t_M erreicht ist. Die unmittelbar anschließend gemessene Fließkurve $\tau(\dot{\gamma}, t_M)$ liefert die relevanten Fließkennwerte [1]. Für Schweinegülle gilt $n(t) = \text{konst.}$, und die Zeitkorrektur kann mit Hilfe eines einfachen linearen Rechenmodells $\delta(t)$ erfolgen, dessen Faktoren nur von der Konzentration TS abhängig sind. Damit ist die Berechenbarkeit des Zeitverhaltens von TS -reicher Schweinegülle mit vertretbarem Aufwand gegeben. Die Anwendung auf die Druckverlustberechnung wird dargestellt und an einem Rechenbeispiel gezeigt.

Literatur

- [1] Türk, M.: Das Fließverhalten von trockensubstanzreicher Schweinegülle. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 1, S. 31–33.
- [2] Türk, M.: Bestimmung der Fließgrenze von Gülle. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 10, S. 472–474.
- [3] Türk, M.: Fließverhalten von separiertem Bioschlamm aus Schweinegülle. agrartechnik, Berlin 28 (1978) 7, S. 292–295.
- [4] Boese, E.: Untersuchungen zur Beschreibung des thixotropen Verhaltens der Gülle und ihre Anwendung auf die Berechnung technischer Prozesse. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1977.
- [5] Türk, M.; Hörnig, G.; Schiller, G.: Berechnung des Druckverlustes beim Rohrtransport von Schlempe. Lebensmittelindustrie, Leipzig 28 (1981) 11, S. 503–507.
- [6] Türk, M.: Druckverlust bei der Förderung konzentrierter fluider Medien aus Kartoffeln in Rohrleitungen. agrartechnik, Berlin 28 (1978) 8, S. 347–350.

A 4198

Entwässerung von Feststoff aus Schweinegülle auf einer Deponie

Dr. H. Kühl, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Tierproduktion

1. Aufgabenstellung

Bei der Fest-Flüssig-Trennung von Schweinegülle durch Bogensiebe werden Gülleflüssigkeit und Feststoff als Trennprodukte gewonnen. Die Gülleflüssigkeit kann unverändert der Verwertung in der Pflanzenproduktion oder einer weiteren Aufbereitung zugeführt werden. Der Feststoff fällt bei diesem Verfahren mit einem Trockensubstanzgehalt von 9 bis 16% an. Für seine Verwendung als organischer Dünger in der Pflanzenproduktion ist eine weitere Entwässerung erforderlich, durch die seine Schüttguteigenschaften verbessert und ein Nachdränen während des Transports vermieden werden sollen. Aus der Literatur [1] und aus Voruntersuchungen war bekannt, daß ein Feststoff mit einem Trockensubstanzgehalt von 25 bis 30% über gute Schüttguteigenschaften verfügt und für den Transport auf öffentlichen Verkehrswegen geeignet ist. Für die Entwässerung des Feststoffs sind das Pressen oder das Zentrifugieren verbreitet. Als eine weitere Möglichkeit wurde das Entwässern durch selbsttätiges Abdränen auf einer Deponie mit planbefestigter Fläche untersucht. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, den Entwäs-

serungsverlauf beim Feststoff bis zum Erreichen des erforderlichen Trockensubstanzgehalts zu ermitteln. Der Trockensubstanzgehalt der verwendeten Gülle betrug 1,8 bis 3,5%.

2. Untersuchungsmethode

Bei den Untersuchungen wurde unterstellt, daß sich der Feststoff aufgrund seiner Struktur ähnlich wie Erdstoffe verhält. In diesem Fall konnten die Gesetzmäßigkeiten der Filterströmung, wie sie aus der Hydraulik bekannt sind, zur Klärung der Vorgänge bei der Entwässerung des Feststoffs genutzt werden. So kann mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß die Entwässerung eines Feststoff-Schüttkegels oder -stapels auf einer befestigten Deponie in vertikaler und horizontaler Richtung verläuft, wobei sich die Flüssigkeit im Feststoff bei der Entwässerung in vertikaler Richtung wie Sickerwasser und in horizontaler Richtung wie Grundwasser verhält.

Zur experimentellen Überprüfung dieser Annahmen wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Untersuchung eines Schüttkegels aus Feststoff mit einem Volumen von rd. 7 m^3 , wobei der Trockensubstanzgehalt des Feststoffs nach der Fest-Flüssig-Trennung und aus der unteren Schicht des Schüttkegels (Höhe bis zu 10 cm) ermittelt wurde; außerdem wurde die Flüssigkeitsoberfläche im Schüttkegel beobachtet.
- Untersuchungen an Schüttkegelmodellen mit einem Volumen von 12 dm^3 zur Ermittlung der zeitabhängig ablaufenden Flüssigkeitsmenge; zur Kontrolle wurde der Trockensubstanzgehalt des Feststoffs vor und nach den Versuchen festgestellt
- Untersuchung der Korngrößenverteilung beim Feststoff
- Untersuchung des Entwässerungsvorgangs in einem Feststoffstapel, bei der der Trockensubstanzgehalt des Feststoffs in

verschiedenen Schichthöhen und nach unterschiedlicher Entwässerungszeit ermittelt wurde.

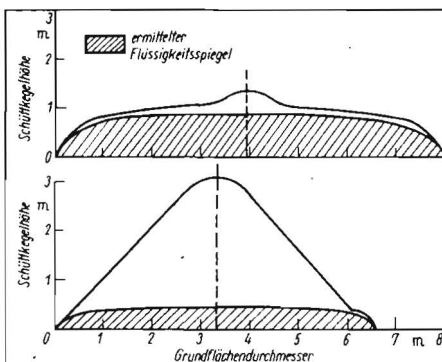
3. Untersuchungsergebnisse

Bei der Schüttung des Feststoffs auf der Deponie bildeten sich Schüttkegel, deren Form erheblich variierte. Zwei extreme Formen von Schüttkegeln sind im Bild 1 dargestellt. In diesen Schüttkegeln erfolgte die vertikale Entwässerung im Vergleich zur horizontalen sehr schnell. Im Ergebnis dieses Vorgangs bildete sich im Schüttkegel eine Flüssigkeitsoberfläche heraus, die weitgehend der Oberfläche des unteren Kegelteils angepaßt war.

Die Flüssigkeitsabgabe in horizontaler Richtung erfolgte bei der Entwässerung des unteren Kegelteils am gesamten Umfang seiner Grundfläche. Dieser Vorgang wurde vorrangig durch den Gefälleunterschied zwischen der Flüssigkeitsoberfläche im unteren Kegelteil und der Deponiefläche bewirkt.

Im Ergebnis des Entwässerungsvorgangs wurde der Trockensubstanzgehalt in der unteren Schicht des Schüttkegels zunächst erheblich reduziert (Bild 2). Er erreichte dabei Werte, die dem Trockensubstanzgehalt von Gülle entsprachen. Die trotz dieses hohen Wassergehalts geringe Fließfähigkeit dieser Schicht ist vermutlich auf die Korngrößenverteilung im Feststoff und auf das bei der Kegelschüttung und dem Entwässerungsvorgang entstandene Teilchengefüge zurückzuführen. Im weiteren Verlauf der Entwässerung wurde erst nach 6 Tagen in der unteren Schicht des Schüttkegels ein Trockensubstanzgehalt erreicht, der den Durchschnittswert des Feststoffs bei der Schüttung nicht wesentlich übertraf. Dieser Sachverhalt begrenzt die Möglichkeiten, auf einer Deponie ohne eine weitere Bearbeitung des Feststoffs in kurzer Zeit ein Schüttgut mit den geforderten Kennwerten herzustellen. Die Untersuchung der in der Zeiteinheit ab-

Bild 1. Schüttkegelformen des Feststoffs



Tafel 1. Veränderung der Korngrößenverteilung im Feststoff bei der Entwässerung in einem Schüttkegel

Korngröße mm	Anteil der Korngrößen im Feststoff	
	nach der Fest-Flüssig-Trennung %	in der unteren Schüttkegelschicht (bis 10 cm) nach einer Entwässerungszeit > 2 h %
2,5	54,09	45,86
2,0	4,24	4,39
1,6	4,24	4,59
1,0	12,70	14,98
0,8	7,20	8,57
0,63	7,12	7,45
0,5	3,70	4,76
0,2	5,06	6,66
0,1	0,75	1,35
< 0,1	0,91	1,39

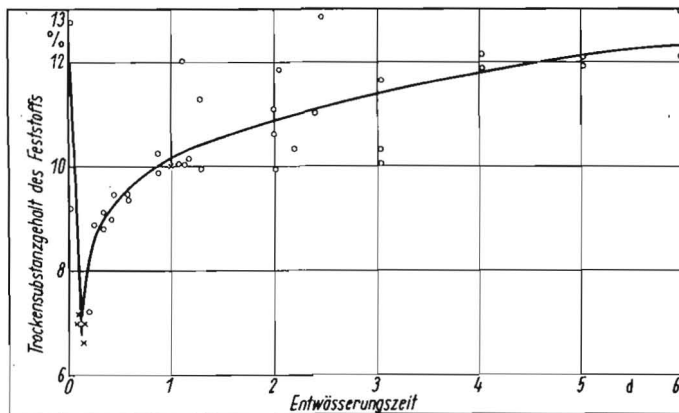


Bild 2. Veränderung des Trockensubstanzgehalts im Feststoff der unteren Schicht (bis 10 cm) eines Schüttkegels in Abhängigkeit von der Entwässerungszeit

laufenden Flüssigkeitsanteile an Modellschüttkegeln bestätigte dieses Ergebnis. Trotz der verhältnismäßig kurzen Entwässerungszeiten konnte bei diesen Versuchen der nach einem spontanen Beginn dann sehr langsam verlaufende Entwässerungsvorgang nachgewiesen werden (Bild 3). Während in den ersten 5 Minuten der Entwässerungszeit durchschnittlich 13% der im Feststoff enthaltenen Flüssigkeit abließen, verringerte sich dieser Anteil zwischen der 25. und 30. Minute auf durchschnittlich 2%.

Bei den Modellversuchen und bei dem Schüttkegelversuch wurde ferner festgestellt, daß bei der Zerstörung des Teilchengefüges eine spontane Nachentwässerung einsetzte. Diese Beobachtung führte zu der Annahme, daß nach den Gesetzmäßigkeiten der Filterströmung die Veränderung der Materialbeschaffenheit des Feststoffs während des Entwässerungsvorgangs für den Verlauf der Entwässerung von Bedeutung sein könnte. Nach [2] hängt die Durchlässigkeit eines Materials allein von der wirksamen Korngröße ab, die durch die obere Grenze der 10% der kleinsten Teile des Materials bestimmt wird. Als Maßzahl für die Durchlässigkeit wird ferner der Ungleichförmigkeitsgrad eines Teilchengemisches angegeben, der als Quotient der Korngröße bei 60% und bei 10% Siebdurchgang bei einer Siebanalyse definiert ist. Die Werte für den Ungleichförmigkeitsgrad liegen in einem günstigen Bereich, wenn sie kleiner oder gleich 5 sind.

Zum Nachweis einer möglichen Veränderung der Durchlässigkeit von Feststoff während des Entwässerungsvorgangs wurden die Anteile der Korngrößen im Feststoff nach der Fest-Flüssig-Trennung und aus der

unteren Schicht des Schüttkegels nach einer Entwässerungszeit von etwa 2 h ermittelt (Tafel 1). Die Ergebnisse zeigen, daß bei der vertikalen Entwässerung des Schüttkegels infolge der Schnelligkeit dieses Vorgangs eine Menge feiner Teile von der Flüssigkeit mitgeführt wird. Von diesem Vorgang sind im wesentlichen alle Fraktionen betroffen, die eine Korngröße < 2,5 mm haben. Bei der langsamer verlaufenden horizontalen Entwässerung kommt es zu einer Sedimentation in der unteren Schicht des Schüttkegels, die zu einer Erhöhung des Anteils der Korngrößen mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 mm in diesem Bereich führt. Einige Fraktionen, vor allem diejenigen mit Korngrößen < 0,2 mm, konnten ihren Anteil gegenüber dem Ausgangsmaterial beträchtlich erhöhen. Der Anteil der Fraktion 0,1 mm verdoppelte sich nahezu. Dieser Sachverhalt führte dazu, daß sich durch die Anreicherung feiner Teile in der unteren Schicht des Schüttkegels deren Durchlässigkeit verschlechterte. Bestanden im Ausgangsmaterial die für die Durchlässigkeit eines Materials bedeutsamen 10% der feinsten Teile aus den Korngrößen < 0,63 mm, so waren es in der unteren Schicht des Schüttkegels die Korngrößen < 0,5 mm. Die Verschlechterung der Durchlässigkeit des Feststoffs zeigt sich auch in der Veränderung des Ungleichförmigkeitsgrades. Hatte er beim Feststoff nach der Fest-Flüssig-Trennung noch den günstigen Wert von annähernd 5, so verschlechterte sich dieser Wert in der unteren Schicht des Schüttkegels auf mehr als 10. Somit ist erklärbar, weshalb sich die Entwässerung des Feststoffs nach kurzer Entwässerungszeit verschlechterte.

Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet wer-

den, daß bei einem Ausgangsmaterial mit einem günstigen Ungleichförmigkeitsgrad eine Unterstützung des Entwässerungsvorgangs in einem Feststoffstapel möglich sein muß. Sie kann in einer Veränderung des Teilchengefüges nach einer Vorentwässerung bestehen. Der Feststoff wurde deshalb nach der Fest-Flüssig-Trennung auf einen Anhänger gefördert. Dort entwässerte er in Anlehnung an die Modellversuche etwa 30 min und wurde danach auf die Deponie abgekippt. Hierdurch wurde die während des kurzzeitigen Entwässerungsvorgangs eingetretene Veränderung der Korngrößenverteilung noch einmal verändert. Infolgedessen verlief der weitere Entwässerungsvorgang auf der Deponie wesentlich anders als in einem nicht umgesetzten Schüttkegel (Bild 4). In den oberen Schichten des Feststoffstapels war durch die schnelle Entwässerung in vertikaler Richtung nach 20 h ein Trockensubstanzgehalt von mehr als 25% zu verzeichnen. Die untere Schicht wies einen gleichmäßigen Verlauf der Entwässerung auf. Als Ergebnis war nach einer Entwässerungszeit von etwa 60 h im gesamten Feststoffstapel ein Trockensubstanzgehalt von 25 bis 30% vorhanden, der der Zielsetzung entsprach.

Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, daß die Entwässerung des Feststoffs auf einer befestigten Deponie bei einmaliger Schüttung infolge der Veränderung seiner Durchlässigkeit und der daraus resultierenden langen Entwässerungszeit die Bewirtschaftung der Deponie erschwert. Durch ein Umsetzen des Feststoffs kann der Entwässerungsprozeß beschleunigt werden, so daß bei einem günstigen Ungleichförmigkeitsgrad des Ausgangsmaterials nach einer Ent-

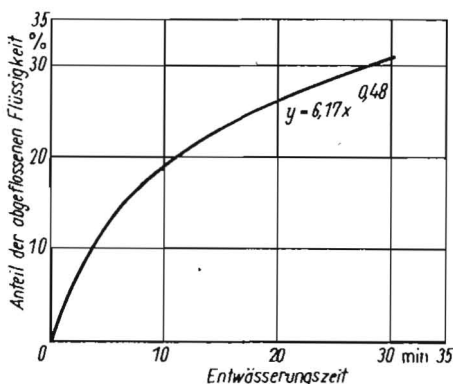
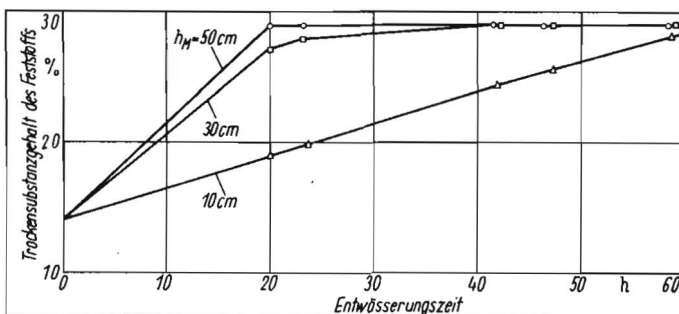


Bild 3. Anteil der abgeflommenen Flüssigkeit von der Gesamtflüssigkeit im Feststoff in Abhängigkeit von der Entwässerungszeit (Modellversuch)

Bild 4. Verlauf der Entwässerung in einem Feststoffstapel mit einer Höhe von 60 cm nach einmaligem Umsetzen; h_M Meßhöhe über der Grundfläche



wässerungszeit von einigen Tagen ein transport- und streufähiger organischer Dünger zur Verfügung steht.

4. Zusammenfassung

Bei der Fest-Flüssig-Trennung von Schweinegülle ist es möglich, den Feststoff mit einem anfänglichen Trockensubstanzgehalt von 9 bis 16% auf einer befestigten Deponie

weiter zu entwässern. Bei einer einmaligen Schüttung des Feststoffs nach der Trennung verändert sich durch die Sedimentation feiner Bestandteile in der unteren Schicht des Schüttkegels deren Durchlässigkeit. Daraus resultieren eine Behinderung des Entwässerungsprozesses und eine lange Entwässerungszeit. Ein Umsetzen des Feststoffs nach einer Vorentwässerung zerstört das entstan-

dene Teilchengefüge, und der Entwässerungsprozeß wird beschleunigt.

Literatur

- [1] Autorenkollektiv: Güllelagerung, -aufbereitung und -ausbringung. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, Berlin 20 (1982) 10.
 [2] Luckner, L., u. a.: Geohydrologie, 2. Lehrbrief. Berlin: VEB Verlag Technik 1979. A 4265

Ausbringen organischer Dünger – Technologie ein- und zweistufiger Verfahren

Dr. agr. M. Schulz, Institut für Düngungsforschung Leipzig-Potsdam der AdL der DDR, Bereich Potsdam

Verwendete Formelzeichen

- AB Arbeitsbreite in m
 AK Anzahl der Arbeitskräfte
 AM Ausbringungsmenge in t/ha
 AS Arbeitsspiele beim Laden in min⁻¹
 AZ spezifischer Arbeitszeitbedarf in AKh/t bzw. AKh/ha
 b Beladeleistung in der Grundzeit T₁ in t/h
 e Entlade- bzw. Verteilleistung in t/h
 EN Energiebedarf (DK) in kg/t
 EN_{am} Energiebedarf für Arbeitsmittel (DK) in kg/h
 HZ Hilfszeit in min
 K Bedarf an Verfahrenskosten in M/t
 KV Verrechnungssatz Verfahrenskosten für ein bestimmtes Arbeitsmittel in M/h
 LM Lademasse je Transportmittel in t
 TE Transportentfernung (Lastfahrt 1/2 TW) in km
 TW Transportweg, Last- und Leerfahrt, in km
 TZ Teilzeiten T₂, T₃, T₄ in min
 V Rotteverluste im Zwischenlager in %
 v mittlere Transport- und Fahrgeschwindigkeit in km/h
 VK Verlustkoeffizient; Ermittlung nach

$$VK = \frac{100}{100 - V}$$

 Vol. Volumen der Arbeitsgeräte von Ladern in m³
 ZE Teilzeit für Erholung T₀₄ im Beispiel 8% der Produktionsarbeitszeit T₀₄
 ρ Dichte in t/m³

Indizes

- B Arbeitsgang Beladen bzw. Füllen
 E Arbeitsgang Entladen bzw. Verteilen
 T Arbeitsgang Transportieren
 V Verfahren bzw. Teilverfahren
 I einstufiges bzw. durchgängiges Verfahren
 II zweistufiges bzw. unterbrochenes Verfahren

1. Problemstellung

Das Ausbringen organischer Dünger tierischer Herkunft hat einen beträchtlichen Einfluß auf den landwirtschaftlichen Reproduktionsprozeß.

Diese Dünger stellen in Form von Stalldung, Jauche und Gülle annähernd ein Drittel aller in der Landwirtschaft zu transportierenden Güter. Für ihren Transport und Umschlag werden etwa 10% des in der pflanzlichen Produktion zum Einsatz gelangenden DK benötigt. Somit hat jede Verbesserung der Verfahrensgestaltung, jede Einsparung von Energie, Zeit und Kosten eine beachtliche Auswirkung auf die Gesamtwirtschaft.

Eine effektivere Verfahrensgestaltung setzt die Kenntnis technologischer und ökonomischer Einflußfaktoren und deren Wirkung voraus. Hierfür sind Analysen durch Aufgliederung technologischer Prozesse in einzelne Operationen aufschlußreich und unerlässlich. Bei Vorliegen einer Rangfolge können zunächst solche Maßnahmen realisiert werden, die entsprechend ihrer Umsetzbarkeit das jeweils günstigste Ergebnis erwarten lassen. Das Ausbringen von organischen Düngern weist mit zahlreichen anderen Transportverfahren Gemeinsamkeiten auf. Es unterscheidet sich aber von diesen in spezifischen Aufgaben, wie dem sich unmittelbar an das Transportieren anschließenden Verteilen oder dem Einhalten pflanzenbaulicher Forderungen. Das Ausbringen wird in seinen technologischen Grundverfahren (Arbeitsgänge) in der Grundzeit T₁ von bestimmten Faktoren geprägt (Tafel 1).

Der Arbeitsprozeß selbst wird nach einstufigen bzw. durchgängigen und zweistufigen bzw. unterbrochenen Transportverfahren unterschieden. Beim einstufigen Verfahren laufen die Arbeitsgänge Beladen bzw. Füllen, Transportieren und Entladen bzw. Verteilen ohne Unterbrechung nacheinander ab. Das

zweistufige Verfahren ist unterbrochen. Zwischen der ersten und der zweiten Stufe ist eine Zwischenlagerung, mindestens jedoch ein Fahrzeugwechsel, eingefügt. Wegen der engen Zusammenhänge zwischen dem Bedarf an Arbeitszeit einerseits sowie den Verfahrenskosten und der Energie andererseits werden die beim Ausbringen wirkenden Beziehungen auf der Basis des Bedarfs an Arbeitszeit erläutert. Den Darstellungen liegt die Zeitgliederung nach [1] zugrunde.

2. Allgemeine Betrachtungen

2.1. Beladen bzw. Füllen

Der spezifische Bedarf an Arbeitszeit wird für den Arbeitsgang Beladen bzw. Füllen in der Operativzeit T₀₂ von der erreichten Belade- bzw. Fülleistung, den eingesetzten Arbeitskräften, der Lademasse des Transportfahrzeugs sowie der Hilfszeit bestimmt:

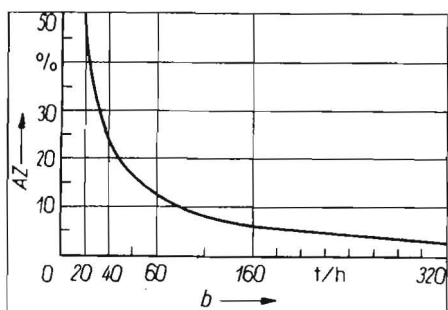
$$AZ_{BT(02)} = AK \left(\frac{1}{b} + \frac{HZ_B}{60 LM} \right) \quad (1)$$

Die Beladeleistung b resultiert vor allem aus dem Leistungsvermögen des Lademittels sowie der Arbeits- und Einsatzorganisation. Der Arbeitszeitbedarf je t verhält sich umgekehrt proportional zur Beladeleistung (Bild 1).

Mit zunehmender Leistungshöhe vergrößern sich demnach die erforderlichen Leistungsstufen zum Erreichen der gleichen Effektivität, verglichen mit niedrigeren Leistungsbereichen. Soll sich z. B. der Arbeitszeitbedarf bei einer Beladeleistung von 150 t/h im gleichen Verhältnis verringern wie von 40 auf 60 t/h, so müßte diese auf 225 t/h steigen. Den sich i. allg. mit steigender Leistung erhöhenden technischen Aufwendungen sollte immer ein angemessener Nutzen gegenüberstehen. Dies ist in den unteren Leistungsbereichen leichter realisierbar als in den höheren.

Beim Fördern von flüssigen organischen Düngern wird die Leistung beim Fremdbefüllen hauptsächlich vom Pumpentyp, der Förderhöhe und dem Durchmesser der Förderleitung bestimmt. Beim Selbstbefüllen von Vakuumtankwagen sind dies die Verdichterleistung, der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) der Gülle, die Förderhöhe sowie der Querschnitt und die Länge der Saugleitung. Einen hohen Volumenstrom beim Selbstbefüllen sichern hohe Verdichterleistungen, niedrige TS-Gehalte, geringe Förderhöhen

Bild 1. Einfluß der Belade- bzw. Fülleistung b auf den Arbeitszeitbedarf AZ in der Grundzeit T₁ (10 t/h ≙ 100%)



Tafel 1. Arbeitsgänge und Faktoren beim Ausbringen organischer Dünger

Arbeitsgang	Faktoren
Beladen bzw. Füllen	Arbeitskräfte Beladeleistung
Transportieren	Arbeitskraft Transportentfernung Fahrgeschwindigkeit Lademasse
Entladen bzw. Verteilen	Arbeitskraft Entladeleistung
Zwischentransport	Arbeitskraft Transportentfernung Fahrgeschwindigkeit Lademasse
Verfahren	Rotteverluste Transportmenge