

Erfahrungen bei der Simulation, Modellierung und Materialflußdarstellung neuer Getreideernteverfahren

Dozent Dr. G. Listner, KDT/Dipl.-Ing. M. Darnstädt, KDT
Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

1. Problemstellung

Das Getreide hat als Nahrungs- und Futtermittel auf dem Weltmarkt eine zentrale Bedeutung. Etwa 15% der landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. 50% der Ackerfläche werden auf der Erde mit Getreide bestellt. Da durch Getreide über 2/3 der Gesamterzeugung von Nahrungs- und Futterproteinen gedeckt werden, nimmt die gesellschafts- und ernährungspolitische Wertung im Weltmaßstab ständig zu. Während in den Entwicklungsländern der Getreideverbrauch für die menschliche Ernährung dominiert, wird in den industriell entwickelten Staaten der größte Getreideanteil verfüttert. Im Weltmaßstab stieg der Verbrauch von Getreide für die Tierproduktion von 1961/1963 bis 1969/1971 um jährlich 6,3%, also erheblich schneller als die Getreideproduktion [1].

Diese Entwicklung ist interessant für Überlegungen zu neuen Getreideernteverfahren. Unter dem Aspekt des ständig steigenden Getreideaufkommens muß die Verfahrensgestaltung und -entwicklung die erforderlichen Steigerungsraten der Arbeitsproduktivität mit verringertem Kostenaufwand und hoher Getreidequalität gewährleisten sowie spezielle technische, technologisch-ökonomische, betriebsorganisatorische und ergonomische Anforderungen berücksichtigen. Durch gute Erfahrungen mit der stationären automatischen Kartoffeltrennanlage E 691, erfolgversprechende Versuchsergebnisse bei der Futtermittelkonservierung und Veröffentlichungen über Erprobung von Getreideernteverfahren in der UdSSR mit stationär arbeitenden Drusch- und Trenneinrichtungen [2] gewinnen Überlegungen zur Verlagerung einiger komplizierter mobiler Prozesse der Getreideernte in den stationären Bereich an Bedeutung, zumal ein großer Teil des Stroh für die Strohpelletierung und -verwertung in hoher Qualität eingelagert werden muß. Denkbar wäre auch, den zunehmenden Futtermittelgetreideanteil mit weniger aufwendigen Verfahren zu ernten (z. B. Getreideganzpflanzenernte, Mähdrusch mit geringeren Reinheitsansprüchen, Weiterverarbeitung der Korn-Stroh-Gemische ohne Trennung usw.).

2. Einflußgrößen, Bewertungskriterien, Vorzugsvarianten

Zur Bewertung der neuen Getreideernteverfahren oder einzelner Varianten sind zahlreiche Einflußgrößen zu analysieren. Ausgehend vom gegenwärtigen Entwicklungsstand werden Variationsbereiche für die veränderlichen Einflußgrößen (z. B. Schlaggröße, Ertrag, Durchsatz, Transportgeschwindigkeit) begründet. Korrekturen infolge neuer Entwicklungstrends sind in einem Rechenprogramm jederzeit möglich. Die Bewertung der einzelnen Verfahrens-

varianten erfolgt mit gewichteten und von Experten bestätigten Bewertungskriterien ähnlich den Erläuterungen von Bendull und Dahse [3] für Verfahren der Tierproduktion. Anschließend lassen sich anhand der günstigsten technologisch-ökonomischen und technischen Kennwerte die Vorzugsvarianten begründen und auswählen.

3. Rechentechnische Bearbeitungsmöglichkeiten

Während früher die meisten Landmaschinen ohne Rücksicht auf die Belange der Maschinensysteme konstruiert wurden, können durch die Optimierung zukünftiger Verfahren und Maschinensysteme mit der mathematischen Modellierung jetzt bereits im Forschungsstadium frühzeitig technologisch-ökonomische Hauptparameter vorgegeben werden. Die Zielstellung solcher Optimierungen lautet: Maximale Leistung bei Minimierung des Arbeitszeit-, Energie- und Kostenaufwands für Herstellung, Einsatz und Instandhaltung der landtechnischen Arbeitsmittel.

Für die rechentechnische Bearbeitung werden Modelle auf der Grundlage der PERT-Methode und der deterministischen, kombinatorischen Simulation auf ihre Eignung und Anwendung mit der EDVA BESM-6 geprüft.

Bei der PERT-Methode, die die Bearbeitung von Netzplänen bzw. Graphen mit max. 1000 Knoten gestattet, wurden alle Varianten der Getreideernteverfahren in Netzplänen eingeordnet. Zu jeder Aktivität gehörten folgende vier Zielkriterien:

- Verfahrensleistung in t/h

- Arbeitszeitbedarf in AK · h/t
- Energieverbrauch in kW · h/t
- Kostenaufwand in M/t

Der Optimierung lag jeweils ein Zielkriterium zugrunde. Außerdem erfolgte eine Optimierung nach einer zusammengefaßten Zielfunktion:

- Schätzung der Wichtungsfaktoren
- Ermittlung der Wichtungsfaktoren mit Hilfe der Spieltheorie.

Das Modell ermöglicht weitere Aussagen zur Aufschlüsselung der einzelnen Aktivitäten zu neuen Netzplänen.

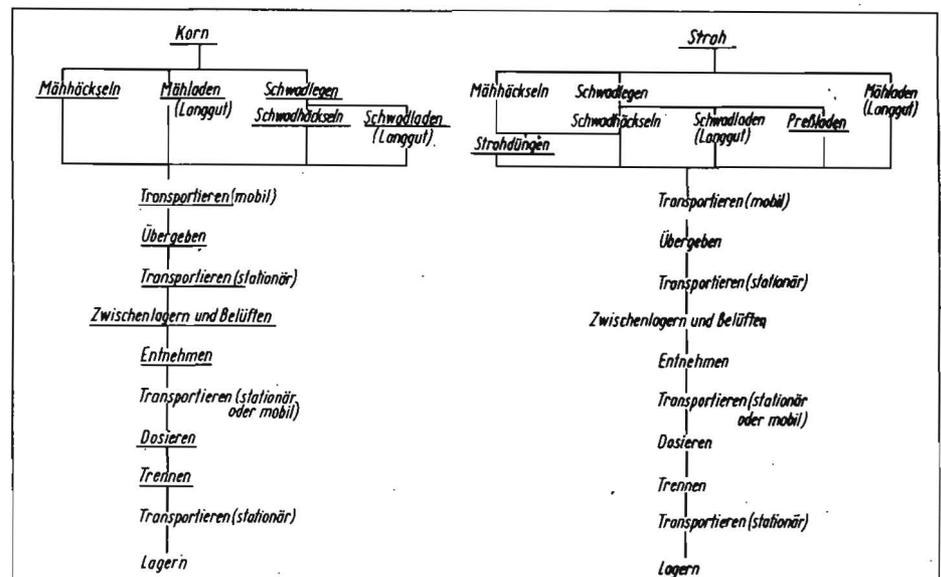
Über die umfangreicheren und komplizierteren, aber auch aussagekräftigeren Berechnungen nach der Methode der kombinatorischen, deterministischen Simulation liegen noch keine Ergebnisse vor. Durch Voruntersuchungen sollte die Vielzahl der möglichen Verfahrensvarianten eingegrenzt werden.

4. Materialflußdarstellungen

Für den Aufbau eines mathematischen Grundmodells zur Verfahrensoptimierung sind theoretische Untersuchungen zum Ablauf des Produktionsprozesses notwendig. Im Bild 1 sind für die Verfahren der Korn- und Strohbergung entsprechende Arbeitsgänge aufgezeigt. Damit ist die Grundlage für Materialflußdarstellungen geschaffen.

Materialflußdarstellungen werden sowohl bei der Rationalisierung bestehender als auch bei der Untersuchung neuer Produktionsprozesse angewendet. Sie verdeutlichen qualitative und quantitative Zusammenhänge zwischen verschiedenen technologischen Grundverfahren, zwischen landtechnischen Arbeitsmitteln eines

Bild 1. Ablaufplan für Arbeitsgänge bei der Aufbereitung von Korn und Stroh



Maschinen-Teilsystems bzw. zwischen Maschinenketten. Die wichtigsten Materialflußdarstellungen sind:

- Operationspläne
- Mengenflußpläne
- Fertigungsflußpläne
- Querschnittsbelastungspläne.

Für die Verfahrensforschung haben Mengenflußpläne und Operationspläne die größte Bedeutung. Am Beispiel der Korn- und Strohbergung sollen diese Darstellungen erläutert werden.

Der Berechnung der Volumina und Massen liegen folgende Ausgangswerte zugrunde:

- Dichte von Korn 750 kg/m³ [4]
- Dichte von Strohhäcksel 50... 75 kg/m³ [4]
- Dichte von Preßballen 110... 160 kg/m³ [5].

Damit ergeben sich die in Tafel 1 dargestellten anfallenden Getreide- und Strohmenngen in Abhängigkeit von der Anbaufläche. Diese Angaben beeinflussen die Kalkulation weiterer Kennwerte (z. B. Komplexgröße der Feldern, Maschinentemaschinen, Transportraumbedarf, Einsatztage, Größe der notwendigen Lager).

Für die Mengenflußpläne sind die täglich zu bearbeitenden Volumina und Massen aus-

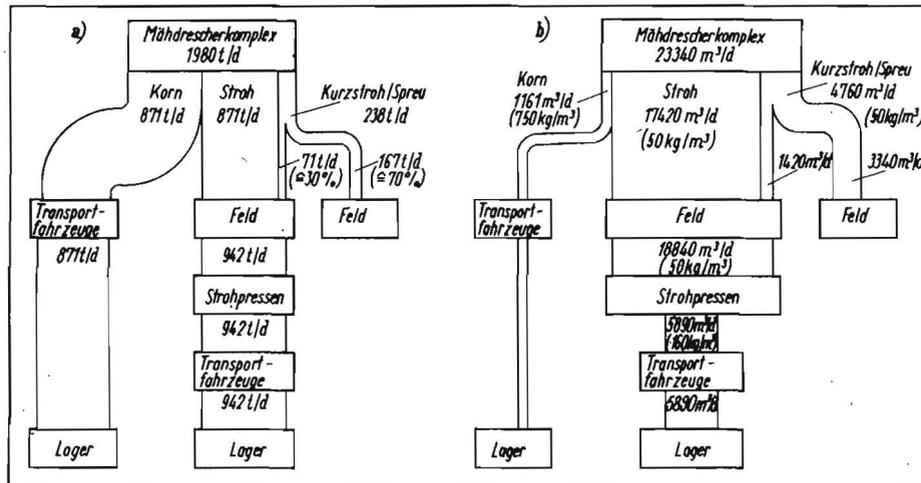
Tafel 1. Anfallende Getreide- und Strohmenngen in Abhängigkeit von der Anbaufläche

		Getreideanbaufläche			
		3 000 ha	5 000 ha	8 000 ha	10 000 ha
Gesamtmasse bei einem Gesamtertrag von 120 dt/ha	t	36 000	60 000	96 000	120 000
Gesamtvolumen bei einer Dichte von 136 kg/m ³	m ³	264 700	441 200	705 900	882 400
Strohmasse bei einem Strohertrag von 60 dt/ha	t	18 000	30 000	48 000	60 000
Strohhäcksel: Volumen bei einer Dichte von 75 kg/m ³	m ³	240 000	400 000	640 000	800 000
Strohballen: Volumen bei einer Dichte von 160 kg/m ³	m ³	112 500	187 500	300 000	375 000
Kornmasse bei einem Kornertrag von 60 dt/ha	t	18 000	30 000	40 000	60 000
Kornvolumen bei einer Dichte von 750 kg/m ³	m ³	24 000	40 000	64 000	80 000

Tafel 2. Varianten der Transport (T)-, Umschlag (U)- und Lagerprozesse (L) bei der Korn- und Strohbergung; siehe auch Bild 3

lfd. Nr.	Bez.	Prozeßfolge
Kornbergung		
1	TUT	Transport in der Maschine — Übergabe an das Transportfahrzeug — Transport (mobil) — Umladen
2	TUT	Transport (mobil) — Übergabe an die Annahmestation — Transport (stationär) — Umladen
3	TUL	Transport (stationär) — Umschlag an das Lager — Lagern — Einlagern
Strohbergung		
4	TUL	Transport in der Maschine — Ablage auf dem Feld — Lagern auf dem Feld — Zwischenlagern
5	LUT	Lagern auf dem Feld — Aufnahme des Strohs aus dem Schwaden — Transport in der Maschine — Auslagern
6	TUT	Transport in der Maschine — Übergabe an das Transportfahrzeug — Transport (mobil) — Umladen
7	TUT	Transport (mobil) — Übergabe an die Annahmestation — Transport (stationär) — Umladen
8	TUL	Transport (stationär) — Umschlag an das Lager — Lagern — Einlagern

Bild 2. Mengenflußplan für Mähdrusch- und Strohbergungsverfahren mit einem Gesamtertrag von 120 dt/ha und beim Einsatz von 5 Mäh-dreschern (Durchsatz 11 kg/s) und 5 Strohpressen (Durchsatz 5,3 kg/s) für 10 Einsatzstunden
a) Massefluß
b) Volumenfluß



sagekräftiger (Bild 2). Anhand dieses Mengenflußplans für die Getreideernte mit dem Mährescher und für die Strohbergung (Preßgutlinie) werden die Transport- und Einlagerungsprobleme bei der Strohbergung sichtbar. Im Gegensatz zu den stationären Getreideernteverfahren teilen sich bei dem ausgewählten Beispiel des Mähdruschverfahrens die Mengenströme unmittelbar nach dem Mährescher, so daß keine wechselseitige Beeinflussung zwischen Korn und Stroh stattfindet.

In den Operationsplänen sind sämtliche Be- und Verarbeitungs- sowie Transport-, Umschlag- und Lageroperationen (TUL-Operationen) zusammengefaßt. Im Rahmen der Verfahrensforschung besteht damit die Möglichkeit, neue Operationen zusammenzustellen und die Anzahl der in einer Maschine vereinigten Operationen zu variieren. Danach richtet sich z. B. der Spezialisierungsgrad der landtechnischen Arbeitsmittel. Vom Operationsplan werden technologische und konstruktive Forschungsaufgaben abgeleitet.

Der im Bild 3 dargestellte Operationsplan für Mähdrusch- und Strohbergungsverfahren weist folgende Be- und Verarbeitungsprozesse auf:
— Schneiden, Dreschen, Trennen, Reinigen
— Stroh Trocknung im Schwaden
— Verrotten des Kurzstroh-Spreu-Gemisches
— Strohbearbeitung.

Zwischen Transport, Umschlag und Lagerung ergeben sich die in Tafel 2 zusammengestellten acht Varianten. Das Umladen tritt am häufigsten auf. Es ist aufgrund der Spezialisierung der Transport- und Fördermittel, der verschiedenen Transportformen sowie der Art und Weise der Befüllung der Lager erforderlich. Damit sind Verlustquellen verbunden, die durch zusätzliche Investitionen reduziert werden (Laderaumabdeckung, Überblasschutz u. ä.).

lfd. Nr.	Symbol	Kurz-z.zeich.	Bemerkung	lfd. Nr.	Symbol	Kurz-z.zeich.	Bemerkung
				1		B/V	Schneiden, Dreschen, Trennen, Reinigen
				2		T	Transport in der Maschine
				3		U	Übergabe an Transportfahrzeug
				4		T	Transport (mobil)
				5		U	Übergabe an Annahmestation
				6		T	Transport (stationär)
				7		U	Umschlag an das Lager
				8		L	Lager
9		U	Ablage auf dem Feld				
10		L	Lagern auf dem Feld				
11		B/V	Trocknen im Schwaden				
12		L	Lagern des Kurzstroh-Spreu-Gemisches auf dem Feld				
13		B/V	Verrotten des Kurzstroh-Spreu-Gemisches				
14		U	Aufnahme des Strohs aus dem Schwaden				
15		T	Transport in der Maschine				
16		B/V	Strohbearbeitung (Pressen, Häckseln)				
17		T	Transport in der Maschine				
18		U	Übergabe an Transportfahrzeug				
19		T	Transport (mobil)				
20		U	Übergabe an Annahmestation				
21		T	Transport (stationär)				
22		U	Umschlag an das Lager				
23		L	Lager				

Bild 3. Operationsplan für Mähdrusch- und Strohbergungsverfahren;
— Stroh
— — — Kurzstroh/Spreu
- - - - Korn

Für stationäre Getreideernteverfahren erhöht sich die Anzahl der Be- und Verarbeitungsprozesse auf sieben, ebenso ergeben sich 13 TUL-Varianten. Ursache dafür ist die räumliche und zeitliche Trennung der Be- und Verarbeitungsprozesse.

5. Zusammenfassung

Zur Steigerung der Arbeitsproduktivität in der Getreideernte sind beim Transport sowie bei der Strohbergung und -verwertung effektivere Verfahrenslösungen erforderlich. Die komplizierten Probleme beim Einlagern, Mietensetzen und Auslagern von Qualitätsstroh für Futterzwecke könnten mit stationären Getreideernteverfahren verringert werden. Stationäre Drusch-, Trenn- und Verarbeitungsanlagen für Korn-Stroh-Gemische sind nur sinnvoll, wenn die Strohbergung und -verwertung in größerem Umfang erfolgt. Aufgrund zahlreicher Vorteile, wie niedrigere Strohfeuchte im oberen Halmabschnitt, hohe Leistungen der Felderntemaschinen, bessere Transportraum-

auslastung, geringere Entmischung und Senkung des Belüftungsaufwands, sollte nur das notwendige Stroh für die Strohverwertung geborgen werden. Für das Reststroh bietet sich die Strohdüngung an.

Umfangreiche und sorgfältige Analysen sind notwendig, um neue Verfahren vorzubereiten. Die TUL-Prozesse bilden einen Schwerpunkt und sollten auf eine minimale Anzahl begrenzt werden.

Nach Einbeziehung der Vor- und Nachteile, Einflußgrößen, Bewertungskriterien und Vorzugsvarianten gegenwärtiger und zukünftiger Getreideernteverfahren in die Verfahrensbeurteilung stehen die im frühzeitigen Forschungsstadium durch Optimierungsmodelle gewonnenen theoretischen Erkenntnisse als Entscheidungshilfen für die Entwicklung von Maschinensystemen und für die Konstruktion landtechnischer Arbeitsmittel zur Verfügung. Außerdem lassen sich Schlußfolgerungen ableiten für Instandhaltung, Verfügbarkeit, technologische Eingliederung und Abstimmung im

Maschinensystem sowie für die organisatorische und leitungsseitige Vorbereitung des zukünftigen Einsatzes.

Literatur

- [1] Graewe, W.-D.: Aspekte der Getreideproduktion und Getreidewirtschaft im Weltmaßstab (I). Getreidewirtschaft 10 (1976) H. 1, S. 11—14.
- [2] Aniskin, V. I.: Perspektiven für die Mechanisierung der Ernte und Nachbehandlung von Getreide in der UdSSR. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 3, S. 106.
- [3] Bendull, K.; Dahse, F.: Die Bewertung von Verfahren der Tierproduktion in der Phase von Forschung und Entwicklung unter Anwendung von Elementen der Gebrauchswert-Kosten-Analyse. agrartechnik 26 (1976) H. 8, S. 386—389.
- [4] Autorenkollektiv: Richtzahlen und Tabellen für die Landwirtschaft. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag 1968.
- [5] Petsche, A.: Prüfbericht Nr. 684 Hochdrucksammlerpresse K 453. Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim 1973. A 1654

Einfluß des Trommeldurchmessers auf Drehmoment- und Leistungsbedarf der Dreschtrommel

Dipl.-Ing. K. Kugler, KDT, VEB Kombinat Fortschritt — Landmaschinen — Neustadt in Sachsen

1. Problematik

Die weitere Intensivierung der Produktion von Körnerfrüchten — in der DDR speziell von Getreide — wird u. a. erreicht durch
— Einsatz ertragreicher Sorten und Hebung der Bodenfruchtbarkeit
— Bereitstellung eines leistungsfähigen Maschinensystems.

Besondere Bedeutung hat dabei der Mähdrescher als leistungsbestimmende Maschine des Teilmaschinensystems Getreideernte, weil seine technisch-ökonomischen Parameter die verlustarme Bergung der Körner mit hohen Qualitätsmerkmalen (hoher Reinheitsgrad, geringer Beschädigungsgrad) bei möglichst nied-

rigen Verfahrenskosten entscheidend bestimmen.

Vor der Landmaschinenindustrie steht deshalb die Aufgabe, Mähdrescher mit hohem Gebrauchswert zu entwickeln. Dabei wird der Gebrauchswert insbesondere von folgenden Gebrauchseigenschaften bestimmt:

- Nenndurchsatz bei Einhaltung zulässiger Körnerverlustgrenzen
- Einsatzmöglichkeit für verschiedene Druschfruchtarten, -sorten und -zustände
- energetischer Aufwand
- Reinheitsgrad der Körner
- Beschädigungsgrad der Körner bei Einhaltung zulässiger Grenzen
- Verfügbarkeit
- Instandhaltungsaufwand
- Erfüllung ergonomischer Forderungen.

Im Vordergrund nationaler und internationaler Forschungs- und Entwicklungsarbeiten stand in der Vergangenheit insbesondere die Forderung, den Gebrauchswert durch Erhöhung des Nenndurchsatzes des Mähdreschers von $Q = 4 \dots 6 \text{ kg/s}$ auf $Q = 8 \dots 12 \text{ kg/s}$ zu verbessern.

Dieser Tendenz entsprach der VEB Kombinat Fortschritt — Landmaschinen — Neustadt in Sachsen mit der Entwicklung des Mähdreschers E 516, der den wissenschaftlich-technischen Höchststand im Mähdrescherbau repräsentiert. Bei der Konzipierung dieses Mähdreschers wurde davon ausgegangen, daß das traditionelle Arbeitsprinzip mit einem aus Schlagleistendrescheinrichtung, Schüttler und Reinigungseinrichtung (Siebsichter) bestehenden Dreschwerk beizubehalten ist, da sich völlig neue technische Lösungen zur Realisierung in einem derartig leistungsstarken Mähdrescher noch nicht anbieten.

Die Erhöhung des Durchsatzes des Mähdreschers wird u. a. von der unzureichenden Kornabscheidung durch den Dreschkorb be-

grenzt. Bekanntlich fällt der Kornabscheidungsgrad des Dreschkorbs mit steigendem Durchsatz im interessierenden Bereich ($q_0 > 3 \text{ kg/s} \cdot \text{m}$) etwa linear ab [1]. Bei hohen Durchsätzen erreicht er nur noch solche Werte, die in Verbindung mit dem aufgrund der Durchsatzserhöhung steigenden Strohdurchsatz die Leistungsfähigkeit des nachfolgenden Schüttlers überfordern. Die Folge der nicht mehr ausreichenden Restkornabscheidung des Schüttlers sind hohe Schüttlerverluste, die zur Überschreitung der zulässigen Gesamtkörnerverlustgrenze des Mähdreschers (1,5 %) führen.

Deshalb muß bei der Entwicklung leistungsstarker Mähdrescher der Gestaltung der Schlagleistendrescheinrichtung besondere Aufmerksamkeit gelten. Folgende Möglichkeiten zur Erhöhung des Kornabscheidungsgrades der Drescheinrichtung bieten sich an:

- Vergrößerung der Arbeitsbreite
- Vergrößerung des Dreschkorbwinkels
- Vergrößerung des Trommeldurchmessers
- Optimierung der konstruktiven Gestaltung von Dreschtrommel und Dreschkorb unter Berücksichtigung der Einstellparameter Dreschspalt und Trommelumfangsgeschwindigkeit
- Schaffung optimaler Bedingungen für die Zuführung des Druschgutes zur Drescheinrichtung
- Hintereinanderschaltung von Schlagleistendrescheinrichtungen zu Mehrtrommeldreschwerken [1]
- Parallelschaltung von Schlagleistendrescheinrichtungen [2].

Die ersten drei Möglichkeiten beinhalten die Vergrößerung der Abscheidefläche des Dreschkorbs bzw. die Verringerung der Belastung der Drescheinrichtung durch Senkung des spezifischen Durchsatzes q_0 in $\text{kg/s} \cdot \text{m}$ (Durchsatz Q in kg/s bezogen auf 1 m Arbeitsbreite) und sind

Verwendete Formelzeichen

b_{MD}	m	Maschinenbreite des Mähdreschers
b_{KL}	mm	Korbleistenbreite
b_T	mm	Dreschtrommelbreite
d_{KD}	mm	Korbdrahtdurchmesser
d_T	mm	Dreschtrommeldurchmesser
K_X	%	Kornanteil
l_H	mm	Halm länge
l_K	mm	Dreschkorblänge
l_{ki}	mm	Korbleistenabstand
l_Z	m	Zuführlänge
M_{T_0}	N · m/m	spezifischer Drehmomentbedarf der Dreschtrommel
P_{T_0}	kW/m	spezifischer Leistungsbedarf der Dreschtrommel
P_T	kW	absoluter Leistungsbedarf der Dreschtrommel
Q	kg/s	absoluter Durchsatz
q_0	kg/s · m	spezifischer Durchsatz
t_{KD}	mm	Korbdrahtabstand
v_Z	m/s	Zuführgeschwindigkeit
V_T	m/s	Umfangsgeschwindigkeit der Dreschtrommel
x_K	%	Kornfeuchtigkeit
x_S	%	Strohfeuchtigkeit
β_K	°	Dreschkorbwinkel
β_{KL}	°	Korbleistenteilung