

Methoden

zur energetischen Analyse von Maschinen-Traktor-Aggregaten

Dipl.-Ing. H. Schulz, KDT/Prof. Dr. sc. techn. K. Queitsch, KDT
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

1. Ausgangsbedingungen

Die Zielfunktion beim Einsatz von Maschinen-Traktor-Aggregaten (MTA) besteht darin, eine maximale Produktivität mit minimiertem Energieaufwand bei Einhalten der Qualitätsparameter zu erreichen. Aus diesem Grund erfordert die weitere Mechanisierung Analysen landwirtschaftlicher Verfahren unter energiewirtschaftlichem Aspekt zum Erfassen, Bewerten und Realisieren energieminimaler Verfahren, besonders durch Erhöhen der Wirkungsgrade beim Maschineneinsatz. In der Pflanzenproduktion betrifft das besonders MTA. Für sie sind durch energetische Analysen und Synthesen sowie durch experimentelle und theoretische Untersuchungen gewonnene Erkenntnisse für die Praxis nutzbar zu machen. Für das Lösen dieser Aufgaben ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Wodurch sind die energetischen Bedingungen von MTA charakterisiert?
- Was ist für eine energetische Optimierung von MTA erforderlich?
- Was wurde bisher gelöst, was wird zur weiteren Lösung vorgeschlagen?

Der Einsatz von MTA stellt sich dabei als Mensch-Maschine-Umwelt-Beziehung dar (Bild 1), wobei die MTA maschinenseitig wie folgt gekennzeichnet werden können:

- Stand der Maschinenbautechnik
- Ausrüstungszustand (z. B. Kontrolleinrichtungen, vorhandene Regeleinrichtungen)
- technischer Zustand der Baugruppen
- Einsatzzuordnung (Größenzuordnung von Antriebs- und Arbeitsmaschine).

Die Möglichkeiten zum Verbessern des Wirkungsgrades technischer Systeme sind gegeben durch

- Optimieren technischer Prozesse beim Einsatz
- Senken der Eigenverluste durch konstruktive und steuerungstechnische Maßnahmen.

Beides setzt Energieanalysen, das Erfassen der Einflußgrößen sowie Wichtungen und Bewertungen für jeweils interessierende Bereiche des MTA-Einsatzes und für weitere technische Lösungen voraus.

Bisher sind kaum zusammenhängende Energieanalysen, Ausgangsdaten, Darstellungen, Methoden und Lösungen vorhanden, um energieoptimale MTA zu bilden, deren Einsatz zu sichern und zu bewerten.

2. Einflüsse auf den Energieaufwand von MTA

Beim Einsatz von MTA ist der Energieaufwand durch den meßbaren Kraftstoffverbrauch erfaßbar. Bei gleichzeitiger Messung der Motordrehzahl kann auch eine Beziehung zum Leistungsbedarf hergestellt werden. Damit ist aber nicht bewertbar, in welcher Größe wo ein Energieaufwand eingetreten ist. Die Ursachen des Energieaufwands (Kraftstoffaufwand) sind in der äußeren und inneren Mechanik von MTA begründet, also

- im Arbeitswiderstand (Stoffbearbeitung und -verarbeitung)
- in den Fahrwiderständen des Traktors
- in den Verlusten bei der Energieübertragung vom Motor zu den Antriebsrädern und den Wirkstellen
- in den Motorverlusten.

Die durch den Kraftstoff aufzubringende Energie ist in Korrelation zum

- Hersteller (technische Gesamtkonzeption von Traktoren und Landmaschinen)
- Nutzer (Auswahl und Zuordnung sowie Zustand von Traktoren und Landmaschinen)
- Staat (gesetzliche Vorschriften) und zur
- Umwelt (s. Bild 1)

zu sehen.

Bei einer systematischen Untersuchung des Energieaufwands für MTA ist also vom System Mensch-Maschine-Umwelt auszugehen. Für einen energieoptimalen Einsatz von MTA ist das Ermitteln, die Charakterisierung und die Klassifizierung der Einsatzbedingungen von wesentlicher Bedeutung. Durch die Einsatzbedingungen ergibt sich die integrierende Belastung eines MTA aus

- objektiv wirkenden Arbeitsbedingungen
- subjektiv wirkenden Bedienungs-, Instandhaltungs- und Organisationsbedingungen.

In der Gesamtheit wirken auf ein MTA äußere und innere Einflußgrößen, die zueinander in Wechselwirkung stehen (Bilder 1 und 2). Die äußeren Einflußgrößen werden durch den Menschen und die Umwelt bestimmt. Die inneren Einflußgrößen ergeben sich durch die technischen, physikalischen sowie chemischen Eigenschaften der Stoffe eines MTA und die belastungs-, temperatur- und betriebsstoffbedingten Kenngrößen (Bild 1). Sie stellen die Reaktionsgrößen zur integrierenden äußeren MTA-Belastung dar und bilden ein dynamisches System.

Je nach den Einsatzbedingungen wirken auf MTA Einflußgrößen einzeln, mehrfach, in Gruppen oder in Belastungskollektiven und beeinflussen die Höhe des Kraftstoffbedarfs. Zusammenstellungen der den Energieaufwand und damit den Kraftstoffbedarf beeinflussenden Größen (Bilder 1 und 2) ergaben etwa 260 Einflüsse [1]. Diese Anzahl ist als Grundlage zur Bewertung für den energieoptimalen MTA-Einsatz zu umfangreich. Durch Analyse, Wichtung und Berechnung konnte festgestellt werden, daß sich die entscheidenden Einflüsse technisch-physikalisch aus den Verlustanteilen der Baugruppen eines MTA ergeben [1, 2].

3. Struktur des Modells eines MTA

Bei der energetischen Untersuchung von MTA erweist es sich als sinnvoll, ihren Aufbau modellartig darzustellen [1, 2]. Nach der angestellten Verlustanalyse ist es zunächst ausreißend, die Hauptbaugruppen im Modell zu erfassen, um Antriebsstrukturen und die kinetischen Beziehungen sowie die energetische Charakteristik von Baugruppen anzugeben [3]. Die strukturelle Darstellung eines Modells muß die energetischen Bezie-

hungen nach [2] erfassen. Somit ergibt sich die Struktur eines MTA-Modells durch die Zuordnung der Aggregatbaugruppen und bezogen auf den Lastprozeß (Leistungsflußrichtung) sowie durch die Charakterisierung des energetischen und ggf. kinetischen Verhaltens der Baugruppen, dargestellt anhand von typischen Baugruppenkennlinien (Bild 3).

Bei der Vorstellung einer Struktur ist gleich die Frage nach der Verfügbarkeit derartiger Kennlinien und -daten als Bewertungsunterlagen zu stellen.

4. Analyse der Methoden zur Bewertung von MTA

Neben der Angabe und Wichtung von Einflußgrößen und bestehenden Wechselbeziehungen für den energetischen Aufwand bei MTA kann aus Untersuchungen bei konventioneller Betrachtungsweise zusammengestellt werden, welche Bewertungsmethoden zweckmäßig anwendbar sind und an welchen Stellen des MTA die Bewertung vorgenommen werden könnte (Bild 4) [1]. Allen Methoden ist gemeinsam, daß zur Bewertung einerseits oder nur vom „Lastprozeß“ (z. B. vom Arbeitswiderstand eines Pfluges bis zum Fahrwiderstand beim GKW) ausgegangen wird (Bild 4).

Der Arbeitspunkt (Bewertungspunkt) ergibt sich jeweils als Schnittpunkt aus Last- und Antriebskennlinien an der jeweiligen Bewertungsstelle, z. B. nach [2].

Nach voriger Darlegung sind 3 Bewertungsmethoden anwendbar (s. Bild 4):

Methoden 1:

- Was kann ein MTA (Fahrzeug) an den Antriebsrädern an Leistung und Antriebskraft aufbringen?
- Wie verhält sich ein MTA in Verbindung mit der Geräte- oder Fahrwiderstandslinie?

Bewertungsstelle 1: Fahrwerk – Fahrbahn oder Naben

Methoden 2:

- Was kann ein MTA (Fahrzeug) an Zugleistung und Zugkraft aufbringen?
 - wie unter Methode 1 – mit der Gerätewiderstandslinie (Anhängewiderstandslinie)
- Bewertungsstelle 2: Verbindungsstelle Fahrzeug – Gerät

Methoden 3:

- Ausgangspunkt ist der Gerätewiderstand (Fahrwiderstand). Unter Beachtung der zwischen Gerät und Motor auftretenden Verluste werden Motorbelastung und Verbrauch ermittelt.

Bewertungsstelle 3: Leistungsabgabestelle des Motors.

5. Diskussion der Bewertungsmethoden

Die vorgestellten 3 Methoden erscheinen zunächst qualitativ gleichwertig, ihre Anwendung wird sich teilweise spezifisch gestalten. Allen ist gemeinsam, daß eine Reihe von Kennlinien und -größen für die Anwendung erforderlich ist. Diejenige Methode wird am

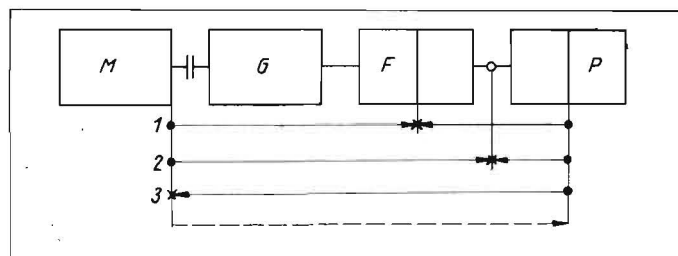
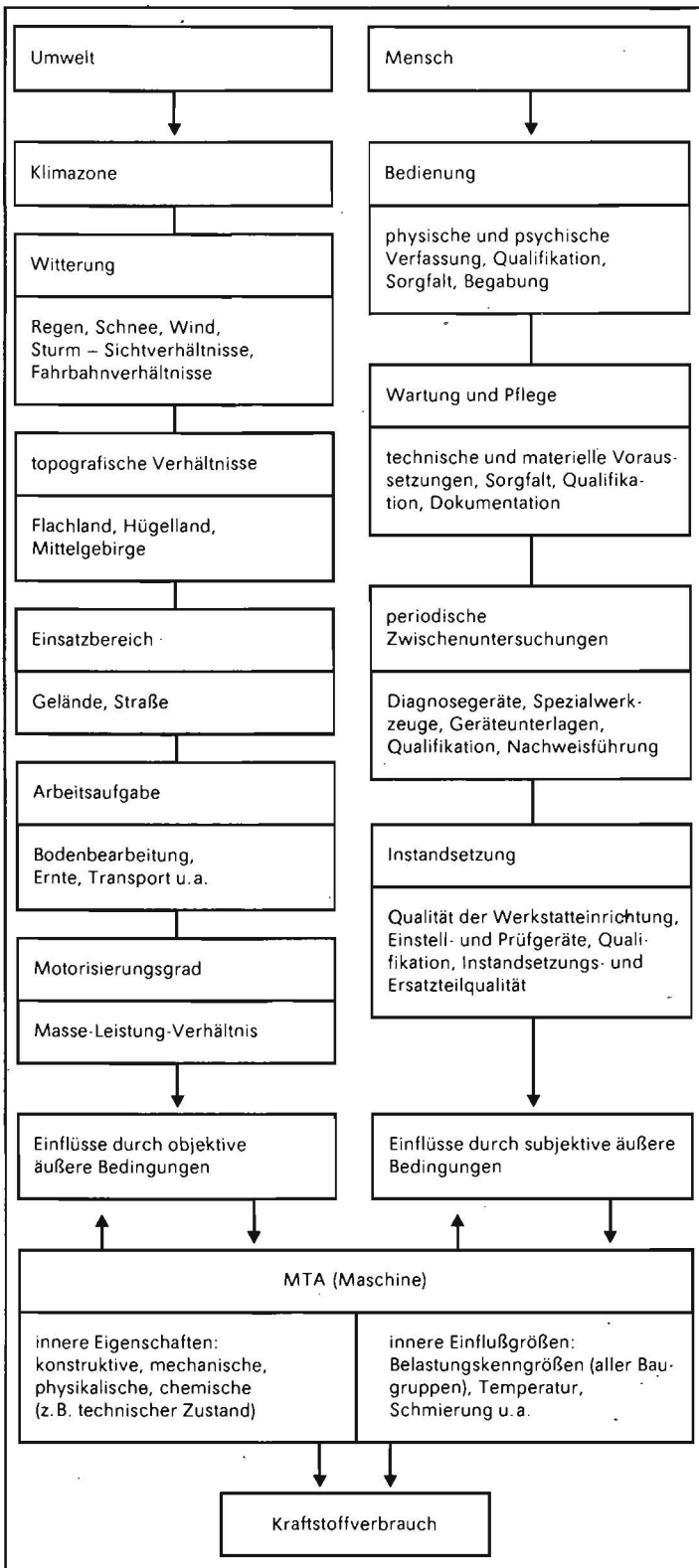


Bild 4. Schema für das Darstellen der Methoden zur energetischen Bewertung von MTA [1];
● Bewertungs Ausgang, × Bewertungsstelle

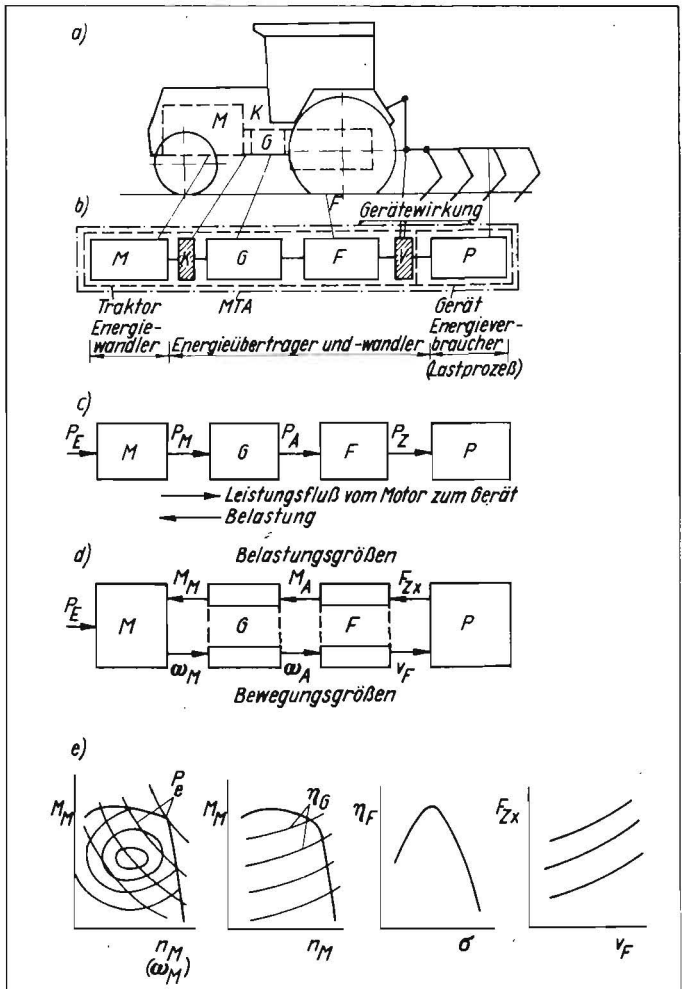


Bild 3. Modelldarstellung eines MTA
a) Aggregat, schematisch
b) Blockschema
c) Strukturmodell
d) kinetisches Modell
e) Baugruppencharakteristiken; $P_e = \text{const.}$, $\eta_G = \text{const.}$
M Motor, K Kupplung, G Getriebe, F Fahrwerk, V Verbindungs- und Regelungselemente, P Gerät (Pflug)

Bild 1. Einflüsse auf den Kraftstoffverbrauch (Energieaufwand) von MTA [1]

Bild 2. Wesentliche Einflußbereiche auf den Energieaufwand von MTA [1]

Konstruk-tionspara-meter	Betriebs-parameter	standort-bedingte Größen	einsatz-technische Größen	technolo-gisch-orga-nisatori-sche Größen	subjektive Größen
Stand der Technik (Konstruktion und Technologie, Ausrüstungszustand der Aggregate)					
	– einstellbare Prozeßparameter – sich einstellende Prozeßparameter	– natürliche Größen – betriebliche Größen		– verfahrensbedingte Größen – organisatorische Größen	

zweckmäßigsten sein, die eine einfache Handhabung (ohne oder mit Hilfsmittel) in der Praxis gestattet. Folgende Vor- und Nachteile können eingeschätzt werden:

- Die Methoden 1 und 2 sind in der vorliegenden Form vorrangig für unverzweigte Antriebe nutzbar.
 - Die Methode 1 kann für jede beliebige Fahrbahn genutzt werden, da durch die Antriebskraft der Geräte- und Fahrwiderstand aufgebracht wird, während die Methode 2 das Bekanntsein der Fahrverluste voraussetzt.
 - Die Methode 3 ist für alle möglichen Aggregatierungen nutzbar. Alle energetischen Einflüsse, auch die veränderlichen an den anderen Bewertungsstellen, z. B. zwischen Rad und Fahrbahn, sind eine Funktion der Gerätewiderstände und der Verbindungsart. Die auftretenden energetischen Beziehungen der Baugruppen untereinander sind allgemein formulierbar mit
- $$\eta_G = f(\eta_F) \quad (1)$$
- $$\eta_M = f(\eta_G, \eta_F); \quad (2)$$
- η_F Fahrwerkwirkungsgrad
 η_G Getriebewirkungsgrad
 η_M Motorwirkungsgrad.
- Eine allseitige Fahrgrenzenermittlung ist damit möglich. Es kann permanent der Motorauslastungsgrad eingeschätzt werden, und die Bewertung erfolgt immer mit den gleichen Datengrößen des Motorkennfelds, während diese für die Methoden 1 und 2 gangabhängig unterschiedlich sind.
- Bei Methode 3 ergibt sich der Arbeitspunkt als Schnittpunkt der „korrigierten“ Arbeitswiderstandslinien. Vor allem kann die „Gerätewirkung“ am Gerät und am Fahrwerk im Motorkennlinienfeld berücksichtigt werden.
 - Die Methode 3 kann für jede beliebige Form der Leistungsübertragung und -aufteilung genutzt werden und beinhaltet die Möglichkeit der genauen energetischen Berücksichtigung bei der Leistungsübertragung (Leistungsverzweigung oder -aufteilung) [3].

6. Zusammenfassung

Gegenwärtig ist es noch nicht möglich, Maschinen-Traktor-Aggregate für alle Einsatzfälle energetisch optimal auszulegen und einzusetzen. Ausgehend von Energieanalysen sind Bewertungskriterien notwendig. Hierfür wurden Vorschläge unterbreitet. Die vorgestellten Methoden sind für theoretische und praktische Betrachtungen und Untersuchungen an MTA nutzbar. Für die Praxisanwendung fehlen noch für eine Reihe von MTA und Einsatzfällen Kennlinien und -größen, die als Datenbanken oder durch Ermittlungsmethoden in landwirtschaftlichen Betrieben zur Verfügung stehen sollten.

Literatur

- [1] Schulz, H.: Energetische Beziehungen beim Einsatz von Traktoren, dargestellt am Beispiel des Traktors ZT 300. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1983 (unveröffentlicht).
- [2] Queitsch, K.; Schulz, H.; Kobelt, P.: Energetische Analyse am Maschinen-Traktor-Aggregat bei Zugarbeit. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 10, S. 437–440.
- [3] Duditz, F.; Diaconescu, D.: Matrizenmethode zur Bestimmung des Wirkungsgrades der komplexen mechanischen Übertragungsgetriebe. Maschinenbautechnik, Berlin 27 (1978) 12, S. 540–543.

A 4213

Anwenderseminar „Projektierung von Rohrleitungen für trockensubstanzreiche Gülle“

Das Forschungszentrum für Mechanisierung (FZM) Schlieben/Bornim führte am 23. Oktober 1984 in Berlin das Anwenderseminar „Projektierung von Rohrleitungen für trockensubstanzreiche Gülle“ durch. Eingeladen waren Projektanten der Meliorationskombinate, der Betriebe des landtechnischen Anlagenbaus, der ZBO Landbau, der ZGE Landbauprojektierung sowie des VEB Landbauprojekt Potsdam. Über 70 Teilnehmer nutzten die Gelegenheit, sich anhand der Vorträge und der Diskussion mit neuesten Erkenntnissen zur Bemessung von Gülledruckrohrleitungen vertraut zu machen.

Die Leitung des Seminars hatte Prof. Dr. sc. Priebe. Er stellte einleitend fest, daß unter den Prämissen der Aufwandreduzierung dem *Rohrleitungstransport* innerhalb der Güllewirtschaft auch zukünftig große Bedeutung zukommt. Es sei notwendig, den Transport aus der Sicht des Energiebedarfs und der funktionellen Zuverlässigkeit zu optimieren. Die Arbeiten des FZM Schlieben/Bornim zur trockensubstanzreichen Schweine- und Rindergülle seien diesen volkswirtschaftlichen Erfordernissen untergeordnet.

Dr. sc. techn. Hörnig, FZM Schlieben/Bornim, hob die Rolle des Trockensubstanzgehalts (TS-Gehalt) der Gülle als Führungsgröße bei der hydraulischen Berechnung von Rohrleitungen hervor. Es ist gelungen, die relevanten *Fließkenngrößen* als funktionelle Abhängigkeiten vom TS-Gehalt zu bestimmen und anwenderfreundlich darzustellen. Die Berechnungsmodelle orientieren sich an folgenden Bereichen: TS ≤ 3 % (idealviskose Flüssigkeit: Ansatz von Newton), TS = 3 bis 8 % (pseudoplastische Flüssigkeit: Ansatz von Ostwald-de Waele) und TS > 8 % (nichtlinearplastische Flüssigkeit: Ansatz von Herschel-Bulkley).

Es wird empfohlen, sich an den TS-Normativen des Standards TGL 24198/01 zu orientieren bzw. anhand der Maßnahmen zum rationalen Wassereinsatz in Tierproduktionsanlagen den für den Rohrtransport zutreffenden TS-Gehalt abzuschätzen.

Dr.-Ing. Türk, FZM Schlieben/Bornim, ging auf die Erkenntnisse zum Fließverhalten ein, die über den in der Druckverlusttabelle aus dem Jahr 1971 fixierten Stand hinausgehen. Dies betreffen:

- differenzierte Zuordnung der Fließkenngrößen τ_0 (Fließgrenze), k (Konsistenzkoeffizient) und n (Fließexponent) zu bestimmten Fütterungsgruppen in der Schweineproduktion
- Abgrenzung des Newtonschen vom nicht-Newtonschen Fließverhalten
- Kennzeichnung des Übergangs vom laminaren zum turbulenten Fließen (kritische Reynoldszahlen)
- Einbeziehung der Fließgrenze τ_0 , des Zeitverhaltens (Thixotropie) und des Temperaturverhaltens in die Widerstandsgesetze $\lambda = f(\text{Re})$ für den laminaren Bereich.

Der Referent unterbreitete den experimentell begründeten Vorschlag einer *einheitlichen* Berechnung des Rohrreibungsbeiwerts λ für Gülle als idealviskose, pseudoplastische und nichtlinearplastische Flüssigkeit durch Verwendung der *Scheinviskosität* η_s . Dieses Vorgehen verringert den Berechnungsaufwand erheblich. Dr. Türk erläuterte weiter die Rechenschritte aus dem vorgelegten Ar-

beitsmaterial zur Bestimmung der Druckverluste. Anhand der Rechenbeispiele kann der Projektant diese Schritte nachvollziehen. Alle Berechnungen sind mit handelsüblichen Taschenrechnern möglich.

Dr.-Ing. Eckstädt, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, berichtete über das Förderverhalten von Gülle, besonders über das Sedimentationsverhalten ruhender und bewegter Gülle in Rohrleitungen. Dabei wurde der Grenzfall herausgearbeitet, bei dem sich durch Einhalten von TS- und nennweitenspezifischen Mindestfließgeschwindigkeiten v_{\min} (s. Standard TGL 6466/03) bleibende Ablagerungen vermeiden lassen. Grobstoffabtrennung und Homogenisierung sind notwendige Maßnahmen, da sie die Verstopfungsgefahr herabsetzen. Rohrspülungen sollten mit Gülle erfolgen, da im Querschnitt höhere Schubspannungen auftreten. Nach Hinweisen zur zweckmäßigen Rohrleitungsgestaltung wurde auf lokale hydraulische Verluste eingegangen. Die äquivalenten Rohrlängen von Formstücken und Armaturen sind im Arbeitsmaterial wiedergegeben. Werden die Verlustbeiwerte ζ für Wasserförderung angewendet, befindet man sich bei der Bemessung von Güllerohrleitungen auf der sicheren Seite. Abschließend wurden Ausführungen zur Optimierung der Rohrförderung aus energetischer Sicht gemacht.

Dr. Schwabe, Institut für Düngungsforschung Leipzig-Potsdam, sprach zu Güllepumpen, die für TS-reiche Gülle geeignet sind. Schöpfkolbenpumpen entsprechen hinsichtlich Durchsatz und Wirkungsgrad bei TS > 8 % nicht den Erfordernissen. Erfolgversprechend ist eine spezielle Kreiselpumpe mit Zusatzeinrichtungen, die bei Rinder-, Schweine- und Geflügelgülle TS-Gehalte über 10 % bewältigte, deren Produktion jedoch noch abgesichert werden muß.

In der Diskussion wurden u. a. folgende Schwerpunkte behandelt:

- Sicherheit bei der Auswahl des TS-Gehalts für die Projektierung der Rohrleitung
- praktische Nutzbarkeit der Ergebnisse zum Zeitverhalten der Gülle
- Einfluß der Rohrmaterialien auf Druckverlust und Sedimentation
- Fragen der Rohrleitungsgestaltung
- Eignung von Abwasserpumpen für die Gülleförderung.

Nach der Diskussion nahm Prof. Dr. sc. Priebe eine abschließende Einschätzung vor. Für die kurzfristige Einführung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts auf diesem speziellen Gebiet sei das Anwenderseminar eine sehr effektive Form der Überleitung, aus dem aber auch eine Reihe von Anregungen für die weitere Forschung erwachse. Die Vorträge der Referenten werden vom Wissenschaftlich-technisch. Zentrum beim RLN des Rates des Bezirkes Potsdam Anfang 1985 publiziert (Anschrift: 1500 Potsdam, Helmholtzstr. 6/7). Das Arbeitsmaterial für Projektanten kann beim FZM, Betriebsteil Potsdam-Bornim, Abt. Information und Dokumentation, 1503 Potsdam-Bornim, angefordert werden.

AK 4337

Dr. sc. techn. G. Hörnig, KDT/
 Dr.-Ing. M. Türk, KDT