

Bestimmung der Fließgrenze von Gülle

Dr.-Ing. M. Türk, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

B	-	Bestimmtheitsmaß
d	m	Rohrinnendurchmesser
H	m	Zylinderhöhe
k	Pa · s ⁿ	Konsistenzkoeffizient
l	m	Rohrlänge
M	Nm	Drehmoment
n	-	Fließexponent
$\frac{\Delta p}{\Delta l}$	Pa/m	spezifischer Druckverlust
r	m	Radius als Koordinate
R _i	m	Innenradius
R _e	m	Außenradius
R ₀	m	Grenze des unverformten Materials
t	s	Zeit
t _M	s	Meßzeit
t ₁	s	Zeitpunkt des Stillsetzens des Antriebs
TS	%	Trockensubstanzgehalt
v	m/s	Strömungsgeschwindigkeit
$\dot{\gamma}$	1/s	Schergeschwindigkeit
$\dot{\gamma}_N$	1/s	Newtonsche Schergeschwindigkeit
η_{pl}	Pa · s	plastische Viskosität
τ	Pa	Schubspannung
τ_0	Pa	Fließgrenze
τ_{0M}	Pa	Meßwert der Fließgrenze
τ_w	Pa	Wandschubspannung
Ω	1/s	Winkelgeschwindigkeit des angetriebenen Zylinders

1. Problemstellung

Durch Verbesserung der technischen und organisatorischen Voraussetzungen konnte in vielen industriemäßigen Anlagen der Tierproduktion der Gülleanfall durch gezielte Wassereinsparung bedeutend gesenkt werden. Für die so gewonnene trockensubstanzreiche Gülle sind Förder-, Lagerungs- und Aufbereitungsanlagen zu projektieren, wobei genaue Kenntnisse über das Fließverhalten von grundlegender Bedeutung sind.

Mit der Erhöhung des TS-Gehalts der Gülle verstärkt sich ihr plastischer Charakter. Es ergibt sich eine steigende Fließgrenze τ_0 , und die Zeitabhängigkeit des Fließverhaltens, die sog. Thixotropie, nimmt zu.

Als Fließgrenze einer experimentell im Viskosimeter bestimmten Fließkurve $\tau(\dot{\gamma})$ sei der Schnittpunkt mit der τ -Achse verstanden, d. h., für $\tau < \tau_0$ kann idealisiert ein elastischer Festkörper mit dreidimensionaler Gerüststruktur angenommen werden, und bei $\tau > \tau_0$ beginnt die bleibende plastische Verformung, die Scherdeformation.

Der Fließgrenze τ_0 kommt für die Auswahl des Fließgesetzes und damit für die Auswer-

tungs- und Berechnungsmethodik besondere Bedeutung zu. So bestimmt die Fließgrenze im Rotationsviskosimeter die Grenze des ungescherten Bereichs R_0 (Bild 1) und hat damit direkten Einfluß auf die Auswertung der Fließkurve. Für die Bemessung von Rohrförderanlagen für trockensubstanzreiche Gülle werden die Fließgesetze von Bingham, Herschel-Bulkley, Vočadlo und Casson angewendet:

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\tau = \tau_0 + k \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

$$\tau = (\tau_0^{1/n} + k \dot{\gamma})^n \quad (3)$$

$$\tau^{1/n} = \tau_0^{1/n} + (\eta_{pl} \dot{\gamma})^{1/n} \quad (4)$$

In diesen Fließgesetzen ist τ_0 als direkt zu messende Kenngröße enthalten, die jedoch mit einem erheblich größeren Meßfehler behaftet ist als die durch Ausgleichsrechnung (Regression) ermittelten Fließkennwerte k (bzw. η_{pl}) und n .

Die Verwendung der Stoffkennwerte für die Bemessung technischer Prozesse ist bereits bei der experimentellen Bestimmung zu berücksichtigen, da alle Modelle (so auch die Viskosimeter) nur einen begrenzten Gültigkeitsbereich haben. Zur Dimensionierung von Fließkanälen [1, 2] sind z. B. grundsätzlich andere Voraussetzungen an die Messung zu stellen als zur Berechnung von hydraulischen Rohrförderanlagen.

Im Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft (FZM) Schlieben/Bornim wurden Untersuchungen durchgeführt, um

- ein vereinfachtes direktes Meßverfahren zur reproduzierbaren Bestimmung von τ_0 mit bekannten Viskosimetern zu erarbeiten und

- durch nachfolgend durchgeführte rechnerische Optimierung ein verbessertes Ergebnis zu erreichen.

Hierzu wurden die vorliegenden langjährigen Erfahrungen berücksichtigt und anhand des Beispielm mediums Schweinegülle dargestellt.

2. Kenntnisstand

Es ist keine eindeutige Grenze des TS-Gehalts für das Auftreten einer Fließgrenze von Gülle bekannt. Wenn die freie Beweglichkeit der Partikel behindert wird und sich in Ruhe eine Struktur ausbildet, ist sicher auch eine

Fließgrenze nachweisbar, sofern eine geeignete Meßmethode angewendet wird.

Für die Berechnung von Druckverlusten in Rohrleitungen bei der Gülleförderung ist die Frage von vorrangiger Bedeutung, wann mit steigendem TS-Gehalt τ_0 berücksichtigt werden muß. Nach vorliegenden Erfahrungen kann für Schweinegülle als Grenzwert TS = 8 bis 10 % angenommen werden, d. h. bei geringerem TS-Gehalt liegt pseudoplastisches Fließverhalten ($\tau_0 = 0$) vor:

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \quad (5)$$

Der Druckverlust bei Laminarströmung im Rohr errechnet sich dann nach:

$$\frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{4k}{d} \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \left(\frac{8v}{d} \right)^n \quad (6)$$

Für einen höheren TS-Gehalt ist bei Schweinegülle die Fließgrenze τ_0 zu berücksichtigen. Es liegt zumeist nichtlinearplastisches Fließverhalten vor, das z. B. mit Hilfe des Herschel-Bulkley-Ansatzes nach Gl. (2) beschrieben werden kann. Der Druckverlust ergibt sich dann entsprechend Gl. (7):

$$\frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{4\tau_0}{d} + \frac{4k}{d} \left(\frac{8v}{d} \right)^n \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n$$

$$\left\{ \frac{1}{\left(1 - \frac{\tau_0}{\tau_w} \right) \left[1 + \frac{2n}{2n+1} \left(\frac{\tau_0}{\tau_w} \right) + \frac{2n^2}{(2n+1)(n+1)} \left(\frac{\tau_0}{\tau_w} \right)^2 \right]} \right\}^n \quad (7)$$

Diese Gleichung läßt sich nur iterativ lösen. Dazu liegt im FZM ein Rechenprogramm vor. Näherungsweise kann der Druckverlust auch wie folgt bestimmt werden [3]:

$$\frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{16}{\pi d} \left[\tau_0 + k \left(\frac{2\pi v}{d} \right)^n \right] \quad (8)$$

Es ist erkennbar, daß bei Anwendung der bekannten dreiparametrischen Fließgesetze, d. h. bei Berücksichtigung von τ_0 , der Rechenaufwand für die Auswertung von Fließkurven und die Druckverlustbestimmung erheblich vergrößert wird. Daher wurde in der Vergangenheit oftmals die Fließgrenze vernachlässigt oder vereinfachend linearplastisches Fließverhalten nach Gl. (1) angenommen, wobei größere Bemessungsfehler auftraten. Die jetzt vorhandenen rheologischen Kenntnisse und rechen-technischen Voraussetzungen [3, 4, 5] ermöglichen die rationelle

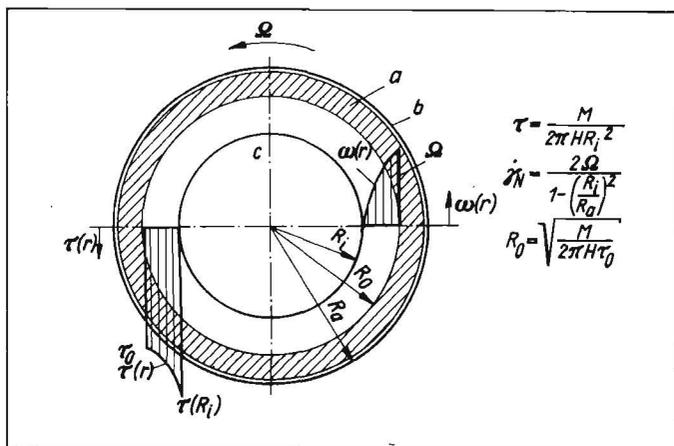
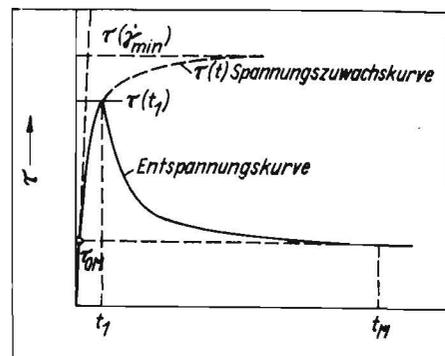


Bild 1
Rotationsviskosimeter vom Typ Couette-Hat-schek; a ungeschertter Bereich, b drehbarer Außenzylinder, c Innenzylinder

Bild 2
Methodik der Messung der Fließgrenze τ_0 mit Rotationsviskosimeter durch Entspannungsversuch



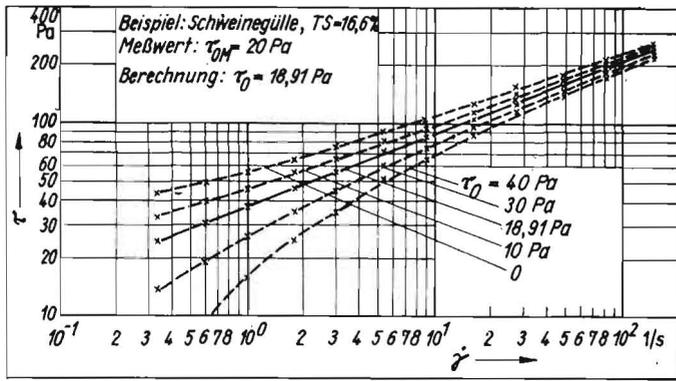
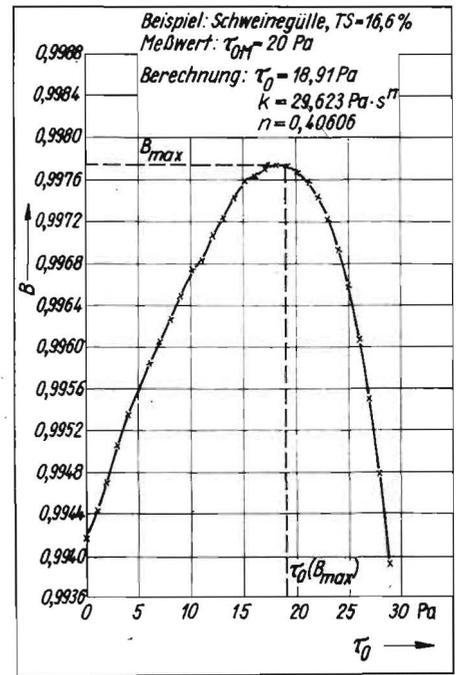


Bild 3
 Einfluß der Fließgrenze τ_0 auf den Verlauf der Fließkurve $\tau(\dot{\gamma})$

Bild 4
 Optimierungsfunktion $B = f(\tau_0)$ der linearen Regressionsfunktion $\lg(\tau - \tau_0) = \lg k + n \lg \dot{\gamma}$



Handhabung der dreiparametrischen Gln. (2), (3) und (4), so daß die reproduzierbare Ermittlung der τ_0 -Meßwerte, d. h. eine deutliche Verminderung der Meßfehler, im Vordergrund steht.

Schweinegülle ist äußerst heterogen zusammengesetzt. Ihre Struktur wird im wesentlichen von der Kotstruktur bestimmt. Pflanzenfasern, Tierhaare, Getreidekörner und -teilchen bilden ein ungerichtetes Gerüst, das mit kleineren Teilchen bis zur Kolloidgröße und Wasser umlagert ist. Bei Belastung kommt es anfangs zur elastischen, später zur Scherdeformation ($\tau > \tau_0$), verbunden mit einer Zerstörung dieser Gerüststruktur.

Die wichtigsten Methoden zur Bestimmung der Fließgrenze von Gülle wurden von Schemel [1, 2] diskutiert. Man kann unterscheiden zwischen

- Messung von Ausbreitungskenngrößen
- penetrometrischer Bestimmung mit Hilfe von Eindringkörpern, wie z. B. Kegelplastometer nach Reh binder
- grafischer oder rechnerischer Extrapolation der Fließkurve
- Aufnahme des Anlaufdrehmoments bei kleiner Belastungshöhe nach Schemel [2]
- Messung der Restspannung nach Belastung und Stillsetzen des Antriebs nach Fincke/Heinz [6].

Grundsätzlich muß die Messung der Fließgrenze für das hier beschriebene Ziel der Messung von Rohrleitungen mit der Fließkurvenaufnahme verbunden sein. Alle Relativmessungen und Schätzverfahren sind ungeeignet. Das Verfahren von Schemel zur Messung der Fließgrenze aus der Spannungszuwachskurve bei geringer Schergeschwindigkeit hat sich im Prinzip bewährt und ist auch mit herkömmlichen Rotationsviskosimetern anwendbar. Nachteilig ist hier die relativ ungenaue Auswertung der $\tau(t)$ -Kurve (Bild 2), da das Ende des linearen Spannungsanstiegs zwar als τ_0 -Wert definiert wird, aber oft nicht deutlich erkennbar ist. Beim Meßverfahren von Fincke/Heinz [6] wird der Innenzylinder zunächst mit geringer Winkelgeschwindigkeit gedreht und nach Abschalten des Antriebs und Fixierung der Antriebswelle die Restspannung als Fließgrenze τ_0 aufgenommen.

3. Bestimmung der Fließgrenze

3.1. Messung der Fließgrenze durch Entspannungsversuch

Die Meßverfahren von Schemel und Fincke/Heinz wurden miteinander kombiniert (Bild 2), indem mit der geringsten Winkelgeschwindigkeit ($\Omega = 0,016$ bis $0,029 \text{ 1/s}$) der angetriebene Zylinder bewegt und bei ausgeschaltetem Antrieb die Entspannungs-

kurve $\tau(t)$ aufgenommen wird. Um die thixotrope Strukturzerstörung möglichst gering zu halten, wird der Antrieb vor der vollkommenen Scherung zum Zeitpunkt t_1 abgeschaltet, also bevor ein konstanter Schubspannungswert erreicht wird. Dabei muß der nichtlineare Teil der $\tau(t)$ -Spannungszuwachskurve mit Sicherheit erreicht werden, also $\tau > \tau_0$ vorliegen. Nach dem Abschalten des Antriebs ($\Omega = 0$) dreht sich der Meßzylinder bis zum Erreichen eines relativen Gleichgewichtszustands zurück. Dieses Kräftegleichgewicht ist im Rotationsviskosimeter nach $t_M = 3$ bis 5 min im wesentlichen erreicht, und die Restspannung sei als Fließgrenze τ_{0M} definiert. Diese Meßzeit t_M ist ein gesicherter Erfahrungswert für Schweinegülle mit $TS \leq 15\%$. Bei längeren Entspannungszeiten ergibt sich eine weitere Spannungsrelaxation, d. h. auch die elastischen Spannungen werden innerhalb mehrerer Stunden allmählich vermindert.

Für größere Konzentrationen ($TS > 15\%$) ist $t_M = 10 \text{ min}$ zu wählen. Bei allen Messungen zeigte sich eine gute Übereinstimmung mit den nach Schemel [1] ermittelten τ_0 -Werten. Geht der Fließgrenzenmessung eine intensive Beanspruchung voraus, kann eine höhere Schergeschwindigkeit, jedoch stets $\dot{\gamma}_N < 1 \text{ 1/s}$, ohne Beeinträchtigung des Meßergebnisses gewählt werden. Zweckmäßigerweise wird die Messung der Fließgrenze mit der Fließkurvenaufnahme verbunden, damit sich der experimentelle Aufwand vermindert. Eine mehrfache Wiederholung der τ_0 -Bestimmung ist notwendig, wobei vor jeder erneuten Belastung der angetriebene Zylinder von Hand zurückgedreht werden muß.

Bereits Fincke/Heinz [6] wiesen auf die Fehlerquellen bei der τ_0 -Messung durch Gleiteinflüsse hin. Um Entmischungerscheinungen an der Innenzylinderwand zu verhindern, ist unbedingt die geringste Winkelgeschwindigkeit zur Belastung zu verwenden. Durch künstliche Erhöhung der Wandrauigkeit oder Verwendung von Profilmeßzylindern kann dem Gleiteffekt ebenfalls entgegengewirkt werden. Bei der untersuchten Schweinegülle ($TS > 10\%$) traten diese Erscheinungen erst bei erheblich höherer Schergeschwindigkeit ($\dot{\gamma}_N > 3 \text{ 1/s}$) auf. In Parallelversuchen mit dem Rotationsviskosimeter großer Spaltweite (Profilzylinder) und dem Rheotest RV 2 (glatte Zylinder) konnte allgemein eine ausreichende Übereinstimmung beobachtet werden.

Die beschriebene Meßmethodik bedeutet eine wesentliche Verminderung des Meßaufwands bei gleichzeitiger Erhöhung der Reproduzierbarkeit der Meßwerte. Die gleiche Bestimmungsmethodik ist auch für Rohrvis-

kosimeter anwendbar. Hierzu liegen ausreichende Wiederholungs- und Parallelmessungen mit Rotationsviskosimeter vor [7]. Das im FZM eingesetzte Rohrviskosimeter mit Druckluftantrieb ist für die Fließkurvenmessung plastischer Medien geeignet, hier entspricht der Restdruck $\left(\frac{\Delta p}{\Delta l}\right)_0$ über der Meßlänge Δl bei $v = 0$ der Fließgrenze

$$\tau_0 = \left(\frac{\Delta p}{\Delta l}\right)_0 \frac{d}{4} \quad (9)$$

Dieser Wert ist allerdings nur durch eine langsame und stetige Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit als Fließgrenze definierbar. Diese Voraussetzung wird mit dem verwendeten Druckluftantrieb gut erfüllt. Bei praktischen Förderversuchen mit Pumpen ist die direkte τ_0 -Bestimmung immer problematisch.

3.2. Rechnerische Optimierung

Zur weiteren Fehlerreduzierung des τ_0 -Meßwerts wurde ein Rechenprogramm entwickelt [7, 8], das im wesentlichen dem Verfahren der statistischen Extrapolation von Eckstädt u. a. [9] entspricht. Es liegt der Gedanke zugrunde, daß alle Wertepaare $(\tau_i, \dot{\gamma}_i)$ einer Fließkurve bei kleiner werdender Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma}$ mit anwachsendem Meßfehler behaftet sind, jedoch in ihrer Gesamtheit mit Hilfe eines Fließgesetzes vorwiegend durch lineare Regression mathematisch beschrieben werden. Für den Modellansatz nach Gl. (2) erhält man durch Gleichberechnung die Fließkenngrößen k und n . Die Fließgrenze τ_0 wird nun innerhalb festgelegter Grenzen schrittweise verändert (Bild 3) und ein maximales Bestimmtheitsmaß B_{max} der Regressionsgeraden gesucht (Bild 4). Die Anfangsschrittweite wird in Abhängigkeit vom Meßwert τ_{0M} vorgegeben und im Programmablauf zyklisch verkleinert, bis B_{max} mit hinreichender Genauigkeit erreicht ist. Folgende Vorgaben sind für das Optimierungsprogramm erforderlich:

- Anfangswert $\tau_{0min} = (0 \dots 0,5) \tau_{0M}$
- Endwert $\tau_{0max} = 1,5 \tau_{0M}$
- Anfangsschrittweite $\Delta \tau_0 = 0,1 \tau_{0M}$.

Diese rechnerische Extrapolation der Fließkurve innerhalb der vorgegebenen Grenzen kann als wesentlich zutreffender eingeschätzt werden als die bislang praktizierten Schätzverfahren.

Mit der Kombination des beschriebenen Meß- und Rechenverfahrens konnte bei der Untersuchung von Schweinegülle eine höhere Absicherung der τ_0 -Werte erreicht werden. Die Zweckmäßigkeit dieser Verfahrensweise wurde in vielfachen praktischen Messungen nachgewiesen [7, 10].

4. Zusammenfassung

In den letzten Jahren fällt in verstärktem Maß trockensubstanzreiche Gülle an. Zum Transport dieser Medien in Rohrleitungen sind die Förderanlagen sorgfältig zu bemessen, um Energie- und Materialverbrauch zu senken. Mit erhöhtem TS-Gehalt sind die plastischen Fließigenschaften zu berücksichtigen. Die Fließgrenze τ_0 von konzentrierter Gülle ist reproduzierbar mit geringstem Fehler und geringem Aufwand zu bestimmen. Hierzu werden zwei Methoden miteinander kombiniert:

- Entspannungsversuch mit herkömmlichem Rotations- oder Rohrviskosimeter
- rechnerische Anpassung von τ_0 in vorgegebenen Grenzen an die Fließfunktion (rechnerische Extrapolation).

Diese Verfahrensweise wird im FZM Schlieben/Bornim seit mehreren Jahren mit Erfolg zur Untersuchung von Gülle praktiziert und ist sicher auch auf andere plastische Medien übertragbar.

Literatur

- [1] Schemel, H.; Hörnig, G.: Zur Fließgrenze von Gülle und ihrer Bestimmung. *agrar-technik*, Berlin 26 (1976) 7, S. 327–330.
- [2] Schemel, H.: Beitrag zum Fließvorgang nichtlinearplastischer Medien in offenen, gefällelosen Gerinnen am Beispiel von Fließkanälen in Milchviehställen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Dissertation 1977 (unveröffentlicht).
- [3] Gieseke, H.; Langer, G.: Zur Bestimmung der wahren Fließkurven nichtnewtonscher Flüssigkeiten und plastischer Stoffe mit der Methode der repräsentativen Viskosität. *Rheologica Acta*, Darmstadt 16 (1977) 1, S. 1–22.
- [4] Eckstädt, H.: Beitrag zur Bemessung von Rohrleitungen für die Förderung von Gülle unter Berücksichtigung der Sedimentation. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Dissertation 1978 (unveröffentlicht).
- [5] Türk, M.: Berücksichtigung der Fließgrenze τ_0 bei der Berechnung der laminaren Rohrströmung landwirtschaftlicher Suspensionen. *agrar-technik*, Berlin 28 (1978) 2, S. 71–74.

- [6] Fincke, A.; Heinz, W.: Zur Bestimmung der Fließgrenze grobdisperser Systeme. *Rheologica Acta*, Darmstadt 1 (1961) 4–6, S. 530–538.
- [7] Hasdorf, L.; Wiesjahn, S.: Bemessungsgrundlagen für das Fördern von Gülle und flüssigen Gülleaufbereitungsprodukten in Rohrleitungen. Technische Hochschule „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik, Ingenieur-Beleg 1981 (unveröffentlicht).
- [8] Ernst, H.: Programmbeschreibung OPTI. Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim 1981 (unveröffentlicht).
- [9] Eckstädt, H.; Hesse, H.-U.; Hummel, H.-G.: Eine Methode zur Bestimmung der Fließgrenze von plastischen Medien. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe*, Rostock 31 (1982) 7, S. 93–95.
- [10] Dähre, D.: Einsatz und Vergleich von Viskosimetern zur Untersuchung von trockensubstanzreicher Gülle sowie Fehleranalyse des Rotationsviskosimeters großer Spaltweite. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Diplomarbeit 1983 (unveröffentlicht).

A 3903

Vorgestellt:

Studentisches Rationalisierungs- und Konstruktionsbüro „Fahrwerke“ der TU Dresden

Mit der Gründung des Lehrstuhls „Traktoren und Landmaschinenfahrwerke“ an der Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik der TU Dresden im Jahr 1969 begann schrittweise eine neue Methode bei der Anfertigung von studentischen Beleg- und Diplomarbeiten. Die althergebrachte Methode des Standardbelegs wurde unter dem Aspekt eines wissenschaftlich-produktiven Studiums durch die Bearbeitung von Aufgaben aus der Praxis abgelöst. Die weitere Vervollkommnung dieser Arbeitsweise führte dann zur Bildung des Studentischen Rationalisierungs- und Konstruktionsbüros (SRKB) „Fahrwerke“.

Über die Arbeitsweise dieser Einrichtung und über einige ausgeführte Konstruktionen auf dem Gebiet der Landtechnik wird nachfolgend berichtet.

1. Arbeitsweise

Jährlich fertigen etwa 10 Studenten der Fachrichtung Landtechnik, Vertiefungsrichtung Konstruktion, ihre Beleg- und Diplomaufgaben am Lehrstuhl „Traktoren und Landmaschinenfahrwerke“ an.

Alle Aufgabenstellungen für diese Arbeiten kommen unmittelbar aus der Praxis, z. B. aus der Landmaschinenindustrie, aus der Land- und Forstwirtschaft, aus Betrieben der Obstproduktion oder aus Betrieben der Fahrzeugindustrie. Hauptsächlich handelt es sich dar-

bei um zu entwickelnde Spezialmaschinen, Spezialfahrzeuge oder Rationalisierungsmittel. Welche Aufgabe bearbeitet wird, entscheidet das Kollektiv des Lehrstuhls. In Abhängigkeit vom Umfang der Aufgabe arbeiten 1 bis maximal 6 Studenten an einer Konstruktion. Im allgemeinen sind dies die Studenten des 4. Studienjahrs, die im Rahmen der konstruktiven Belege, der Diplomarbeit, der vorlesungsfreien Zeit und in ihrer Freizeit die Aufgaben bearbeiten. Die Arbeitsweise des SRKB „Fahrwerke“ soll am Beispiel der Konstruktion einer neuen landwirtschaftlichen Spezialmaschine genauer dargestellt werden.

Zunächst fertigen 2 bis 3 Studenten Entwürfe von verschiedenen Varianten der Maschine an. Normalerweise geschieht dies im Rahmen von konstruktiven Belegen im letzten Semester. Während dieser Zeit erlebt jeder Student die schöpferische Phase der Lösungssuche und Lösungsfindung. Die im Studienplan vorgesehene Zeit reicht nicht aus, um die meist recht anspruchsvollen Aufgaben zu lösen, so daß die Studenten auch während ihrer Freizeit daran arbeiten.

Nach Abschluß des Semesters liegen alle Entwürfe vor, und zusammen mit den Vertretern des Auftraggebers kann die geeignete Variante ausgesucht werden. Von dieser Variante fertigen die Studenten dann im Rah-

men der Diplomarbeit den Baugruppen- bzw. Einzelteilzeichnungssatz an. Die Aufteilung der Arbeit auf die einzelnen Studenten erfolgt durch den Lehrstuhl mit einer schriftlichen Aufgabenstellung. Während der Bearbeitung der Aufgabe sitzen die Studenten zusammen in einem Zeichensaal. Auf diese Weise ist es dem Betreuerkollektiv (die Autoren dieses Artikels – Red.) möglich, die Arbeiten ständig zu verfolgen. Einmal in der Woche erfolgt eine Absprache mit einem Vertreter des Auftraggebers, wobei vor allem Fragen der Technologie und der Materialauswahl abgestimmt werden. Diese intensive Betreuung durch den Lehrstuhl und den Auftraggeber ist die wesentliche Voraussetzung für einen erfolgreichen Abschluß der Arbeit.

Neben der Anfertigung der Zeichnungen müssen die Studenten auch die für die Auslegung notwendigen Berechnungen und die Festigkeitsnachweise erbringen. Für die Konstruktionen selbst werden weitgehend Baugruppen und Teile aus der Landmaschinen- und Fahrzeugindustrie verwendet, wie z. B. Motoren, Getriebe und Achsen. Im Normalfall wird nach dem Abschluß der Diplomarbeit die Maschine beim Auftraggeber gleich gebaut. Vielfach erfolgt dann eine Betreuung des Musterbaus durch den Lehrstuhl. Im günstigsten Fall wurde von der Aufgabenstellung bis zur Fertigstellung der 1. Maschine