

# Untersuchungsmethodik zur Zerkleinerung von Halmgut

Prof. Dr. sc. techn. K. Plötner, KDT/Dipl.-Ing. G. Harfensteller, KDT  
Dr.-Ing. F. Freitag, KDT<sup>1)</sup>/Ing. F. Kittelmann, KDT<sup>1)</sup>

## 1. Problemstellung

Aus den Aufgaben der sozialistischen Landwirtschaft der DDR in den 80er Jahren leiten sich die Anforderungen an die Verfahren und die landtechnischen Arbeitsmittel als Ausgangspunkt und Grundlage für Weiter- und Neuentwicklungen ab. Dazu gehören u. a. folgende entscheidende Anforderungen an landtechnische Arbeitsmittel:

- Erfüllung der vorgesehenen Funktion in hoher Qualität
- Erhöhung der Arbeitsproduktivität
- Verringerung des Energie- und Materialaufwands
- Einsparung von Arbeitszeit und Arbeitsplätzen bei gleichzeitiger Verbesserung der Arbeitsbedingungen
- Verringerung der Aufwendungen und Kosten
- Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit
- Steigerung der Erträge und Senkung der Verluste.

Diese allgemeinen Anforderungen müssen immer im Zusammenhang gesehen und realisiert werden, was aber nicht ausschließt, daß die eine oder andere Anforderung mehr oder weniger in den Vordergrund tritt. International gesehen sind das gegenwärtig nach wie vor die Verringerung des Energie- und Materialaufwands und die Einsparung von Arbeitszeit und Arbeitsplätzen.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen bei der Weiter- und Neuentwicklung landtechnischer Arbeitsmittel sind u. a. folgende Aspekte entscheidend:

- anwendbare Theorien der Grundlagenwissenschaften und der Landtechnikwissenschaft
- gesicherte Ergebnisse wissenschaftlicher Experimente.

Diese beiden Aspekte, allgemein als wissenschaftliche Grundlagen für die Weiter- und Neuentwicklung landtechnischer Arbeitsmittel bezeichnet, müssen immer als Einheit gesehen und in der Wechselwirkung Theorie-Modell-Experiment-Praxis verwirklicht werden, was nachfolgend am Beispiel der Untersuchung der Zerkleinerung von Halmgut näher betrachtet werden soll.

## 2. Zerkleinerungstheorien und ihre Anwendbarkeit

Für die Weiter- und Neuentwicklung landtechnischer Arbeitsmittel sind beim derzeitigen Erkenntnisstand Theorien für zwei Anwendungsbereiche von besonderer Bedeutung:

- Theorien und ihre Anwendung zur Lösung von Querschnittsproblemen, wie Energie- und Materialaufwand, Betriebsfestigkeit, Zuverlässigkeit u. a.
- Theorien und ihre Anwendung zur Optimierung der Funktion und Struktur von Arbeitselementen und Baugruppen, wie Zerkleinerungstheorie, Siebtheorie, Verdichtungstheorie u. a.

Die theoretische Durchdringung der Halmgutzerkleinerung ist Bestandteil des zweiten Bereichs, wobei enge Wechselbeziehungen zum ersten bestehen.

Sollen Mechanismen der Halmgutzerkleinerung beschrieben werden, so liegt es nahe, auf bekannte Erkenntnisse aus anderen Anwendungsgebieten der Zerkleinerung zurückzugreifen. Bei allgemeiner Betrachtung herrschen zwischen dem Schneiden von Metall und der Halmgutzerkleinerung ähnliche Verhältnisse. Wenn auch geometrische Ähnlichkeiten bestehen, so versagt doch eine Übertragung der weit entwickelten Theorien aus dem Werkzeugmaschinenbau bei näherer Betrachtung der Materialeigenschaften vollends. Beim Schneiden von Metall ist die Schnittarbeit proportional der Schnittflächengröße, bei Halmgütern haben dagegen die Schnittrichtung zu den Fasern oder Stengeln, die Vorverdichtung bei Halmgutpaketen, die Schnittgeschwindigkeit u. a. darauf einen weitaus größeren Einfluß.

Kramarenko [1] und Spiewok [2] haben zur notwendigen Schnittarbeit an Einzelhalmen umfangreiches experimentelles Material gesammelt und theoretische Abhängigkeiten abgeleitet. Diese Erkenntnisse fanden besonders bei der Entwicklung von Schneidwerken Anwendung. Werden Halmgutpakete geschnitten, z. B. in Häckslern, dann stellen sich andere Abhängigkeiten heraus. Die von Häckslern zerkleinerten Halmgutpakete sind durch eine stochastische Ausrichtung der Halme gekennzeichnet. Für die Kräfte, die zu Beginn des Schnitts eines Halmgutpakets wirken, gibt es eine Vielzahl von Kräfteplänen. Erwähnt seien dazu nur die Kräftepläne von Resnik [3] und Kanafojski [4]. Im Bild 1 ist der Kräfteplan nach Kanafojski dargestellt. Daraus wird für die Gesamtschnittkraft folgende Beziehung abgeleitet:

$$F_s = d\sigma + \frac{Eh_{gv}^2}{2h_{g0}} [\tan\beta + \mu \sin^2\beta + \mu'(\mu + \cos^2\beta)].$$

Die Dicke der Schneidkante  $d$  und bekannte Stoffparameter, wie Elastizitätsmodul  $E$ , die ertragbare Spannung  $\sigma$  und Reibkoeffizienten für die innere und äußere Reibung  $\mu'$  und  $\mu$  werden berücksichtigt. Aus dem Kräfteplan nach Bild 1 geht eine charakteristische, besonders auch durch Resnik interpretierte Eigenschaft des Halmgutpakets hervor. Bevor der eigentliche Schnitt stattfindet, wird das Halmgutpaket gestaucht, d. h. verdichtet. Die Größe dieser Verdichtung nimmt bei Vorverdichtung des Halmgutpakets und mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit ab und kann bei Geschwindigkeiten über 30 m/s nach [4, 5] vernachlässigt werden.

An diesem Beispiel aus der Vielzahl der theoretischen Untersuchungen zeigen sich die Schwierigkeiten der praktischen Anwendbarkeit bei allen bisher aufgestellten Theorien. Der stochastische Charakter der Eigenschaften von Halmgütern ist der begrenzende Faktor für die direkte Überführung der theoretisch gewonnenen Erkenntnisse in konstruktive Lösungen. Die Eigenschaften, wie ertragbare Spannungen, Elastizitätsmodul, innere und äußere Reibkoeffizienten, plastisch-elastisches Verhalten u. a., hängen sowohl von biologischen Bedingungen (Pflanzenart, Vegetationszustand, Standortbedingungen, Trockensubstanzgehalt, Substanzdichte) wie auch von Beanspruchungsbedingungen (Vorverdichtung, Schnittgeschwindigkeit, Schärfe der Schneidelemente u. a.) ab. Deshalb gelang es bisher nur mit eng auf Randbedingungen zugeschnittenen theoretischen Untersuchungen, die in steter Wechselbeziehung mit Experimenten entstanden, eine hohe Praxiswirksamkeit zu erzielen.

## 3. Methodik der experimentellen Untersuchungen zur Zerkleinerung von Halmgut

Für die Weiter- und Neuentwicklung von Arbeitselementen, Baugruppen und Maschinen zur Zerkleinerung von Halmgut müssen aufgrund der dargestellten Kompliziertheit der ablaufenden Vorgänge bei der Halmgutzerkleinerung und der erforderlichen Vereinfachungen und Annahmen zu ihrer theoretischen Beschreibung in jedem Fall experimentelle Untersuchungen dazu durchgeführt werden. Diese Untersuchungen unterliegen

1) Dr.-Ing. Freitag und Ing. Kittelmann sind im VEB Erntemaschinen Neustadt in Sachsen, Stammbetrieb des Kombinats Fortschritt Landmaschinen, tätig.

Fortsetzung von Seite 31

## Literatur

- [1] Kremp, H.-J.; Eckhof, W.: Grundrichtung der weiteren Entwicklung und Rekonstruktion von Tierproduktionsanlagen bei optimalem Einsatz von Energie, Material und Arbeitskräften. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 2, S. 49-52.
- [2] Mittag, U.; Schmidt, C.: Rationalisierung von Anlagen und Ausrüstungen der Rinder- und

- Schweineproduktion. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 2, S. 47-49.
- [3] Katalog Bauwesen - Konstruktionsdetails Produktionstechnischer Ausbau - Rinderhaltung L 8206 PDP. VEB Landbauprojekt Potsdam 1983.
- [4] Preis- und Materialbedarfslisten für die Konstruktionsdetails des produktionstechnischen Ausbaus. VEB Landbauprojekt Potsdam 1984.
- [5] Thamm, D.: Entwicklung von Baueinheiten für

- die Rationalisierung und Rekonstruktion von Milchviehlaufstallanlagen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1984 (unveröffentlicht).
- [6] Thamm, D.: Erarbeitung von Rationalisierungslösungen für Anlagen der Tierproduktion an vorgegebenen Standorten. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Großer Beleg, 1983 (unveröffentlicht). A 4314

aber immer zielgerichteten Schwerpunkten und bestimmten Kombinationsmöglichkeiten der Versuchsbedingungen.

Für die experimentellen Untersuchungen der Wirkpaarung Arbeitselement-Halmgut hat sich in den vergangenen Jahren vorrangig folgende systematische Methodik entwickelt (Bild 2):

- Untersuchung des Schnittvorgangs am Einzelhalm (Original- und Modellstoff) mit Modellarbeitselementen
- Untersuchung des Schnittvorgangs am Halmpaket aus Originalstoff in Modellform und -abmessung mit Teilen des Originalarbeitselements
- Untersuchung des Schnittvorgangs am Originalhalmpaket mit Originalarbeitselementen auf einem stationären Versuchsstand
- Untersuchung des Schnittvorgangs am Originalhalmpaket mit Originalarbeitselementen mit mobilen Feldhäckslern.

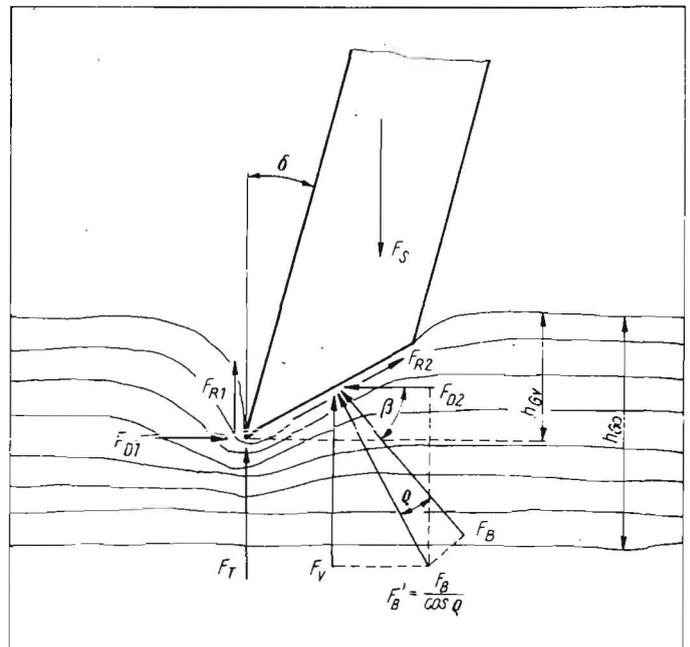
Die Untersuchungen am Einzelhalm haben vor allem Bedeutung für die Grundlagenforschung. Dargestellt werden prinzipielle Zusammenhänge, wie z. B. die Kinematik des Schnittvorgangs, das Verschleißverhalten des Arbeitselements und vor allem Schnittkraftprobleme als Basis für weitere Betrachtungen. Für die praktische Anwendung konnten daraus Betriebs- und Konstruktionsparameter besonders für Schneidwerke abgeleitet werden. Aussagen zum Schneiden von Halmpaketen waren nur begrenzt oder gar nicht möglich.

Das führte zur Notwendigkeit der experimentellen Untersuchungen am Halmpaket aus Originalstoff in Modellform und -abmessung. Durch die Schaffung von modellähnlichen Praxisbedingungen bei den Versuchen ist es möglich, bestimmte Einflußgrößen auf den Zerkleinerungsvorgang beim Schnitt von Halmpaketen mit Schneid- oder Schneidwurftrömmeln zu quantifizieren und sie in Form von Konstruktions- und Betriebsparametern zu optimieren. Als Beispiel sei an dieser Stelle der Gegenschneidenversatz, d. h. die Lage der Gutzuführebene zur Schnittstelle, aufgeführt, der im Ergebnis solcher experimentellen Untersuchungen zu einer praxiswirksamen Anwendung im Feldhäcksler E 281 führte. Mit dieser Methode kann bereits eine Vielzahl von Zusammenhängen und Wechselwirkungen beim Schnitt von Halmpaketen hinsichtlich des Energieaufwands, der auftretenden Kräfte und des erreichten Zerkleinerungsergebnisses ermittelt werden. Die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse in Form des Einflusses der Betriebs- und Konstruktionsparameter auf den Schnittvorgang sind quantitativ nicht vollständig auf den praktischen Anwendungsfall, z. B. im Feldhäcksler, übertragbar.

Obwohl diese Untersuchungen mit geringem versuchstechnischem Aufwand durchgeführt werden können, wird vor allem aufgrund der Modellform und -abmessung des Halmpakets und der dabei eingeschlossenen Randbedingungen eine Übertragung auf reale Verhältnisse erschwert.

Ausgehend von diesen Erfahrungen und Erkenntnissen müssen experimentelle Untersuchungen verstärkt am Originalstoff in Originalform und -abmessung auf stationären Versuchsständen durchgeführt werden. Dadurch werden einerseits die aufgeführten Einschränkungen, die sich aus einer Modellform und -abmessung ergeben, und anderer-

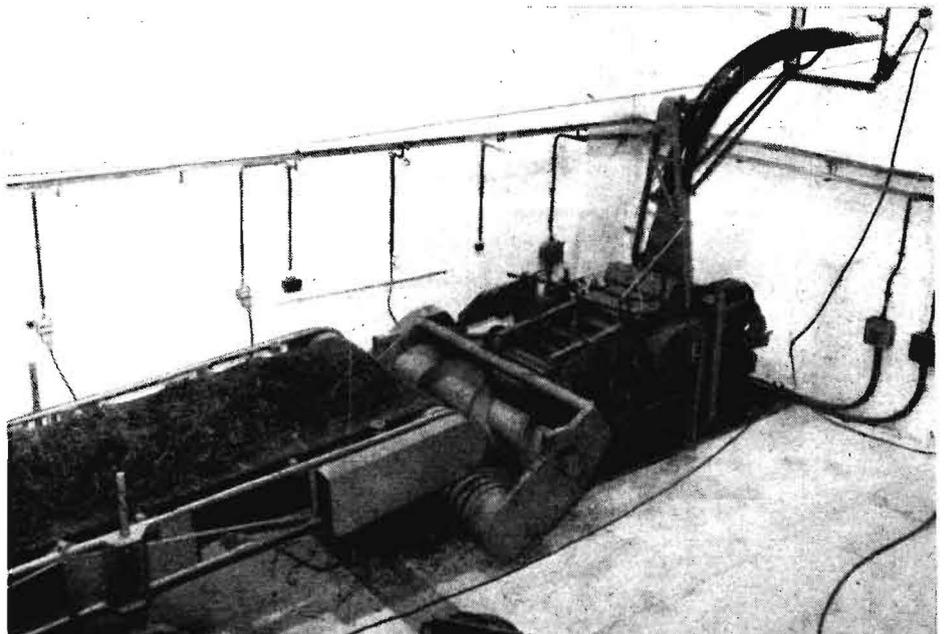
Bild 1  
Schnittkräfte nach Kanafojski [4];  $F_s$  Gesamtschnittkraft,  $F_v$  Widerstandskraft des gestauchten Schneidguts,  $F_{D1}$  und  $F_{D2}$  Widerstandskräfte der Spanfläche der Schneidfase auf das Schneidgut,  $F_T$  Widerstandskraft des Schneidguts beim Schnitt,  $F_{R1}$  und  $F_{R2}$  Reibungskräfte am Messer,  $F_B$  Widerstandskraft gegenüber dem Druck der Messerfase,  $\delta$ ,  $\beta$  und  $\varrho$  konstruktionsbedingte Winkel,  $h_{G0}$  Höhe des Halmgutpakets,  $h_G$  gestauchte Höhe



Arbeitselement	landwirtschaftlicher Stoff	schematische Darstellung	Untersuchungsschwerpunkte
Modellarbeitselement	Einzelhalm		<p>Schnittkräfte ↔ Schnittgeometrie</p> <p>Zerkleinerungsgrad</p> <p>Optimierung</p> <p>Konstruktions-Betriebsparameter ↔ Stoffparameter</p> <p>Energie- und Materialeinsparung</p>
Teile der Originalarbeitselemente	Halmpaket in Modellform und -abmessung		
Originalarbeitselement (Laborversuche)	Halmpaket in Originalform und -abmessung mit quasi-konstantem Durchsatz		
Originalarbeitselement (Feldversuche)	Halmpaket in Originalform und -abmessung mit nicht konstantem Durchsatz		

Bild 2. Methodik experimenteller Untersuchungen der Wirkpaarung Arbeitselemente – Halmgut; 1 bewegte Schneide, 2 feststehende Gegenschneide, 3 Einzelhalm, 4 Halmpaket

Bild 3. Häckslierversuchsstand des Technikums und der Forschungsbasis „Halmfuttermerte“ im VEG Klockenhagen



seits die Probleme, die bei Untersuchungen mit mobilen Maschinen auftreten, ausgeschaltet. Weitere Vorteile stationärer Versuchsstände sind:

- Nutzung und Verwendung von Originalbaugruppen
- gute Austauschbarkeit bei der Weiterentwicklung von Baugruppen
- Schaffung definierter Versuchsbedingungen
- quasikonstanter Durchsatz von Halmgut innerhalb der Gutzuführung gut realisierbar
- gute Bedingungen für die Meß- und Rechentechnik
- günstige Voraussetzungen für eine visuelle und fototechnische Beobachtung bestimmter Vorgänge.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte und der an der Sektion Landtechnik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock in den vergangenen 10 Jahren gesammelten Erfahrungen bei der Optimierung und Entwicklung von Prinzipien zur Zerkleinerung von Halmgut wurde im Jahr 1984 das Technikum und die Forschungsbasis „Halmfütterernte“ im VEG Klockenhagen, Bezirk Rostock, als Gemeinschaftseinrichtung des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt in Sachsen, des VEG Klockenhagen und der Sektion Landtechnik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock aufgebaut und im Oktober 1984 in Betrieb genommen. In dieser Einrichtung befindet sich u. a. ein moderner stationärer Häckslerversuchsstand (Bild 3). Mit dem Versuchsstand können die weiteren Forschungsarbeiten unter praxisähnlichen und Praxisbedingungen durchgeführt werden, wodurch ein wesentlicher Beitrag zur Optimierung der Betriebs- und Konstruktionsparameter von Häckselaggregaten möglich ist. Der Schwerpunkt wird dabei durch den Forschungsauftraggeber, den VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen, auf energetische Untersuchungen und – darin eingeschlossen – auf die Schaffung materialökonomisch günstiger Lösungen gelegt. Das bezieht sich sowohl auf kurzfristig zu lösende als auch auf perspektivische Forschungsaufgaben für gegenwärtige und zukünftige Häckslergenerationen. Der o. g. stationäre Häckslerversuchsstand ist wie folgt aufgebaut:

- Gutzuführstrecke
- Gutaufnahmeeinrichtung (Originaladapter E 294)
- Häckselaggregat (verschiedene konstruktive Varianten)
- Gutabgabe durch Auswurfbojen.

Für eine variable Anordnung der zu untersuchenden Baugruppen, wie z. B. Häckseltrommel und Zuführsystem mit Adapter, sowie der Antriebssysteme wurden diese auf einem Spannungsfeld aufgebaut. Der Antrieb der verschiedenen Baugruppen erfolgt ausschließlich getrennt mit Elektromotoren über Keilriemengetriebe. Dadurch ist eine hohe Variabilität bei der Gestaltung der Versuchseinrichtung und -durchführung möglich und verbessert sich die meßtechnische Erfassung an den vorbestimmten Baugruppen.

Da Originalbaugruppen verwendet werden, ist eine Übertragung der Erkenntnisse auf die Originalmaschinen auch qualitativ problemlos und in kürzester Zeit möglich. Einschränkung muß aber berücksichtigt werden, daß die Stochastik, wie sie im mobilen Einsatz des Feldhäckslers, vor allem aus der Sicht des Durchsatzes, auftritt, nur bedingt auf dem Versuchsstand simuliert werden kann. Deshalb ist es notwendig, die Überprüfung der aus den stationären Versuchen ermittelten Ergebnisse unter realen Einsatzbedingungen im mobilen Feldeinsatz vorzunehmen. Mit diesen Untersuchungen müssen die im stationären Versuch bestimmten Optimalwerte für die Konstruktions- und Betriebsparameter bestätigt und deren praktische Einsatzgrenzen gewonnen werden. Die Auswertung der Einsatzuntersuchungen unter Berücksichtigung der im stationären Versuch ermittelten Ergebnisse läßt dann auch Aussagen über die Gesamtmaschine zu.

#### 4. Schlußfolgerungen für weitere Forschungsarbeiten

Die weiteren Forschungsarbeiten zur Zerkleinerung von Halmgut werden in der dargelegten Weise mit theoretischen und experimentellen Untersuchungen fortgeführt. Die theoretischen Untersuchungen haben das Ziel, bekannte Zerkleinerungstheorien weiter zu entwickeln und neue, möglichst allgemeingültige Theorien zur Zerkleinerung von Halmgut abzuleiten. Mit ihrer Hilfe sollen zukünftig die Konstruktions- und Betriebspara-

meter der Arbeitselemente und Baugruppen zur Zerkleinerung von Halmgut unter Berücksichtigung der Stoffparameter bei einem minimalen Aufwand an Experimenten optimiert werden. Außerdem sollen aus derartigen Ergebnissen Schlußfolgerungen für das zielgerichtete Durchführen notwendiger Experimente und das Deuten ihrer Ergebnisse gezogen werden.

Mit den experimentellen Untersuchungen sollen die Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen überprüft und vervollständigt sowie die Parameter und Parameterkombinationen ermittelt werden, die der Konstrukteur von Häckslern zur Zerkleinerung von Halmgut im konstruktiven Entwicklungsprozeß benötigt. Das betrifft sowohl Einzelelemente und Baugruppen als auch die Anordnung der Baugruppen in der Gesamtmaschine.

#### 5. Zusammenfassung

Ausgehend von allgemeinen Anforderungen an die Weiter- und Neuentwicklung landtechnischer Arbeitsmittel wird auf die Bedeutung und Notwendigkeit theoretischer und experimenteller Untersuchungen hingewiesen. Am Beispiel der Zerkleinerung von Halmgut werden Zerkleinerungstheorien und ihre Anwendung sowie die Methodik der experimentellen Untersuchung beschrieben. Daraus werden Schlußfolgerungen für weitere Forschungsarbeiten abgeleitet.

#### Literatur

- [1] Kramarenko, L. P.: Issledovanie processa rezanija grubych kormov (Untersuchungen des Schnittprozesses von Grobfutter). Rostov: I-vo rostovskogo universiteta 1972, S. 128–131.
- [2] Spiewok, D.: Ein Beitrag über den Einfluß stofflicher und konstruktiver Parameter auf den Energiebedarf beim Schneiden von halmartigen Stoffen nach dem freien Schnitt. Universität Rostock, Dissertation 1974 (unveröffentlicht).
- [3] Resnik, N. E.: Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovanija mašinstroenija (Theoretische und experimentelle Untersuchungen auf dem Gebiet des Landmaschinenbaus). Moskva: Mašinstroenie 1967.
- [4] Kanafojski, C.: Grundlagen erntetechnischer Baugruppen. Berlin: VEB Verlag Technik 1973.
- [5] O'Dogherty, M. J.: A review of research on forage chopping (Ein Überblick über Forschungen zum Halmfütterhäckseln). J. agric. Engin., London 27 (1982) 4, S. 267–289.

A 4304

#### Postgraduales Studium in Nordhausen

An der Ingenieurschule für Landtechnik Nordhausen beginnt am 11. März 1985 ein Zusatzstudium „Ingenieur für Automatisierungstechnik und Leistungselektronik“ für Ingenieure, die einen Abschluß in einer technischen Fachrichtung besitzen. Bewerber für dieses Studium können sich noch bis zum 25. Februar 1985 an folgende Adresse wenden: Ingenieurschule für Landtechnik Nordhausen, Abteilung Fernstudium/Weiterbildung, 5500 Nordhausen, Weinberghof.