

ANALYSE DES ELEKTRISCHEN LEISTUNGS- UND ENERGIEBEDARFES  
WICHTIGER BEREICHE DER RINDER- UND SCHWEINEHALTUNG

Von dem

Fachbereich für Landwirtschaft und Gartenbau  
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Landwirtschaft (Dr. agr.)  
genehmigte Dissertation

Vorgelegt von

Diplom-Agraringenieur  
Ludwig Cornelius von Heyl zu Herrnsheim  
geboren zu Worms am Rhein

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H.-L. Wenner  
2. Berichterstatter: Prof. Dr. W. Söhne

Tag der Einreichung der Arbeit: 4. 7. 1975  
Tag der Annahme der Arbeit: 26. 7. 1975  
Tag der Promotion: 31. 7. 1975

## V o r w o r t

Die fortschreitende Mechanisierung landwirtschaftlicher Betriebe hat zu wesentlich höheren Ansprüchen an die Elektroenergie geführt. In den Jahren 1973 bis 1975 wurden am Institut für Landtechnik der Technischen Universität München in Weihenstephan Untersuchungen durchgeführt, um neue Daten über den elektrischen Leistungsbedarf und den Energieverbrauch moderner Produktionsverfahren der Rinder- und Schweinehaltung zu ermitteln.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H.-L. WENNER, Direktor des Lehrstuhles für Landtechnik der Technischen Universität München - Weihenstephan, möchte ich für die Übertragung der Arbeit und für die umfassende Anleitung sehr herzlich danken.

Herrn Prof. Dr. W. SÖHNE, Direktor des Lehrstuhles für Landmaschinen der Technischen Universität München, danke ich für die Übernahme des Koreferates.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. J. BOXBERGER für die wissenschaftliche Betreuung und wertvolle Unterstützung. Auch allen anderen Mitarbeitern der Landtechnik Weihenstephan für ihre Mithilfe besten Dank.

Die Untersuchungen wurden durch einen Forschungsauftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) und der Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft (AEL) angeregt und in dankenswerter Weise finanziell getragen. Im weiteren Verlauf förderte die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Sonderforschungsbereich 141 die vorliegende Arbeit.

Freising im Juli 1975

L.v.Heyl

	Seite
Erläuterung der verwendeten Bezeichnungen und Begriffe	4
1. <u>Einführung</u>	6
1.1 Die Stromanwendung in der Landwirtschaft	6
1.2 Zielsetzung	10
1.3 Stand bisheriger Forschungsarbeit	11
1.4 Methodik und Arbeitsdurchführung	13
2. <u>Die Elektroenergieverbraucher in der Futterwirtschaft der Rinderhaltung</u>	16
2.1 Hochsilomechanisierung	17
2.1.1 Fördergebläse	18
2.1.2 Höhenförderer	31
2.1.3 Dosier- und Verteilungsgeräte	32
2.1.4 Greifer und Laufkrananlagen	35
2.1.5 Vergleich der Geräte zur Futtereinlagerung	39
2.1.6 Siloentnahmegерäte	42
2.1.7 Mechanische Fütterungsgeräte	47
2.2 Mechanisierung der Belüftungstrocknung von Heu	51
2.2.1 Belüftungsgebläse	52
3. <u>Die Elektroenergieverbraucher in der Futterwirtschaft der Schweinehaltung</u>	56
3.1 Mischfuttermittelaufbereitung	57
3.1.1 Schrotmühlen	58
3.1.2 Futtermischer	64
3.1.3 Kontinuierlich arbeitende Schrotaufbereitungsanlagen	66
3.2 Getreideförderung	68
3.3 Fütterungsanlagen	75
3.3.1 Flüssigfütterung	75
3.3.2 Mechanische Trockenfütterung	80
4. <u>Die Elektroenergieverbraucher der Mistkette in Rinder- und Schweineställen</u>	82
4.1 Mechanische Entmistungsanlagen	82

4.2	Flüssigmistbehandlung	86
5.	<u>Die Elektroenergieverbraucher zur Klimatisierung und Beleuchtung von Rinder- und Schweineställen</u>	95
5.1	Stalllüftung	97
5.2	Beheizung von Ställen	100
5.3	Beleuchtung	104
6.	<u>Die Elektroenergieverbraucher für die Heißwasserbereitung</u>	106
7.	<u>Der Elektroenergiebedarf in den Produktionszweigen der Rindermast und der Schweinehaltung (Betriebsmodelle)</u>	107
7.1	Mastbullenhaltung	110
7.1.1	Installierte Leistung, Elektroenergieverbrauch und Benutzungsdauer der installierten Leistung	111
7.1.2	Belastungsverlauf und Leistungssenkung durch zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsvorgänge	116
7.2	Mastschweinehaltung	122
7.2.1	Installierte Leistung, Elektroenergieverbrauch und Benutzungsdauer der installierten Leistung	123
7.2.2	Belastungsverlauf und Leistungssenkung durch zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsvorgänge	126
7.3	Zuchtsauenhaltung (Ferkelerzeugung)	132
7.3.1	Installierte Leistung, Elektroenergieverbrauch und Benutzungsdauer der installierten Leistung	133
7.3.2	Belastungsverlauf und Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast	138
7.4	Vorschläge zu weiterführenden Untersuchungen	140
8.	<u>Vergleich der Betriebsmodelle mit den Ergebnissen der in der Praxis durchgeführten Messungen</u>	141
9.	<u>Zusammenfassung</u>	146
10.	<u>Literaturverzeichnis</u>	150
11.	<u>Anhang</u>	169

Erläuterung der verwendeten Bezeichnungen und Begriffe

Leistung (Wirkleistung)	kW	Elektrische Arbeit in der Zeiteinheit, Leistungsbedarf des Elektromotors aus dem Versorgungsnetz.
Installierte Leistung	kW	Nennleistung bzw. Summe der Nennleistungen der elektrischen Verbrauchseinrichtungen eines Stromabnehmers.
Tariflicher Anschlußwert	kW	Nach einem bestimmten vom zuständigen Elektrizitätsversorgungsunternehmen festgelegten Schlüssel berechneter Teil der installierten Leistung.
Elektrische Arbeit (Wirkarbeit)	kWh	In einer Zeitspanne gelieferte oder verbrauchte elektrische Energie.
Benutzungsdauer der installierten Leistung	h	Quotient aus elektrischer Arbeit in einer Zeitspanne (Jahr) und der beim Abnehmer installierten Leistung.
Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast	h	Quotient aus elektrischer Arbeit in einer Zeitspanne (Jahr) und der Höchstleistung (1/4-Stunden-Maximum) in der gleichen Zeitspanne.
1/4-Stunden-Maximum	kW	Gibt die aufgetretene Höchstlast (Höchstleistung) von Verbrauchseinrichtungen als Mittelwert einer 15minütigen Meßperiode an.
Verbrauchsfaktor (Ausnutzungsfaktor oder Gleichzeitigkeitsgrad)		Quotient zwischen der Höchstlast einer Anlage oder Abnehmergruppe innerhalb einer bestimmten Zeitspanne (Jahr) und der gesamten installierten Leistung der Anlage oder Abnehmergruppe.
EVU		Elektrizitätsversorgungsunternehmen
VDEW		Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V., Frankfurt/Main

AEL	Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitäts- anwendung in der Landwirtschaft e.V.
GV	Großvieheinheit (= 500 kg Lebendgewicht)
n	Anzahl der Werte einer Meßreihe
r	Korrelationskoeffizient linearer Regressionsrechnungen mit * signifikant (95 % Ebene) ** hochsignifikant *** höchstsignifikant
1/min	Umdrehungszahl pro Minute oder Drehfrequenz pro Minute.

## 1. Einführung

### 1.1 Die Stromanwendung in der Landwirtschaft

Die ökonomische Situation der landwirtschaftlichen Produktion führte in der Bundesrepublik Deutschland sowie in anderen Industrieländern zu einer schnellen Intensivierung im Bereich des Ackerbaues und der tierischen Produktion. So steht beispielsweise einem Rückgang der in der Landwirtschaft beschäftigten Vollarbeitskräfte von 2,6 Millionen im Jahre 1961 auf 1,3 Millionen im Jahre 1972 die Steigerung der gesamten Nahrungsmittelproduktion von 46,8 Millionen Tonnen Getreideeinheiten auf 58,9 Millionen Getreideeinheiten gegenüber (128).

Diese moderne Nahrungsmittelproduktion ist jedoch nach WEBER (94, 95) stark an die Energieanwendung gekoppelt, da die hohe Produktivität der Landwirtschaft in Industrieländern auch auf den höheren eingesetzten Energiemengen beruht. Die BRD lag nach diesen Untersuchungen im Vergleich zu anderen Nationen im Jahre 1969 mit 27 Schlepper-PS pro landwirtschaftliche Arbeitskraft an zweiter Stelle hinter den USA (63 PS/AK).

Auch hinsichtlich der Elektroenergie ist eine ähnliche Situation gegeben: Während im Jahre 1938 208 kWh/landwirtschaftliche AK eingesetzt wurden, stieg bis zum Jahre 1972 die jährlich verwendete Elektrizitätsmenge auf 3680 kWh/landwirtschaftliche AK (94, 128). Der Elektroenergiegesamtverbrauch der westdeutschen Landwirtschaft belief sich im Jahre 1973 auf 6 Milliarden kWh (durchschnittlich 6564 kWh/Betrieb), womit gegenüber dem Jahre 1950 eine Steigerung um 680 % eintrat. Diese Steigerungsrate ist höher als diejenige des Gesamtstromverbrauches der öffentlichen Netze und der Industrie (seit 1950: + 578 %) und des Primärenergieverbrauches im gleichen Zeitraum (+ 270 %) (38, 108).

Die seit dem Jahre 1970 einsetzende und seit 1973/74 durch politische Motive forcierte Teuerung der Primärenergieträger, welche sich zwangsläufig auch auf die Stromkosten auswirkt, hat zur Folge, daß dem Energieeinsatz stärkere Bedeutung zugemessen werden muß (44). Wie WEBER (94) andeutet, kann bei einem Rückgang der zur Verfügung stehenden Energiemengen sogar die energetische Effizienz eines Produktionsverfahrens entscheidender sein als die bisher an den Preisen orientierte ökonomische Effizienz.

Die erwähnte Entwicklung des Stromverbrauches in landwirtschaftlichen Betrieben ist auf die charakteristischen Vorteile der Elektroenergie zurückzuführen, welche auch im Bereich der Landtechnik - hier im besonderen Maße in der Innenwirtschaft - zur Geltung kommen:

- a) unterteilbar in kleine Einheiten
- b) schalt- und regelbar
- c) abgasfrei
- d) weitgehend wartungsfrei (16, 102)

Andererseits kann jedoch die Elektroenergie nicht in beliebigem Maße so gespeichert werden, wie dies etwa für den Verbrennungsmotor mit Brennstoffflägern der Fall ist, sondern die Stromerzeugungsbetriebe mit ihren Versorgungsnetzen müssen zu jedem Zeitpunkt die erforderliche elektrische Leistung bereitstellen. Diese Bereitstellungskosten beeinflussen generell die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung, insbesondere im ländlichen Raum wegen der geringen Dichte der Abnahmestellen. Nach RUDE (72) war beispielsweise in einigen Gebieten Süddeutschlands der Verteilungsaufwand pro DM Erlös in Landgemeinden 3,4 x höher als bei städtischen Abnehmern.

Das Problem einer wirtschaftlichen Stromversorgung landwirtschaftlicher Betriebe wird verstärkt durch die in der Landwirtschaft typischen, biologisch bedingten Produktionsabläufe. Durch die Mechanisierung der Innenwirtschaft steigen die Leistungsansprüche, die installierten Leistungen werden aber nur kurzfristig in Anspruch genommen, im jahreszeitlichen Ablauf etwa bei der Arbeitsspitze der Futterernte und Futterkonservierung, oder im täglichen Rhythmus bei der Milchgewinnung und der Futteraufbereitung. Dies führt zu einer ungleichmäßigen, also ungünstigen Ausnutzung der ländlichen Versorgungsnetze, was sich beispielsweise durch die typische geringe Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast bemerkbar macht.

Für die Elektrizitätsversorgungsunternehmen resultieren aus diesen Zusammenhängen heraus besondere Probleme. Um eine ausreichende und sichere Versorgung jederzeit gewährleisten zu können, muß die elektrische Leistung mit einer weitgehend konstanten Spannung und Frequenz immer zur Verfügung stehen. Dies

muß bei der Planung der notwendigen Investitionen und der Unterhaltungskosten berücksichtigt werden (64). Bis zum Jahre 1973 war ein gewisser Anreiz zu verstärktem Elektroenergieeinsatz in der Landwirtschaft gegeben, da ein gesonderter Tarif angewandt wurde. Dies wirkte sich in einer günstigen Preisentwicklung im Vergleich zu anderen Betriebsmitteln aus: Im Zeitraum 1956 bis 1973 blieb der durchschnittliche Preis pro kWh für Einzelabnehmer konstant, falls man bei der Berechnung anteilig den Bereitstellungspreis bei den steigenden Verbrauchsziffern berücksichtigt (108). Dies geht aus den hier zitierten statistischen Berichten des Referates Elektrizitätswirtschaft im Bundesministerium für Wirtschaft hervor, während die steigenden Preisindices des Statistischen Jahrbuches über ELF (128) auf den Unterstellungen eines konstanten Stromverbrauches basieren.

Obwohl auch in der seit dem 1.1.1974 in Kraft getretenen Bundestarifordnung (BTO) der Landwirtschaft eine gewisse Sonderstellung eingeräumt wird, ist eine "straffere Behandlung" landwirtschaftlicher Betriebe vorgesehen (64); dazu gehört eine individuelle Gestaltung der Strompreise nach dem Prinzip der Verursachung. Zur Diskussion steht hierbei die finanzielle Belastung jedes landwirtschaftlichen Betriebes nach der gemessenen Leistung, wie es bei industriellen Betrieben der Fall ist.

Dennoch wird bei durchaus unterschiedlicher Durchführung der Tarifgestaltung durch die einzelnen EVU bisher an dem Prinzip festgehalten, die Grundpreise und Anschluß-Freigrenzen in Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Nutzfläche zu berechnen.

Diese Bindung erscheint jedoch nicht sinnvoll, da bei der zunehmenden Spezialisierung und Intensivierung der tierischen Produktion, welche auch in flächenärmeren Betrieben durchgeführt wird, keine Abhängigkeit zwischen landwirtschaftlicher Nutzfläche und Leistungsbedarf besteht. Dies zeigt auch Abb. 1 mit den Ergebnissen einer von der VDEW und der AEL durchgeführten Erhebung, wobei der Leistungsbedarf ( $\bar{\varnothing}$  1/4 h Jahresmaximum) von 100 landwirtschaftlichen Betrieben aus dem gesamten Bundesgebiet und deren landwirtschaftliche Nutzfläche angegeben sind.

Die flächenbezogene Tarifgestaltung kann also nicht mehr der geeignete Anhaltspunkt zur Kostenverteilung sein. Andererseits entstehen durch die Überanschluß-

wert-Regelung besonders für die flächenärmeren Betriebe erhebliche Kosten, bei Überschreitung der Freigrenzen unter bestimmten Voraussetzungen beispielsweise jährlich bis zu 312 DM/kW (RWE-Tarif).

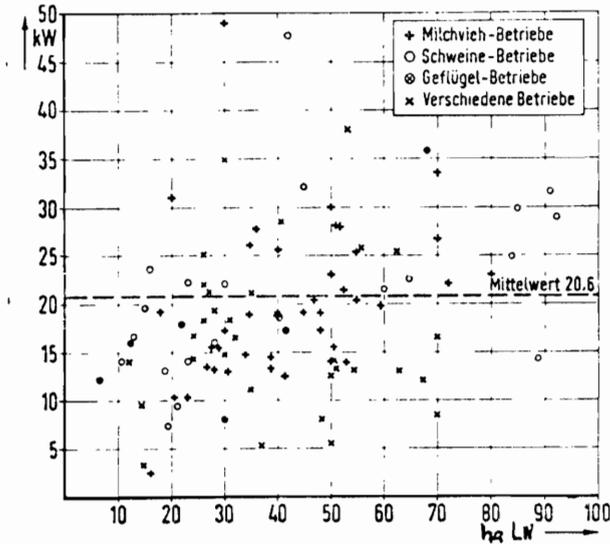


Abb. 1: Leistungsbedarf (1/4 h Jahresmaximum) und landwirtschaftliche Nutzfläche verschiedener Betriebe der BRD (Ergebnisse einer VDEW/AEL-Erhebung)

Die Problematik der Stromanwendung in der Landwirtschaft konzentriert sich zusammenfassend auf folgende Gesichtspunkte:

- a) Die Bedarfsstruktur ländlicher Ortsnetze ist sehr ungünstig, und durch steigende Leistungsansprüche der Einzelbetriebe bei nur ungenügender Auslastung der Versorgungseinrichtungen entsteht für die EVU die Notwendigkeit, die steigenden Kosten durch eine sinnvolle Tarifgestaltung abzudecken sowie die Planung neuer Anlagen auf diese veränderte Situation einzustellen. Hierzu sind elektrische Leistungs- und Energieverbrauchswerte moderner und zukunftsweisender Produktionsverfahren erforderlich.
- b) Für den landwirtschaftlichen Tarifkunden ist die veränderte Lage insofern bedeutungsvoll, als die steigenden Ansprüche an die elektrische Leistung sehr oft nicht mehr ohne eine erhebliche Kosten-

belastung erfüllt werden können. Daher müssen die Möglichkeiten einer sinnvollen Elektroenergieanwendung ermittelt werden und in die Praxis Eingang finden. Auch aus dieser Sicht wurde es notwendig, den elektrischen Leistungsbedarf und den Elektroenergieverbrauch einzelner Produktionsverfahren zu analysieren, um zu Ansatzpunkten für die Lösung dieser Fragen zu gelangen.

## 1.2 Zielsetzung

Die präzise Kenntnis des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfes der Landwirtschaft bei zunehmender Intensivierung und besonders bei expandierender Tierhaltung ist, wie die genannten Zusammenhänge zeigen, von großer Bedeutung. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, diese Daten für tierische Produktions-einrichtungen zu erarbeiten, da dieser wichtige Bereich der Innenwirtschaft am stärksten an die Elektroenergie gebunden ist. Zunehmende Spezialisierung und Intensivierung in der Tierhaltung haben zur Folge, daß für die energie-wirtschaftliche Beurteilung nicht mehr die Übersicht über den Gesamtbetrieb ausreicht, sondern daß Angaben über spezielle Produktionseinheiten und über einzelne Elektroenergieverbraucher verfügbar sein müssen, um aktiv an Verbesserungen im Energieeinsatz herangehen zu können.

Der Gesamtumfang der Untersuchungen wurde durch ein Forschungsteam bearbeitet. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf wichtige Bereiche der Rindermast und der Schweinehaltung, also auf Gebiete, bei denen die Mechanisierung der Futterwirtschaft und der Entmistung im Vordergrund steht. Besondere Bedeutung kommt folgenden Teilzielen zu:

- a) Separate Ermittlung des Leistungsbedarfes der einzelnen elektrischen Maschinen und Geräte. Mit diesen Einzeldaten soll zunächst ein vollständiges Bild der in den Verfahren der Rindermast und der Schweinehaltung eingesetzten Elektroenergieverbraucher gegeben werden.
- b) Erfassung des Elektroenergieverbrauches dieser Maschinen und Geräte.

- c) Entwicklung von Vorschlägen zur richtigen Dimensionierung der Verbrauchseinrichtungen unter dem Aspekt der Leistungsansprüche und des Elektroenergieverbrauches.
- d) Aussagen über die gesamte installierte Leistung und den jährlichen Elektroenergieverbrauch bestimmter Produktionseinheiten in Abhängigkeit von Bestandsgröße und Produktionsverfahren.
- e) Darstellung der Auswirkungen von Maßnahmen zur Leistungssenkung. Neben der richtigen Dimensionierung einzelner Verbraucher ist dies durch zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsvorgänge möglich. An Hand bestimmter Kennwerte sind diese Maßnahmen zu beurteilen und auf ihre praktische Durchführbarkeit zu prüfen.

### 1.3 Stand bisheriger Forschungsarbeit

Der Problemkreis der ländlichen Elektrifizierung wurde bisher mit unterschiedlicher Methodik unter jeweils speziellen Fragestellungen bearbeitet. Durch den schnellen Wandel der Technik und der Mechanisierung haben jedoch die Ergebnisse früherer Arbeiten an Aktualität verloren und sind durch den heutigen Stand der Technik überholt. So beschreibt EICHHORN 1958 (16) die Auswirkungen des Erntehofdrusches auf die elektrische Energieversorgung am Beispiel einiger Ortsnetze in Süddeutschland und ZIPFEL 1949 (107) bearbeitete die Wirtschaftlichkeit von Haushaltseinrichtungen als Gemeinschaftsanlage.

Zu Beginn der 50er Jahre wurde von Seiten der EVU mit der Einrichtung von "Elektrorichtbetrieben" und "Elektroversuchsdörfern" begonnen, um damit die Auswirkungen des schnellen Strukturwandels und der Technisierung in der Innenwirtschaft auf die Elektrizitätsanwendung zu untersuchen. Mit Leistungs- und Verbrauchsmessungen der Gesamtbetriebe wurden energiewirtschaftliche Kenndaten ermittelt, mit denen sich allgemeine Tendenzen und Prognosen aufzeigen ließen. Hierbei wurden auch spezielle regionale Gesichtspunkte mit einbezogen, wie beispielsweise die Arbeiten von RUDE 1964 (72) über den süddeutschen Raum, von FITZEN 1971 (20) über die Gebiete des Niederrheines und von KRÜGER 1960 (52) über die Verhältnisse in Schleswig-Holstein zeigen. Die gleiche Methodik der

Gesamtmessung einiger landwirtschaftlicher Betriebe, deren Größe und Produktionsverfahren einer zukunftssträchtigen Form entsprechen sollte, wurde den Untersuchungen zugrunde gelegt, welche die Forschungsstelle für Energiewirtschaft München 1971 (45) durchführte. Da jedoch diese Ergebnisse als Gesamtmessungen keine Analyse nach Einzelgeräten zulassen und die jeweils speziellen Einsatzbedingungen nicht erfaßt wurden, konnten die Arbeiten nicht der dieser Untersuchung zugrundeliegenden Fragestellung genügen.

Die mit der Bereitstellung elektrischer Energie in Gebieten intensiver tierischer Produktion auch in den europäischen Nachbarländern auftretenden Fragen wurden unter verschiedenen Gesichtspunkten bearbeitet, die Ergebnisse wurden anlässlich der 5. Internationalen Arbeitstagung der Commission Internationale du Génie Rural (C.I.G.R.) in Berlin 1973 bekannt (11). Die unterschiedlichen strukturellen Voraussetzungen in den untersuchten Gebieten und anderweitige Einflußfaktoren erlauben jedoch keine direkte Übertragung dieser Ergebnisse auf deutsche Verhältnisse. Dies ist lediglich in speziellen Bereichen möglich, wie etwa bei Energiebedarfszahlen aus Grünlandgebieten der Schweiz (ROHRER, M. in 11). Eine genaue Analyse mit energiewirtschaftlichen Kenndaten moderner tierischer Produktionseinheiten wurde in Belgien erarbeitet. PETIT und andere 1973 (60) untersuchten den Leistungsbedarf und den Elektroenergieverbrauch in 5 Milchviehbetrieben mit unterschiedlichen Bestandsgrößen, wobei speziell die Verfahren der Milchgewinnung besondere Beachtung fanden. Daneben wurden 2 vollmechanisierte Schweinemastbetriebe, Legehennenhaltung sowie Geflügelmastbetriebe dargestellt. Auch hier sind jedoch nur Teilaspekte näher untersucht, welche sich nicht von den Betriebsbeispielen, deren Mechanisierungsform und Produktionsmethode trennen lassen.

Somit kann daraus kein umfassendes Bild der elektrizitätswirtschaftlichen Probleme landwirtschaftlicher Produktionsformen gewonnen werden.

Eine umfangreiche Zusammenstellung energiewirtschaftlicher Bedarfszahlen erarbeitete HONIG 1965 (35) nach Literaturangaben, deutschen und ausländischen Maschinenprüfberichten und nach Firmenangaben. Diese Daten wurden in vielen Fällen herangezogen, mußten aber häufig nach dem neuen Stand der Technik überprüft und ergänzt werden.

#### 1.4 Methodik und Arbeitsdurchführung

Der vorliegenden Untersuchung ist eine analytische Methodik zugrunde gelegt. Diese beinhaltet die separate Erfassung der einzelnen, in der landwirtschaftlichen tierischen Produktion einsetzbaren Maschinen und Geräte; besondere Bedeutung wird der Untersuchung derjenigen Einflußfaktoren zugemessen, welche in der Praxis den Leistungsbedarf, die Leistungsaufnahme während der Einsatzzeit und somit den gesamten Elektroenergieverbrauch bestimmen.

Die Durchführung der Einzeluntersuchungen erfordert zunächst eine Auswahl der zur Zeit bedeutungsvollen und für einen absehbaren Zeitraum zukunftssträchtigen Produktionsverfahren. Es zeigt sich, daß in Teilbereichen bereits auf genaue Werte aus der Literatur zurückgegriffen werden kann, wobei die Arbeit von HONIG (35) neben Einzeldaten wertvolle Anhaltspunkte für die Untersuchungsmethodik der Einflußfaktoren liefert. Weitere Leistungsdaten können aus den DLG-Prüfberichten entnommen werden (121 - 123). Keine neuerlichen Leistungsmessungen waren daher bei Stall- und Heuventilatoren, Heißwasserbereitern und Beleuchtungsanlagen notwendig. Desweiteren sind bereits vorliegende Weihestephaner Ergebnisse auf dem Gebiete der Hochsiloentnahme, der mechanischen Fütterungsanlagen für Rinder, der Fördergebläse und der Flüssigmispumpen mit in diese Arbeit einbezogen (79, 100, 104, 105).

In weiten Teilbereichen mußten jedoch elektrische Wirkleistungsmessungen durchgeführt werden, dies geschah durch direktes Einschleifen in die Zuleitung des Verbrauches mit elektrodynamischen Kreuzspulenelementen oder elektronischen Meßumformern. Diese Messungen wurden an Geräten in 35 landwirtschaftlichen Betrieben der Umgebung Weihestephans durchgeführt. Durch die gleichzeitige Erfassung der jeweils bestimmenden Einflußfaktoren konnten in vielen Fällen einzelne Abhängigkeiten abgesichert werden.

Bei der Darstellung der Meßergebnisse wird im folgenden unter Leistungsbedarf die vom Elektromotor aus dem Versorgungsnetz aufgenommene Leistung verstanden; hierin ist der Wirkungsgrad und der Leistungsfaktor der Antriebsmotoren bereits enthalten. In speziellen Fällen wurde durch die Versuchsanordnung der Leistungsbedarf ohne den Wirkungsgrad des Antriebsaggregates ermittelt und dargestellt (z. B. bei Fördergebläsen), dies ist im jeweiligen Fall angemerkt.

Aus Literatur- und Firmenangaben übernommene Werte sind in einigen Fällen mit der installierten Motorenleistung (Nennleistung) angegeben.

Bei der Zusammenstellung der installierten Leistung, wie es z. B. in den Produktionsmodellen erfolgt, wird generell der ermittelte Leistungsbedarf und die Nennleistung der Motoren gleichgesetzt und auf die genormten Bauausführungen (132) zurückgegriffen. Die Gleichsetzung von Leistungsbedarf und Nennleistung hat zur Folge, daß die Motoren dann jeweils mit einer Belastung zwischen 70 und 90 % bei optimalem Wirkungsgrad ohne hohen Blindstromanteil laufen. In der Praxis wird dagegen die zu installierende Motorenleistung sehr oft nach anderen Gesichtspunkten dimensioniert, wobei auf der Basis einer höheren Belastbarkeit kalkuliert wird; diese Überlegungen bleiben jedoch in dieser Arbeit unberücksichtigt.

Ein nächster methodischer Schritt ist die Zusammenstellung von Modellen tierischer Produktionseinheiten, an welchen in beliebiger Variation unter verschiedenen Gesichtspunkten praxisnah die Ansprüche an die elektrische Leistung und den Energieverbrauch zu ermitteln sind. Auf theoretischem Wege können die jeweiligen Belastungsverhältnisse simuliert werden, so daß Angaben über die Benutzungsdauer und andere Elektroenergiekenndaten folgen. Mit Hilfe dieser Kennwerte sind die Maßnahmen zu beurteilen, die über eine zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsvorgänge oder den Einsatz anderweitiger Technologien zu einer Senkung der Leistungsansprüche führen. Der besondere Vorteil dieser analytischen Methode ist darin zu sehen, daß auch technische Weiterentwicklungen und neue Produktionsverfahren zu einem späteren Zeitpunkt berücksichtigt und eingesetzt werden können.

Um die so erarbeiteten Aussagen bekräftigen und absichern zu können, wurden die durch die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) durchgeführten Gesamtbetriebsmessungen ausgewertet. Erfaßt wurden 158 landwirtschaftliche Betriebe des Bundesgebietes, wobei eine gewisse Auswahl in Milchviehbetrieben, Schweinehaltungsbetrieben sowie in gemischten Betrieben mit unterschiedlichen Technisierungsstufen vorgenommen wurde. Die Messungen ermittelten das wöchentlich bzw. monatlich aufgetretene Viertelstundenmaximum und den Elektroenergieverbrauch.

Mit Hilfe eines in Weihenstephan erarbeiteten Fragebogens sind die Betriebsdaten und die Anschlußwerte der einzelnen Verbraucher festgelegt, so daß die Mechanisierungsstufen ermittelt und verglichen werden können. Diese praktischen Ergebnisse werden den Aussagen über Möglichkeiten und Wege zur Leistungsenkung mit zugrundegelegt.

Die elektrischen Energieverbraucher lassen sich nach sachlicher Zugehörigkeit gruppenweise verschiedenen Verfahren zuordnen. Für die Untersuchungen wurde eine Einteilung in zwei Arbeitsgebiete vorgenommen:

- a) Geräte und Maschinen der Futterernte, -konservierung und -aufbereitung sowie der gesamten Mistkette. Sie weisen vornehmlich einen hohen Leistungsbedarf bei kurzfristiger Einsatzdauer auf.
- b) Klimatisierung von Rinder- und Schweineställen und Geräte der Milchgewinnung und -behandlung. Diese Geräte zeichnen sich im allgemeinen durch hohe Einsatzstundenzahl und gleichmäßigen Belastungsverlauf aus.

Um die Verfahren der Rindermast und der Schweinehaltung in der vorliegenden Arbeit vollständig darzustellen, werden die Untersuchungsergebnisse aus dem Arbeitsgebiet - Stallklimatisierung -, welche durch M. AYIK für eine parallel laufende Dissertation erstellt wurden, übernommen.

In den folgenden Kapiteln 2 und 3 werden der Leistungsbedarf und der Elektroenergieverbrauch der Futterwirtschaft für Rinder- und Schweinehaltung dargestellt. Die Kapitel 4, 5 und 6 vervollständigen die Angaben über alle weiteren Geräte, die zur Zusammenstellung der Produktionsmodelle der Rindermast und der Schweinehaltung erforderlich sind (Kap. 7). Die hieraus resultierenden Aussagen führen zur Diskussion über die Möglichkeiten des sinnvollen Elektroenergieeinsatzes, wobei die Maßnahmen zur Senkung der Leistungsansprüche im Mittelpunkt stehen. In Kap. 8 folgt ein abschließender Vergleich mit praktischen Betriebsmessungen.

## 2. Die Elektroenergieverbraucher in der Futterwirtschaft der Rinderhaltung

Die Rinderhaltung ist gekennzeichnet durch drei Bereiche des Elektroenergieeinsatzes:

Futterkette,  
Mistkette,  
Klimatisierung.

Im folgenden werden die zur Futterwirtschaft der Rinderhaltung zählenden Arbeitsverfahren dargestellt, die nach sachlicher und technischer Zugehörigkeit ebenso für die Milchviehhaltung zutreffen.

Die Mistkette und die Klimatisierung werden im Anschluß an die Futterwirtschaft der Schweinehaltung für Rinder- und Schweineställe zusammenfassend erörtert.

Die Silagefütterung nimmt in der Rindermast eine zentrale Stellung ein. In Verbindung mit der Elektroenergie ist hierbei vor allem die Hochsilomechanisierung von Bedeutung, welche aus verschiedenen Gründen in der Praxis in der Mehrzahl verbreitet ist. Im Jahre 1972 verfügten 73 % aller Silobetriebe über Hochsilos, 70 % der Gesamtsilomenge war in Hochsilos eingelagert (93). Während hier die Mechanisierung Einlagerung, Entnahme und Futtervorlage umfassen kann, ist bei Flachsilos lediglich die Entnahme durch neu entwickelte Geräte mit Elektroantrieb möglich.

Die Heufütterung spielt dagegen bei den Verfahren der Rindermast nur in wenigen Fällen bei der Aufzucht eine gewisse Rolle. Trotzdem mußten jedoch die Mechanisierung der Belüftungstrocknung und die Warmlufttrocknung mit untersucht werden, weil sie als energieintensive Verfahren auch für größere Milchviehbestände in der Praxis bedeutungsvoll sind und daher mit in den Gesamtkomplex der Untersuchungen einbezogen waren.

Die hofeigene Kraftfutteraufbereitung ist jedoch vornehmlich in Verbindung mit den Verfahren der Schweinemast zu sehen; daher wurden die Grundlagen über Schrotten, Mischen und die Speichereinrichtungen der Schweinehaltung zugegliedert. Die Bedarfszahlen hieraus konnten für spezielle Modelle der Rindermast übernommen werden.

## 2.1 Hochsilomechanisierung

Bei der Hochsilomechanisierung können vielfältige Arbeitsverfahren und zugehörige Mechanisierungslösungen gewählt werden. Sie wurden von ALBRECHT und WIENEKE wie folgt in einem Schema systematisiert (Abb. 2).

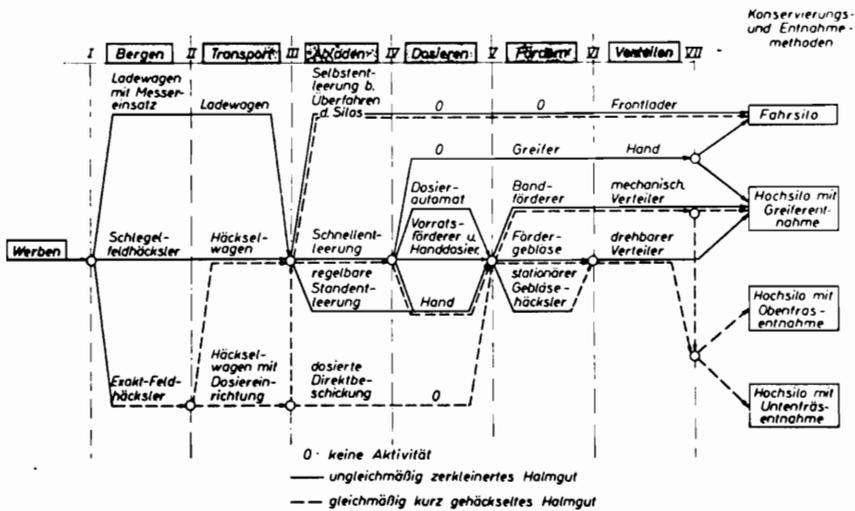


Abb. 2: Prozessphasen und mögliche technische Ausrüstung des Verfahrens der Produktion von Gärfutter (nach ALBRECHT in WIENEKE, 103)

Wichtiges Glied der Hochsilomechanisierung sind die Geräte zur Futtereinlagerung, welche in ihrer Eignung mit den verschiedenen Verfahren wie folgt verbunden sind (78):

- Häckselkette: Fördergebläse, Höhenförderer, Dosiergerät (Greifer)
- Gebrochene Langgutkette: Standhäcksler, Dosiergerät
- Langgutkette: Greifer

Im folgenden werden die einzelnen Geräte zur Futtereinlagerung näher untersucht und einer vergleichenden Gegenüberstellung unterzogen.

### 2.1.1 Fördergebläse

Die in der landwirtschaftlichen Praxis verwendeten Fördergebläse unterscheiden sich durch zwei wesentliche Merkmale, die Wurfförderung und die Luftförderung. Der Gesamtleistungsbedarf eines Wurfgebläses setzt sich nach GLUTH (22) im wesentlichen aus der Leistung  $N_B$  zum Beschleunigen des Gutes auf die Anfangsgeschwindigkeit, der Leistung  $N_R$  zur Überwindung der Reibung auf den Schaufeln und an der Gebläsewand sowie der Leistung  $N_L$  zum Fördern des Luftvolumenstroms zusammen.

Aus dieser Beziehung  $N_{ges} = N_B + N_R + N_L$  ergeben sich die wichtigsten Einflußfaktoren, welche sich in der Praxis einerseits durch Bauart und Wirkungsweise des Gebläses, andererseits durch Förderhöhe, Art des Gutes und durch Gebläsedrehzahl auswirken:

$w_{y0}$  = Anfangsgeschwindigkeit des Gutes  
(Umfangsgeschwindigkeit der Schaufeln)

$G$  = Gutdurchsatz

$D$  = Durchmesser der Förderleitung

$\rho_L$  = Dichte der Förderluft

$w_L$  = Luftgeschwindigkeit in der Förderleitung

$\eta_L$  = Gesamtwirkungsgrad für die Luftförderung

Die Untersuchung und Darstellung der Fördergebläse beschränken sich im Rahmen dieser Arbeit auf Wurfgebläse mit wesentlicher pneumatischer Unterstützung, da nach den Ergebnissen von GLUTH (22) mit reiner Wurfförderung der vorwiegend in Betracht kommenden landwirtschaftlichen Fördergüter nur Förderhöhen unter 10 m zu erzielen sind.

Für Gebläse mit wesentlicher pneumatischer Unterstützung gilt die Definition, daß die Luftgeschwindigkeit in der Förderleitung größer ist als die Schwebegeschwindigkeit des Fördergutes. Letztere ist für einige landwirtschaftliche Güter in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Mittlere Schwebegeschwindigkeiten und Schüttdichten landwirtschaftlicher Fördergüter (22)

Gutart	Feuchtegehalt *) %	Häcksel- länge mm	Mittlere Schwebegeschwindigkeit $w_s$ m/s	Schüttdichte **) $\rho_K$ kg/m <sup>3</sup>
Roggen, Weizen	15	-	7,5 bis 9,0	660 bis 820
Hafer, Gerste	15	-	6,0 bis 7,0	400 bis 640
Trockenschnitzel	11	-	3,0 bis 3,5	300 bis 350
Rübenblatt	84	20	5,5 bis 6,5	320 bis 370
Grünmais	75	10	6,0 bis 7,0	220 bis 280
Luzerne, naß	80	20	2,5 bis 3,5	140 bis 180
Luzerne, feucht	40	20	1,8 bis 2,5	80 bis 120
Wiesengras, naß	75	20	2,0 bis 2,5	120 bis 200
Wiesengras, feucht	40	20	1,8 bis 2,2	80 bis 120
Stroh	15	50	2,0 bis 2,5	35 bis 60

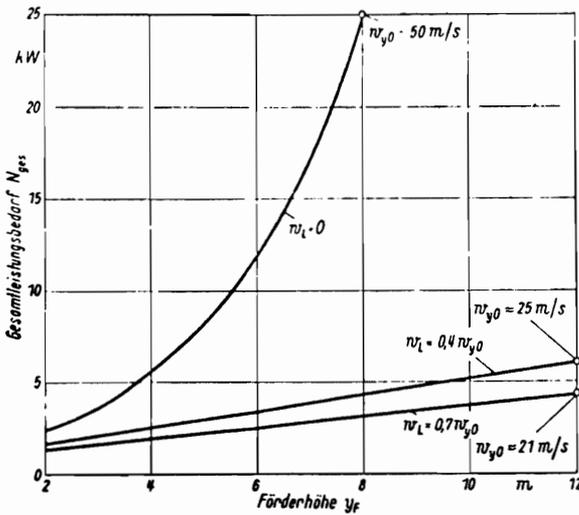
\*) auf Naßzustand bezogen

\*\*) lose geschüttet

Die Zusammenhänge zwischen Leistungsbedarf und erzielbarer Förderhöhe in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit in der Förderleitung und der Anfangsgeschwindigkeit des Gutes zeigt Abb. 3. Es ist ersichtlich, daß bei reiner Wurfförderung ( $w_L = 0$ ) lediglich eine Höhe von 10 m erzielbar ist, während durch die zunehmende Luftförderung bei gleichzeitig geringerem Leistungsbedarf die erreichbare Förderhöhe ansteigt.

Wichtige Kenngröße für diese Gebläse mit pneumatischer Unterstützung ist die Luftförderungszahl  $\rho_L$ , die das Verhältnis zwischen Luftgeschwindigkeit  $w_L$  und Anfangsgeschwindigkeit des Gutes  $w_{y0}$  angibt ( $\rho_L = \frac{w_L}{w_{y0}}$ ).

In der Praxis sollten nach neueren Erfahrungen Gebläse mit  $\rho_L = 0,6$  bis  $0,8$  als die leistungsfähigsten eingesetzt werden (22).



**Abb. 3:** Gesamtleistungsbedarf  $N_{ges}$  in Abhängigkeit der Förderhöhe  $Y_F$  bei unterschiedlich großer Luftförderung (nach GLUTH, 22)

Bedingungen: Gutdurchsatz: 10 kg/s, Schwebegeschwindigkeit des Gutes: 7,5 m/s, Wirkungsgrad der Luftförderung: 0,6,  $w_L$  = Luftgeschwindigkeit,  $w_{y0}$  = Anfangsgeschwindigkeit des Gutes.

Der Leistungsbedarf der Fördergebläse bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen wurde bereits u. a. von den Autoren WHITE (135), HONIG (35) und FINNER (134) untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse auf Abb. 4 zeigen jedoch, daß unterschiedliche Einsatzbedingungen, welche nicht immer exakt angegeben sind, zu gewissen Abweichungen führen. Die technische Entwicklung der Fördergebläse ermöglicht nach den Ergebnissen von FINNER (134) sogar Durchsatzleistungen von 100 - 160 t/h bei exakt gehäckselter Maissilage und Luzerne, ohne daß sich wesentliche Unterschiede des spezifischen Leistungsbedarfes ergeben.

Um nun weitere Daten zu erhalten, welche speziell auch für deutsche Verhältnisse zutreffen, wurden in Anlehnung an erste Ergebnisse von SCHURIG (79) weitere Messungen mit Fördergebläsen der z. Zt. wesentlichen Bauarten durchgeführt. Diese zeichnen sich im allgemeinen durch hohe Luftförderungskennzahlen zwischen  $\rho_L = 0,63 - 0,84$  aus.

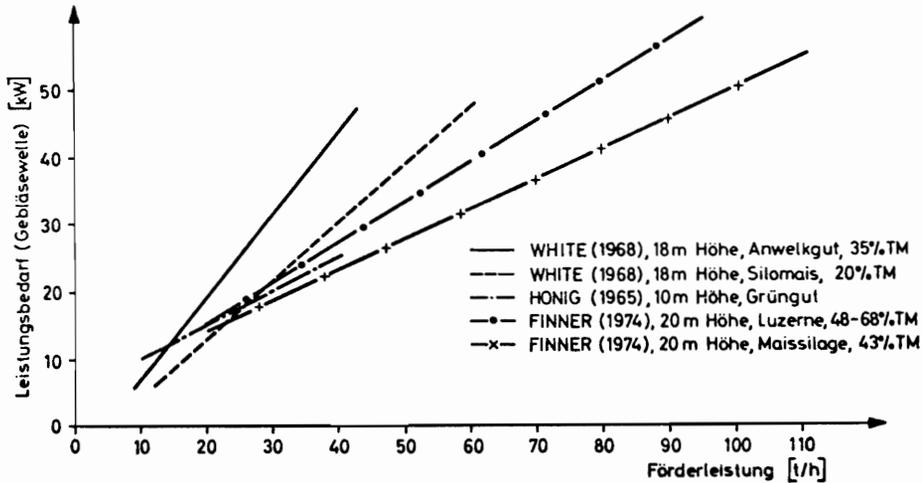


Abb. 4: Leistungsbedarf und Durchsatzleistung von Fördergebläsen (nach Literaturangaben)

Die Darstellung des Leistungsbedarfes erfolgt nach Meßergebnissen, die auf Prüfständen ermittelt wurden. Hierbei wurde die Leistung des Schleppers nach der bei SCHURIG (79) beschriebenen Methode durch einen Drehmomentwandler an der Zapfwelle gemessen. Die Beschickung mit Fördergut erfolgte über ein Förderband oder direkt durch Selbstentladewagen.

#### Förderung von Anwelkgut

Zur Ermittlung des Leistungsbedarfs und der Förderleistung wurde Wiesengras verwendet; bei diesem Gut treffen unterschiedliche, in Tabelle 1 angegebene Eigenschaften zu.

Den an der Gebläsewelle aufgetretenen Leistungsbedarf (kW) in Abhängigkeit von der Förderleistung (t/h) zeigt Abb. 5. Die Gerade Nr. I faßt die

Ergebnisse von zwei Gebläsen sehr ähnlicher Bauart zusammen:

Schaufelraddurchmesser	1200 bis 1390 mm
Anzahl der Schaufeln	6
Umdrehungen	540 1/min
Umfangsgeschwindigkeit der Schaufeln ( $w_{y0}$ )	34 bis 39 m/s
Rohrdurchmesser	220 mm
Luftgeschwindigkeit ( $w_L$ ) (220 mm Rohrdurchmesser)	26 bis 33 m/s
Luftförderung	1,0 bis 1,2 m <sup>3</sup> /s
Luftförderungskennzahl ( $\rho_L$ )	0,84

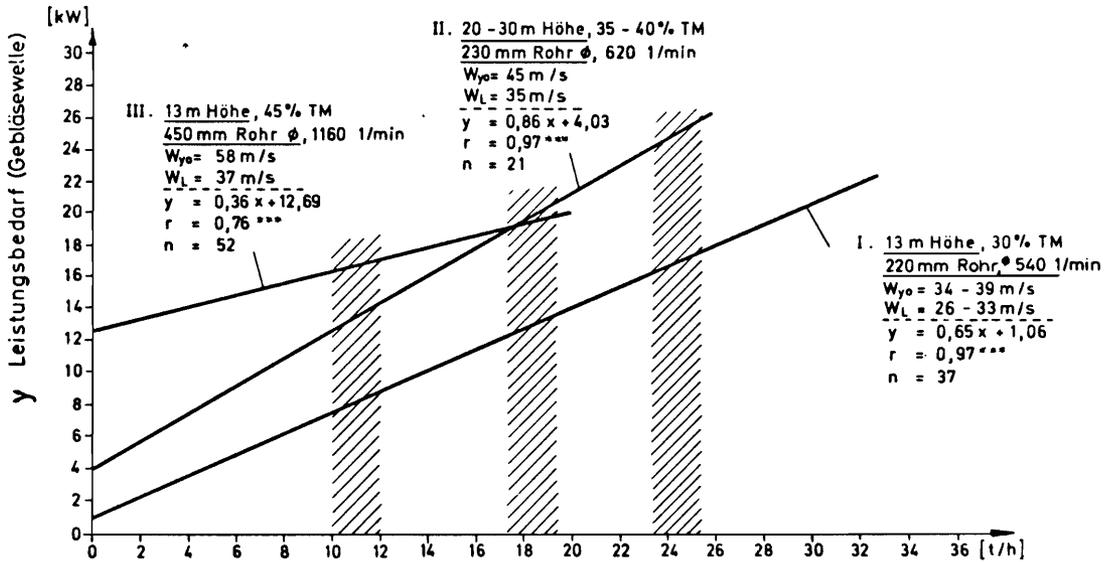
Unter den genannten Bedingungen (13 m Förderhöhe und 30 bis 40 % TM, exakt gehäckseltes Fördergut) waren hinsichtlich der Förderleistung und des Leistungsbedarfes zwischen den Rohrdurchmessern 220 und 310 mm keine signifikanten Unterschiede aufgetreten. Der lineare Zusammenhang zwischen der Förderleistung  $x$  und dem durchschnittlichen Leistungsbedarf an der Gebläsewelle  $y$  kann mit der Beziehung

$$y = 0,66 x + 1,06$$

auf der 95 %-Ebene höchstsignifikant abgesichert werden. Auf dem Prüfstand mit gleichmäßiger Zuführung des Gutes über ein Förderband (10 m Meßstrecke) wurden maximal 33 t/h Durchsatz erzielt. Der Leistungsbedarf beträgt dann 0,66 kW/(t/h). Bei Gebläseversuchen mit gleicher Versuchsanordnung von SCHURIG (79) zeigte sich, daß diese hohen Durchsatzleistungen nur mit speziellem Auswurfkrümmer erzielbar sind; der Innenradius sollte geöffnet sein, um frühzeitige Verstopfungen zu vermeiden.

Da es in Zukunft notwendig ist, höhere Silobehälter zu befüllen, wurden bestimmte Gebläse bei extremen Förderhöhen getestet. Die Meßwerte stammen von zwei nahezu identischen Fördergebläsen:

Schaufelraddurchmesser 1390 mm  
 Anzahl der Schaufeln 6  
 Umdrehungen 620 1/min  
 Umfangsgeschwindigkeit der Schaufeln ( $w_{y0}$ ) 45 m/s  
 Rohrdurchmesser 230 mm  
 Luftgeschwindigkeit ( $w_L$ ) 33 bis 35 m/s  
 Luftförderungskennzahl ( $\rho_L$ ) 0,77



ausgewählte Arbeitsverfahren 1000 m Feidentfernung; 12 km/h	1 FH	1 FH	1 HLW [3t]
	-120 PS-Schlepper 3 Autom.-Wagen (4t) Dosiergerät 3 AK	80 PS-Schlepper 2 Autom.-Wagen (4t) 2 AK	80 PS-Schlepper 1 AK
Bergeleistung	11,7 t/h	8,9 t/h	4,5 t/h
Gesamtleistung bei 2x3 verfügbaren Erntetagen [5h]	350 t/Jahr	267 t/Jahr	135 t/Jahr
Siloraum [650 kg/m <sup>3</sup> ]	550 m <sup>3</sup>	400 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>
Bestandsgröße [30 kg Silage/Tier u. Tag] 72 Stallplätze	55 GV	40 GV	20 GV

X Durchsatz

Abb. 5: Leistungsbedarf von Fördergebläsen bei der Beschickung von Hochsilos mit Anwelkgut

Im Gegensatz zu den vorhergegangenen Versuchen wurde die Drehzahl auf 620 1/min erhöht. Dadurch traten bei Förderhöhen zwischen 20 und 30 m keine Abweichungen hinsichtlich der Leistungsdaten auf. Abb. 5 zeigt, daß ausgehend von 4 kW

Leerlaufleistungsbedarf ein linearer Anstieg bis zu maximal 26 t/h Durchsatzleistung gegeben ist, der erforderliche mittlere Leistungsbedarf liegt dann bei 26 kW. Auch diese Meßwerte können hinsichtlich des linearen Zusammenhanges auf der 95 %-Ebene höchstsignifikant abgesichert werden:

$$y = 0,86 x + 4,03$$

Zum Vergleich dieser Werte wurde ein weiteres Fördergebläse untersucht, durch einen großen Rohrdurchmesser und sehr hohe Luftförderung gekennzeichnet. Diese Bauarten gelten in der Praxis als besonders geeignet zur Förderung trockener Güter:

Schaufelraddurchmesser	960 mm
Anzahl der Schaufeln	5
Umdrehungen	1160 1/min
Umfangsgeschwindigkeit der Schaufeln ( $w_{y0}$ )	58 m/s
Rohrdurchmesser	450 mm
Luftgeschwindigkeit ( $w_L$ )	37 m/s
Luftförderung	6 m <sup>3</sup> /s
Luftförderungskennzahl ( $\rho_L$ )	0,63

Die spezifische Wirkungsweise dieses Gebläses hat einen Leerlaufleistungsbedarf in Höhe von 12,5 kW zur Folge. Am Gebläseprüfstand (13 m) wurden bei relativ trockenem Fördergut (45 % TM) 20 t/h Durchsatz erzielt, wobei der Leistungsbedarf an der Welle 20 kW betrug. Bei gleichem Fördergut (45 % TM) wiesen die unter I dargestellten Gebläse mit 310 mm Rohrdurchmesser allerdings eine ebenso hohe Förderleistung auf (79).

Die unter I und II aufgeführten Gebläse sind daher bei Fördergütern mit TM-Gehalten  $\leq 45$  % mit niedrigerem Leistungsbedarf und höherer Förderleistung dem Fördergebläse III überlegen, was sich insbesondere auch bei der Silomaisförderung auswirkt.

Beim Arbeitsverfahren der Futterernte ist von großer Bedeutung, bei vorgegebener Förderhöhe diejenigen Durchsatzleistungen zu erreichen, die im Einklang mit der Felddeleistung und den Fahrtstrecken eine ausreichende gesamte Bergeleistung des Verfahrens sichern.

Den in Abb. 5 zusammengestellten Gebläseleistungsdaten werden verschiedene Futterbergeverfahren der Feldhäckslerkette zugeordnet, um die Leistungsansprüche der Verfahren aufzuzeigen. Sie basieren jedoch auf bestimmten Unterstellungen, welche in der Praxis außerordentlich vielfältig variieren können.

Von einer technischen Leistung des Häckselladewagens mit 11,2 t/h ausgehend (80 PS-Schlepper), müssen bei vorgegebener Feldentfernung und bestimmten Rüstzeiten 25 t/h gefördert werden (7 - 8 min Abladezeit), um die gesamte Verfahrensleistung mit 4,5 t/h zu erreichen. Dieses 1-AK-Verfahren ist bei der unterstellten jährlichen Gesamtleistung beispielsweise für eine Bestandsgröße mit 20 GV Rinder ausreichend. Nach Abb. 5 tritt bei einer Silohöhe von 13 m an der Gebläsewelle ein Leistungsbedarf von 18 kW auf. Den genormten Bauausführungen zufolge (132) ist in diesem Falle ein Motor mit der Nennleistung 18,5 kW zu installieren, welcher dann bei einem Wirkungsgrad von  $\eta = 0,9$  20,5 kW Leistung aus dem Netz beansprucht.

Auch das absätziges Ernteverfahren mit zwei Automatikwagen geht von einer Ladeleistung des Feldhäckslers in Höhe von 11,2 t/h aus. Hier ist jedoch eine längere Abladezeit möglich (13 - 15 min), da jeweils eine der beiden Arbeitskräfte Transport und Abladen vornimmt. An diesem Beispiel wird deutlich, daß die an das Gebläse zu stellenden Leistungsansprüche sinken. Trotz einer 100 % höheren gesamten Bergeleistung dieses Verfahrens sind hier etwa 7 bis 8 kW weniger zu installieren.

Eine weitere Senkung der erforderlichen Einlagerungsleistung kann durch den Einsatz eines Dosiergerätes bewirkt werden, wie es in Abb. 5 am Beispiel des Verfahrens mit Feldhäcksler und drei Automatikwagen gezeigt wird. Der Feldhäcksler leistet hier 16 t/h Erntegut und bei reibungslosem Ablauf des Verfahrens ist die Einlagerungsleistung des Gebläses mit der gesamten Bergeleistung des Verfahrens gleichzusetzen, da das Fördergebläse nahezu ununterbrochen beschickt wird. Bei 13 m Förderhöhe müssen 8 kW installiert werden, um die Durchsatzleistung von 10 - 12 t/h zu erzielen. Unterstellt man den gleichen Erntezeitraum, so sind einer jährlichen Gesamtmenge von 350 t etwa 55 Rinder-GV zuzuordnen.

#### Förderung von Silomais

Unter gleichen Versuchsbedingungen wurden an diesen Fördergebläsen Messungen mit Silomais durchgeführt. Die Beschaffenheit dieses Fördergutes führt in der

Regel zu wesentlich höheren Durchsatzleistungen. Bei 13 m Förderhöhe (Abb. 6 I, nach 79) leisteten die bereits in Abb. 5 unter I beschriebenen Fördergebläse 80 t/h, hier wurden Rohre mit 310 mm  $\phi$  verwendet, da das Fördergut mit 23 % Trockenmasse relativ feucht war. Nur mit 310 mm Rohrdurchmesser ließen sich diese Leistungen erzielen, hier tritt die Luftförderung zu Gunsten der Wurf-  
förderung in den Hintergrund. Bei 310 mm Rohrdurchmesser beträgt die Luftgeschwindigkeit lediglich 13 - 16 m/s. Die Meßwerte lassen sich unter I mit der Beziehung  $y = 0,43 x + 2,49$  darstellen, es ergibt sich ein eindeutiger linearer Zusammenhang zwischen Leistungsbedarf und Förderleistung.

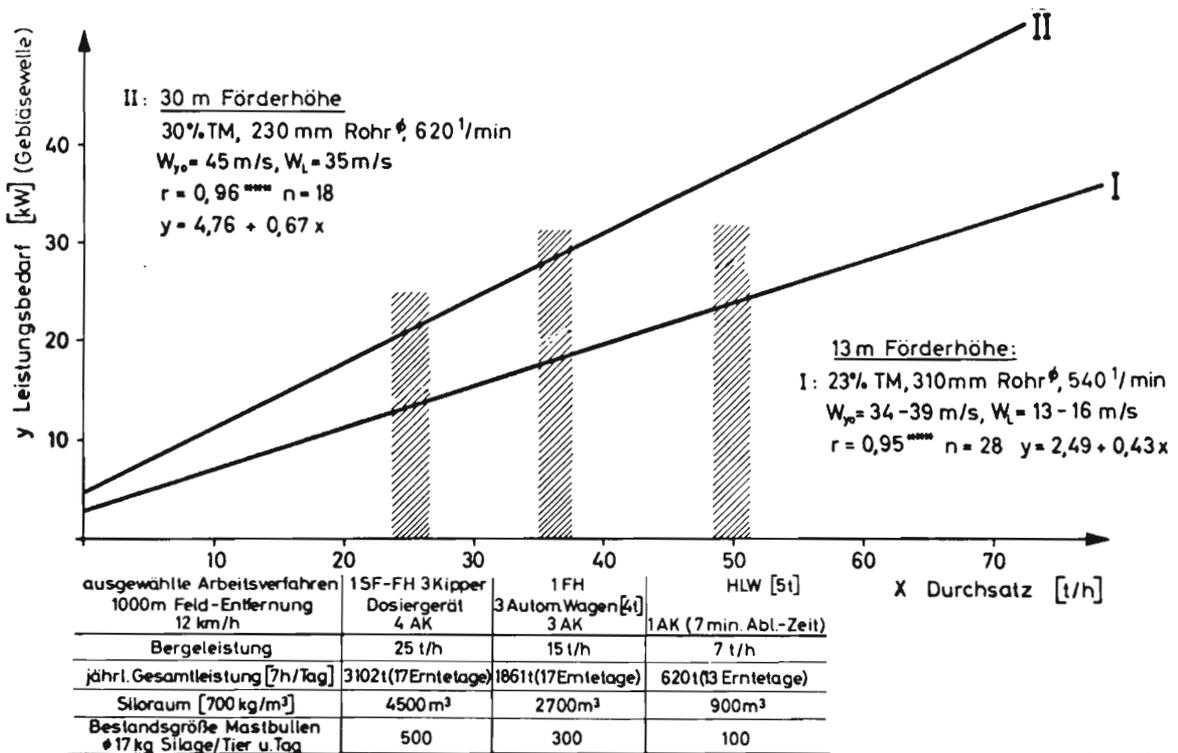


Abb. 6: Leistungsbedarf von Fördergebläsen bei der Beschickung von Hochsilos mit Silomais

Unter den gleichen Bedingungen wie schon in Abb. 5 unter II dargestellt, wurde mit den beschriebenen Fördergebläsen bis zu 30 m hoch gefördert. Hier konnten mit 620 Umdrehungen/min am Gebläse maximal 75 t/h Silomais (32 % TM) mit einem Leistungsbedarf in Höhe von 50 kW durchgesetzt werden (Abb. 6, II).

Diese Förderleistung wurde in den Versuchen durch die Auswurfleistung des Selbstentladewagens begrenzt, es sind Förderleistungen über 100 t/h möglich, wie auch FINNER (134) in seinen Versuchen bewies (Abb. 4).

Bei der Betrachtung der Ernteverfahren ist zu erkennen, daß das 1 AK-Verfahren (gezogener Häckselladewagen oder Anbauhäcksler mit Automatikwagen) an das Fördergebläse die höchsten Leistungsansprüche stellt. Um die kurze Abladezeit mit 7 min einzuhalten, müssen 50 t/h Silomais gefördert werden. Hierzu ist bei 13 m Silohöhe ein Motor mit 22 kW Nennleistung notwendig. Unter den genannten Voraussetzungen können mit diesem Verfahren in 13 Erntetagen die für eine Bestandsgröße von 100 Mastbullen notwendigen Futtermengen geerntet werden.

Aus den gleichen Gründen, die bereits bei der Ernte von Anwelkgut dargestellt wurden, sinkt beim absätzigen Verfahren mit Feldhäcksler und 3 AK die benötigte Einlagerungsleistung. Trotz der hohen Verfahrensleistung (15 t/h) genügt ein Antrieb für das Fördergebläse mit 18,5 kW Nennleistung für 13 m hohe Silos, eine Förderleistung von 37 t/h ist ausreichend zur Bergung der Maisernte (17 Erntetage) für einen Bestand von 300 Mastbullen.

Um den steigenden Leistungsbedarf der Gebläseförderung bei noch schlagkräftigeren Ernteverfahren auch bei höheren Silobehältern weiter senken zu können, müssen Dosiergeräte verwendet werden. Bei reibungslosem Ablauf des Parallelverfahrens mit einem SF-Feldhäcksler und 3 Kippnern (4 AK) ist die Förderleistung des Gebläses mit 25 t/h der technischen Leistung des Feldhäckslers gleichzusetzen. Bei 13 m Förderhöhe benötigt man daher einen 11 kW-Motor und bei Förderhöhen über 20 m einen 22 kW-Motor. So kann beispielsweise innerhalb von 17 Feldarbeitstagen die Futtermenge für 500 Mastbullen einsiliert werden.

#### Förderung von Heu

Bei der Förderung von Heu mit Gebläsen steht zwar nicht wie bei der Hochsilo-beschickung mit Siliergut die notwendige Förderhöhe im Vordergrund, aufgrund der ähnlichen technischen Vorgänge erfolgt jedoch die Erörterung an dieser Stelle.

Während die Beschaffenheit des Fördergutes Silomais zu hohen Durchsatzleistungen führt, ist bei Heu aufgrund des niedrigen spezifischen Gewichtes mit geringeren Leistungen zu rechnen. Die Maßergebnisse von Fördergebläsen in Abb. 7 entstammen nach ZIHLMANN und anderen (106) einer in der Schweiz durchgeführten

Vergleichsprüfung und sind unter II in einem Streubereich zusammengefaßt. Die Gebläse zeichnen sich bei einheitlichen Rohrdurchmessern von 400 mm durch eine hohe Luftförderung aus. Hier wurden unter extremen Bedingungen bei 15 m Förderhöhe und 4x90° -Bogen Durchsatzleistungen bis zu 8 t/h erzielt. Der Leistungsbedarf betrug hierbei maximal 14 kW.

Neuerliche in Weihenstephan durchgeführte Messungen mit gehäckseltem Heu an einem Fördergebläse mit hohem Luftdurchsatz und hoher Luftgeschwindigkeit bei 310 mm Rohrdurchmesser zeigten keinerlei höhere Durchsatzleistungen. Hierbei erfolgte eine maximale durchschnittliche Leistungsaufnahme des Elektromotors in Höhe von 18 kW (Abb. 7, Werte unter I).

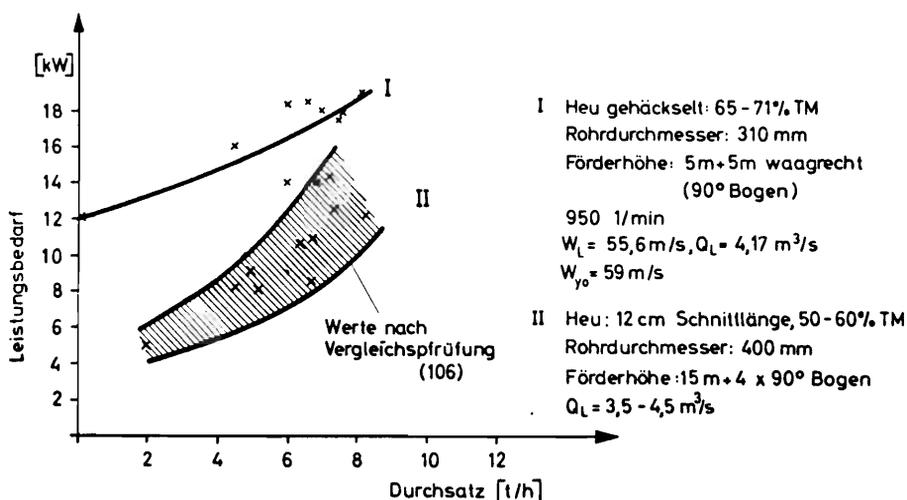


Abb. 7: Leistungsbedarf und Förderleistung bei der Einlagerung von Heu

Zur Verteilung des Futters im Heustock ist in vielen Fällen eine zusätzliche waagrechte Förderung notwendig. Als Anhaltswert kann hierbei etwa folgendes zugrunde gelegt werden (4):

- 1 m vertikal = 1 m horizontal
- 1 Bogen 90° = 8 m horizontal

Nach SEGLER (4) sind für die meistverwendeten pneumatischen Teleskoprohrverteiler in der Praxis 25 - 30 m Rohrlänge erforderlich (zusätzlich ein 90°-Bogen). Wie die unter extremen Förderbedingungen durchgeführten Messungen ZIHL-MANN's (106) zeigen, ist die Querförderung mit den beschriebenen Gebläsen in allen in der Landwirtschaft üblichen Gebäuden möglich. Abweichend von diesen Ergebnissen, welche bei Heu mit 50 - 60 % TM gewonnen wurden, fordert SEGLER (4) zur störungsfreien und gleichmäßigen Verteilung von Anwelkgut mit weniger als 55 % TM ausgehend von 10 m Förderweg pro weitere 10 m Rohrlänge 3,0 - 3,5 kW Antriebsleistung.

Bei der Heuernte kommt es aufgrund des Wetterrisikos besonders auch auf hohe Schlagkraft bei der Einlagerung an. Bei den Kalkulationsdaten für den Arbeitszeitbedarf bei der Heuernte von BECKER und SEIFERT (136) werden für eine mittlere Abladeleistung mit Fördergebläsen 4 t/h und für eine hohe Abladeleistung 6 t/h unterstellt.

Unter Berücksichtigung der in Messungen erreichten Förderleistung ergeben sich die in Tabelle 2 angegebenen Motorenleistungen, der resultierende Zeitbedarf und der Elektroenergieverbrauch für die ausgewählten Bestandsgrößen mit 20, 40, 60 und 80 GV Milchvieh bei unterschiedlicher Heuration. Hierbei wurde für die geringeren Einfuhrmengen 6 t/h mit 7,5 kW Nennleistung und für die größeren Einfuhrmengen 8 t/h mit 11 kW Nennleistung unterstellt. Es wurde angenommen, daß die geringere Leistung ausreichend ist, falls nicht länger als 2 h/Woche eingelagert werden muß.

Tabelle 2: Motorenleistung und Elektroenergieverbrauch zur Heueinlagerung mit Gebläsen für unterschiedliche Bestandsgrößen der Milchviehhaltung (5 bzw. 12 kg Heu pro Kuh und Tag)

Bestandsgröße	GV	20		40		60		80	
Heuration	kg/Tag	5	12	5	12	5	12	5	12
Heumenge für 200 Winterfuttertage	t	20	48	40	96	60	144	80	192
Maximale Einfuhrmenge/Woche *)	t	5	12	10	24	15	36	20	48
Förderleistung	t/h	6	6	6	8	8	8	8	8
Inst. Motorenleistung **)	kW	7,5	7,5	7,5	11	11	11	11	11
Einlagerungszeit pro Woche	h/Woche	0,83	2,0	1,66	3,0	1,9	4,5	2,5	6
Jährl. Elektroenergieverbrauch ***)	kWh/Jahr	27,6	66,6	55,3	146,4	92,7	219,6	122,2	292,8

\*) 4 Schnitte, 1. Schnitt 50 % des Gesamtertrages (2 x 1 Woche)

\*\*) nach Abb. 7, II.

\*\*\*) Wirkungsgrad  $\eta = 0,9$

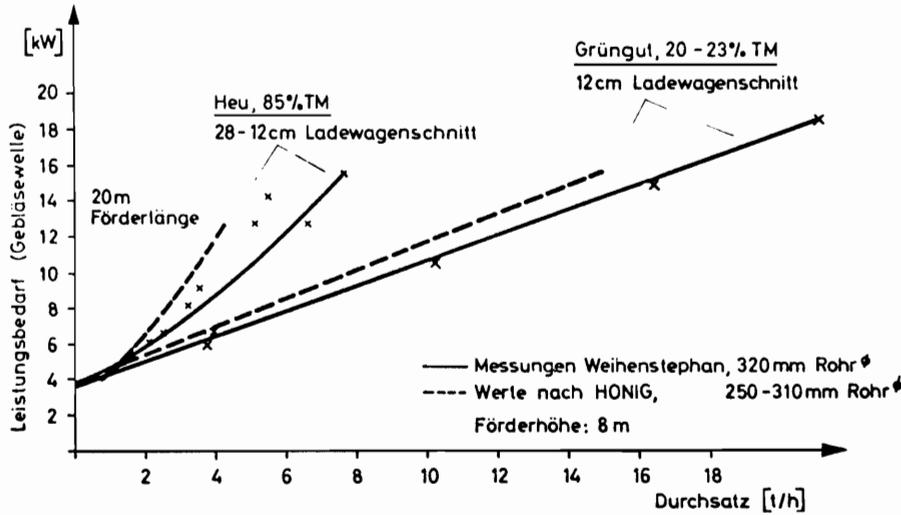
### Gebläsehäcksler

Die Gebläsehäcksler (Standhäcksler) werden in der gebrochenen Langgutkette eingesetzt. Das Erntegut wird mit dem Ladewagen auf dem Feld aufgenommen, meist durch Messereinsätze vorgeschnitten und dem Gebläsehäcksler zugeführt. HONIG (35) stellte die Leistungsbedarfswerte nach Prüfberichten zusammen, wobei nach einer Trennung des Leistungsbedarfes für Leerlauf, Wurf, Schneiden und Pressen theoretische Berechnungen für verschiedene Förderhöhen, Schnittlängen und für verschiedene Fördergüter angegeben sind.

Die spezifischen Eigenschaften der Fördergüter führen wiederum zu charakteristischen Leistungsbereichen, wie sie in Abb. 8 dargestellt sind. Hierbei besteht eine gute Übereinstimmung der Werte von HONIG (35) mit neuerlichen Weißenstephaner Leistungsmessungen. Bei vorgeschnittenem Heu wurden maximal 8 t/h Durchsatz erreicht, wobei an der Gebläsewelle ein Leistungsbedarf von 16 kW auftrat.

Bei ebenfalls vorgeschnittenem Grüngut wurde in den Versuchen 20 t/h Förderleistung mit einem Leistungsbedarf von 20 kW gemessen, wobei diese Werte allerdings die älteren Daten übertreffen.

Das Ernteverfahren mit der gebrochenen Langgutkette ist heute noch überwiegend in gemischten Betriebsformen bei kleineren Rindviehbeständen in der Praxis verbreitet. Es wurde daher an einem Beispiel (Bestandsgröße 25 GV) im Kap. 2.1.5 dargestellt. Um mit dem 1 AK-Verfahren eine Bergeleistung von 3,7 t/h zu erreichen, ist beim Einsatz des Dosiergerätes die Förderleistung von 7 t/h ausreichend, so daß die installierte Leistung von Gebläsehäcksler einschließlich Dosiertisch 15 kW beträgt. Auch bei schlagkräftigeren absätzigen Ernteverfahren mit mehreren Arbeitskräften (9 t/h Bergeleistung) werden bei Verwendung von Dosiertischen keine wesentlich höheren Einlagerungsleistungen benötigt (SCHÖN, 77).



**Abb. 8:** Leistungsbedarf und Förderleistung von Gebläsehäckslern bei unterschiedlichem Fördergut

### 2.1.2 Höhenförderer

Höhenförderer sind ebenfalls zur Befüllung von Hochsilos geeignet, sofern der Platzbedarf zur Aufstellung ausreicht. Die begrenzte Förderhöhe sowie der hohe Kapitalaufwand sind als Nachteile anzusehen. Die Vorteile sind im geringen Leistungsbedarf und in der besonderen Eignung zur Förderung schwerer Güter gegeben (30).

Bei Höhenförderern ist zwischen zwei Prinzipien zu unterscheiden, dem Kettenförderer und dem Förderband. Bei den Kettenförderern ist nach HONIG (35) die Art des Fördergutes durch den entsprechenden Reibungsbeiwert für die Leistungsaufnahme von Bedeutung, während bei Förderbändern mit endlosem Band der Neigungswinkel beeinflussend wirkt. Abb. 9 zeigt die Leistungswerte eines Kettenförderers (Länge 12 m, Förderhöhen 5 m und 10 m). Bei Versuchen mit einer Kettengeschwindigkeit von 0,25 m/s wurden bei 5 m Förderhöhe maximal 50 t/h Silomais gefördert (25 % TM), diese geringen Förderhöhen sind allerdings für die Praxis bedeutungslos. Bei 10 m Förderhöhe und einem Durchsatz von 40 t/h stieg der Leistungsbedarf nur geringfügig an und betrug maximal 4 kW.

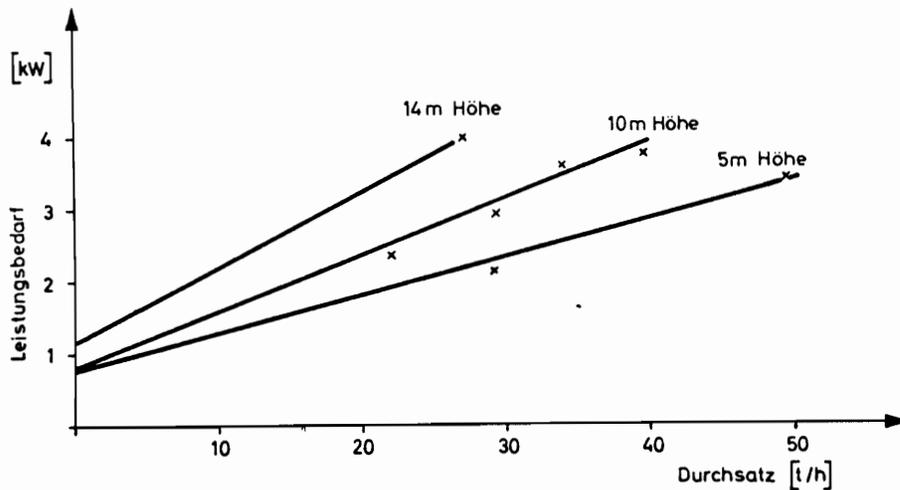


Abb. 9: Leistungsbedarf und Förderleistung von Höhenförderern (Silomais, 25 % TM)

Diese Ergebnisse stimmen mit Firmenangaben überein (133). Der Meßwert für 14 m Förderhöhe gilt für ein Förderband (50 cm Gurtbreite, 0,8 m/s Bandgeschwindigkeit). Bei einem Durchsatz von maximal 27 t/h exakt gehäckselten Gutes tritt hier ebenfalls ein Leistungsbedarf von 4 kW auf. Dies entspricht einem spezifischen Leistungsbedarf von  $0,14 \text{ kW}/(\text{t/h})$ . Dieser Wert kann als typisch für den geringen Leistungsbedarf mechanischer Höhenförderer angesehen werden.

Bei der Förderung von losem Heu und Stroh lassen sich etwa 5 - 7,5 t/h Durchsatz erzielen, bei hochverdichteten Ballen bis zu 15 t/h (103). Auch hier kann mit dem auf Abb. 9 angegebenen Leistungsbedarf kalkuliert werden.

### 2.1.3 Dosier- und Verteilungsgeräte

Durch den Einsatz der Dosiergeräte soll jegliche Handarbeit bei der Futterernte mit dem Ladewagen vermieden werden. Außerdem ist es möglich, die Schnellentleerung von Ladewagen und Kipper in einen kontinuierlichen Arbeitsablauf einzugliedern. Dies kann zu steigenden Verfahrensleistungen beitragen, wobei

aufgrund der längeren Abladezeiten die Leistungsansprüche an das Einlagerungsgerät vermindert werden (vergl. Abb. 5 und Abb. 6).

Die in der Praxis gebräuchlichen Dosiergeräte lassen sich nach technischer Ausführung folgendermaßen gliedern:

- a) bewegliche Dosiergeräte, welche automatisch in einer halbkreisförmigen Bewegung das auf den Boden entleerte Halmgut aufnehmen. Die Dosierung erfolgt über eine Rechenkette. Dieses Gerät ist in den meisten Fällen mit einem Gebläsehäcksler (Langgut) oder einem Fördergebläse (Häckselgut) gekoppelt, der Antrieb für Laufwerk und Kratzkette wird mit 2,2 kW-Motoren durchgeführt.
- b) Stationäre Dosiereinrichtungen mit schräg nach oben führender Kratzkette, wobei die Mengenregulierung durch die Vorschubgeschwindigkeit und durch Abstreifvorrichtungen in Form von beweglichen Ketten, gegenläufigen Rechenkettten oder Dosierwalzen durchgeführt wird. Diesen stationären Einrichtungen sind zweckmäßigerweise Dosiertische vorgeschaltet, welche das Fördergut nach Abkippen oder Überladen aufnehmen.

Der Leistungsbedarf für das Abfräsen von langem Halbgut aus Stapeln ist erheblich, nach WIENEKE (103) bei einem Durchsatz von 5 t/h je nach Ausbildung der Messerwalzen zwischen 1,4 und 2,0 kW/(t/h) und bei einem Durchsatz von 15 t/h zwischen 0,5 und 1,1 kW/(t/h). Mit geringerem Leistungsbedarf läßt sich geschnittenes oder gehäckseltes Halmgut dosieren. Nach Firmenangaben (133) ist hier je nach Bauart die Antriebsleistung mit 2,2 bis 4,0 kW ausreichend. Ein weiteres Gerät mit zylindrischen Dosierwalzen arbeitet mit einem 5,5 kW-Motor (für Häckselgut geeignet). Leistungsmessungen an einem stationären Dosiertisch ergaben, daß bei normaler Beschickung mit Ladewagengut die Motoren nur etwa mit 50 bis 60 % ihrer Nennleistung ausgelastet waren.

Das dosierte Abladen aus dem stehenden Ladewagen führt bei längeren Arbeitszeiten zu keiner wesentlichen Verbesserung der Verfahrensleistung. Um bei Schnellentleerung und Zuführung über Dosiertische einen störungsfreien Betrieb ohne Aufsichtsperson zu gewährleisten, kann der Vorschub der Dosiergeräte durch Volumendosierung (Taster), Gewichtsdosierung oder Überlastschalter am Fördergebläse gesteuert werden.

Die in Abb. 5 und Abb. 6 gezeigten Verfahrensbeispiele machen deutlich, daß der Einsatz eines Dosiergerätes zu einem reibungslosen Ablauf der Futterernte beitragen kann. Trotz der steigenden Bergeleistungen tritt an den Einlagerungsgeräten selbst ein niedrigerer Leistungsbedarf auf. Darüber hinaus kann die gleichmäßige Zuführung nach mechanischer Dosierung zu einer weiteren, um durchschnittlich 20 - 30 % geringeren Leistungsaufnahme des Fördergebläses führen (48, 103).

Der Elektroenergieverbrauch errechnet sich aus der gesamten Laufzeit während der Einlagerung und wird bei dem Vergleich der Einlagerungsverfahren in Kapitel 2.1.5 dargestellt.

Eine gleichmäßige Futterverteilung im Hochsilo kann bei pneumatischer Förderung durch schwenkbare Rohrkrümmer, verstellbare Leitbleche oder rotierende Prallteller erfolgen. Die Bildung von Schüttkegeln wird durch diese Geräte verhindert, wobei ein Antrieb von 70 - 100 Watt bei den Geräten vorgesehen ist. Bei der Beschickung von Heubelüftungsanlagen ist eine gleichmäßige Verteilung aus belüftungstechnischen Gründen von besonderer Bedeutung. Der Leistungsbedarf der pneumatischen Teleskoprohrverteiler wurde bereits dargestellt (2.1.1), bei der Beschickung mit Höhenförderern kann die Verteilung mit Querförderer und einem mechanischen Schichtenverteiler erreicht werden (gegenläufige Verteilerhaspeln), dessen Funktion von SEGLER (4) untersucht wurde. Bei diesen Geräten ist je nach Beschickungsrate und Art des Fördergutes mit einem Leistungsbedarf von 3 - 5 kW zu rechnen. Der Elektroenergieverbrauch der mechanischen Verteilungseinrichtungen errechnet sich nach der benötigten Einlagerungszeit.

#### 2.1.4 Greifer und Laufkrananlagen

Aufgrund universeller Einsatzmöglichkeiten haben vor allem die Laufkrananlagen mit selbstgreifender Zange bei der Mechanisierung der Futterkette in manchen Betrieben an Bedeutung gewonnen; folgende Vorteile seien als wichtigste genannt (4, 50):

- a) geeignet für verschiedene Futterarten (Heu und Silage),
- b) geeignet für Beschickung und Entnahme, in bestimmter Ausführung auch für Futtervorlage,
- c) Funktionssicherheit, geringe Rüstzeiten, 1 AK Bedienung,
- d) geringer Leistungsbedarf.

Allerdings sind Nachteile durch die Abhängigkeit von bestimmten baulichen Voraussetzungen gegeben. Bei Neubauten können sie berücksichtigt werden. SEGLER (4) beschreibt die erforderlichen Hauptabmessungen dieser "Futterbergehallen" sowie die zweckmäßige Anordnung von Futterhalle und Stallgebäude, wie sie auf den sogenannten "Greiferhöfen" in Süddeutschland einige Verbreitung fanden. Dagegen sind heute stationäre Drehkrane oder Schienengreifer in modernen Betrieben weniger bedeutungsvoll geworden.

Die hier angegebenen Untersuchungsergebnisse konzentrieren sich daher auf die Laufkrananlagen, welche als Brücken- oder Hängekran ausgebildet sein können. Die Angaben über Einlagerungs- und Entnahmeleistungen entstammen einer Arbeit von KRINNER (50). Sie wurden hinsichtlich des elektrischen Leistungsbedarfes durch neuerliche Messungen an einer Hallenlaufkrananlage ergänzt. Die Anlagen sind mit folgenden Elektromotoren ausgestattet:

Hubmotor für die Seilwinde	2,2 kW
Motor für das Laufwerk	0,25 kW
zwei Motoren am Kranträger	je 0,25 kW

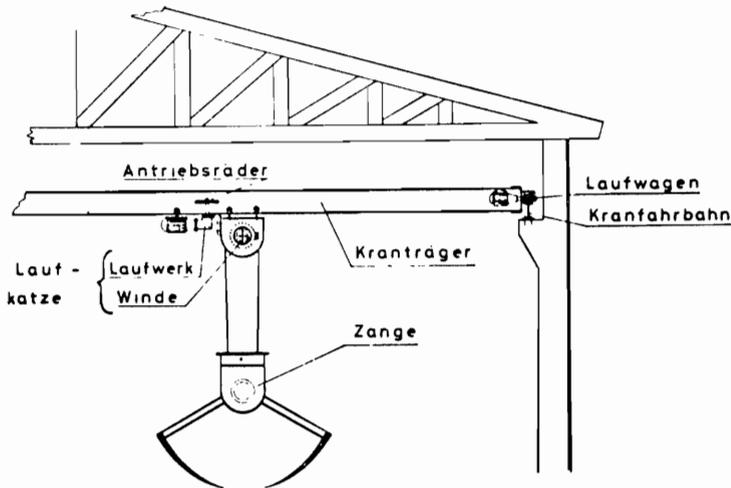
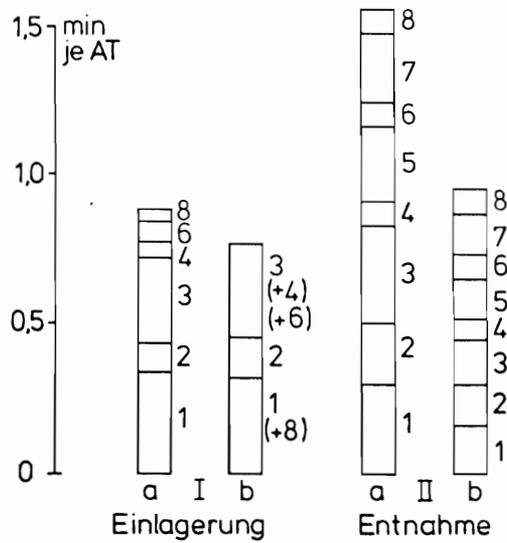


Abb. 10: Laufkrananlage als Brückenkran

Die Zange kann durch die Seilwinde betätigt werden (Abb. 10), bei anderen Ausführungen mit hydraulischer Greiferzange sind zusätzlich 3 kW für den Hydraulik-Pumpenmotor erforderlich, wobei allerdings wegen der kurzen Schaltdauer der Stromverbrauch für das Öffnen und Schließen der Zange nicht ins Gewicht fällt. Die Einlagerungsleistungen der Krananlagen hängen von mehreren Faktoren ab, welche hier nur stichpunktartig wiedergegeben sind:

- a) Dauer der einzelnen Arbeitstakte. Sie ist abhängig von der Förderstrecke, der Fahrtgeschwindigkeit des Kranes (40 - 60 m/min) und der Hubgeschwindigkeit der Zange (10 - 35 m/min). Die Arbeitstakte können teilweise ineinanderfließen und sind stark von der Geschicklichkeit der Bedienungsperson abhängig (Abb. 11).
- b) Zangenfüllung. Für Anwelksilage (33 % TM) wurden durchschnittlich 150 kg je Zangenfüllung ermittelt (50) (Zangenspannweite 3200 mm, Zangenbreite 1400 mm). Die Werte schwanken zwischen 120 kg bei schlechter Arbeitserledigung und 175 kg bei guter Arbeitserledigung.

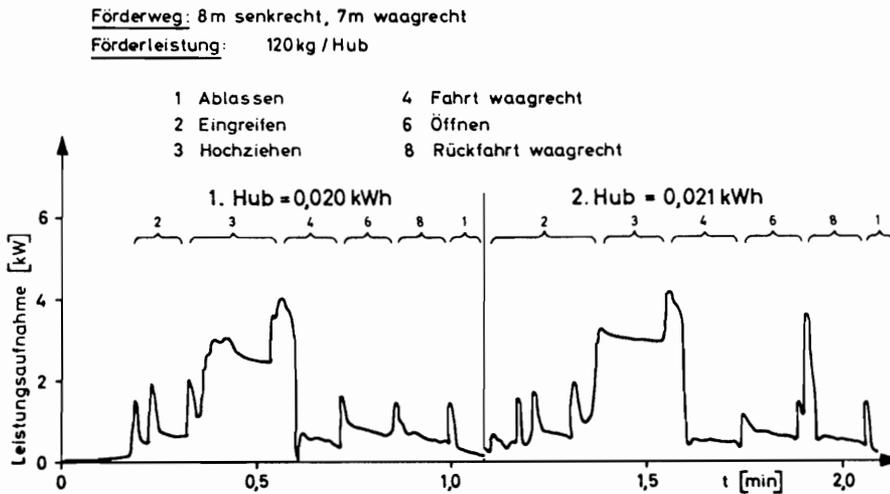


- I a/b Verschiedene Bedienungspersonen  
 II a/b Unterschiedliche Hubgeschwindigkeit  
 1 Ablassen            2 Eingreifen        3 Hochziehen  
 4 Fahrt waagr.    5 Senken der vollen Zange  
 6 Öffnen            7 Hochziehen der leeren Zange  
 8 Rückfahrt

**Abb. 11:** Arbeitstakte typischer Laufkrananlagen bei der Einlagerung und Entnahme von Silage, nach KRINNER (50)

Die Leistungsaufnahme eines Hallenlaufkranes bei der Einlagerung von Anwelkgut ist gekennzeichnet durch die kurzfristigen Leistungsspitzen beim Umschalten der Arbeitstakte (Abb. 12). Das absolute Maximum in Höhe von 4 - 4,4 kW tritt beim Umschalten von Takt 3 auf Takt 4 auf. Die Anlage arbeitete mit einer Fahrgeschwindigkeit von 46 m/min und einer Hubgeschwindigkeit von 32 m/min. Die beiden Arbeitsvorgänge (Hübe) in Abb. 12 zeigen als Beispiele die mittleren Werte von 93 Messungen mit 0,02 bis 0,021 kWh/Hub bei einer Greiferfüllung von 120 kg. Dies entsprach in den Versuchen bei einer durchschnittlichen Dauer von 1 min pro Hub der Einlagerungsleistung von 7,2 t/h.

Bei der Einlagerung von Grassilage (33 % TM), 10 m Förderweg und einer Hubgeschwindigkeit von 25 m/min ist eine Leistung von 7,5 t/h erreichbar, routinierte Bedienung kann die Leistung auf 9,0 t/h erhöhen (durchschnittliches Zangenfüllgewicht 175 kg).



**Abb. 12:** Leistungsaufnahme eines Hallenlaufkrans bei der Einlagerung von Anwelkgut (Langgut 30 % TM)

Die Einlagerungsleistung von Heu liegt zwischen 4 und 6 t/h (Zangenfüllgewicht 100 kg), bei den meist längeren Förderwegen zwischen 10 und 20 m (50). Bei der Entnahme von Silage aus Hochsilos kann von durchschnittlichen Zangenfüllgewichten mit 200 - 250 kg ausgegangen werden. Es sind je nach Hubgeschwindigkeit (25 - 35 m/min) bei 3 m Transportweg Entnahmeleistungen von 10 - 14 t/h möglich. Bei Förderwegen über 20 m wurden jedoch nur 4 bis 7,5 t/h erreicht, wobei sich die Abhängigkeit von der Fördergeschwindigkeit in größerem Maße auswirkt.

Durch die elektrischen Leistungsmessungen wurde eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von 1,07 kW/Hub ermittelt (s. Abb. 12). Da die Höhe der Leistungsaufnahme bei unterschiedlichen Füllgewichten der Zange keine großen Unterschiede aufwies, kann mit einem Verbrauch von durchschnittlich 0,02 kWh/Hub gerechnet werden, das Zangenfüllgewicht ist dann ausschlaggebend für den spezifischen Elektroenergieverbrauch. In diesem Fall sind es durchschnittlich 0,017 kWh/dt.

Die mittlere Leistungsaufnahme während der Entnahme lag mit 1,43 kW 30 % höher, wobei ähnliche kurzzeitige Spitzenbelastungen beim Losreißen der Silage auftraten. Der spezifische Elektroenergiebedarf stieg mit 0,02 kWh/dt bei der Entnahme aus Hochsilos geringfügig an, da auch mit einer längeren Dauer der Arbeitstakte gerechnet werden muß (Abb. 11).

Die angegebenen Elektroenergieverbrauchswerte beziehen sich auf Anlagen mit 8 - 10 m Fahrweg. Die Leistungsaufnahme wird im wesentlichen durch das Hochziehen der Zange bestimmt (Abb. 12), während die waagrechte Fahrt Leistung und Verbrauch weniger beeinflusst (15 % des Gesamtverbrauches). Für Anlagen mit waagrechten Fahrtstrecken zwischen 15 - 20 m sind daher Zuschläge in Höhe von 10 - 15 % des Elektroenergieverbrauches zu kalkulieren.

### 2.1.5 Vergleich der Geräte zur Futtereinlagerung

Die Beschreibung der zur Futtereinlagerung geeigneten Geräte zeigt die unterschiedliche Technik und die sich hieraus ergebende Abhängigkeit von Leistungsbedarf und Förderleistung bei bestimmten Erntegütern. Tabelle 3 verdeutlicht, daß der spezifische Leistungsbedarf der pneumatischen Förderung mit 1,87 bis 0,41 kW/(t/h) erheblich den Leistungsbedarf der mechanischen Fördergeräte übersteigt. Höhenförderer und Greifer benötigen je nach Art des Fördergutes 0,25 bis 0,15 kW/(t/h).

Obwohl die Auswahl der Geräte in der Praxis nach mehreren unterschiedlich zu bewertenden Kriterien erfolgen kann, beispielsweise nach baulichen und räumlichen Voraussetzungen, nach Bedienbarkeit sowie nach Investitionskosten, sind die Leistungsansprüche und die Zuordnung der Einlagerungsleistung zum jeweiligen Bergeverfahren von größter Bedeutung, insbesondere bei der Gärfuttereinlagerung in Hochsilos.

Unter diesem Gesichtspunkt werden drei Ernteverfahren für Anwelkgut und Silomais untersucht (Tab. 3). Es werden die Verfahrensleistungen nach SCHÖN (77) zugrunde gelegt, die jeweiligen Bestandsgrößen gelten bei bestimmten Voraussetzungen hinsichtlich des Erntezeitraumes. Weiterhin sind folgende Unterstellungen getroffen:

Milchvieh:	212 Stalltage, 30 kg Silage pro Kuh und Tag
Mastbullen:	Stallmast, 17 kg Silage pro Tier und Tag

Tabelle 3: Vergleich der Geräte zur Gärfuttereinlagerung und ihre Eignung bei verschiedenen Ernteverfahren

Einlagerungs- verfahren	Lei- stungs- bedarf kW	Förder- lei- stung t/h	spezi- fischer Lei- stungs- bedarf kW/(t/h)	Berge- ver- fahren	Anwelkgut 33 % TM, 12 t/ha Erntegut								Silomais 30 % TM, 45 t/ha Erntegut						
					1 AK ( 25 Kühe)		2AK (40-60Kühe)		3 AK ( 60 Kühe)		1 AK (100MB)	2 AK (200 MB)		4 AK (400 - 500 MB)					
					LW Langgut	gez.HLW Kurzgut	2 Aut.-Wagen FH Kurzgut		3 Aut.-Wagen, Um- hängeverfahren Kurzgut			Anbauhäcksler	2 Aut.-Wagen FH		3 Aut.-Wagen, Parallelverfahren SF - FH				
				Berge- leist. t/h	3,7	4,2	9		11			7	12,5		25				
				Förder- leist. t/h	7,0	24,0	18		30	11		45	37	12,5	90	25			
<u>FÖRDERGEBLÄSE</u>																			
Anwelkgut	25 15 8	35 20 10	0,71 0,75 0,80																
Silomais	35 25 15	85 50 25	0,41 0,50 0,60			18,5kW (21)	11kW (12,7)		22kW (24)	7,5kW (8,92)		22 kW (25)	18,5 kW (21)	7,5 kW (9,5)	37 kW (44)	15 kW (17,2)			
Heu	15 8	8 5	1,87 1,00																
<u>GEBLÄSE-HÄCKSLER</u>																			
Heu	15	8	1,87		11kW (12,7)														
Grüngut	20	20	1,00																
<u>HÖHENFÖRDERER</u>																			
Silomais	4	27	0,15					4 kW		4 kW				4 kW		4 kW			
Anwelkgut	4	18	0,22																
<u>GPEIFER</u>																			
Anwelkgut	2,7	9	0,16			2,7 (+1AK)													
Heu	2,7	6	0,25																
<u>DOSIERGERÄT</u>																			
Dosiertisch mit Rechenkette	4	10-25	0,20-0,16		4 kW					4 kW	4 kW			4 kW	4 kW	4 kW	4 kW		
Dosierwalzen	5,5-15	5-20	1,1 -0,75																
<b>EINLAGERUNGSVERFAHREN</b>					Geb.- häcks- ler	Greif- er	Ge- bläse	Ge- bläse	Höhen- förd.	Ge- bläse	Ge- bläse + Dos.	Höhen- förd. + Dos.	Förder- gebläse	Förder- gebläse	Förder- gebläse + Dos.	Höhen- förd. + Dos.	Förder- gebläse	Förder- gebläse + Dos.	höhen- förd. + Dos.
Gesamt inst. Leistung				kW	15	2,7	18,5	11	4	22	11,5	8	22	18,5	11,5	8	37	19	8
Jährlicher Verbrauch				kWh	380	27,0	140	190	60	313	438	272	344	693	1336	794	1188	2120	800
Einsatzdauer				h	22,8	22,8	6,7	15	15	12,7	34	34	14	33	99	99	27	100	100

\*die in Klammern angegebenen Werte beziehen sich auf die durchschnittl. Leistungsaufnahmen des Elektromotors

In der Langgutkette ist für das gewählte 1 AK-Verfahren zur Bergung von 3,7 t Futter in der Stunde die Nennleistung des Gebläsehäckslers mit 11 kW in Verbindung mit einem Dosiertisch (+ 4 kW) ausreichend. Bei Greifereinlagerung sind dies nur 2,7 kW, es ist jedoch eine AK zusätzlich zur Bedienung der Anlage notwendig.

In der Kurzgutkette werden bei den 1 AK-Verfahren (Bergeleistung: 4,2 t/h) mit 18,5 kW höhere Gebläseleistungen benötigt als bei den 2 AK-Verfahren (Bergeleistung: 9 t/h), da im letzten Fall längere Abladezeiten veranschlagt werden können. Die Gebläseleistung kann hier mit 11 kW ca. 40 % niedriger liegen. Als Alternative ist auch der Höhenförderer (4 kW) einzusetzen, dessen Förderleistung hier ausreichend ist.

Im 3 AK-Verfahren ist für eine Verfahrensleistung von 11 t/h eine Einlagerungsleistung von 30 t/h notwendig (Fördergebläse: 22 kW). Hier besteht die Möglichkeit einer wesentlichen Leistungssenkung durch die Kombination mit einem Dosiertisch, bei reibungsloser Organisation ist hier die Einlagerungsleistung der Verfahrensleistung gleichzusetzen, so daß mit leistungsschwächeren Gebläsen oder mit Höhenförderern 50 - 65 % dieser installierten Leistung einzusparen sind.

Bei der Silomaisernte ist die Situation ähnlich. Im 1 AK-Verfahren (Bergeleistung: 7 t/h) wird eine Einlagerungsleistung von 45 t/h mit 25 kW am Gebläse benötigt (Nennleistung: 22 kW). Bei längeren Abladezeiten im 2 AK-Verfahren (Bergeleistung: 12,5 t/h) ist der Leistungsbedarf des Fördergebläses 22 % geringer; wesentliche Leistungssenkungen sind jedoch wiederum durch Dosiergeräte möglich, in Verbindung mit Fördergebläsen sind dann 11,5 kW und durch die Kombination mit Höhenförderern lediglich 8 kW zu installieren.

Im Parallelverfahren mit 4 AK tritt ein außerordentlich hoher Leistungsbedarf am Fördergebläse in Höhe von 44 kW auf (Förderleistung: 90 t/h); in diesem Falle ist der Antrieb über den Elektromotor unvorteilhaft (37 kW installierte Leistung) und es sollte ein Schlepper eingesetzt werden. Durch den Dosiertisch kann ein erheblicher Anteil des Leistungsbedarfes reduziert werden, die Kombination mit Fördergebläse erfordert lediglich 19 kW, der Einsatz des Höhenförderers 8 kW installierte Leistung. Die Arbeitsweise des Dosiertisches kann

daher auch hier als entscheidende Maßnahme einer elektrischen Leistungsenkung bei der Futterernte angesehen werden.

Neben dem wichtigen Gesichtspunkt der Leistungsansprüche bestehen auch Unterschiede im Elektroenergieverbrauch der einzelnen Verfahren. Diese werden jedoch hier aufgrund der untergeordneten Bedeutung nicht näher berücksichtigt.

#### 2.1.6 Siloentnahmegeräte

In der vollmechanisierten Arbeitskette bei Hochsilos werden Untenfräsen oder Obenfräsen eingesetzt. Diese werden im folgenden beschrieben, wobei im Anschluß daran kurz auf die Flachsiloentnahmegeräte eingegangen wird.

Die Untenentnahmefräsen arbeiten mit einem langsam umlaufenden Fräsarm, welcher an der Untenseite des Futterstockes das Futter abträgt. Die Silage wird entweder durch eine zentrale Öffnung nach unten ausgeworfen oder durch eine Kette zur Seite gefördert. Diese Fräsen laufen vor allem in gasdichten Metallsilos mit speziell gebautem Sockel, ein nachträglicher Einbau oder das Wechseln in andere Behälter ist nicht mehr möglich. Wegen der Zugehörigkeit zu diesen Silobehältern und der Störanfälligkeit bei bestimmten Futterarten (keine Möglichkeit zur Handentnahme), fand diese Fräsenbauart in der Bundesrepublik weniger Eingang in die Praxis als die Obenentnahmefräse (30). Diese hängen an einem Seil im Silo und werden durch seitliche Rollen an der Silowand geführt. Schnecken oder Kettenbänder fräsen das Futter ab, das ein Wurfgebläse durch die Entladeluken oder die Befüllöffnung nach außen fördert. Der Durchsatz kann über das Fräsmoment oder über die Stromaufnahme mit Reglern gesteuert werden, so daß eine gleichmäßige und nahezu verstopfungsfreie Futterentnahme möglich ist (WIENECKE, 103).

Die hier beschriebenen Leistungsdaten der Obenentnahmefräsen werden den Ergebnissen früherer Arbeiten entnommen und zusammengefaßt (WEIDINGER, 100 und BOSMA, 6). Für die erreichbare Förderleistung ist in erster Linie die Schnittlänge der Silage und der Trockenmassegehalt ausschlaggebend, wie auch Untersuchungen von SCHERPING (75) zeigen. Die Leistungsaufnahme wird neben der Förderleistung je nach Bauart (Schneckenfräse oder Kettenfräse) durch die Geschwindigkeit der Fräsorgane und die Drehzahl des Wurfgebläses beeinflusst.

Die Bauarten der Fräsen und die unterschiedlichen Einsatzbedingungen verursachen die große Streubreite der Werte in Abb. 13. Die Auswurfleistung ist in t/h angegeben, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit nur Bereiche für den Trockenmassegehalt des jeweiligen Förderergutes gelten. Bei der Angabe des Zerkleinerungsgrades der Anwekksilage wird folgende Definition zugrunde gelegt (97, 100):

Zerkleinerungsgrad "gut":	weniger als 15 % Gewichtsanteile in der Siebfraction 25 mm
Zerkleinerungsgrad "schlecht":	mehr als 25 % Gewichtsanteile in der Siebfraction 25 mm

Nur bei "gutem" Zerkleinerungsgrad (I) waren in den Versuchen Auswurfleistungen von 4 - 5 t/h erreichbar, wobei ein Leistungsbedarf von 10 - 13 kW auftrat. Bei "schlechtem" Zerkleinerungsgrad (II) kam es bereits im Bereich von 1 - 2 t/h zu Störungen, wobei hohe Spitzen bei der Leistungsaufnahme den durchschnittlichen Leistungsbedarf stark erhöhten.

Einzelne Meßwerte von Fräsen, deren Funktion auf Maissilage abgestimmt ist, lassen ebenfalls lediglich die Darstellung eines Streubereiches zu (III). Es wurden Auswurfleistungen bis zu 7 t/h erzielt, wobei der Leistungsbedarf 50 % niedriger lag als bei der Förderung von Grassilage. Noch etwas günstiger war die Situation bei der Entnahme von Maiskolbensilage; bedingt durch die Homogenität des Förderergutes mit hohem Trockenmassegehalt wurden noch niedrigere Bedarfswerte gemessen (IV, Abb. 13).

Die untersuchten Fräsen waren mit Motoren der Nennleistung 7,5 , 9,2 oder 11,0 kW ausgestattet, ein weiteres Fabrikat zeigte mit 5,5 kW Nennleistung bei Maissilage die Leistungen, die unter III in Abbildung 13 dargestellt sind.

Da während der Laufzeit der Fräsen in vielen Fällen ein ungleichmäßiger Belastungsverlauf auftrat, wurden die Meßergebnisse (Meßschriebe) hinsichtlich der aufgetretenen Leistungsspitzen untersucht. Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung der wichtigsten Werte, wobei unter "Spitzenlast" diejenigen Leistungsspitzen erfaßt sind, welche höher als die durchschnittliche kW-Aufnahme waren. Aus diesen Ergebnissen kann gefolgert werden, daß die installierten Nennleistungen zumindest für den Einsatz bei gut gehäckselter Silage ausreichend sind.

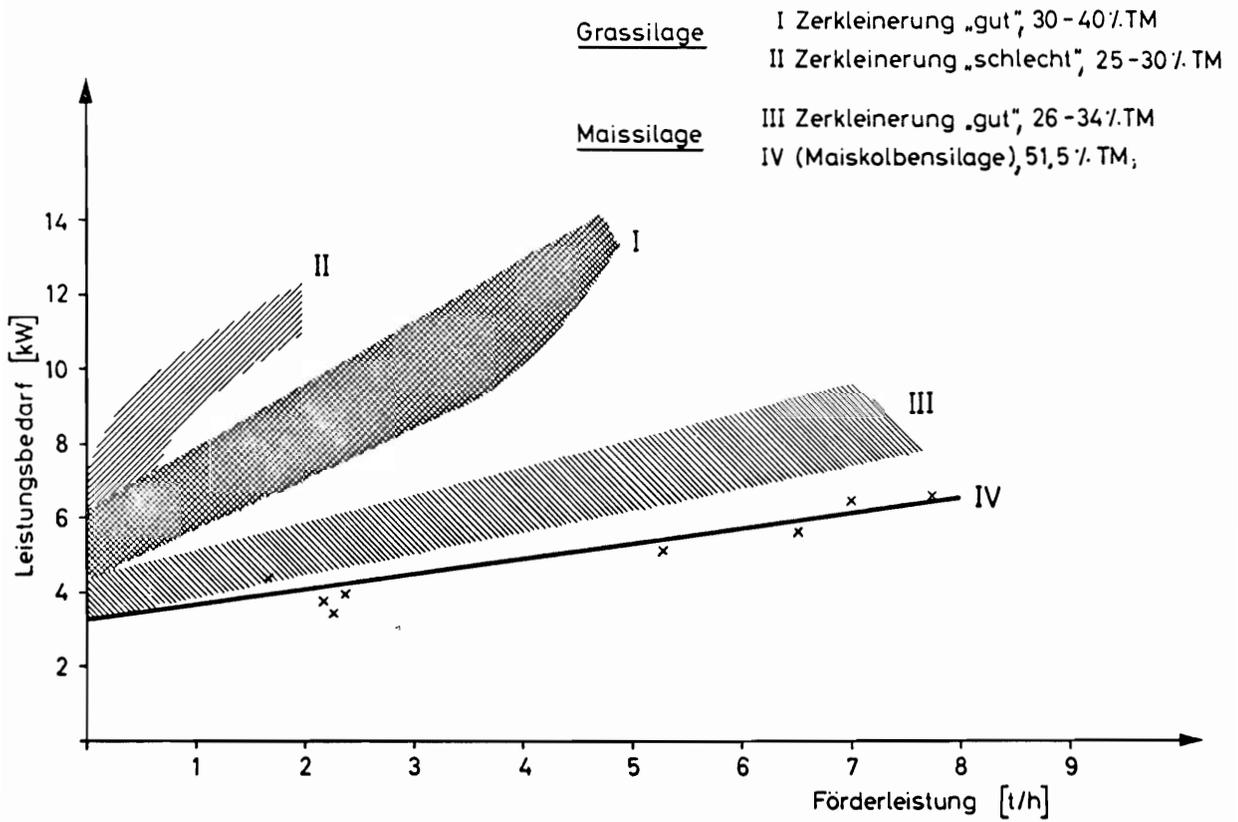


Abb. 13: Leistungsbedarf von Hochsilo-Oberentnahmefräsen bei der Entnahme unterschiedlicher Siliergüter

Tabelle 4: Stromaufnahme der Elektromotoren von Siloobenfräsen während der Entnahme von Gärfutter

Entnahmegut	∅ Spitzenlast in v.H. der Nennleistung	Dauer der Spitzenlast in v.H. der gesamten Laufzeit
Anwelksilage "schlecht"	170 - 180	20 - 25
Anwelksilage "gut"	140 - 150	18 - 25
Maissilage	150 - 160	23 - 30

Der Leistungsbedarf von Untenentnahmefräsen ist von WIENECKE (103) nach den Ergebnissen von HEEGE, RIEMANN und BRUNS angegeben. Die erforderliche Energiemenge hängt hier noch stärker von Beschaffenheit und Feuchtegehalt des Gärfutters ab, da die Druckverhältnisse mit der Ausbildung des domförmigen Hohlraumes an der Unterseite des Futterstockes unterschiedlich sind. Schwierigkeiten treten vor allem bei der Entnahme von Gärfutter mit über 60 % Feuchte auf, da ein hoher Druck auf dem Fräsarm lastet. Dieser kann sich in dem zum Schmieren neigenden Gut festlaufen.

Unter normalen Einsatzbedingungen wird bei gleicher Antriebsleistung wie bei Obenfräsen jedoch nur etwa 30 - 50 % der vergleichbaren Futtermenge ausgetragen, so daß der spezifische Elektroenergieaufwand der Untenentnahmefräsen 50 - 70 % höher liegt als die angegebenen Werte der Obenentnahmefräsen.

Die errechneten Elektroenergieverbrauchswerte für ausgewählte Bestandsgrößen der Rinderhaltung sind in Tabelle 5 angegeben. Im Interesse der Funktionssicherheit lassen sich keine wesentlichen Leistungssenkungen durchführen. Die kurze Einsatzdauer dieser Geräte ist elektrizitätswirtschaftlich gesehen ungünstig, da sie lediglich bei hohen Tierzahlen in der Mastrinderhaltung mehr als 500 Stunden/Jahr beträgt.

Tabelle 5: Jährlicher Elektroenergiebedarf (kWh) von Siloentnahmefräsen in unterschiedlichen Bestandsgrößen der Rinderhaltung

	Milchviehhaltung (212 Stalltage, 30 kg Silage/Kuh u. Tag)			Mastbullen (ganzjährige Stallhaltung, Ø 17 kg Silage/Bulle u. Tag)		
	<u>Anwelksilage</u>			<u>Maissilage</u>		
Bestandsgröße	40	60	80	100	300	500
<u>Obenfräse</u>						
11 kW, 4 t/h	699,6	1049,4	1399,2			
8 kW, 6,5 t/h				763,7	2291,0	3818,5
<u>Untenfräse</u>						
11 kW, 2 t/h	1399,2	2098,8	2798,4			
8 kW, 3,25 t/h				1527,4	4582,0	7637,0

### Flachsiloentnahmegeräte

Die bereits seit längerem vor allem in den USA eingesetzten Geräte zur Gärfutterentnahme aus Flachsilos werden üblicherweise als Front- oder Heckgerät am Schlepper eingesetzt, wobei eine mit Messern oder Reißzinken besetzte Trommel das Futter abträgt. Die Bestrebungen tendieren jedoch auch hier zum Einsatz von Elektromotoren. Aus diesem Grund werden an dieser Stelle Leistungsdaten nach ersten Ergebnissen noch laufender Weihenstephaner Untersuchungen dargestellt (61, 63) und mit Firmenangaben ergänzt. Tabelle 6 enthält den an der Schlepperzapfwelle gemessenen Leistungsbedarf der Fräsen. Lediglich bei Maissilage waren höhere Entnahmelleistungen möglich, während bei Grassilage (Ladewagenschnitt 12 cm) nur maximal 5 t/h erreicht wurden. Für den Kraftbedarf ist von Bedeutung, ob das abgefräste Gut pneumatisch oder mechanisch weitergefördert wird. Die Leistungsdaten der Firmenangaben über das bereits serienmäßig mit einem Elektromotor ausgestattete Gerät zeigen den spezifischen Leistungsbedarf in Höhe von 0,16 - 0,36 kW/(t/h). Diese Werte stimmen weitgehend mit den in Weihenstephan gemessenen Daten überein. Bei der Entnahme von Maissilage aus Flachsilos kann demnach der Elektromotor gut eingesetzt werden, da die Konstruktion mit Fräswalze und Förderband keinen zu hohen Leistungsbedarf zur Folge hat.

Tabelle 6: Leistungsbedarf und Entnahmelleistung von Flachsilo-  
fräsen (nach 61)

Bauart	Maissilage		Grassilage (12 cm Schnitt)	
	kW	t/h	kW	t/h
Fräskette mit Gebläseförderung	10	10	22	5
	20	20		
	30	45		
Fräswalze mit Förderband	6	20	11	3
	10	40		
	12	60		
Fräswalze mit Förderband (E-Motor)*	4-10	24-36	-	-

\* (nach Firmenangaben, 133)

### 2.1.7 Mechanische Fütterungsgeräte

Die mechanische Fütterung läßt sich mit stationären Verteilanlagen oder mobilen Geräten durchführen. Nach WEIDINGER (98) waren jedoch bis zum Jahre 1973 nicht einmal 1 % der landwirtschaftlichen Betriebe mit mechanischen Verteilungseinrichtungen für Grundfutter ausgestattet. Es sind vor allem die stationären Geräte, welche kaum in der Praxis Verbreitung fanden, da sie nur in spezialisierten Mast- oder Aufzuchtbetrieben mit größeren Beständen (ab 40 GV) sinnvoll eingesetzt werden können (98). Demgegenüber werden mehr und mehr mobile Futterverteilwagen eingesetzt; sie sind teilweise mit Vorrichtungen zum Einmischen des Kraftfutters versehen und können als Anhängegeräte für Schlepper verwendet werden. Einfache Bauarten werden auch mit Elektromotoren angetrieben.

#### Stationäre Verteilanlagen

Die funktionellen Untersuchungen und Leistungsbedarfsmessungen wurden von WEIDINGER (97) durchgeführt und werden hier nur stichpunktartig zusammengefaßt, ohne auf die speziellen Ergebnisse über Verteilgenauigkeit und Abhängigkeit der Futterbeschaffenheit auf die Leistungsaufnahme einzugehen. In Tab. 7 sind neben der erreichbaren Förderleistung bei Gras- und Maissilage die gemessenen durchschnittlichen Leistungswerte pro m Förderlänge angegeben. Daraus lassen sich die Bedarfswerte für bestimmte Tierzahlen und die dazugehörige erforderliche Nennleistung der Motoren errechnen, wobei insbesondere bei Schneckenförderern aufgrund der Anfälligkeit gegen grob gehäckseltes Gut und gegen ungleichmäßige Zuführung höhere Nennleistungen gewählt sind.

Für die Errechnung der erforderlichen Gesamtlänge gelten folgende Unterstellungen:

Anbindeställe: 1,1 m Troglänge/Kuh (bei 2reihiger Aufstallung 1,1 m/2 Kühe)

Laufställe: 0,8 m Troglänge/Kuh, beidseitiger Zugang zur Futterkrippe

Bei der Mastbullenhaltung wird von einer mit Kraftfutter aufgewerteten Grundfuttermischung ausgegangen. Bei Vorratsfütterung mit einem Freßplatz-Tierverhältnis 1 : 3 beträgt die erforderliche Troglänge 0,23 m/Bulle; hier ist wie-

derum ein beidseitiger Zugang zur Futterkrippe vorgesehen (0,23 m/2 Bullen). Wegen der starken Entmischung des Futters bei Schneckenförderern (68, 98) ist jedoch eine Fütterung mit aufgewertetem Grundfutter nicht möglich, so daß in größeren Beständen die hohen Investitionskosten für die daher erforderlichen längeren Tröge nicht sinnvoll sind (0,7 m/Bulle). Bei dem Hängebahnförderer ist als erforderliche Gesamtlänge nur etwa die Hälfte der Futterganglänge notwendig, da eine Beschickung von der Stallmitte her erfolgen soll. Der Elektroenergiebedarf mechanischer stationärer Futterverteilereinrichtungen errechnet sich je nach Futterration aus der Förderleistung der Anlagen und dem in Tabelle 7 angegebenen gesamten Leistungsbedarf.

Tabelle 7: Leistungsbedarf und Förderleistung mechanischer stationärer Futterverteilereinrichtungen (nach WEIDINGER 97, 98)

	max.Förderleistung (kg/min)		Ø Leistungsbedarf (kW/m)	Gesamt-Leistungs- bedarf (einschl. 5 m Förderweg) (kW)			erforderliche installierte Leistung (kW)
	Grossilage	Maissilage		40 Kühe	60 Kühe	80 Kühe	
<u>Milchvieh</u>							
<u>Laufställe 1)</u>							
Schneckenförderer	20 - 50	100 - 160	0,15	3,15	4,35	5,55	5,5 - 7,5
Schubstange	50	175	0,10	2,10	2,90	3,70	2,2 - 4,0
Kettenförderer	50	120	0,08	1,68	2,32	2,96	2,2 - 4,0
<u>Anbindeställe 2)</u>							
Hängebahnförderer 3)	110	250	0,05	1,10	1,4	1,7	1,5 - 2,2
Förderbandverteiler	100	200	0,10	2,20	2,8	3,4	2,2 - 4,0
<u>Mastbullen</u>		Maissilage		100 Bullen	300 Bullen	500 Bullen	
<u>Laufställe</u>							
Schneckenförderer		100 - 160	0,15	6,00	(16,5)	-	11,0
Schubstange 4)		175	0,10	1,65	4	6,25	2,2 - 7,5
Kettenförderer 4)		120	0,08	1,32	3,16	5,00	1,5 - 7,5

1) 0,8 m Troglänge/Kuh (beidseitiger Zugang)

2) 1,1 m Troglänge/Kuh

3) Zuführung des Futters von der Stallmitte

4) 0,23 m/Bulle, beidseitiger Zugang

### Mobile Fütterungsgeräte (Fütterungswagen)

Die Fütterungswagen erlauben eine gute Anpassung an vorhandene Gebäude, und auch in kleinen Tierbeständen können unterschiedliche Futterrationen durch die mitfahrende Bedienungsperson zugeteilt werden. Dies ist vor allem bei der gleichzeitigen Zuteilung von Grundfutter und Kraftfutterkomponenten in der Rinderhaltung von Bedeutung.

Da der Fütterungswagen aus arbeitswirtschaftlichen Gründen die gesamte Futtermenge für eine Mahlzeit fassen sollte, werden in der Bullenmast bei Großbeständen die schleppergetriebenen Wagen ( $5 - 10 \text{ m}^3$ ) eingesetzt. Bei einer Ration von  $8,5 \text{ kg}$  Maissilage pro Bulle und Mahlzeit und 2maliger Fütterung pro Tag sind mit  $5 \text{ m}^3$ -Wageninhalt maximal etwa 200 Mastbullen zu versorgen, mit  $2,5 \text{ m}^3$  nur etwa 100 Mastbullen ( $350 \text{ kg Silage/m}^3$ ).

Die mit Elektroenergie betriebenen Fütterungswagen weisen ein Fassungsvermögen zwischen  $2,5$  und  $5 \text{ m}^3$  auf, wobei die Stromversorgung über Schleppkabel, Schleifschienen oder mit Batterieantrieb möglich ist. Der Wageninhalt wird mit einem Kratzboden bewegt und durch Verteilerwalzen über ein Querförderband ausgebracht.

Die Nennleistung der Antriebsmotoren ist sehr gering, beim netzgebundenen Fahrzeug  $1,0 \text{ kW}$  für Fahrt und  $1,5 \text{ kW}$  für Verteilung, bei größeren Fahrzeugen ( $5 \text{ m}^3$ ) sind für die Verteilung  $2,0 \text{ kW}$  vorgesehen. Die Batteriefahrzeuge sind mit  $0,6$  bzw.  $1,0 \text{ kW}$  Gleichstrommotoren für den Fahrtantrieb und  $1,2 \text{ kW}$  für die Verteilung ausgestattet, zwei Kraftfahrzeugbatterien ( $12 \text{ V}$ ) dienen als Stromquelle.

Um den exakten Elektroenergieverbrauch berechnen zu können, wurden Wirkleistungsmessungen an den Fütterungswagen durchgeführt. Für die einzelnen Arbeitsgänge ergeben sich aus Messungen an dem  $4,5 \text{ m}^3$  Batteriefahrzeug und an dem  $5 \text{ m}^3$  netzgebundenen Fahrzeug für die Fütterung mit Maissilage bei mittlerem Vorschub der Kratzkette folgende Werte:

Fahrt leer	$0,1 \text{ kW}$
Fahrt gefüllt	$0,2 - 0,3 \text{ kW}$
Vorfahrt und Verteilung	$0,9 \text{ kW (max. } 1,2 \text{ kW)}$

Der gesamte Elektroenergiebedarf für netzgebundene Fahrzeuge berechnet sich aus der durchschnittlichen Leistungsaufnahme und dem Zeitbedarf für den Fütterungsvorgang.

Die durchschnittliche Leistungsaufnahme während der gesamten Betriebszeit lag bei den Messungen mit exakt gehäckselter Silage (51 % Trockenmasse, Befüllung mit Oberentnahmefräse) bei 0,6 - 0,9 kW, kann aber bei Grassilage nach Frontladerbefüllung bis zu 60 % höher liegen (97).

Nach Weihenstephaner Arbeitszeitmessungen beträgt der Zeitbedarf für Füttern mit mechanischen Fütterungswagen 12,6 cmin + 4,68 cmin/m Troglänge. Für die Fahrt vom Silo zum Stall wird 17,3 cmin + 3,43 cmin/m Fahrweg berechnet. Nach den genannten Werten läßt sich beispielsweise der in Tabelle 8 dargestellte Verbrauch angeben.

Tabelle 8: Elektroenergieverbrauch mobiler Fütterungswagen in unterschiedlichen Bestandsgrößen der Rinderhaltung (kWh/Jahr)

Milchkühe (Anwelksilage)	Anbindestall, ganzjährige Stallhaltung, 2 mal Füttern/Tag, jeweils 15 kg Anwelksilage/Kuh 10 m Entfernung vom Silo		
Bestandsgröße (Kühe)	40	60	80
kWh/Jahr (Netzanschluß)	35,2	44,6	55,9
kWh/Jahr (Batterie)	59,9	75,8	95,0
Mastbullen (Maissilage)	Laufstall (Spaltenboden) 2 mal Füttern/Tag, jeweils 8,5 kg Maissilage/Bulle 10 m Entfernung vom Silo		
Bestandsgröße (Bullen)	100	300 <sup>*)</sup>	
kWh/Jahr (Netzanschluß)	32,6	76,1	
kWh/Jahr (Batterie)	54,8	129,4	

\*) pro Fütterung 1,5 Fahrten

Bei Angaben des Elektroenergiebedarfes batteriegetriebener Fütterungswagen sind zwei weitere Faktoren zu berücksichtigen:

- a) der Wirkungsgrad der Bleiakkumulatoren schwankt nach Zellenkonstruktion, Säuretemperatur und Höhe der Entlade- und Ladestromstärke zwischen 69 % und 77 %.
- b) der Wirkungsgrad des Batterieladegerätes liegt je nach Größe und Ausführung zwischen 70 % und 90 %.

Die Selbstentladung der Batterien kann bei häufiger Inbetriebnahme unberücksichtigt bleiben, so daß der Elektroenergieverbrauch das 1,49 - 1,92fache des netzgebundenen Fütterungswagens beträgt.

## 2.2 Mechanisierung der Belüftungstrocknung von Heu

Die Mechanisierung der Belüftungstrocknung von Heu spielt hinsichtlich des elektrischen Leistungsbedarfes in vielen Grünlandgebieten mit intensiver Rinderhaltung eine wichtige Rolle. Die Auswirkungen auf die Ortsnetzbelastung und die damit verbundenen Probleme wurden in früheren Jahren von KLING und RUDE (46) untersucht. Bei gleichzeitiger Laufzeit der Belüftungsgebläse und Einlagerungsgeräte entstehen zu bestimmten Tageszeiten hohe Belastungsspitzen innerhalb der Ortsnetze, so daß nach Wegen zur Senkung der installierten Lüfterleistungen gesucht werden muß.

Wie bereits angedeutet, spielt die Heufütterung bei den hier vornehmlich behandelten Verfahren der intensiven Rindermast eine nur untergeordnete Rolle; um die Unterlagen über das Arbeitsgebiet der Futterkette zu vervollständigen, wurde jedoch auf eine Darstellung nicht verzichtet. Die im Zeitraum der Untersuchungen erarbeiteten Ergebnisse sind an Beispielen der Milchviehhaltung mit Heufütterung ausgeführt.

Die Glieder der Arbeitskette Einlagerung und Verteilung von Heu sind bereits im Kapitel 2.1.1 behandelt, es folgen die Belüftungsgebläse, wobei besonderes Gewicht auf die Darstellung des Leistungsbedarfes in Abhängigkeit der Bestandsgröße und Klimafaktoren und auf die Möglichkeiten zur Leistungssenkung durch Luftanwärmung gelegt wird.

### 2.2.1 Belüftungsgebläse

Gegenüber der herkömmlichen Bodenheugewinnung sind durch die Unterdachbelüftungstrocknung wesentliche Vorteile zu erreichen, welche sich stichpunktartig folgendermaßen formulieren lassen (4):

- a) Verminderung des Wetterrisikos
- b) Durchführung des zeitgerechten Schnittes
- c) Verminderung der Feldverluste
- d) Unterbinden von Gären und Überhitzen
- e) Einsparen von Arbeitsstunden.

Für die Heubelüftungsanlagen kommen praktisch nur Axiallüfter in Betracht (81); der Leistungsbedarf ist abhängig vom Luftvolumenstrom ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), dem Gesamtdruck (mbar) sowie dem Wirkungsgrad der Gebläse und der Antriebsmotoren. Umfangreiche Messungen an Belüftungsgebläsen wurden im Verlauf der DLG-Prüfungen durchgeführt (122). Um einen Überblick über den Leistungsbedarf zu erhalten, wurden sämtliche Einzelmessungen nach Gesamtdruck und Luftdurchsatz der Geräte zusammengestellt (Abb. 14). Bei den Meßwerten zeigt sich der höchstsignifikante lineare Zusammenhang zwischen Leistungsbedarf und Volumenstrom, welcher sich bei zutreffendem Gesamtdruck 2,5 , 4,0 oder 6,0 mbar mit den in Abb. 14 angegebenen Beziehungen ausdrücken läßt.

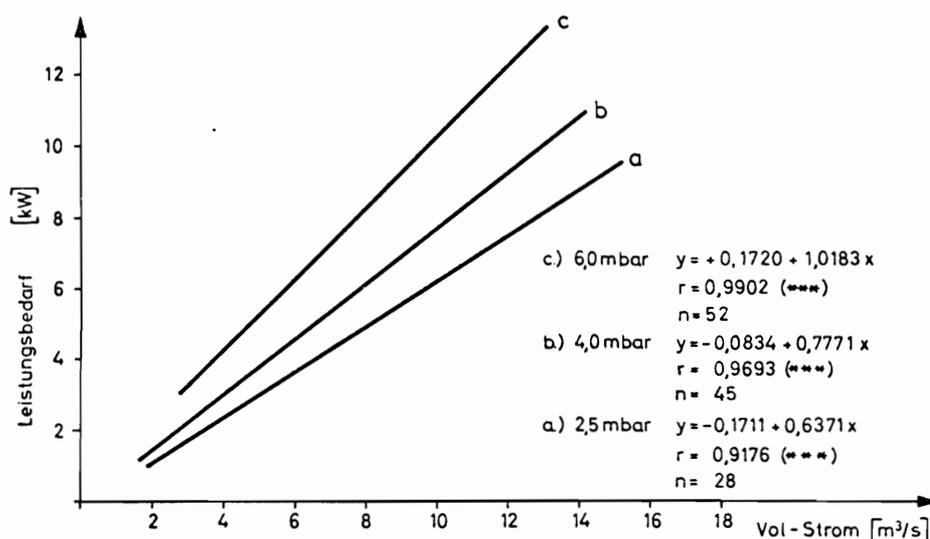


Abb. 14: Leistungsaufnahme von Heubelüftungsgebläsen (Axiallüfter) in Abhängigkeit von Volumenstrom ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) und Gesamtdruck (mbar)

Somit kann nach Kenntnis der erforderlichen Luftmenge sowie der Druckverhältnisse der Leistungsbedarf für jedes beliebige Beispiel ermittelt werden. Diese beiden Parameter sind jedoch von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, welche durch die jeweiligen Verhältnisse des praktischen Betriebes bestimmt werden. Die erforderliche Luftmenge von:

- a) der zu trocknenden Heumenge
- b) dem Wassergehalt des Heues
- c) dem Wasseraufnahmevermögen der Luft
- d) der verfügbaren Trocknungszeit

der benötigte Gesamtdruck von:

- a) dem Raumgewicht des Gutes
- b) der Schütthöhe
- c) der Luftgeschwindigkeit
- d) dem Druckverlust in den Luftzuführungskanälen.

Die Zusammenhänge dieser Einflußfaktoren wurden von mehreren Autoren (4, 18, 19, 74, 80, 81, 103) ausführlich bearbeitet und sind in die Berechnung des Leistungsbedarfes von Heulüftern einbezogen.

Zur Dimensionierung der Heubelüftungsanlagen muß von der gewünschten Futterration (kg Heu/GV und Tag) sowie von der Herdengröße ausgegangen werden. Bei der Berechnung des erforderlichen Leistungsbedarfes von Heulüftern in der Milchviehhaltung (Abb. 15) wurde in einem Fall mit 12 kg Heu/Kuh und Tag ausschließliche Grundfütterung mit Heu unterstellt, wie es z. B. in Hartkäseereigeieten durchgeführt wird, im anderen Fall werden lediglich 5 kg Heu/Tier und Tag beigefüttert.

Da bei Kaltbelüftung der erforderliche Leistungsbedarf der Heulüfter wesentlich von den klimatischen Bedingungen abhängt, sind nach FELDMANN (18) 3 Zonen mit 80, 100 und 125 wöchentlichen Belüftungsstunden bei durchschnittlich 70 % Luftfeuchte angegeben.

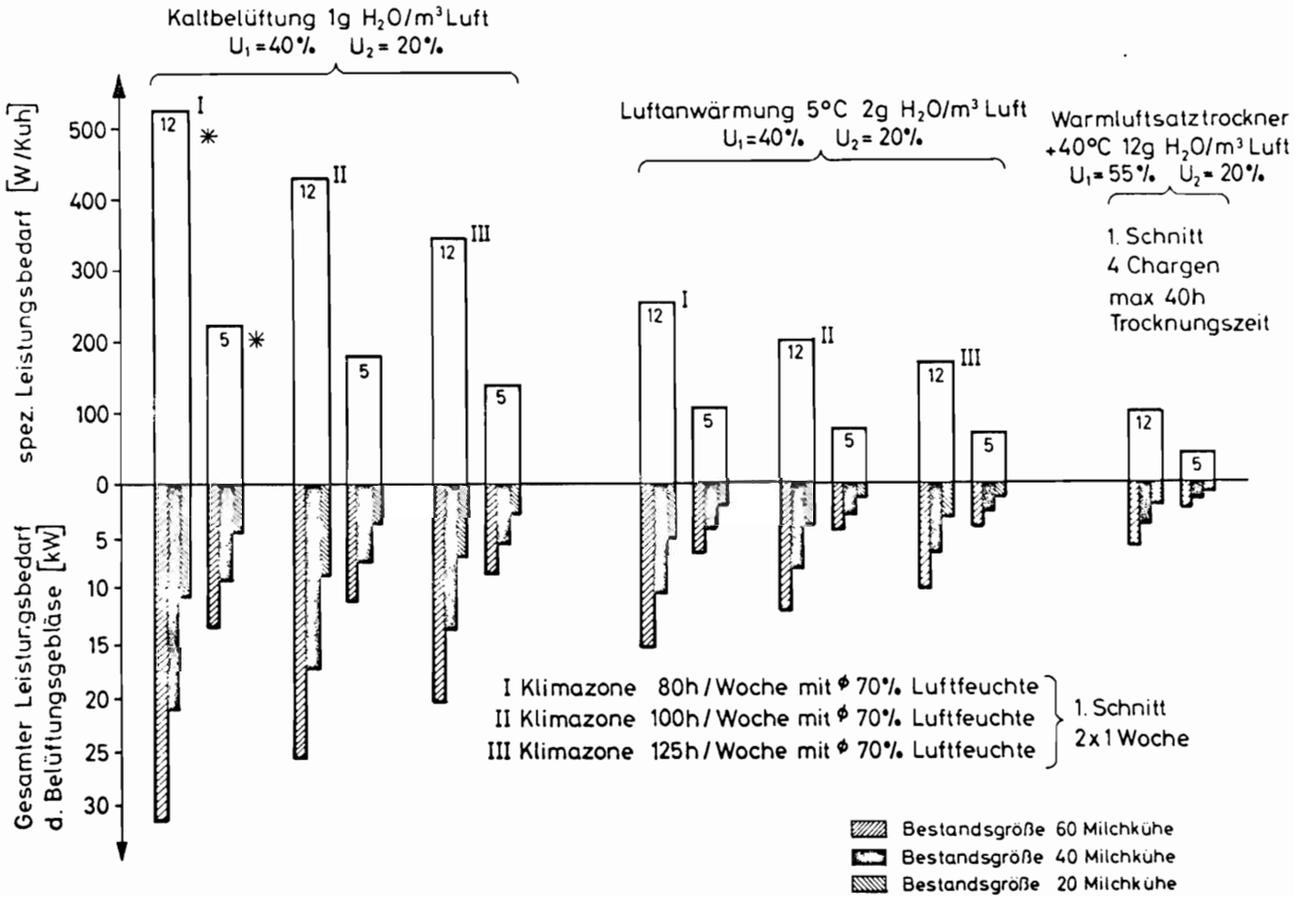


Abb. 15: Leistungsbedarf der Heubelüftung in der Milchviehhaltung (\* 5 bzw. 12 kg Heu/GV und Tag jeweils im Säulenkopf eingetragen)

Bei der Kaltbelüftung muß die Trocknung eines Satzes innerhalb einer Woche abgeschlossen sein (18), für den ersten Schnitt (50 % des Gesamtertrages) stehen in den dargestellten Beispielen zwei Wochen zur Verfügung. Bei alleiniger Heufütterung (12 kg/Kuh und Tag) werden in der ungünstigsten Klimazone I (80 h/Woche mit ϕ 70 % rel. Luftfeuchte) 525 W/Kuh benötigt. Dies entspricht bei einer mittleren Bestandsgröße von 40 Kühen 21 kW Lüfterleistungsbedarf. In der mittleren Klimazone II (100 h/Woche mit ϕ 70 % rel. Luftfeuchte) kann bereits mit längerer Belüftungszeit kalkuliert werden und die erforderliche Lüfterleistung ist auf 17 kW zu reduzieren (425 W/Kuh). Im günstigsten dargestellten Fall mit 125 Belüftungsstunden/Woche werden lediglich 14 kW für den Bestand mit 40 Kühen benötigt (345 W/Kuh). Die gleichen Auswirkungen ergeben sich auch, falls man die Ration mit 5 kg Heu/Kuh

und Tag unterstellt. Hier sinkt die erforderliche Lüfterleistung für 40 Kühe in den beiden Extremen von 9 kW (Klimazone I) auf 5 kW ab (Klimazone III).

Vorwärmung der Luft kann den Trocknungsvorgang beschleunigen, da hierbei die erhöhte Wasseraufnahmefähigkeit der Luft wirksam wird. Bei gleichen Unterstellungen hinsichtlich der wöchentlichen Einfuhrmenge und bei voller Ausnutzung der verfügbaren Trocknungszeit kann eine Leistungssenkung bei den Lüftungsgebläsen erreicht werden. In den Beispielen der Abb. 15 verringert sich mit der doppelten Wasseraufnahmefähigkeit der Luft (Anwärmung + 5° C) der Leistungsbedarf um 50 %. Bei alleiniger Heufütterung in der Bestandsgröße mit 40 Kühen werden daher in der Klimazone I 10,5 kW benötigt (260 W/Kuh), in der Klimazone II bereits nur 8,7 kW (220 W/Kuh) und in der Klimazone III tritt bei optimaler Ausnutzung der wöchentlichen Benutzungszeit ein Lüfterleistungsbedarf in Höhe von 7 kW auf (170 W/Kuh). Auch bei geringer Heuraution verringern sich die Leistungswerte in gleichem Verhältnis, allerdings ist hierbei mit 60 % niedrigeren absoluten Werten zu kalkulieren (2 - 4 kW bei 40 Kühen).

Die Warmluftsatztrocknung wird in der Praxis eingesetzt, um eine weitergehende Unabhängigkeit von klimatischen Verhältnissen zu erreichen (höhere Einlagerungsfeuchte des Heues). Die Trocknungsluft wird sehr stark erwärmt, so daß das Futter in kurzer Zeit unabhängig von der Außenluft konserviert werden kann. In Abb. 15 ist daher als weitere Alternative der Lüfterleistungsbedarf einer Warmluftsatztrocknung errechnet, wobei für die einzelnen Chargen maximal 40 Stunden Trocknungszeit vorgesehen sind (Anfangsfeuchtegehalt  $U_1 = 55\%$ ). Bei der starken Vorwärmung der Luft um 40° C beträgt die Lüfterleistung in diesem Fall bei ausschließlicher Heufütterung für 40 Kühe 4 kW, und die Trocknung einer Charge ist in 40 Stunden durchzuführen. Aufgrund der geringeren Abmessung der Anlage erhöht sich jedoch der Arbeitsaufwand für mehrmaliges Befüllen und Entleeren.

Diese Berechnungen sollen als Verfahrensbeispiele die Möglichkeiten und die Grenzbereiche darstellen, in der Praxis sind jedoch darüber hinaus vielfältige Zwischenlösungen durchführbar. Die Problematik der Leistungsansprüche von Heubelüftungsanlagen und die gezeigten Möglichkeiten mit dem Übergang auf anderweitige Energieträger sind für die einzelbetriebliche Situation ökonomisch bedeutungsvoll. Die Belüftungstrocknung von Heu führt besonders

bei größeren Milchviehbeständen zu hohem Leistungsbedarf der elektrisch betriebenen Heulüfter. Hierbei ist aufgrund der erwähnten hohen Kosten für Überanschlußwerte die Kaltbelüftung vielfach ganz auszuschließen, zumal aufgrund der klimatischen Abhängigkeit eine hohe Gleichzeitigkeit des Einsatzzeitpunktes innerhalb der Ortsnetze zu besonderen Problemen bei der Versorgung führt. Die vorliegenden modellmäßigen Berechnungen zeigen, daß eine bereits geringe Luftanwärmung zu erheblichen Einschränkungen des elektrischen Leistungsbedarfes führt. Obwohl auch die Kosten für Heizöl bei diesem Verfahren zu werten sind, muß darauf hingewiesen werden, daß zur Deckung der kurzfristigen hohen Leistungsansprüche die Anwendung dieser Energieform zu wesentlichen Vorteilen führt.

Das vorangegangene Kapitel 2 zeigt die elektrischen Leistungsansprüche und den Energieverbrauch wesentlicher Bereiche der Futterwirtschaft in der Rinderhaltung. Hierbei stehen besonders die hohen Leistungsansprüche bei der Beschickung und der Entnahme von Futter aus Hochsilos sowie der Belüftungstrocknung von Heu im Vordergrund. Bei den einzelnen Arbeitsverfahren sind die dargestellten verfahrenstechnischen Änderungen zur Senkung der Leistungsansprüche durchführbar, deren Auswirkungen innerhalb der Gesamtverfahren der Rindermast mit Hilfe von Modellen in Kapitel 7 erläutert werden.

In Kapitel 3 folgen die Arbeitsverfahren in der Futterwirtschaft der Schweinehaltung.

### 3. Die Elektroenergieverbraucher in der Futterwirtschaft der Schweinehaltung

Die in der Schweinehaltung durch Arbeitsteilung und Spezialisierung hervortretenden Betriebstypen lassen sich hinsichtlich der Mechanisierbarkeit und somit hinsichtlich des Elektroenergiebedarfes in zwei Gruppen einteilen:

- a) Schweinezucht- und Ferkelerzeugerbetriebe,
- b) Schweinemastbetriebe.

Aus produktionstechnischen Gründen ist in der Zuchtsauenhaltung die Mechanisierbarkeit geringer als in der Schweinemast; hier ist dies bei einheitlichem Stallsystem in größeren Beständen vor allem bei der Futter- und der Mistkette

möglich. Daher steht nachfolgend die Futterkette im Mittelpunkt der Untersuchungen. Die mit der Klimatisierung von Zucht- und Mastställen und der Beheizung von Ferkelaufzuchtboxen zusammenhängenden Fragen sowie die Entmistung werden später in den Kapiteln 4 und 5 behandelt.

Die zur Futterwirtschaft der Schweinehaltung zählenden Arbeitsverfahren umfassen die Mischfutteraufbereitung mit Schrotmühlen und Mischbehältern, auch kontinuierlich arbeitende Aufbereitungssysteme erlangen mehr und mehr Bedeutung. Daneben wurden die gebräuchlichsten mechanischen Trockenfütterungssysteme und vollautomatische Flüssigfütterungs-Anlagen in die Messungen und Untersuchungen miteinbezogen.

Ferner werden die bei hofeigener Getreideeinlagerung benötigten Geräte zur Körnerförderung dargestellt. Obwohl im Falle einer hofeigenen Getreidetrocknung ebenfalls elektrische Leistung in Anspruch genommen wird, sind diese Bedarfswerte nicht mit in den Berechnungen enthalten. In spezialisierten Schweinemastbetrieben wird häufig die Fremdtrocknung in genossenschaftlichen Lagerhäusern durchgeführt, so daß die Problematik der Getreidetrocknung mehr den spezialisierten Getreidebaubetrieben zuzuordnen ist.

### 3.1 Mischfutteraufbereitung

Hinsichtlich des elektrischen Leistungsbedarfes ist die hofeigene Futteraufbereitung in Schweinehaltungsbetrieben von zentraler Bedeutung. Die technischen Einrichtungen - Schrotmühle, Futtermischer, Dosier- und Wägeeinrichtungen, Fördergebläse und Lagerbehälter - werden nach den speziellen technischen, arbeitswirtschaftlichen und baulichen Gegebenheiten des Betriebes eingesetzt.

In kleineren Betrieben ist oft nur eine geringe Mechanisierung bei deckenlastiger Lagerung der Getreidekomponenten notwendig (Abb. 16, I). Ein Beispiel weiterführender Mechanisierung zeigt Abb. 16 unter II; hier erfordert die Anordnung von Misch- und Vorratsbehältern weitere Fördereinrichtungen, ebenfalls ist der Einsatz eines Körnergebläses vorgesehen. Die für Großbestände zutreffende Mechanisierungslösung III umfaßt die Beschickung und Entleerung der Getreidelagerbehälter sowie die mechanische Entnahme des Mischfutters aus den

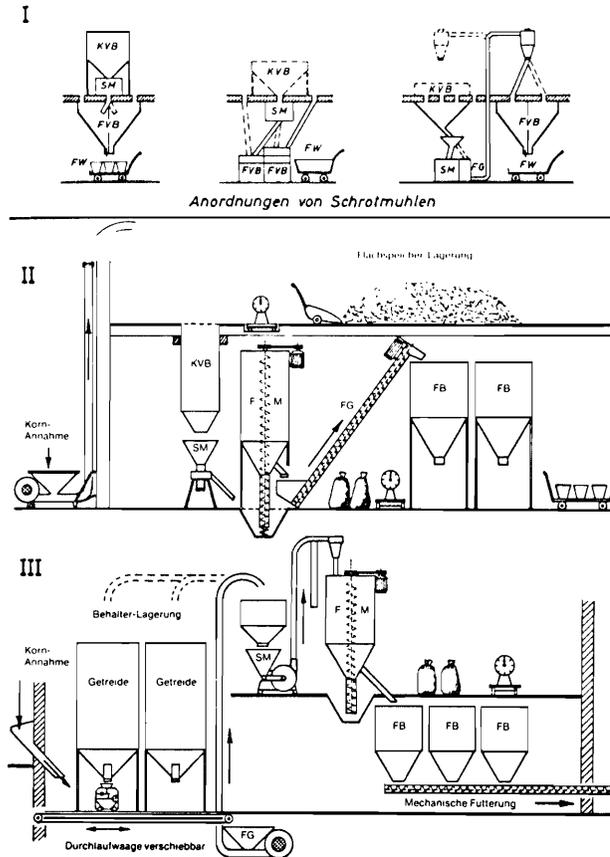


Abb. 16: Futterlager und Aufbereitungsanlagen bei Getreidemast (Anordnungsbeispiele)

Vorratsbehältern. Die spezielle Anordnung von Mühle und Futtermischer erübrigt hier den Einsatz weiterer Fördergeräte.

Die Mechanisierungsstufen I, II und III haben einen sehr unterschiedlichen Leistungsbedarf mit der Größe und der Anzahl der eingesetzten Elektromotoren. Zunächst müssen daher die Einzelgeräte mit ihren Leistungsansprüchen behandelt werden, um dann später in den Betriebsmodellen eine Zuordnung nach Betriebstyp und Bestandsgröße vorzunehmen.

### 3.1.1 Schrotmühlen

Nach Art und Wirkungsweise der Arbeitswerkzeuge lassen sich die Schrotmühlen in Stein-, Metallscheiben-, Walzen- und Hammernmühlen einteilen. Während bis

zum Jahre 1960 vornehmlich Steinmühlen im Einsatz standen (115), werden heute in landwirtschaftlichen Betrieben überwiegend Schlag- oder Hammermühlen verwendet (35, 58, 66, 102, 115). Nach WENNER (101) stehen die Hammermühlen in ihrer Vielseitigkeit der Verwendung an erster Stelle. Als weitere Vorteile werden der erreichbare Feinheitsgrad, Unempfindlichkeit gegen Fremdkörper, geringer Verschleiß und geringe Störanfälligkeit bei feuchtem Gut genannt. Nach den Kriterien der Störanfälligkeit und Leerlaufunempfindlichkeit sind für den Einsatz in landwirtschaftlichen Futteraufbereitungsanlagen neben den Hammermühlen lediglich Metallscheibenmühlen und Kreiselschroter geeignet (102). Nach VOSS (92) und WENNER (101) ist die Betriebssicherheit teil- und voll-automatisierter Anlagen durch Hammermühlen am besten gewährleistet. Aus den genannten Gründen wird im folgenden die Hammermühle genauer dargestellt, während die anderen Mühlenbauarten, die in der Praxis nur untergeordnete Bedeutung besitzen, lediglich in einen allgemeinen Leistungsvergleich miteinbezogen sind.

Das Zerkleinerungsprinzip der Hammermühlen besteht in der Zertrümmerung der Körner durch Schlagwerkzeuge und dem Aufprall der stark beschleunigten Teile auf die Pralleisten des Mahlgehäuses. Die Schlagwerkzeuge rotieren an einer Läuferscheibe (1400 - 3000 Umdrehungen/min) und sind beweglich aufgehängt. Die Zerkleinerung der Körner wird solange fortgesetzt, bis die Schrotteilchen ein Sieb bestimmter Lochung passieren können. Die Sieblochung bzw. Schrotfeinheit hat einen Einfluß auf den Energiebedarf und die Durchsatzleistung der Hammermühle. Da hinsichtlich der Schrotfeinheit und der Klassifizierung des Schrotes in der Literatur unterschiedliche Maßstäbe zugrunde liegen (101), wird bei Angaben über den Leistungsbedarf lediglich die jeweilige Sieblochung (2, 3 und 5 mm) genannt, wobei nach RIEMANN (66) mit einem 3-mm-Sieb für Schweinefutter geeignetes Feinschrot erzielbar ist.

Ein weiteres charakteristisches Merkmal ist der hohe Luftdurchsatz der Hammermühle, welcher sowohl zum Ansaugen des Gutes als auch zur Förderung des Schrotes nutzbar ist. Bei flügelartiger Ausbildung der Rotorscheibe kann bis zu 30 m weit gefördert werden. Mit einem Zusatzgebläse an der Mühle lassen sich Entfernungen über 100 m überbrücken.

Der Leistungsbedarf und die Durchsatzleistung der Hammermühle ist weiterhin abhängig von der Getreideart und dem Feuchtegehalt, der Abnutzung der Schrotwerkzeuge sowie der Bauart und Ausrüstung der Mühle (Siebfläche, Schrotkammer).

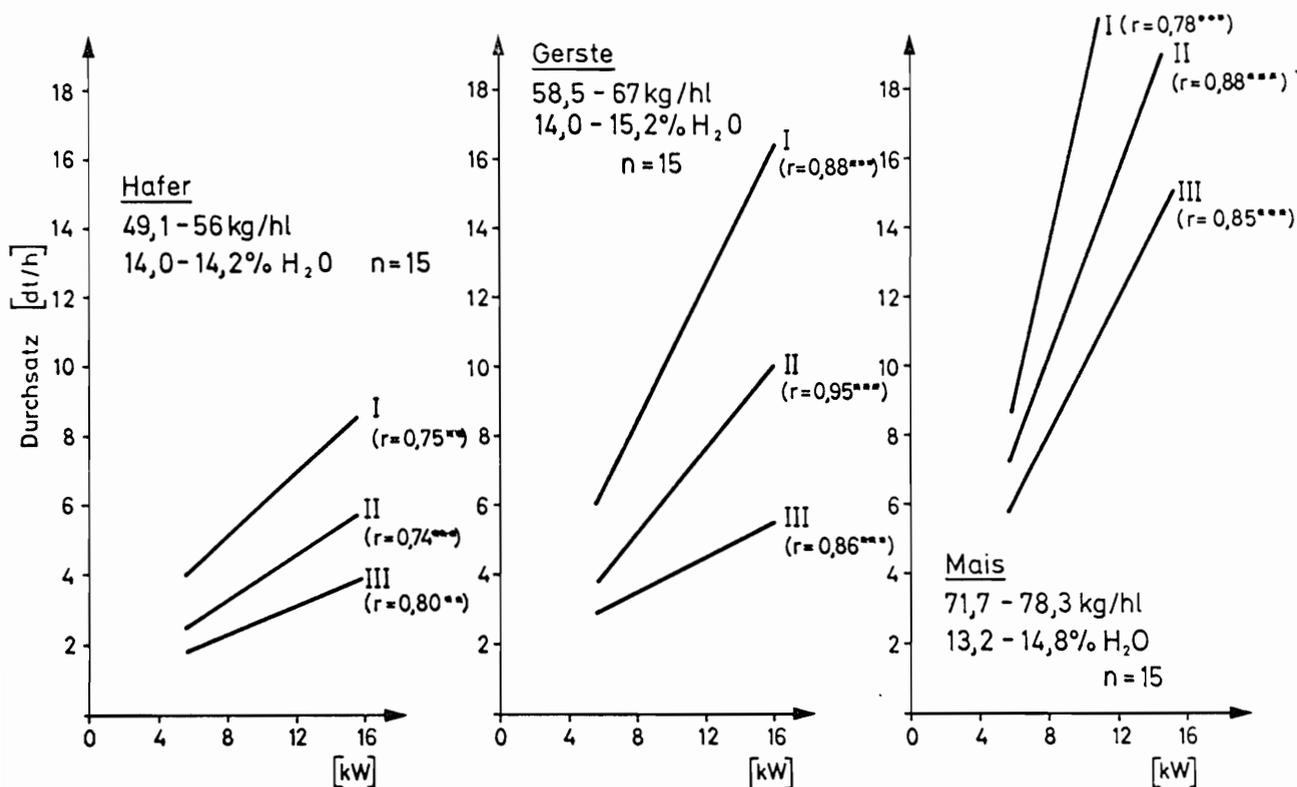


Abb. 17: Durchsatz und Leistungsbedarf DLG-geprüfter Hammermühlen  
Sieblochung: I = 5 mm, II = 3 mm, III = 2 mm

In Abbildung 17 sind die Werte von 15 DLG-geprüften Hammermühlen (121) nach den dortigen Messungen in Abhängigkeit von der Art des Fördergutes und der verwendeten Sieblochung zusammengefaßt. Die abgebildeten Beziehungen konnten jeweils hinsichtlich der direkten Korrelation zwischen Leistungsbedarf und Durchsatz und hinsichtlich ihres linearen Verlaufes statistisch abgesichert werden und sind auf der 95 %-Ebene höchstsignifikant. Es ist deutlich, daß Durchsatz und Leistungsbedarf stark von Sieblochung und Getreideart abhängen. Nach diesen Werten lassen sich die für die Betriebsmodelle erforderlichen Daten über die Mahldauer beliebiger Getreidemischungen herleiten. Ferner kann ermittelt werden, in welchem Maße sich eine Reduzierung bzw. Erhöhung der Mühlenleistung auswirkt.

Zur Überprüfung der DLG-Berichte wurden weitere Hammermühlen in der Praxis untersucht. Ein Beispiel ist in Abb. 18 angegeben, wobei Leistungsaufnahme und Durchsatz des Mahlgutes über ein Ampèremeter und über den Rüttelschuh an der Zufuhröffnung gesteuert waren. Mit einer nahezu konstanten Leistungsaufnahme in Höhe von 12 kW wurden 12,4 dt/h Weizen, 6,4 dt/h Gerste und 4,5 dt/h Hafer geschrotet (Sieblochung 3 mm). Diese Werte zeigen eine Übereinstimmung mit den in Abb. 17 angegebenen Daten. Sie schließen Leerlauf und Verlustarbeiten mit ein und liegen dementsprechend höher als der von WENNER (101) genannte spezifische Zerkleinerungsaufwand.

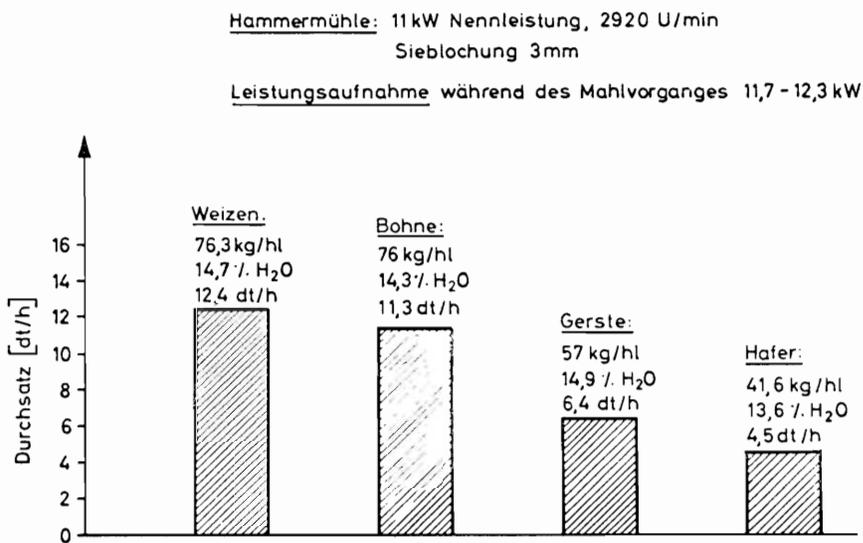


Abb. 18: Durchsatzleistungen einer Hammermühle bei unterschiedlichem Mahlgut (Regelung über Ampèremeter und Rüttelschuh)

Im folgenden wird an ausgewählten Beispielen der Mastschweinehaltung die Rückwirkung unterschiedlicher Mühlenleistungen auf das Futteraufbereitungsverfahren dargestellt (Abb. 19). Für die Bestandsgrößen mit 250, 600 und 1000 Mastplätzen sind zum Schroten der angegebenen Getreidekomponenten Hammermühlen mit 5, 10 und 15 kW Leistungsbedarf eingesetzt. Dieser Bereich entspricht den in der Praxis vorherrschenden und in den DLG-Prüfungen untersuchten Bauarten.

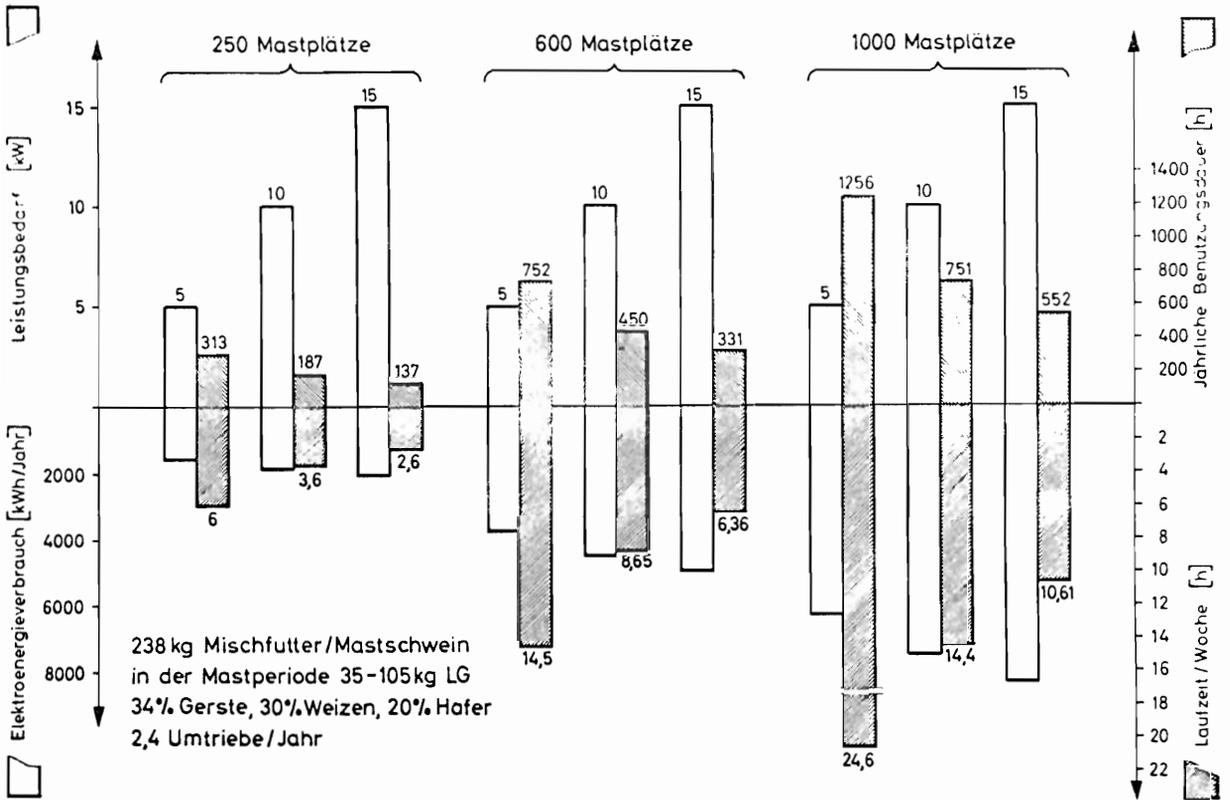


Abb. 19: Laufzeit und Leistungsbedarf unterschiedlich dimensionierter Hammermühlen in der Schweinemast

Mit den Werten der Abb. 17 lassen sich die entsprechenden Durchsatzleistungen der Mühlen für die Getreidekomponenten errechnen. Daraus leiten sich die jährliche Benutzungsdauer, die wöchentliche Laufzeit sowie der gesamte Elektroenergieverbrauch ab.

Bei 250 Mastschweineplätzen ergibt sich beispielsweise beim Einsatz einer Mühle mit 5 kW Leistungsbedarf die wöchentliche Laufzeit in Höhe von 6 Stunden. Höhere Mühlenleistungen (10 bzw. 15 kW) führen zu wesentlich kürzeren Laufzeiten (3,6 bzw. 2,6 h/Woche), womit sich der Arbeitsaufwand zur Überwachung der Futteraufbereitung sehr stark verringert. Allerdings wird in diesen geringen Bestandsgrößen die bereitgestellte elektrische Leistung nur sehr kurzfristig in Anspruch genommen und diese Lösung muß aus elektrizitätswirtschaftlicher Sicht heraus negativ beurteilt werden.

Bei größeren Tierbeständen mit 600 bzw. 1000 Mastplätzen steigt beim Einsatz der 5 kW-Hammermühle die wöchentliche Betriebszeit auf 14,5 bzw. 24,6 h an. Dies ist zwar elektrizitätswirtschaftlich weitaus günstiger, jedoch sind in diesen Fällen zur Überwachung der Anlage automatische Zusatzeinrichtungen notwendig, da sich sonst der hohe Arbeitsaufwand zu nachteilig auswirkt.

Der automatische Betrieb ist durch elektrische Schaltgeräte zu erreichen (101). Hier können zum selbsttätigen Ausschalten der Mühle Leermeldesalter in der Körnerzuführung oder Unterlastausschalter verwendet werden (Zweipunktregler über Ampèremeter). Da automatisch arbeitende Mühlen an eine gleichmäßige Zuführung des Körnergutes besondere Ansprüche stellen, kann z. B. bei Hammermühlen die Zuführung des Gutes am Einfuhrtrichter (Rüttelschuh) über einen Dreipunktregler gesteuert werden.

In vielen Fällen wird jedoch in der Praxis besonders bei größeren Schweinebeständen eine leistungsstärkere Hammermühle bevorzugt. Neben der höheren Funktionssicherheit größerer Geräte (66) - auch bei feuchtem und grobem Gut sind Verstopfungen bei den weiten Durchgängen seltener - kommen hier bei wesentlich kürzerer Laufzeit die gewünschten Leistungsreserven zur Geltung. In den in Abbildung 19 gezeigten Beispielen mit 600 und 1000 Mastschweinplätzen sinkt durch den Einsatz einer 15 kW-Hammermühle die wöchentliche Laufzeit auf 6,4 bzw. 10,6 h ab, womit allerdings die bereitgestellte Leistung wiederum mit 330 - 550 h/Jahr ungenügend ausgenutzt wird.

Die durch den Einsatz leistungsstarker Hammermühlen auftretende Belastungsspitze kann jedoch verhindert werden. Das Schroten ist ein relativ unabhängiger Arbeitsvorgang und kann zu den verschiebbaren Höfarbeiten gezählt werden. Somit ist eine Verriegelung gegenüber anderen Arbeitsvorgängen möglich; diese Maßnahmen, die installationstechnischen Einrichtungen sowie die elektrizitätswirtschaftlichen Auswirkungen werden in Kapitel 7 anhand der Produktionsmodelle diskutiert.

Wie anfangs erwähnt wurde, spielen die Metallscheibenmühlen und Kreiselschroter gegenüber den Hammermühlen eine nur untergeordnete Rolle. Der erforderliche Leistungsbedarf für diese Bauarten beträgt:

<u>Metallscheibenmühlen</u> (Nach: 35, 66, 101)	1,2 - 1,5 kW/(dt/h) (Gerste) max. Durchsatz: 16,7 dt/h
	2,0 - 2,4 kW/(dt/h) (Hafer) max. Durchsatz: 10 dt/h
	0,9 - 1,2 kW/(dt/h) (Mais) max. Durchsatz: 21,7 dt/h

### Kreiselschroter

Bei ähnlichen Durchsatzleistungen wie bei den Hammermühlen beträgt der Leistungsbedarf 106 % - 110 % der dort genannten Werte (66).

Von diesen letztgenannten Mühlenbauarten zeichnet sich lediglich die Metallscheibenmühle durch einen gegenüber der Hammermühle 20 % geringeren Leistungsbedarf aus. Der überwiegende Nachteil ist jedoch in beiden Fällen in der geringen Luftförderung zu sehen. Auf der Einlaufseite läßt sich keine Fremdkörperfangmulde anbringen und beim Auslauf muß zur Weiterförderung des Schrottes ein Zusatzgebläse eingesetzt werden.

Darüber hinaus sind die Metallscheibenmühlen sehr empfindlich gegenüber höherer Kornfeuchte, bei einem Anstieg von 14 % auf 18 % Wassergehalt beispielsweise durch einen um 20 % bis 30 % höheren spezifischen Zerkleinerungsaufwand (WENNER, 101). Bei etwa 20 % Wassergehalt ist hier die Grenze der Mahlbarkeit erreicht, da die Schrotwerkzeuge verschmieren. Aus diesen Gründen werden in der Praxis die Hammermühlen diesen Bauarten vorgezogen.

### 3.1.2 Futtermischer

Bei der Herstellung hofeigener Kraftfuttermischungen ist neben der Zerkleinerung der Getreideanteile die Beimischung von Zusatzkomponenten notwendig (Eiweißkonzentrat u. a.). Falls dies nicht in einem Arbeitsgang durch die Hammermühle selbst durchgeführt wird (siehe Mischfutteraufbereitung im Fließsystem, Kap. 3.1.3), sind separate Mischbehälter notwendig.

Bei diesen absätzigen Verfahren wird jeweils das Fassungsvermögen des Behälters gemischt und anschließend zwischengelagert. Diese zylindrischen Behälter sind mit einer senkrechten zentralen Mischschnecke versehen. Nach ihrer Bauart ist zwischen Freimischern und Zwangsmischern (ummantelte Schnecke) zu unterscheiden. Bei letzteren wird durch die Zwangsführung des Gutes eine

bessere Mischung in kürzerer Zeit erreicht (66, 102), während bei grobstückigem Gut Freimischer Vorteile haben können. Für die Einordnung in die Gebäude ist die Art der Beschickung von Bedeutung; neben der Obenbefüllung kann bei den meisten Bauarten mit einem speziellen Trichter und nach unten verlängerter Mischschnecke auch von unten befüllt werden.

Das Marktangebot der zur Zeit gebräuchlichen Futtermischer umfaßt Geräte mit 300 - 2000 kg Fassungsvermögen, wobei Antriebsmotoren zwischen 2,2 und 5,5 kW installiert sind (121). Die Auswertung dieser DLG-geprüften Mischer zeigt, daß in diesen Größenordnungen keine direkte Abhängigkeit zwischen Mischergröße und Motorenstärke bzw. der Leistungsaufnahme abzuleiten ist. Bei vollem Nutzinhalt wird von den stärkeren Motoren (>3 kW) durchschnittlich nur 57 % der Nennleistung benötigt, während die kleineren Motoren (2,2 kW Nennleistung) 113 % bis 122 % der Nennleistung aufnehmen. Zur Überprüfung dieser Angaben wurden erneute Messungen an Futtermischern durchgeführt. Während des Füllvorganges steigt die Leistungsaufnahme gleichmäßig vom Leerlauf ausgehend an (30 % der Nennleistung), auch bei diesen Messungen traten nur maximal 50 - 55 % des Nennleistungsbedarfes an den größeren Motoren auf. Die Leistungsreserven müssen jedoch vorhanden sein, da während der Beimischung schwer rieselfähiger Güter höhere Leistungsansprüche auftreten können, wie die Prüfberichte beweisen. Daher wird im folgenden von einer Nennleistung der Motoren in Höhe von 4 kW für Mischbehälter mit 1500 - 2000 kg Fassungsvermögen ausgegangen.

Der zur Erreichung der erforderlichen Mischgenauigkeit angegebene Zeitbedarf schwankt zwischen 7 und 20 Minuten (121), wobei eine bestimmte Mischgenauigkeit als Maßstab diente. Nach RIEMANN (66) sollte ein Mischungsverhältnis von 1 : 100 (1 % Komponentenanteil) nicht unterschritten werden. Auch WENNER (101) veranschlagt für eine übliche Mischzeit zwischen 10 und 20 Minuten, allerdings sind in der Praxis sehr unterschiedliche Werte anzutreffen, da die Mischer während des Füllens (Laufzeit der Mühle) sehr oft eingeschaltet sind und außerdem die zum Entleeren benötigte Zeit (Absacken oder freier Auslauf) sehr unterschiedlich ist.

Bei den weiteren Berechnungen werden 20 min Mischzeit und freier Auslauf des Futters zugrunde gelegt (Laufzeit des Motors 20 min). Der Elektroenergieverbrauch resultiert daher aus der gesamten Futtermenge und der notwendigen

Anzahl der Mischvorgänge (Fassungsvermögen des Behälters). Unterstellt man 238 kg Mischfutter pro Mastschwein für die gesamte Mastperiode (vgl. Abb. 19), so sind bei einem Fassungsvermögen des Behälters von 1000 kg 0,17 kWh pro Mastschwein und bei einem Fassungsvermögen des Behälters von 2000 kg 0,085 kWh pro Mastschwein zu kalkulieren (installierte Motorenleistung in beiden Fällen 4 kW, durchschnittliche Leistungsaufnahme während des Mischvorganges 2,2 kW).

Die im vorhergegangenen Kapitel angedeutete Möglichkeit, den Schrotvorgang ohne zusätzliche Überwachung durch eine Arbeitskraft automatisch z. B. auch nachts durchzuführen setzt voraus, daß der Mischbehälter die in dieser Zeit anfallende Schrotmenge aufnehmen kann. Wird beispielsweise die bereits in Abb. 19 unterstellte Futtermischung mit 34 % Gerste, 30 % Weizen und 20 % Hafer zugrunde gelegt, so wird mit der 5 kW-Mühle in 1 Stunde die anteilige Getreidemenge für 500 kg Mischfutter, mit der 10 kW-Mühle die Getreidemenge für 770 kg Mischfutter und mit der 15 kW-Mühle die Getreidemenge für 1 110 kg Mischfutter geschrotet. Falls also 3 Stunden automatisch gearbeitet werden soll, sind Behälter mit dem Fassungsvermögen von 1 500 kg (5 kW-Mühle) bis zu 3 300 kg (15 kW-Mühle) notwendig. In der Praxis muß daher in stärkerem Maße auf den Einsatz genügend großer Mischbehälter geachtet werden, zumal hierbei der Leistungsbedarf nicht höher ist und demnach ein geringerer jährlicher Elektroenergieverbrauch eintritt.

### 3.1.3 Kontinuierlich arbeitende Schrotaufbereitungsanlagen

Bei der kontinuierlichen Mischfutterherstellung fließen die Einzelkomponenten nach einer automatischen Volumendosierung der Mühle zu und werden mit dem geschroteten Gut zu fertigem Mischfutter aufbereitet. In vielen Fällen findet eine Hammermühle mit hohem Luftdurchsatz Verwendung (angebautes Zusatzgebläse), welche die Getreidekomponenten über die Saugleitung der Mühle in die Mahlkammer fördert. Die übrigen Komponenten gelangen durch einen zweiten Ansaugstutzen direkt in den Gebläseraum. Die Dosierelemente können als Band- oder Kratzketten, Schnecken, Zellenräder, Vibratoren oder Tellerdosierer ausgebildet sein. Nach RIEMANN (66) haben die Dosierelemente bei richtiger Handhabung eine ausreichende Genauigkeit, wobei die Abweichungen zwischen 1 % und 5 % der Sollmenge liegen können.

Der Leistungsbedarf dieser automatisch arbeitenden Schrotaufbereitungsanlagen weicht in einigen Punkten vom absätzigen Verfahren ab:

- a) Leistungsbedarf der Dosierelemente
- b) Der separate Futtermischer entfällt
- c) Zum Ansaugen des Gutes (maximal 5 m Saugleitung) wird eine höhere Luftleistung benötigt, um eine störungsfreie und gleichmäßige Zuführung zu ermöglichen.

Außerdem müssen in vielen Fällen weitere Förderwege mit der von der Mahlkammer ausgehenden Druckleitungen überbrückt werden, da die verfahrenstechnischen Vorteile erst dann voll zur Geltung kommen, wenn direkt die Vorratsbehälter im Stall oder die Fütterungsanlage mit dem Mischfutter beschickt werden.

Nach Firmenangaben sind daher lediglich bei Förderweiten unter 50 m leistungsschwächere Mühlen mit 7,5 - 10,0 kW Nennleistung einzusetzen, bei Förderwegen zwischen 50 und 100 m sind Mühlen mit 11, 15 oder 18,5 kW Nennleistung geeignet. Ein weiteres Zusatzgebläse (4 kW) muß nach 100 m Rohrleitung eingebaut werden, um noch weitere Förderstrecken zu überwinden. Der Leistungsbedarf der Dosierelemente ist dagegen gering, er beträgt je nach Bauart pro Gerät 0,1 - 0,24 kW.

Ein Vergleich der kontinuierlich-automatisch arbeitenden Schrotaufbereitungsanlagen mit den herkömmlichen absätzigen Verfahren verdeutlicht, daß durch das Entfallen des Futtermischers bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Leistungsbedarfes der Dosierelemente 3,0 - 3,5 kW weniger benötigt werden. Weitere Einsparungen sind möglich, da zusätzliche Geräte zur Weiterförderung des Mischfutters in die Zwischenlager entfallen. Andererseits können jedoch die vorgeschlagenen Leistungssenkungen bei den Mühlenaggregaten aufgrund der erforderlichen hohen Luftförderleistung nicht durchgeführt werden, insbesondere dann, wenn durch die räumliche Anordnung Förderstrecken über 50 m benötigt werden.

### 3.2 Getreideförderung

Die Geräte zur Förderung von Getreide und Futterkomponenten sind neben ihrer Wirkungsweise - mechanisch oder pneumatisch - folgendermaßen einzuordnen:

#### Stückgutförderung

- a) Sackaufzug
- b) Förderband

#### Schüttgutförderung

- a) Schwingförderer und Trogkette (horizontale Förderung)
- b) Becherwerk (vertikale Förderung)
- c) Schnecken, Rohrketten, Fördergebläse (vertikale, schräge und horizontale Förderung).

Die Schüttgutförderung spielt in modernen Betrieben eine bedeutendere Rolle als die Stückgutförderung, daher werden vornehmlich diese Geräte zusammenfassend nach Literaturangaben erläutert und durch Daten über den erforderlichen Leistungsbedarf nach RIEMANN (67), DLG-Prüfberichten (121) und Firmenangaben (133) ergänzt.

Der Schwingförderer wird ausschließlich zur waagerechten Förderung verwendet, die Einsatzmöglichkeiten sind mit der festen Installation im Gebäude begrenzt. Nach ROOS (70) ist der Schwingförderer vornehmlich für die Förderung von Körnergut geeignet, die Förderleistung ist vom Rinnenquerschnitt (es sind Breiten zwischen 200 und 250 mm und Höhen zwischen 150 und 200 mm üblich) und von Hubweg und Schwingungszahl abhängig. Bei trockenem Gut sind Durchsätze von 8 t/h bis 20 t/h erzielbar (Weizen 17 % Feuchte). Bei feuchtem Gut sinkt mit wachsendem Reibungsverlust die Durchsatzleistung, so daß bei einer Kornfeuchte von 25 % mit einer 40 %igen Verminderung der Förderleistung gerechnet wird. Die installierte Motorenleistung beträgt je nach Hersteller und Typ der Anlage bei Förderlängen von 5 - 10 m 0,37 - 1,1 kW, bei Anlagen mit mehr als 10 m Länge maximal 1,5 kW (67). Durch die Anordnung mehrerer Geräte hintereinander können beliebige Förderstrecken überwunden werden.

Der Trogkettenförderer ist als stationäres Fördergerät zur waagerechten oder wenig ansteigenden Förderung auch feuchten Getreides geeignet und wird hauptsächlich in landwirtschaftlichen Lagerhäusern verwendet. In sehr großen Anlagen können bis zu 50 t/h Getreide gefördert werden, bei einem mittleren Querschnitt (160 x 210 mm) werden je nach Kettengeschwindigkeit (0,2 - 1,5 m/s) 10 - 30 t/h gefördert. Hier ist eine Leistung von 0,073 kW je laufendem Meter Trog notwendig (67).

Mit dem Becherwerk ist die senkrechte Förderung von Getreide auf alle in der Landwirtschaft in Betracht kommende Förderhöhen möglich. Das Fördergut wird in der Höhe durch die Fliehkraft über einen Auslaufstutzen abgeworfen. Die erreichbare Förderleistung ist von der Gurtgeschwindigkeit, den Abmessungen und Abständen der Becher abhängig. In landwirtschaftlichen Betrieben sind Bauarten mit einer Leistung bis zu 40 t/h verbreitet. Die erforderliche Motorenleistung zeigt Abb. 20 nach Firmenangaben (67, 133). Bei einer Förderleistung von 10 t/h sind 0,7 kW (5 - 10 m Förderhöhe) bis 1,1 kW (15 - 20 m Förderhöhe) zu installieren, bei 30 t/h Förderleistung steigt die erforderliche Motorenleistung auf 1,5 kW (5 - 10 m Höhe) bis 3,0 kW (15 - 20 m Höhe) an.

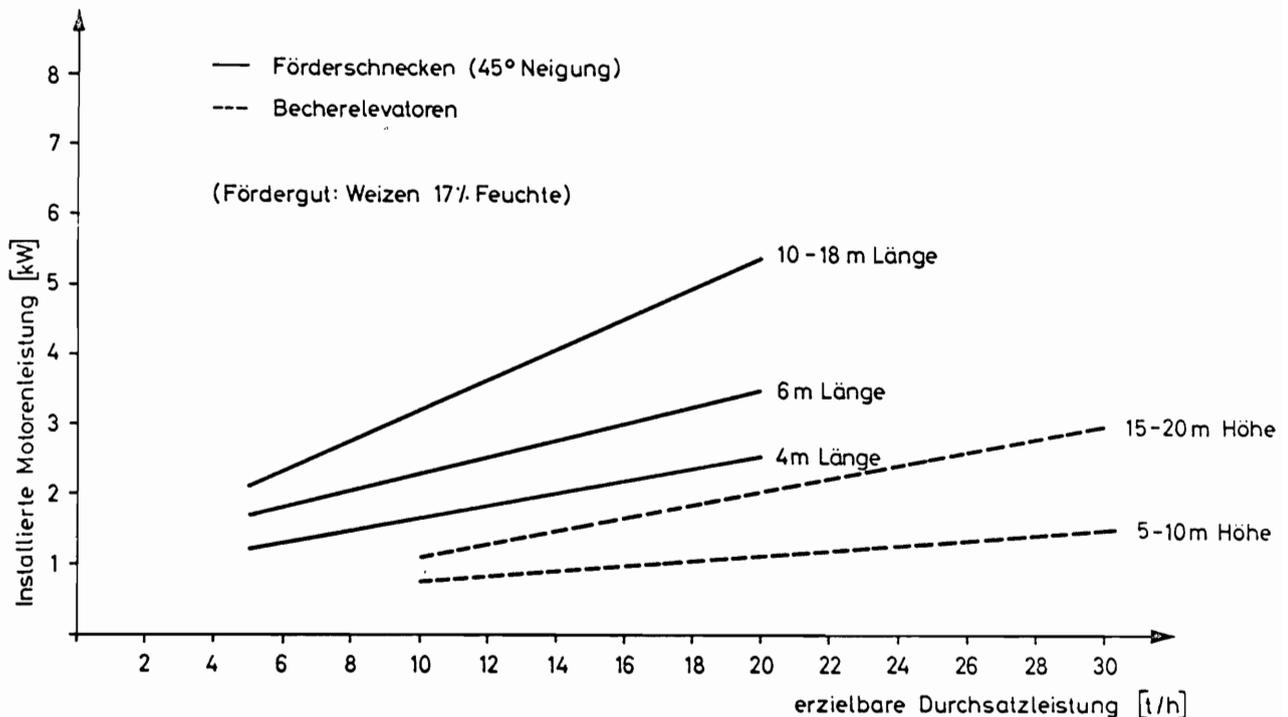


Abb. 20: Leistungsbedarf von Elevatoren und Förderschnecken in Abhängigkeit des erzielbaren Durchsatzes bei Körnergut (nach 67)

Zur vertikalen und horizontalen Förderung eignen sich Förderschnecken mit geschlossenem Rohr. Zwar sind Förderanlagen bis zu 18 m möglich, in der Landwirtschaft werden aber am häufigsten Schnecken zwischen 3 und 6 m Länge eingesetzt (102). Der Leistungsbedarf und die Förderleistung sind vom Rohrdurchmesser (90 - 160 mm), der Schneckendrehzahl, der Länge des Einlaufes, dem Neigungswinkel und der Art des Fördergutes abhängig. In Abb. 20 ist die Nennleistung der installierten Motoren bei unterschiedlichen Förderlängen angegeben. Diese Werte sind nach Firmerangaben ermittelt, welche von RIEMANN (67) tabellarisch zusammengefaßt sind. Die erzielbaren Durchsatzleistungen beziehen sich auf einen Neigungswinkel von  $45^\circ$  und auf Weizen mit 17 % Feuchtegehalt. Die unterschiedlichen Durchsatzleistungen der Schnecken sind hier auf die verschiedenen Bauarten zurückzuführen (Durchmesser und Drehzahl). Um eine Förderleistung von 20 t/h zu erreichen, wird eine Nennleistung mit 3,5 kW bei Förderlängen bis zu 6 m benötigt, für Schneckenlängen von 10 bis maximal 18 m finden Motoren bis zu 5,5 kW Nennleistung Verwendung.

Ausgehend vom dargestellten Neigungswinkel  $45^\circ$  beträgt bei senkrechter Förderung die Leistung nur etwa 40 - 50 % der angegebenen Werte, bei  $15^\circ$  Neigung sind höhere Durchsatzleistungen erreichbar (zwischen 120 % und 140 % der angegebenen Werte).

Rohrkettenförderer sind für die horizontale und vertikale Förderung von Körnergut und Kraftfuttermischungen geeignet. Durch  $90^\circ$  oder  $180^\circ$  Umlenkstationen läßt sich eine sehr gute Anpassung an verschiedene Gebäude erreichen. Der Leistungsbedarf richtet sich nach der Förderlänge. Es werden für Kettenlängen bis zu 25 m 1,1 kW und bis zu 60 m 2,2 kW-Motoren installiert (133), wobei eine maximale Förderleistung von 6 t/h bei Schwergetreide (Weizen) erreichbar ist. Eine leistungsfähigere Anlage leistet maximal 12 t Schwergetreide pro Stunde, wobei 2,2 bzw. 4,0 kW-Motoren benötigt werden.

Zur pneumatischen Förderung werden Körnergebläse unterschiedlicher Bauart verwendet. Diese Gebläse arbeiten meistens als Schleusengebläse, wobei das Gut entweder durch eine Injektorschleuse oder durch eine mechanische Schleuse (Zellenrad) in die Förderleitung eingebracht wird. Letztgenannte Bauart ermöglicht auch bei größeren Entfernungen hohe Durchsatzleistungen. Der elektrische Leistungsbedarf hängt von der geförderten Luftmenge (Rohrdurchmesser und Geschwindigkeit, maximal 24 m/s) (35, 70) und von dem Gesamtwiderstand der Rohrleitung ab

(Durchsatz, Art des Fördergutes, Förderlänge). HONIG (35) stellte 1965 die verfügbaren Leistungsangaben zusammen, wobei unterschiedliche Rohrdurchmesser berücksichtigt wurden. Die z. Zt. auf dem Markt verfügbaren Bauarten haben im wesentlichen einheitliche Rohrdurchmesser mit 150 mm  $\varnothing$ , die Angaben in Tab. 9 sind nach Leistungswerten aus neuen Firmenangaben zusammengestellt. Die Werte beziehen sich auf die Förderung von Weizen mit 15 % Feuchtegehalt und auf waagrechte Förderung einschließlich 2 Bogen mit 90°. Zur Umrechnung der Förderlänge ist folgender Schlüssel anzuwenden:

1 m Senkrecht-Förderung = 2 m Waagrecht-Förderung  
 1 Bogen 90° = 4 - 8 m Waagrecht-Förderung.

Nach DLG-Prüfungen (121), welche in neuerer Zeit lediglich an einigen Gebläsen mit geringerer Leistung durchgeführt wurden, verringert sich die Durchsatzleistung bei Weizen mit einem Feuchtegehalt von 23 - 24 % um 25 - 30 % der angegebenen Förderleistung. Bei Hafer (15 % Feuchtegehalt) werden gegenüber den in Tab. 9 angegebenen Durchsatzleistungen 15 % geringere Werte erzielt.

Aufgrund fehlender Meßergebnisse über die Leistungsaufnahme der Fördergebläse während der Getreideförderung wird diese im folgenden der angegebenen Nennleistung gleichgesetzt. Da jedoch hierbei auch mit der maximalen Förderleistung kalkuliert wird, können die Abweichungen gegenüber praktischen Einsatzbedingungen nur gering sein.

Tabelle 9: Erzielbare Förderleistung (Weizen, 15 % TM) und installierte Motorenleistung für Körnergebläse bei Druckförderung (nach Firmenangaben)

Gebläsebauart (150 mm Rohr $\varnothing$ )	Inst. Motorenleistung kW	Förderleistung (dt/h) bei 2 x 90° Bogen und einer waagrechten Förderlänge von			
		20 - 25 m	40 - 50 m	75 - 80 m	100 m
Injektorschleuse	1,5 - 2,2	23 - 28	17 - 18	9	
	3,0	30 - 36	20 - 24	12	
	4,0 - 5,5	45 - 49	30 - 32	22	
	7,5	57	37	-	
Zellenradschleuse	4,0	76	43	32	27
	7,5	96 (61)*	82 (49)*	67 (40)*	53 (36)*
	11 - 15	136 - 150 (79 - 104)*	114 - 130 (67 - 84)*	90 - 120 (50 - 68)*	74 - 100 (42-61)*

( ) \* Diese Werte beziehen sich auf Saug-Druckbetrieb

Einen Überblick und Vergleich der in diesem Kapitel beschriebenen Geräte zur Körnerförderung zeigt Tab. 10. Hinsichtlich des Durchsatzes und der Förderlängen sind lediglich die in der Landwirtschaft üblichen Geräte dargestellt. Bei industriellen Anlagen sind zum Teil wesentlich größere Dimensionierungen notwendig. Es ist ersichtlich, daß die mechanischen Fördergeräte bei geringem Leistungsbedarf und höherer erzielbarer Durchsatzleistung die pneumatisch arbeitenden Körnergebläse in ihrer Eignung übertreffen.

Tabelle 10: Leistungsbedarf und Förderleistung der Geräte zur Körnerförderung

	Vergleichswert bei 20 m Länge		max. Länge	max. Durchsatz	Installierte Motorenleistung
	t/h	kW	m	t/h	kW
Körnergebläse	9,5	7,5	100	5,3	7,5
Rohrkette	6,0	1,1	60 (Kette)	12,0	2,2
Trogkette	20,0	1,5	50	30,0	4,0
Rohrschnecke (15 m Länge)	6,0 15,0	2,2 4,0	18	20,0	5,5
Elevator	10,0 25,0	1,1 2,2	20 (Höhe)	30,0	3,0
Schwingförderer	15,0	1,5	25	15,0	1,5

In der Praxis können unterschiedliche Verfahren der Körnerförderung zweckmäßig sein (Anpassung an Gebäudeform und Lage der Vorratsbehälter). Um jedoch den elektrischen Leistungsbedarf und den Elektroenergieverbrauch verschiedener Fördersysteme zu verdeutlichen, werden vier Lösungen anhand des Flußdiagrammes einer einfachen Getreidelagerungsanlage dargestellt (Abb. 21).

Durch die Anordnung der Reinigungs- und Trocknungsanlagen werden in diesem Beispiel 2 Überhebungen benötigt, welche auf Abb. 21 mit 2 Elevatoren ( $E_1$  und  $E_2$ ) durchgeführt werden. Die mittlere Entfernung von den Silozellen  $S_1 - S_3$  zur Annahmemulde der zweiten Überhebung beträgt 6 m, auf diesem Wege können die Silos (5 m Höhe) entleert werden. Folgende Lösungen für die Mechanisierung der Annahme, der Beschickung und der Entleerung der Silos bieten sich

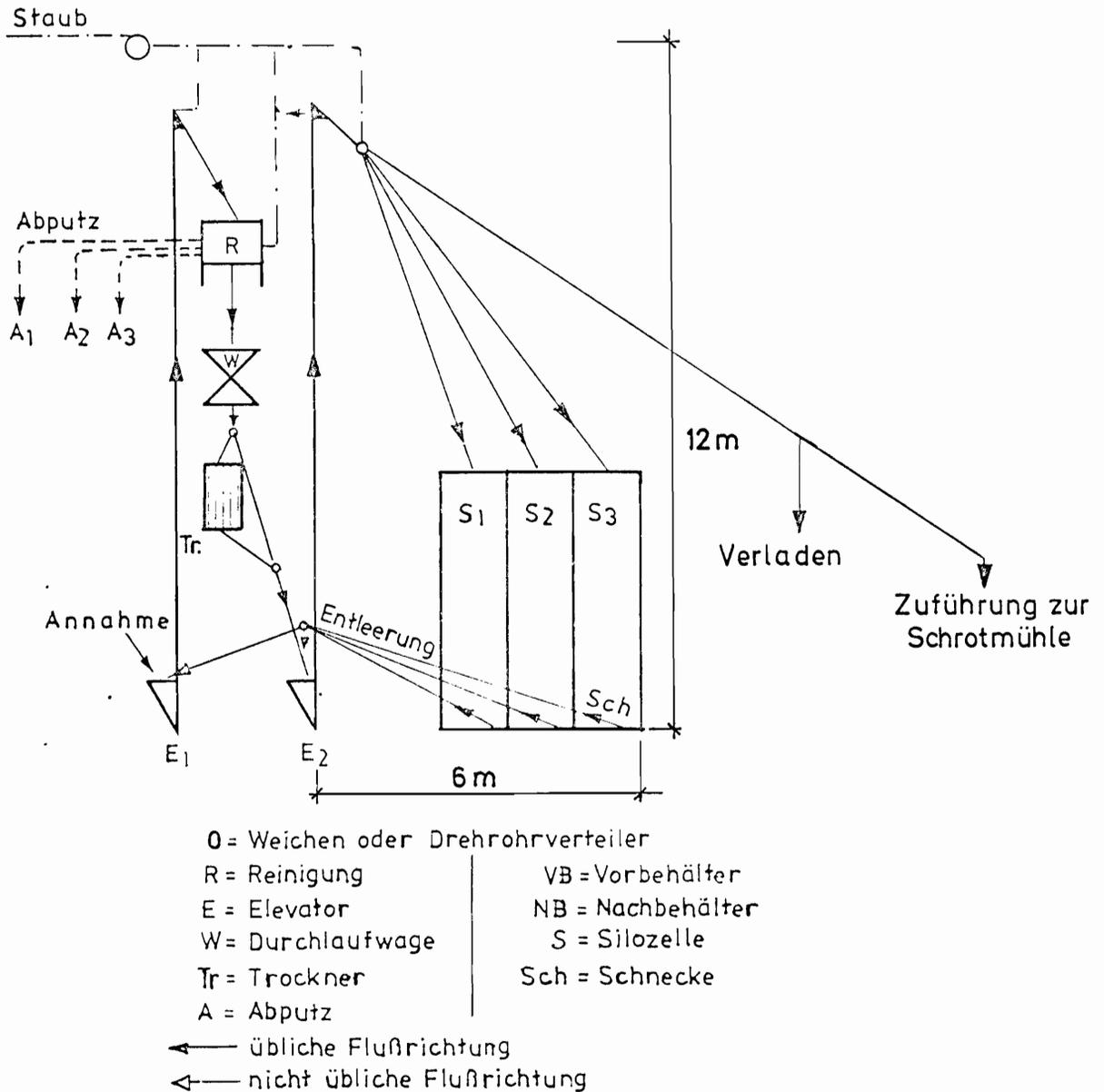


Abb. 21: Flußdiagramm einer Getreidelagerungsanlage

an, wobei zur Ermittlung des Leistungs- und Energiebedarfes eine Mindestförderleistung von 5 t/h und eine jährliche Gesamtmenge von 500 t Getreide unterstellt sind (Auslastung 100 h/Jahr).

Lösung 1:

Hier werden die in Abb. 21 angedeuteten Fördergeräte berücksichtigt. Es sind dies zwei Elevatoren mit je 1,1 kW Nennleistung und einer Förderleistung von 10 t/h sowie eine Förderschnecke zur Entleerung der Getreidesilos

(2,2 kW Nennleistung, Förderleistung 6 t/h). Bei der unterstellten Gesamtmenge von 500 t Getreide werden jährlich 348 kWh benötigt (gesamt installierte Leistung der Fördergeräte: 4,4 kW).

#### Lösung 2:

Beim Einsatz eines Saug-Druckgebläses wird die erste Überhebung durch die Saugleitung und die zweite Überhebung gleichzeitig durch die Druckleitung durchgeführt. Die Entleerung der Silos kann durch eine einfache Druckleitung nach vorherigem Umstellen des Gebläses durchgeführt werden. Die Gesamtlänge der Saug-Druckleitung beträgt 20 m (zusätzlich 4 Bogen mit  $90^\circ$ ). Um eine Förderleistung von 6,7 t/h zu erreichen, wird ein Gebläse mit 11 kW Nennleistung benötigt. Bei der Entleerung der Getreidesilos über die Druckleitung (15 m Länge) fördert das gleiche Gebläse 13,6 t/h. Bei dieser Mechanisierung werden jährlich 1 224 kWh verbraucht.

#### Lösung 3:

Mit einem Rohrkettenförderer (2,2 kW) können durch geeignete Umlenkstationen beide Überhebungen mit einem Förderaggregat durchgeführt werden. Die Entleerung der Getreidesilos ist mit diesem Gerät ebenfalls möglich (Gesamtlänge der Kette 50 m). Da 6 t Getreide in der Stunde gefördert werden, beträgt der Energieverbrauch jährlich 366 kWh.

#### Lösung 4:

Hier ist für die Annahme und die erste Überhebung eine Rohrschnecke vorgesehen, diese kann auch zur Entleerung der Lagerbehälter verwendet werden. Die Anwendung einer 6 m langen Rohrschnecke (2,2 kW, 6 t/h Förderleistung) setzt allerdings eine andere Anordnung der Reinigungs- und Trocknungsanlagen voraus. Für die zweite Überhebung kann ein einfaches Druckgebläse verwendet werden (15 m Druckleitung, 2 x  $90^\circ$  Bogen, 7,5 kW Nennleistung, Förderleistung: 5,7 t/h). In diesem Falle sind 7,9 kW zu installieren (jährlicher Elektroenergieverbrauch 1 023 kWh).

Zusammenfassend wird deutlich, daß beim Einsatz von Elevatoren, Förderschnecken oder Rohrkettenförderern wesentlich geringere elektrische Leistungsansprüche

gestellt werden als dies bei Verwendung eines Körnergebläses der Fall ist. Im vorangegangenen Beispiel sind dadurch 5 - 9 kW weniger zu installieren. Diese Vorteile werden unterstrichen durch den ebenfalls geringeren Energieverbrauch. Hierbei sind etwa 75 % der von den pneumatischen Fördergeräten verbrauchten Energiemenge einzusparen, da bei geringerem Leistungsbedarf eine höhere Durchsatzleistung erzielbar ist. Im angegebenen Beispiel sind dies 650 bis 900 kWh pro Jahr weniger. Obwohl die Auswahl der Geräte zur Körnerförderung auch nach baulichen und anderen technischen Gesichtspunkten zu erfolgen hat, muß aus elektrizitätswirtschaftlicher Sicht auf diese Zusammenhänge hingewiesen werden.

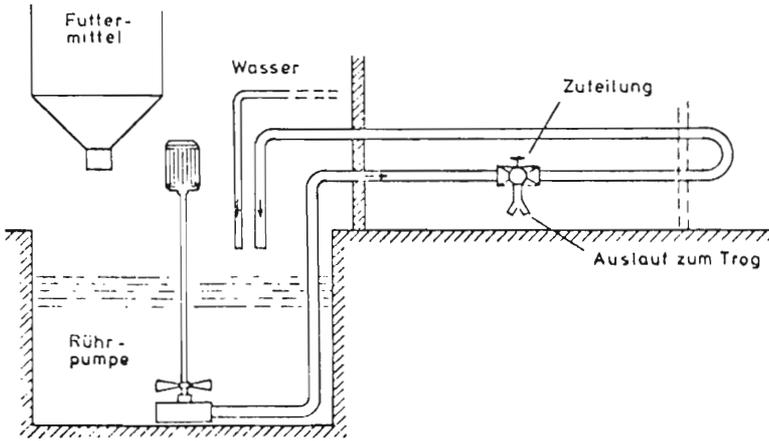
### 3.3 Fütterungsanlagen

Fütterungsverfahren der Mastschweinehaltung umfassen grundsätzlich das Fördern, Dosieren und die Vorgabe des Futters. Hinsichtlich des Elektroenergiebedarfes sind sowohl Flüssigfütterungsanlagen mit der Verwendung leistungsstarker Pumpen und Rührwerke als auch mechanische Anlagen und Geräte zur Verteilung und Dosierung von Trockenfutter von Bedeutung. Bei dieser Erörterung werden die ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Gesichtspunkte des Einsatzes in bestimmten Bestandsgrößen nur soweit berücksichtigt, als dies zur Erarbeitung der Betriebsmodelle erforderlich ist.

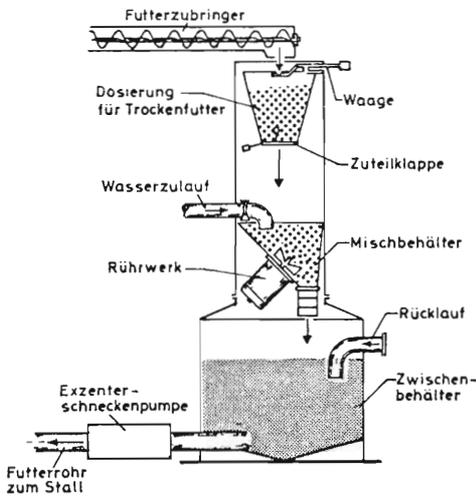
#### 3.3.1 Flüssigfütterung

Bei der Flüssigfütterung ist zwischen absätzigen und kontinuierlichen Verfahren zu unterscheiden, sie sind mit Handbedienung, halbautomatisch oder vollautomatisch durchführbar.

Beim absätzigen Verfahren wird die Gesamtfuttermenge für eine Stalleinheit in einem Mischbehälter aufbereitet und durch eine Rohrleitung in den Stall gepumpt (Abb. 22, I). Beim kontinuierlichen Verfahren erfolgt das Anmischen in kleinen Rationen automatisch während des Fütterns; gepumpt wird solange, bis alle Schweine versorgt sind (Abb. 22, II). Bei diesem Verfahren kann durch Ventilsteuerung am Auslauf zum Trog vollautomatisch gearbeitet werden. Bei Handzuteilung und kontinuierlichem Anmischen oder bei absätzigen Verfahren mit automatischer Zuteilung ist von halbautomatischem Betrieb zu sprechen.



I  
Mischbehälter  
mit Kreiseltauch-  
pumpe



II  
Automatische  
Anlage mit  
Exzentrerschnek-  
kenpumpe, Rühr-  
werk und Futter-  
schnecke

Abb. 22: Schematische Darstellung von Flüssigfütterungsanlagen  
(nach BOXBERGER, 8)

Die bei Flüssigfütterungsanlagen auftretenden Elektroenergieverbraucher sind in Abb. 22 schematisch angedeutet. Die Pumpen sind zwar bei bestimmter Ausführung auch zum Rühren geeignet wie es in Abb. 22, I dargestellt ist, daneben können aber separate Rührwerke sowie Förderschnecken für das Trockenfutter und Wasserpumpen zur Anwendung gelangen. Als Pumpen werden vorwiegend Kreiseltauchpumpen verwendet (39, 47, 91), welche einen Betriebsdruck von etwa 2 bar bei Rohrdurchmessern zwischen 60 und 70 mm erreichen. Hierbei sind Förderlängen bis zu 120 m möglich. Dagegen sind die Vorteile der Exzentrerschneckenpumpen

darin zu sehen, daß sie mit 6 - 9 bar Betriebsdruck auch bei dickflüssigen Futtermischungen und Förderwegen bis zu 800 m einsetzbar sind (39).

Die Motorleistung läßt sich nach folgender allgemeinen Formel ermitteln:

$$N_M = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{360 \cdot 75 \cdot \eta_{\text{ges.}}} \quad 0,735 \quad [\text{kW}]$$

Es bedeuten

- Q = Durchflußmenge  $\text{m}^3/\text{h}$
- $\gamma$  = spez. Gewicht der Flüssigkeit  $\text{kg}/\text{m}^3$
- H = Gesamtdruck bar
- $\eta_{\text{ges.}}$  = Gesamtwirkungsgrad (Motor, Pumpe, Übertragung)

Der Gesamtdruck richtet sich nach Länge und Verlauf der Leitung, deren Durchmesser und nach den Reibungsverlusten. Letztere sind stark von der Konsistenz der Futterflüssigkeit (Mischungsverhältnis) abhängig.

Im allgemeinen ist ein Mischungsverhältnis Getreideschrot : Wasser von 1 : 2,5 bis 1 : 3 in der Mastschweinehaltung üblich (43, 47, 76, 84), die Konsistenz wurde nach der von LANGENEGGER (53) vorgeschlagenen Fallviskositätsmethode ermittelt. Bei einem Mischungsverhältnis von 1 : 3 bis 1 : 4 (Getreideschrot : Wasser) wurde die Konsistenz mit GK = 2 gekennzeichnet, bei einem Mischungsverhältnis von 1 : 2,5 mit GK = 4 (vgl. Kap. 4.2). Somit lassen sich die Reibungsverluste mit den bei der Flüssigmistförderung ermittelten Werten vergleichen und sind übertragbar.

Die erforderliche Durchflußmenge richtet sich nach der Dauer des Fütterungsvorganges. Bei Handbedienung sind nach JANSSEN (39) 6 AK-min/100 Mastplätze und Tag zu veranschlagen, bei automatischer Zuteilung beträgt die Gesamtzeit nach stichprobenartig durchgeführten Messungen an einer vollautomatischen Anlage 3 - 4 AK-min/100 Mastplätze und Tag. Für die in Tabelle 11 angegebenen Bestandsgrößen ergibt sich daraus die unterschiedliche Gesamtfütterungszeit zwischen 10 und 30 Minuten. Diese Werte sollten nicht überschritten werden, um die sonst länger anhaltende Unruhe der Schweine während des Fütterungsvorganges zu vermeiden.

Für die Pumpenleistung ist weiterhin von Bedeutung, daß ein Teil der Futtermenge mit einem Restdruck von 1 bar in den Mischbehälter zurückfließt und neben der gleichmäßigen Beschickung der Futtertröge für eine zusätzliche Durchmischung des Flüssigfutters im Mischbehälter sorgt.

Tabelle 11: Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch von Flüssigfutterpumpen  
in verschiedenen Bestandsgrößen der Mastschweinehaltung (Futtermischung  
1 : 3 und 2 x Füttern/Tag, Längstrog-Stall, jeweils eine Ringleitung)

Bestandsgröße	Mastplätze	300	600	1000		
Rohrlänge (0,3 m/Mastplatz zuzüglich 10 % für Förder- wege)	(m)	100	200	330		
Futtermenge / Mahlzeit	(l)	1500	3000	5000		
Zeitbedarf / Fütterung	(min)	10 (H)	18 (H)	10 (A)	30 (H)	20 (A)
Durchsatzleistung ( 50 % Rückfluß )	(l/min)	300	330	600	330	500
Druckverlust in der Leitung	(bar)	1	2	5	4,5	5
benötigter Ges.-Druck	(bar)	2	3	6	5,5	6
Pumpenleistung	(kW)	3,2	5,4	11,6	6,0	11,6
Rührwerk	(kW)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Gesamter Elektroenergieverbr.	(kWh/Jahr)	754	1839	1776	3285	3552
Elektroenergieverbr./Mast- schwein (150 Togo)	(kWh/Mastschwein)	1,03	1,26	1,21	1,35	1,46

H = Handzuteilung

A = Automatische Dosierung

Nach diesen Zusammenhängen sind die Motorleistungen zu errechnen; es wurde auf die Leistungsangaben der Herstellerfirmen zurückgegriffen, die den Wirkungsgrad berücksichtigen. Nach Tab. 11 ist bei 300 Mastplätzen, einer Durchsatzleistung von 300 l/min und einem Gesamtdruck von 2 bar eine Leistung von 3,2 kW notwendig. Bei 600 Mastplätzen beträgt die Rohrlänge bei Verwendung einer einzigen Ringleitung 200 m und bei 18 min Fütterungszeit müssen 330 l/min mit einem Druck von 3 bar durchgesetzt werden (5,4 kW Motorleistung). Bei kürzerer Fütterungszeit, wie sie beispielsweise bei automatischer Zuteilung notwendig ist, errechnen sich bei einer Durchflußmenge von 600 l/min der Gesamtdruck von 6 bar und dementsprechend 11,6 kW Motorleistung. Für Bestandsgrößen mit 1000 Mastplätzen kann mit längeren Fütterungszeiten kalku-

liert werden (mehrere Stalleinheiten), so daß sich trotz der längeren Rohrleitung der Leistungsbedarf nur geringfügig ändert. Bei diesen Berechnungen wurde lediglich in der Bestandsgröße mit 300 Mastschweinen eine Kreiseltauchpumpe eingesetzt, Exzenter-Schneckenpumpen sind bei Verwendung nur einer Ringleitung in größeren Beständen mit 600 und 1000 Mastschweinen vorteilhaft. Beim Bau zweier Ringleitungen oder Quertrog-Aufstallung kann sich je nach baulicher Zuordnung die Anzahl der Mastschweine bei gleichem Pumpenaggregat verdoppeln.

Die in Tabelle 11 errechneten Leistungsdaten gelten ohne zusätzliche Rührer- einrichtungen. Ein separates Rührwerk erfordert Antriebsleistungen zwischen 3,0 und 3,5 kW (39), die Kombination einer Kreiseltauchpumpe mit Rührflügeln erfordert für das gesamte Aggregat einen Leistungsbedarf zwischen 8,8 und 11,0 kW (39).

Der Elektroenergieverbrauch (einschl. separates Rührwerk) beläuft sich auf 1,03 bis 1,46 kWh/Schwein in der Mastperiode (Tab. 11). Bei Flüssigfutter höherer Konsistenz (GK = 4, Mischungsverhältnis 1 : 2,5) kann der Druckverlust bei gleicher Durchsatzmenge um 100 % steigen, bei gleichem Rohrmaterial ist nur mit geringeren Durchflußmengen zu rechnen. In diesem Falle steigt dann die Dauer des Fütterungsvorganges an, falls der Einsatz stärkerer Pumpen vermieden werden soll.

Diese Angaben beziehen sich auf Systeme mit absätzigen Verfahren. Automatische Anlagen der gezeigten Bauarten (Abb. 22, II) unterscheiden sich grundsätzlich nicht hinsichtlich des Pumpenleistungsbedarfes. Da jedoch ein Rührwerk mit geringerer Leistung benötigt wird (0,75 kW), weil in kurzen Abständen eine nur geringe Futtermenge angerührt werden muß (ca. 25 Liter) und weil dieses Rührwerk nur etwa während 60 % der gesamten Laufzeit der Anlage arbeitet, treten hier lediglich etwa 50 % der in Tabelle 11 angegebenen jährlichen Verbrauchswerte auf (0,64 - 0,69 kWh/Schwein und Mastperiode). Dies konnte durch Messungen an einer vollautomatischen kontinuierlich arbeitenden Fütterungsanlage ermittelt werden.

Die Problematik der hohen elektrischen Leistungsansprüche bei Flüssigfütterungsanlagen liegt in den benötigten hohen Pumpenleistungen. Im Interesse

einer möglichst kurzen Dauer des Fütterungsvorganges (arbeitswirtschaftliche Gründe und Unruhe der Tiere) kann über eine Herabsetzung der Durchflußmenge keine Leistungseinsparung erreicht werden. Dagegen erweist sich oft der Einbau mehrerer Ringleitungen besonders in größeren Tierbeständen vorteilhaft, da hierdurch die gleichzeitig mit Futter zu versorgende Rohrlänge abnimmt. Nach den in Tab. 11 angegebenen Werten kann beispielsweise bei Verwendung zweier Ringsysteme ein Pumpenmotor mit 3,2 kW auch für 600 Mastplätze ausreichend sein, und eine Pumpe mit 6 kW-Motor kann in Ställen mit bis zu 2 000 Mastplätzen genügen. Diese Möglichkeit der Leistungseinsparung entfällt jedoch, falls ein vollautomatischer Betrieb durchgeführt werden soll, da eine manuelle Umschaltung zwischen den Ringleitungen vorgenommen werden muß.

### 3.3.2 Mechanische Trockenfütterungsanlagen

Bei Trockenfütterung sind stationäre oder mobile Verteilgeräte verbreitet. Stationäre Trockenfütterungsanlagen bestehen aus einer Transporteinrichtung, welche je nach Länge und Gebäudeform als Kette, Schnecken-, Drahtwendel- oder Schubklappenförderer einzusetzen ist. In kurzen, mehrreihigen Ställen sind die Kettenförderer mit mehrfacher Umlenkung eher zu verwenden, während in langen Ställen die anderen genannten Förderorgane vorteilhaft sind (91). Die Laufzeit der Förderorgane wird durch einen Abschaltmechanismus gesteuert, sobald der Behälter der letzten Bucht nach Gewichts- oder Volumendosierung gefüllt ist.

Hinsichtlich des Elektroenergieverbrauches und des Leistungsbedarfes sind die mechanischen stationären Fütterungsanlagen wesentlich günstiger zu beurteilen als die Flüssigfütterungsanlagen. Bei Schubklappen oder Mehlschnecken werden Getriebemotoren mit 0,25 - 0,55 kW Nennleistung eingebaut, wobei sich keine direkte Abhängigkeit zwischen Förderlänge und Leistungsbedarf zeigt. Die Anzahl der Motoren richtet sich jedoch bei den geradlinig arbeitenden Geräten nach der Anzahl der Buchtenreihen pro Stalleinheit. Bei einigen Systemen ist zur Betätigung des Entleerungsmechanismus der Dosierbehälter ein zusätzlicher Motor installiert (0,4 kW Nennleistung). Der gesamte Elektroenergieverbrauch ist auch bei mehrmaliger täglicher Fütterung gering, wie die an einigen typischen Anlagen durchgeführten Messungen beweisen. Die Ergebnisse

sind in Tab. 12 angegeben und wurden mit Literaturangaben (60, 91) ergänzt. Bei kurzen Anlagen und mehrmaliger täglicher Fütterung ist diesen Ergebnissen zufolge mit 0,19 - 0,24 kWh/Mastschwein in der gesamten Mastperiode zu rechnen. Bei längeren Anlagen werden aufgrund der benötigten Laufzeit die genannten höheren Werte erreicht, wie auch die Literaturangaben zeigen (60, 61). Obwohl bei diesen längeren Fördereinheiten die Anzahl der Motoren und somit die installierte Leistung geringer ist, wirken sich die höheren Betriebskosten gegenüber den kurzen mehrreihigen Anlagen negativ aus.

Motorisch betriebene Futterwagen können bei bestimmten baulichen Verhältnissen in Bestandsgrößen mit 150 - 400 Mastschweinen zu einer Arbeitszeiterparnis führen (88). Dies gilt für Geräte mit Handvorschub, hierbei werden nur die Austragsschnecken über mitgeführte Batterien angetrieben. Der elektrische Leistungsbedarf dieser Getriebemotoren beträgt 0,6 kW, der Elektroenergieverbrauch läßt sich nach Berücksichtigung des Wirkungsgrades für Batterie und Ladegerät nach Unterstellung eines bestimmten Zeitbedarfes für Austragung des Futters (56) mit 0,05 - 0,07 kWh/Schwein in der Mastperiode angeben (Tab. 12). Der Leistungsbedarf der nachts arbeitenden Batterieladegeräte ist gering, beim Aufladen der üblicherweise verwendeten Batterien tritt ein Wirkleistungsbedarf in Höhe von 0,4 kW auf (15 A Ladestrom bei 24 V).

Tabelle 12: Elektroenergiebedarf bei Trockenfütterungssystemen  
in der Mastschweinehaltung

Fördergerät	Länge (m)	Mastplätze	Inst.Leistung (kW)	Inst.Leistung pro Mastplatz (kW)	Leistungs- aufnahme je Motor (kW)	Laufzeit pro Füt- terung (min)	Anzahl der Vorgänge (täglich)	Stromverbrauch pro Schwein in 150 Tagen (kWh)
Stationär: Mehlschnecke	2x20	200	2 x 0,25	0,0025	0,25	10	3mal	0,19
Schubkloppe	4x23	400	4 x 0,37	0,0030	0,25	9 - 11	4mal	0,24
Schubkloppe	1x60	200	1 x 0,37	0,0020	0,36	32 - 37	3mal	0,50
Literaturang. (60, 91)	1x30	450	1 x 0,55	0,0015	---	---	---	0,47
<u>Fütterungswagen:</u> Handkarren mit Austragsschnecke		150 bis 400	1 x 0,6	0,0040 0,0015			2mal	0,05 bis 0,07
mit Fahrtantrieb und Verteilung (nach 56)		200 bis 2000	1 x 1,8	0,0090 0,0010		6 46	2mal	0,20 bis 0,26

Nach Untersuchungen an einem von der Landtechnik Weihenstephan entwickelten Fütterungswagen (56), welcher mit einem Fahrtrieb (1,2 kW) sowie Verteil- und Dosiereinrichtung versehen ist (0,6 kW), läßt sich aufgrund der durchgeführten Arbeitszeitmessungen für Füttern in Bestandsgrößen zwischen 200 und 2000 Mastschweinen der gesamte Elektroenergieverbrauch (0,2 bis 0,26 kWh pro Schwein) in der Mastperiode errechnen. Auch hier werden die Batterien durch ein Ladegerät in der Schwachlastzeit aufgeladen, so daß aus elektrizitätswirtschaftlicher Sicht die Verwendung von Batterie-Fahrzeugen positiv zu beurteilen ist.

#### 4. Die Elektroenergieverbraucher der Mistkette in Rinder- und Schweineställen

Entmistungsanlagen für Rinder- und Schweineställe unterscheiden sich in technischer Ausstattung und folglich auch im elektrischen Leistungs- und Energiebedarf kaum, weswegen sie im vorliegenden Kapitel für beide Bereiche zusammengefaßt behandelt werden. Die sich aus den unterschiedlichen Stallformen ergebenden Werte werden allerdings berücksichtigt. Die Mistkette umfaßt die stationären oder mobilen Entmistungsgeräte für Festmist und Flüssigmist, die dazugehörigen Fördergeräte sowie die Pumpen und Rührwerke für die Flüssigmistkette.

##### 4.1 Mechanische Entmistungsanlagen

In Anbindeställen sind bei Festmistverfahren Schubstangenanlagen, Kettenförderer und Seilzuganlagen zur Entmistung geeignet. Für die Planung spielt die Gebäudeform mit der Gesamtlänge des Kotganges sowie der zusätzlichen Förderlänge eine Rolle. Eine allgemeingültige Abhängigkeit zwischen Förderlänge und installierter Leistung bei mechanischen Entmistungsanlagen konnte jedoch in den Untersuchungen, welche sich auf Beobachtungen und Messungen in der Praxis sowie auf Literaturangaben stützen, nicht nachgewiesen werden.

Flachschieberanlagen werden vorwiegend bei Flüssigmistverfahren für die Entmistung des Kotganges von Rinderlaufställen oder bei Unterflurentmistung des Kotgrabens in Schweineställen eingesetzt. Mit unterschiedlichen Arbeitsbreiten (bis zu 3 m) ist eine gute Anpassung an verschiedenartige Kotgänge möglich.

In der Praxis verbreitet sind Antriebsmotoren mit 0,55 kW Nennleistung, die Leistungsaufnahme ist jedoch unabhängig von der Förderlänge sowie von der geförderten Mistmenge und ist nicht höher als 60 % dieser Nennleistung, wie Leistungsmessungen an verschiedenen Anlagen zeigten. Der Elektroenergieverbrauch ist daher nur von der Laufzeit der Entmistungsanlage abhängig. In der Praxis wurden Geschwindigkeiten des Schiebers zwischen 2,3 und 4,3 m/min festgestellt. In Tabelle 13 ist ein durchschnittlicher Wert in Höhe von 0,0015 kWh/GV und Entmistungsvorgang angegeben (Rinder), wobei in der Praxis bei unterschiedlicher Länge der Kotgänge Abweichungen auftreten können. Bei zwei täglichen Entmistungsvorgängen errechnen sich nach dieser Richtzahl 1,1 kWh/GV und Jahr. In der Schweinehaltung werden mit 0,004 kWh/GV und Entmistungsvorgang (Mastschweine) bis 0,006 kWh/GV und Entmistungsvorgang (Zuchtsauen) aufgrund der längeren Mistgänge/GV höhere Werte erreicht, die ebenfalls in Tabelle 13 angegeben sind. Auch bei 3 - 4maliger täglicher Entmistung werden in Ställen mit 1000 Mastplätzen nur 526 bis 707 kWh jährlich verbraucht, der Energieaufwand bei diesen mechanischen Entmistungsanlagen ist also sehr gering.

Bei Seilzugentmistungsanlagen (Festmistverfahren) sind in der Praxis Motoren mit 1,5 kW Nennleistung installiert. Dies gilt für alle unterschiedlichen Mistganglängen, da jeweils nur das Fassungsvermögen eines Schiebers gefördert wird (3 - 6 dt) und dabei keine Abhängigkeit von der Förderstrecke auftritt. Die Leistungsaufnahme steigt mit sich füllendem Schieber an. Die Spitzen sind jedoch nur kurzfristig und liegen bei dem 1,5 kW-Motor lediglich 50 % über der Nennleistung. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme schwankt nach diesen Leistungsmessungen zwischen 0,94 und 1,3 kW je nach Füllgewicht des Schiebers. In Übereinstimmung mit DLG-Prüfungen (123) sind in Tabelle 13 0,0015 kWh/GV und Entmistungsvorgang angegeben (Rinder). Dieser Wert kann jedoch in der Praxis bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen (Arbeitsperson, Umlenkrollen, zusätzliche Förderwege) nach oben oder unten hin geringfügig abweichen. Der in Tab. 13 angegebene jährliche Elektroenergieverbrauch erreicht nach diesen Angaben mit 1,1 kWh/GV und Jahr die gleiche Höhe wie bei Flachschieberanlagen.

Die Wirkungsweise der Kettenförderer wurde im Verlauf zweier DLG-Prüfungen untersucht. In einem Fall sind für 18,5 m Kotganglänge 1,5 kW Nennleistung

installiert (Kettenlänge 57 m), im zweiten Fall sind dies 2,2 kW bei einer Kotganglänge von 45 m (Kettenlänge 102 m). Bei der Prüfung trat eine mittlere Leistungsaufnahme in Höhe von 1,3 kW bei der kürzeren und in Höhe von 1,7 kW bei der längeren Anlage auf. Die Dauer des Entmistungsvorganges ist abhängig von der anfallenden Mistmenge, da die Anlage solange eingeschaltet bleibt, bis sämtlicher Mist aus dem Stall geräumt ist. Nach den DLG-Prüfungen ist mit einem Zeitbedarf in Höhe von 0,3 bis 0,4 min/m Kotgang zu rechnen (Zeitbedarf einschließlich Förderung bis zur Dungstätte, Einstreumenge 3,5 kg Stroh/GV und Tag). Daraus resultiert der in Tabelle 13 angegebene Elektroenergieverbrauch in Höhe von 0,01 kWh/GV und Vorgang in der Rinderhaltung (146 bis 584 kWh/Jahr in den Bestandsgrößen mit 20 - 80 Rindern). In der Zuchtsauenhaltung muß mit 0,04 kWh/GV und in der Mastschweinehaltung mit 0,02 kWh/GV und Entmistungsvorgang gerechnet werden, da hier 4 m Kotgang bzw. 2 m Kotgang pro GV entmistet werden müssen.

Während bei Kettenförderern durch Umlenkung eine Anpassung an die Gebäudeform und die Lage der Dungstätte erfolgen kann, ist bei Schubstangenanlagen eine geradlinige Förderachse notwendig. Für jede Förderachse ist ein Antriebsaggregat vorzusehen (1,5 kW Nennleistung), so daß in zweireihigen Anbindeställen 3,0 kW installiert sind (mittlerer Futtergang). Die durchgeführten Messungen zeigten, daß auch bei diesen Geräten mit einer durchschnittlichen Entmistungsdauer in Höhe von 0,4 min/m Kotgang gerechnet werden kann, bei einer 20 m langen Anlage (17 GV) traten durchschnittlich 0,9 kW Leistungsbedarf auf. Da sich dieser Leistungsbedarf auch bei längeren Anlagen nicht wesentlich ändert, errechnet sich ein Elektroenergieverbrauch in Höhe von 0,007 kWh/GV und Entmistungsvorgang und die in Tab. 13 angegebenen Werte für unterschiedliche Bestandsgrößen der Rinderhaltung (102 - 408 kWh/Jahr). Die für die Schweinehaltung angegebenen Werte resultieren wieder aus der entsprechenden Anzahl der GV pro m Kotgang.

Neben den beschriebenen stationären Entmistungsanlagen sind auch mobile Stallungsschiebelader mit elektrischen Antrieben (Batterien) einsetzbar. Sie eignen sich besonders in Altgebäuden aufgrund ihrer geringen Abmessungen und ihrer Wendigkeit. Der Elektroenergieverbrauch während der Entmistung setzt

**Tabelle 13:** Elektroenergieverbrauch mechanischer Entmistungsanlagen in Rinder- und Schweineställen (kWh/Jahr) (ganzjährige Stallhaltung)

Bestandsgröße Tiere	Rinderhaltung				Mastschweinhaltung			Zuchtsauen		
	20	40	60	80	300	600	1000	60	100	
GV	20	40	60	80	36	72	120	28	47	
Entmistungen täglich	kWh/GV u. Vorgang	kWh/Jahr				kWh/GV u. Vorgang	kWh/Jahr			
Faltschieber (0,55 kW)*	2	0,0015	22	44	66	88	0,004	105	210	350
	3	0,0015	33	66	99	131	0,004	157	315	526
	4						0,004	210	420	701
	2						0,006		123	206
Seilzug (1,5 kW)*	2	0,0015	22	44	66	88	0,005		55	109
Kettenförderer (2,2 kW)*	2	0,010	146	292	438	584	0,020	525		
	2						0,040		817	1372
Schubstange (1,5 kW/Mistgang)*	2	0,0070	102	204	306	408	0,014	368		
	2						0,028		572	960
Mobiler Dungschieber	2	0,0200	292	584	876	1168	0,020		409	686

\* installierte Motorenleistung  
 Einstreumenge: 2 - 3 kg Stroh/Tier u. Tag  
 Frischmist: 40 kg/Kuh u. Tag, 16 kg/Sau u. Tag  
 1 Milchkuh = 1,0 GV  
 1 Mastschwein = 0,12 GV  
 1 Zuchtsau = 0,47 GV (mit anteiliger Nachzucht)

sich aus der Leistungsaufnahme während der einzelnen Arbeitstakte zusammen. Für die Berechnung der aus dem Netz benötigten Elektroenergie wird der Wirkungsgrad der Batterien und des Ladegerätes berücksichtigt.

Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Ergebnisse von KRINNER (51), welcher in mehreren Betrieben Arbeitszeitmessungen und Leistungsmessungen durchführte. Zur Entmistung eines 40 Kühe-Anbindestalles wurden beispielsweise 33,48 AK-min/Tag benötigt. Der aus den Messungen resultierende Energiebedarf kann für Rinder- und Schweineställe mit 0,02 kWh/GV für jeden Entmistungsvorgang angegeben werden (Tab. 13). Dieser im Vergleich zu den anderen mechanischen Entmistungsanlagen höchste Wert führt zu jährlichen Verbrauchszahlen in Höhe von 14,6 kWh/GV. Dennoch ist dies elektrizitätswirtschaftlich vorteilhaft, da der Leistungsbedarf der Batterieladegeräte gering ist und nachts auftritt (vergl. Kap. 2.1.7 und 3.3).

Die Leistungswerte von Greiferanlagen, welche zum Laden und Stapeln des Festmistes benötigt werden, wurden von HONIG (35) übernommen. Drehkrane benötigen eine Leistung zwischen 4,9 und 7,2 kW je nach Füllgewicht des Greifers. Hierbei

tritt ein elektrischer Energieverbrauch in Höhe von 0,015 - 0,012 kWh/dt auf (bei 1,5 - 2,0 dt Festmist/Griff und einer Leistung von 140 - 180 dt/h). Somit kann bei diesen Anlagen für Rinder- und Schweineställe mit einem jährlichen Elektroenergieverbrauch von 1,5 - 2,2 kWh/GV gerechnet werden.

#### 4.2 Flüssigmistbehandlung

Bei den bisher behandelten mechanischen Entmistungsanlagen treten keine wesentlichen Unterschiede auf, ob Fest- oder Flüssigmist gefördert wird. Der Lagerung und Ausbringung des Flüssigmistes kommt jedoch aufgrund spezifischer Arbeitsvorgänge weitreichendere Bedeutung zu. Die zwei wesentlichen Lager-systeme, Tiefbehälter (Einkammersystem) und Hochbehälter in Verbindung mit einer Vorgrube sind in Abb. 23 I schematisch dargestellt. Da die zapfwellengetriebenen Pumpentankwagen lediglich bei Tiefbehältern mit einem maximalen Nettofassungsvermögen von  $300 \text{ m}^3$  einsetzbar sind, ist den Flüssigmistpumpen größere Bedeutung zuzumessen. Bei der Arbeitsweise dieser Flüssigmistpumpen treten folgende, in Abb. 23 II gezeigte Arbeitsvorgänge auf:

- a) Homogenisieren der Vorgrube
- b) Förderung von Vorgrube in den Hochbehälter und gleichzeitiges Aufrühren des Hauptbehälters (Zerstören der Schwimmdecke)
- c) Befüllen des Tankwagens.

In der Praxis sind die Flüssigmistpumpen in zwei wesentlichen Bauarten verbreitet, den Kreiseltauchpumpen und den Exzentrerschneckenpumpen. Die zur Ermittlung des erforderlichen Leistungsbedarfes der Pumpen zu berücksichtigenden Einzelfaktoren wurden bereits in Kapitel 3.3.1 dargestellt, sie gelten grundsätzlich ebenso für die Flüssigmistpumpen. Bei dem Leistungsvergleich zwischen den genannten Pumpenbauarten mit Hilfe der charakteristischen Kennlinien werden folgende Eigenschaften deutlich (Abb. 24). Die Kreiseltauchpumpe zeigt bei steigendem Durchsatz ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) eine steigende Leistungsaufnahme bei gleichzeitig fallendem Gesamtdruck (H). Dagegen ist mit einer Exzentrerschneckenpumpe

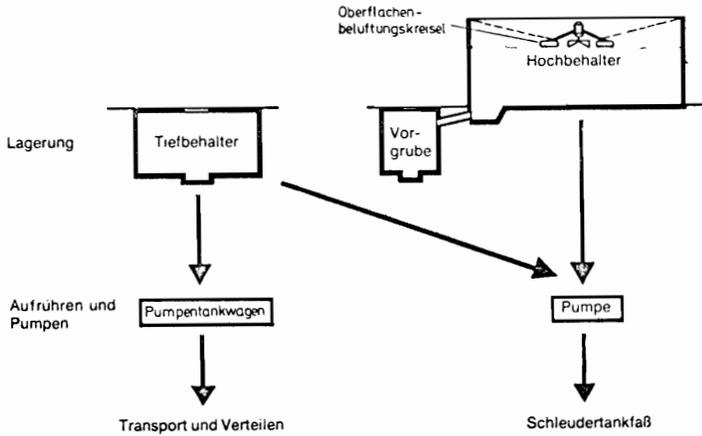


Abb. 23, I: Glieder der Flüssigmistkette

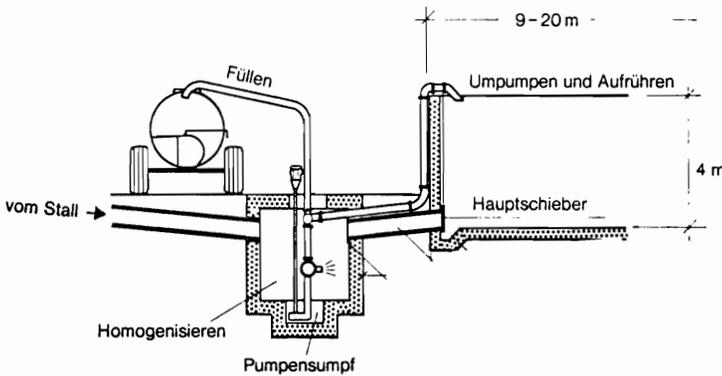


Abb. 23, II: Arbeitsvorgänge einer Kreiseltauchpumpe bei dem Lagersystem Vorgrube mit Hochbehälter

in einem sehr engen Leistungsbereich ein höherer Gesamtdruck zu erzielen. Aus der dargestellten Kennlinie und der hohen Empfindlichkeit der Exzentrerschneckenpumpe gegen Trockenlauf und Fremdkörper läßt sich eine nur bedingte Einsatzmöglichkeit dieser Pumpen in Flüssigmistbehältern ableiten. Die Haupteinsatzmöglichkeit der Exzentrerschneckenpumpe ist in den Pumpentankwagen gegeben (Zapfwellenantrieb).

Daher konzentrieren sich folgende Ausführungen auf die in der Praxis meist verwendeten Kreiseltauchpumpen.

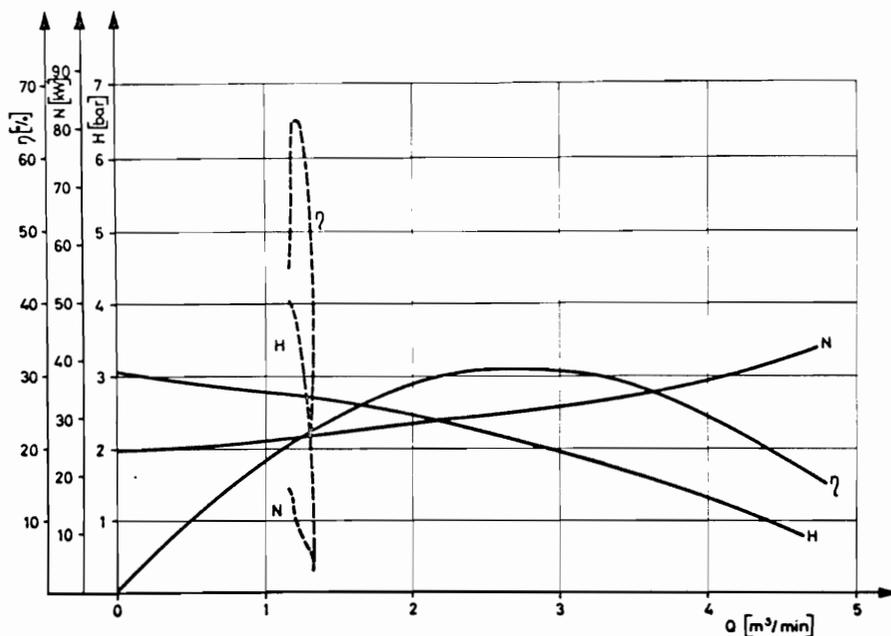


Abb. 24: Leistungsvergleich zwischen einer Kreiseltauchpumpe und einer Exzentrerschneckenpumpe

- Kreiseltauchpumpe
- - - Exzentrerschneckenpumpe

Eine zweckmäßige Dimensionierung der Pumpenleistung ist nach folgenden Gesichtspunkten durchzuführen:

- a) Anfallende Mistmenge, hieraus resultiert der benötigte Zeitbedarf,
- b) Förderstrecken,
- c) Konsistenz des Mistes,
- d) Lagerzeit und Behältergröße.

Während die beiden erstgenannten Punkte in der Praxis weniger im Vordergrund stehen, tritt oft durch die Konsistenz des Mistes und durch die lange Lagerzeit in großen Behältern ein Engpaß auf. Die Durchsatzleistung der Pumpe ist so auszulegen, daß die Arbeitsvorgänge "Homogenisieren der Vorgrube" und "Umpumpen von Vorgrube in den Hauptbehälter" (Zerstören der Schwimmdecke und Aufrühren des Behälterinhaltes) wirksam durchgeführt werden können (vergl. Abb. 23, II).

Die Angaben über die Flüssigmistkonsistenz beziehen sich hier auf die an anderer Stelle bereits erwähnte Definition von LANGENEGER (53), wobei nach der Fallviskositätsmethode allgemeine Abhängigkeiten wie folgt ermittelt wurden:

GK 0 = Wasser

#### Rindergülle

GK 4 - 12 = Staukanäle, geringe Wassermengen zugesetzt

GK 10 - 25 = Fließkanäle, Mastbullen und Milchkühe  
(ohne Wasserzusatz)

GK 25 - 30 = Fließkanäle, Mastbullen mit Silomaisfütterung

GK 25 - 50 = Oberflurermischung, flüssige Komponenten  
teilweise verdunstet

GK 50 = eingedickter Fließmist, Förderung mit dem  
Frontlader möglich

#### Schweinegülle

GK 8 = Flüssigmist aus Fließkanälen  
(maximal gemessener Wert)

Wie bereits erwähnt, ist die Pumpenleistung stark von der Güllekonsistenz abhängig (vergl. Kap. 3.3.1). Durchsatz, Gesamtdruck und die Leistungsaufnahme einer Kreiseltauchpumpe in Abhängigkeit von der Güllekonsistenz sind in Abb. 25 an einem Beispiel dargestellt. Während beispielsweise bei Wasser (GK = 0) 4800 l/min durchgesetzt werden, sinkt die maximale Förderleistung bei Flüssigmist aus Staukanälen (GK = 12) um 20 %, bei Fließmist ohne weitere Wasserzusätze (GK = 20) um weitere 40 %. Bei Fließmist von Mastbullen (Silomaisfütterung, GK = 28) konnten nur 1700 l/min gepumpt werden, gegenüber der Förderung von Wasser wurden also nur etwa 35 % der Durchsatzleistung erzielt. Bei noch höherer Konsistenz ist eine ausreichende Förderung mit dieser Pumpe nicht mehr möglich.

Aus dem unteren Teil der Abb. 25 geht hervor, daß die Leistungsaufnahme mit geringerer Durchsatzleistung zurückgeht, wobei im Bereich von GK = 0 bis GK = 19 keine Unterschiede in Abhängigkeit der Konsistenz auftreten.

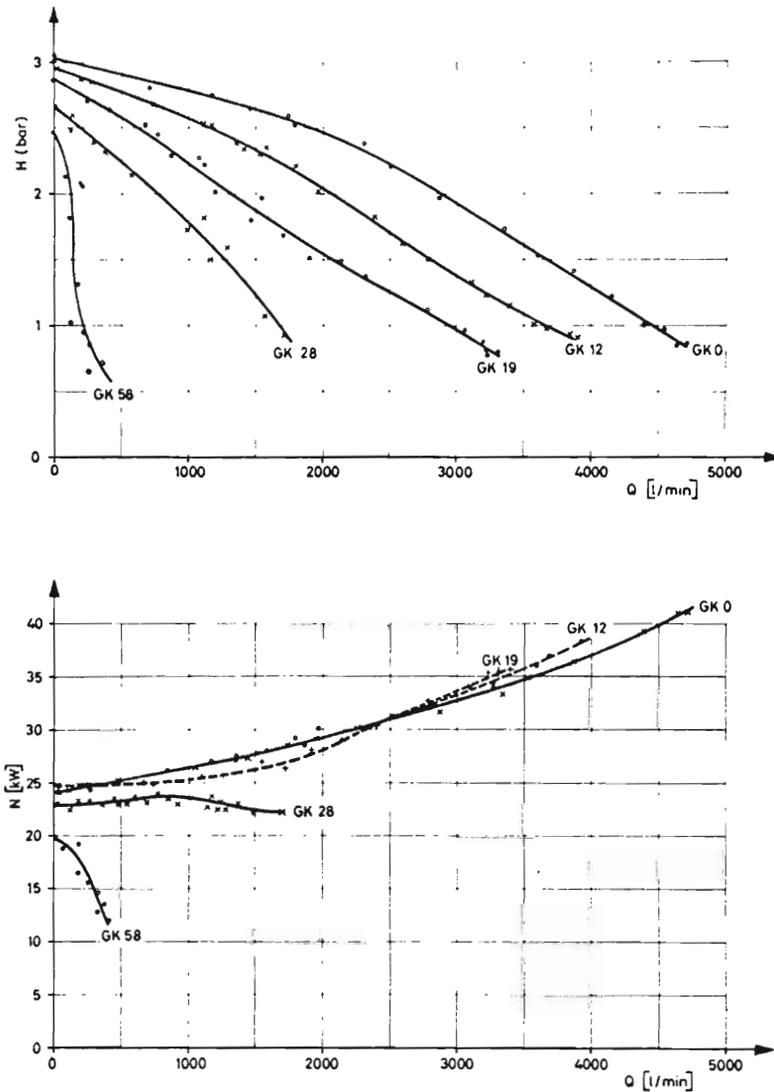


Abb. 25: Kennlinien einer Kreiseltauchpumpe bei unterschiedlicher Gülleconsistenz (GK)

Diese Zusammenhänge verdeutlichen, daß sich die exakte Dimensionierung der Flüssigmispumpen in der Praxis als außerordentlich schwierig erweist. Eine allgemeingültige Aussage über die ausreichende Wirkung einer bestimmten Pumpe ist nicht zu treffen, da die genannten Einflußgrößen sehr vielfältig variieren. Nach Erfahrungswerten aus praktischen Betrieben (27, 105) erfolgt die

Zusammenstellung der Daten über den Leistungsbedarf und den Elektroenergieverbrauch in unterschiedlichen Bestandsgrößen der Rinderhaltung und der Schweinehaltung (Tab. 14). Es werden 100 bzw. 150 Tage Lagerzeit, ein Mistanfall von 50 l/GV und Tag bei Rindern und 40 l/GV und Tag bei Mastschweinen unterstellt, weiterhin ist nach zwei typischen Konsistenzbereichen unterschieden (GK = 5 und GK = 20).

Da vom Arbeitsvorgang "Homogenisieren Hauptbehälter" die Einsatzmöglichkeit der Pumpe abhängt, ist dieser mit seiner Dauer, der kW-Aufnahme und der Durchsatzleistung der Pumpe angegeben. Die maximale Leistungsaufnahme der Pumpe (= Leistungsbedarf) tritt jedoch kurzfristig während des Befüllens des Tankwagens auf.

Davon ausgehend, daß bis zu Behältergrößen mit 500 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen bei dünner Konsistenz des Mistes (GK = 5) eine Pumpe mit 15 kW Leistungsbedarf ausreicht, errechnen sich je nach Mistmenge die jährlichen Elektroenergieverbrauchswerte in Höhe von 4,6 - 5,4 kWh/GV bei Rindern und 3,0 - 4,0 kWh/GV bei Schweinen.

Bei einer Bestandsgröße mit 133 Rinder-GV (150 Tage Lagerzeit) muß jedoch eine leistungsfähigere Pumpe (25 kW) vorgesehen werden. Diese ist für alle weiteren Bestandsgrößen ausreichend, sofern die Güllekonsistenz die Kennzahl 5 nicht überschreitet und die Behältergröße sich auf maximal 1000 m<sup>3</sup> beschränkt. Aus der Laufzeit der Pumpe ergibt sich ein jährlicher Elektroenergieverbrauch in Höhe von 9,8 - 10,9 kWh/GV bei Rindern und 7,9 - 8,7 kWh/GV bei Schweinen. Bei dickflüssiger Rindergülle ist die gleiche Pumpe (25 kW) nur in Behältern bis zu maximal 500 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen funktionsfähig. Erfahrungen bei dickflüssiger Rindergülle in größeren Behältern zeigen, daß hierbei Pumpenleistungen mit 40 kW benötigt werden, um die bereits nach 100 Tagen Lagerzeit entstandene Schwimmdecke zu zerstören.

Die Werte in Tabelle 14 zeigen, daß der hohe Leistungsbedarf der Pumpen nur sehr schlecht ausgenutzt wird, in Bestandsgrößen bis 200 GV nur unter 100 Stunden jährlich. Daher ergeben sich sehr schlechte Einsatzbedingungen für Elektroantriebsmotoren, und es muß nach Möglichkeiten zur Senkung des Leistungsbedarfes gesucht werden.

**Tabelle 14 :** Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch von Kreiseltouchpumpen in unterschiedlichen Bestandsgrößen (Güllekonsistenz = 5 bzw. 20)

Bestandsgröße Rinder GV		40	60	66	100	133	200	400
Schweine GV		50	75	83	125	166	250	500
..Lagerzeit	Tage	150	100	150	100	150	100	100
Behältergröße								
Hauptbeh.	m <sup>3</sup>	300	300	500	500	1000	1000	2mal 1000
Vorgrube	m <sup>3</sup>	60	60	80	80	100	100	2mal 100
<u>Güllekonsistenz = 5</u>								
Leistungsbedarf der Pumpe	kW	15	15	15	15	25	25	25
Homogenisieren Hauptbehälter	h	1,5	1	3	2	6,5	4,5	9
Leistungsaufnahme	kW	12	12	12	12	25	25	25
Durchsatz	m <sup>3</sup> /min	3,5	3,5	3,5	3,5	4,5	4,5	4,5
Jährl.Ges.-Verbrauch	kWh	215	302	340	465	1442	1981	3962
Ben.-Dauer der Pumpe*	h	14	20	22	31	57	78	158
Jährlicher spez.E.-Verbrauch								
Rinder	$\frac{kWh}{GV}$	5,4	5,0	5,2	4,6	10,9	9,8	9,8
Schweine	$\frac{kWh}{GV}$	3	4,0	4,0	3,7	8,7	7,9	7,9
<u>Güllekonsistenz = 20</u>								
Leistungsbedarf	kW		25		25		40	
Homogenisieren Hauptbehälter	h		1		2		4	
Leistungsaufnahme	kW		20		20		33	
Durchsatz	m <sup>3</sup> /min		4		4		6	
Jährl.Ges.-Verbrauch	kWh		483		724		2204	
Ben.-Dauer der Pumpe*	h		19		28		55	
Jährlicher Spez.E.-Verbrauch								
Rinder	kWh/GV		8		7,2		11	

\*) Die maximale Leistungsaufnahme tritt beim Arbeitsvorgang Befüllen des Tankwagens auf und entspricht in den ausgewählten Beispielen der Nennleistung.

Rinder: 50 l/GV u. Tag Mastschweine: 40 l/GV u. Tag

Ansatzpunkte hierzu ergeben sich in zwei Bereichen:

- a) Homogenisieren des Hauptbehälters und Zerstören der Schwimmdecke durch ein zapfwellengetriebenes Rührwerk oder eine Kreiseltauchpumpe mit Schlepperantrieb.

Dies erscheint sinnvoll, da für diesen Arbeitsvorgang der hohe Leistungsbedarf nur kurzfristig und bei 100 Tagen Lagerzeit nur 3 - 4mal jährlich benötigt wird. Für die langfristig und häufiger auftretenden Arbeitsvorgänge "Umpumpen von der Vorgrube in den Hauptbehälter und Befüllen des Tankwagens" kann eine leistungsschwächere Pumpe genügen.

- b) Konsistenzabbau durch die Oberflächenbelüftung in offenen Lagerbehältern.

Die Oberflächenbelüftung ist eine Möglichkeit, die bei der Lagerung und Ausbringung von Flüssigmist auftretenden Gerüche wesentlich einzuschränken, wie aus den Untersuchungen von ZEISIG (104) hervorgeht. Zusätzlich wird der Flüssigmist durch diese Behandlung wesentlich fließ- und pumpfähiger, und es kann nicht zur Bildung von Schwimmdecken kommen. Beim Einsatz der Oberflächenbelüftungskreisel wäre es möglich, auf die sonst üblichen hohen Pumpenleistungen zu verzichten.

Insgesamt läßt sich durch diese Maßnahmen eine beträchtliche Leistungssenkung durchführen, wie Abb. 26 an zwei ausgewählten Beispielen andeutet. Bei einer Bestandsgröße mit 80 Rinder-GV und 100 Tagen Lagerzeit des Flüssigmistes hat der Behälter ein Fassungsvermögen von  $400 \text{ m}^3$ . Selbst bei nur geringen Einstreumengen (Häcksel) wird zur Zerstörung der Schwimmdecke eine Kreiseltauchpumpe mit 20 kW Leistungsbedarf benötigt ( $4 \text{ m}^3/\text{min}$ ). Falls dieser Arbeitsvorgang mit der Schlepperzapfwelle durchgeführt wird, kann eine kleinere Pumpe zur Förderung genügen ( $10 \text{ kW}$ ,  $2 \text{ m}^3/\text{min}$ ), um die anderen anfallenden Arbeiten durchzuführen. Aufgrund der Verstopfungsgefahr bei Rindergülle sind allerdings Pumpenbauarten mit größeren Durchgängen (deshalb  $10 \text{ kW}$  Leistungsbedarf) notwendig.

Der Einsatz eines Oberflächenbelüftungskreisels könnte jedoch die Bereitstellung eines Schleppers und des Rührwerkes ersparen. Belüftungskreisel der von

ZEISIG (104) und RÜPRICH (73) beschriebenen Bauart sind mit einem 2,2 kW-Motor ausgestattet, die Leistungsaufnahme während der Laufzeit beträgt 2,0 kW. Durch Intervallbelüftung nach der Einleitung der aeroben Gärung können die Betriebskosten niedrig gehalten werden, es ist mit 2,0 kWh/m<sup>3</sup> Schweineflüssigmist (100 Tage Lagerzeit) und 3,0 kWh/m<sup>3</sup> Rinderflüssigmist zu rechnen (100 - 120 Tage Lagerzeit). Diese Werte stimmen überein mit Erfahrungen aus landwirtschaftlichen Betrieben (111). Infolge der Verflüssigung der Rindergülle würde auch hier eine Pumpe mit 10 kW genügen.

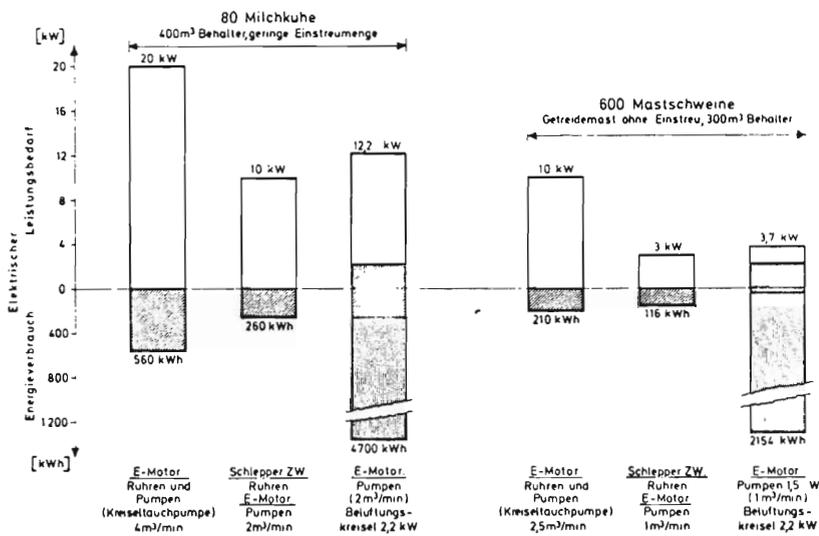


Abb. 26: Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch bei der Flüssigmistbehandlung und Möglichkeiten zur Senkung des Leistungsbedarfes.

Andere Voraussetzungen sind in der Mastschweinehaltung gegeben (Abb. 26). Bei Getreidemast ohne Einstreu ist der anfallende Flüssigmist naturgemäß relativ dünnflüssig. Hier genügt eine 10 kW-Kreiseltauchpumpe für alle anfallenden Arbeitsvorgänge. Bei zusätzlichem Einsatz eines Schleppers mit Rührwerk kann jedoch die Pumpenleistung wesentlich reduziert werden (im gezeigten Beispiel auf 3 kW), falls die Durchsatzleistung (1 m<sup>3</sup>/m) zur Befüllung des Tankwagens ausreicht. Die Verflüssigung des Mistes durch den Belüftungskreislauf erlaubt einen weiteren Rückgang des Leistungsbedarfes der Pumpe auf 1,5 kW (1 m<sup>3</sup>/min Durchsatzleistung). Neben dem Gesichtspunkt der Geruchsminderung ist wiederum der Vorteil gegeben, daß durch die Wirkung des Belüftungskreislaufs (2,2 kW) die Bereitstellung des Schleppers mit Rührwerk überflüssig wird.

Die in Abb. 26 gezeigten Möglichkeiten führen zu erheblichen elektrischen Leistungssenkungen. In der Milchviehhaltung werden dem angegebenen Beispiel zufolge 40 bis 50 % des gesamten elektrischen Leistungsbedarfes eingespart, falls das Rühren, Homogenisieren und Verflüssigen des Mistes durch andere Geräte durchgeführt wird. Da in vielen Betrieben Motorleistungen mit 25 kW keine Seltenheit sind, handelt es sich also um Einsparungen in der Größenordnung von 10 kW. Auch in der Mastschweinehaltung führen diese Maßnahmen zu 60 bis 70 %igen Leistungssenkungen, in einer Bestandsgröße mit 600 Mastschweinen (Abb. 26) sind beispielsweise 6 bis 7 kW einzusparen. Besonderer Wert muß hierbei dem Belüftungskreislauf mit den gezeigten Auswirkungen seines Einsatzes zugemessen werden, während in der Praxis die zusätzliche Bereitstellung eines Schleppers sehr oft nicht durchführbar ist.

##### 5. Die Elektroenergieverbraucher zur Klimatisierung und Beleuchtung von Rinder- und Schweineställen

Zur Regulierung und Beeinflussung der wichtigsten Klimafaktoren in der Tierhaltung spielt hinsichtlich des elektrischen Leistungsbedarfes und in besonderem Maße hinsichtlich des Elektroenergieverbrauches die Stalllüftung eine wichtige Rolle. Daneben ist die Beheizung von Ställen in der Ferkelproduktion, in Schweinevormastställen sowie in der Kälberaufzucht von Bedeutung.

Die hinsichtlich des Elektroenergieeinsatzes wesentlichen Zusammenhänge auf dem Arbeitsgebiet der Stallklimatisierung und Beleuchtung wurden im Untersuchungszeitraum von M. AYIK bearbeitet und dargestellt, so daß an dieser Stelle lediglich die wichtigsten, für die intensive Rindermast und die Schweinehaltung zutreffenden Bedarfswerte zusammengefaßt werden.

Bei der Gestaltung eines optimalen Stallklimas müssen die drei Faktoren Temperatur, Luftfeuchte und Luftbewegung berücksichtigt und aufeinander abgestimmt werden. Die Lüftung hat die Aufgabe, im Winter den anfallenden Wasserdampf und die schädlichen Gase, im Sommer die anfallende Wärmemenge abzuführen und die erforderliche Frischluftmenge zugfrei zuzuführen.

In Rinder- und Schweineställen kann bei Temperaturen bis zu 20° C die Luftbewegung 0,1 bis 0,2 m/s im Bereich der Tiere betragen, bei höheren Temperaturen maximal 0,5 m/s (41, 113, 114). Die Stalltemperatur beeinflußt die Gewichtszunahmen bei Mastschweinen erheblich, bei der Anfangsmast sind daher

20° C und bei der Endmast 15° C Raumtemperatur anzustreben (Abb. 27).

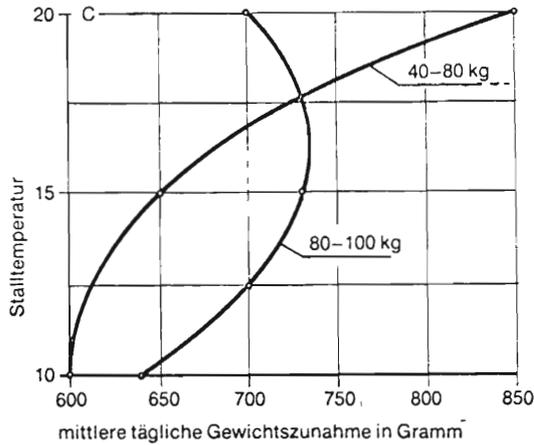


Abb. 27: Einfluß der Stalltemperatur auf die durchschnittliche tägliche Gewichtszunahme beim Schwein (nach KALICH, 111)

In der Mastbullenhaltung sind bei einer relativen Luftfeuchte von 60 - 80 % Temperaturen von 20° C bei jüngeren Tieren optimal, bei älteren Tieren kann sie bis zu 12° C absinken. Diese Bereiche gelten auch für Kälberställe. Ebenso hohe Anforderungen an bestimmte Stalltemperaturen werden in der Zucht-sauenhaltung und Ferkelerzeugung gestellt, wie auf Abb. 28 ersichtlich ist. Eine räumliche Trennung in einen Stallbereich mit Temperaturen unter 18° C und in einen Bereich mit Temperaturen über 18° C geht Hand in Hand mit einer Spezialisierung der Stallform und der Einrichtung in den verschiedenen Arbeits-bereichen (102).

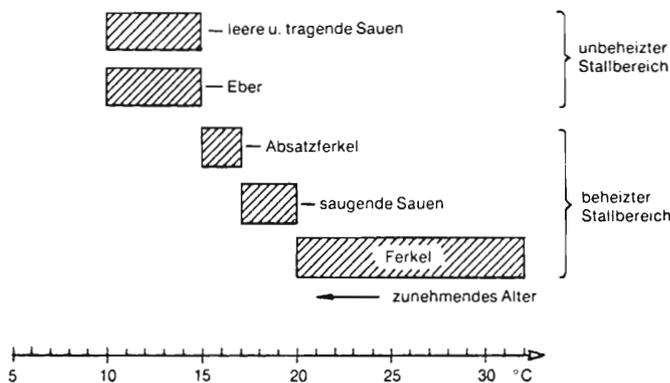


Abb. 28: Optimale Temperaturen in der Schweinehaltung (nach 102)

## 5.1 Stalllüftung

Bei der Stalllüftung ist zwischen Schwerkraftlüftung (Schachtlüftung) und den verschiedenen Systemen der Zwangslüftung zu unterscheiden. Letztere sind für den Elektrizitätseinsatz bedeutungsvoll, meist werden Axialventilatoren verwendet. Beim Unterdruck- und Überdrucksystem sind die Ventilatoren entweder an der Zu- oder Abluftseite einseitig angeordnet, beim Gleichdrucksystem ist die doppelte Anzahl Ventilatoren beidseitig verteilt. Die zu installierende Lüfterleistung muß auf den maximalen Bedarf im Sommer bei voller Stallbelegung ausgerichtet sein. Die Luftraten sind in der DIN 18 910 (131) festgelegt, wobei die klimatischen regionalen Unterschiede grundsätzlich mit zwei Zonen berücksichtigt werden:

- a) Sommertemperaturzone  $>26^{\circ}$  C, dies sind etwa 15 % der Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland, im wesentlichen die Oberrheinische Tiefebene und Teile Niederbayerns.
- b) Sommertemperaturzone  $<26^{\circ}$  C, zutreffend für das übrige Bundesgebiet.

Diese Temperaturwerte sind arithmetische Mittel aus der mittleren Jahreshöchsttemperatur und der langjährigen Julimitteltemperatur.

Die erforderlichen Mindestluftraten für Rinder und Schweine sind Abb. 29 zu entnehmen. Sie steigen mit abnehmendem Tiergewicht und zunehmender Sommertemperatur. So müssen beispielsweise für 350 kg schwere Rinder je nach Temperaturzone 300 - 400 m<sup>3</sup> Luft in der Stunde pro Großvieheinheit durchgesetzt werden. Bei durchschnittlich 60 kg schweren Mastschweinen werden 417 - 625 m<sup>3</sup>/h und GV benötigt. Für die zu installierende Lüfterleistung gilt nach AYIK folgende Beziehung bei einem Gesamtdruck von 0,5 mbar:

$$Y = 0,04 + 0,21x$$

wobei  $Y$  = Leistungsbedarf in kW  
 $x$  = Volumenstrom in m<sup>3</sup>/s bedeutet.

Diese Funktion wurde aus den durch die DLG-Prüfungen ermittelten Daten errechnet ( $n = 27$ ), wobei eine höchstsignifikante Absicherung gegeben ist ( $r = 0,916$ ).

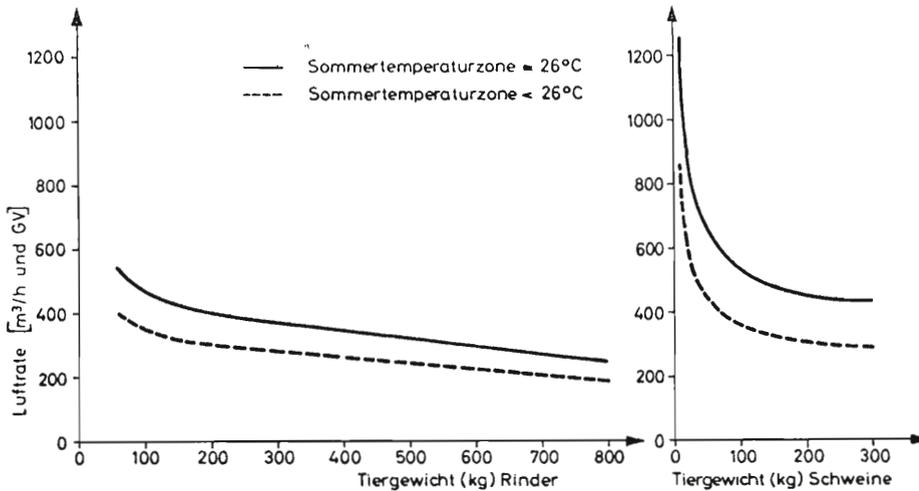


Abb. 29: Mindestluftraten (Sommer) für Rinder und Schweine (nach DIN 18 910, 131)

Aus diesen Zusammenhängen heraus ergeben sich die in Tabelle 15 angegebenen Werte für Unterdrucklüftungssysteme. Bei einer Bestandsgröße von 100 Mastbullen ( $\varnothing 0,7$  GV) sind in der Zone  $< 26^{\circ}$  C 21 000 m<sup>3</sup>/h Luft zu fördern, so daß eine Lüfterleistung von 1,45 kW installiert werden muß. Hieraus errechnen sich jährlich 123 kWh/GV. In der Temperaturzone  $> 26^{\circ}$  C werden 164 kWh/GV und Jahr verbraucht, da für die größeren Luftmengen 1,94 kW Lüfterleistung installiert werden müssen.

Entsprechende Lüfterleistungen errechnen sich für größere Bestände, ohne daß sich der spezifische Elektroenergieverbrauch ändert.

In der Mastschweinehaltung werden 71 kWh/GV und Jahr (Temperaturzone  $< 26^{\circ}$  C) bis 106 kWh/GV und Jahr (Temperaturzone  $> 26^{\circ}$  C) benötigt, in der Zuchtsauenhaltung sind die Verbrauchswerte denen der Mastbullenhaltung sehr ähnlich (122 - 179 kWh/GV und Jahr).

Bei der Berechnung des jährlichen Stromverbrauches wurde berücksichtigt, daß die Luftraten an die ständig variierenden Temperaturdifferenzen zwischen Innen- und Außenluft angeglichen werden müssen. Dies wird nach Maßgabe der Innenlufttemperatur (Thermostaten) durch Aussetz- oder Drosselregelung, Intervallschaltung oder Drehzahlregelung durchgeführt. Von der Drehzahlregelung als der technisch besten Lösung ausgehend, kann im Winter (3 Monate) mit 1/3 Drehzahl, in Übergangsjahreszeiten (6 Monate) mit 1/2 Drehzahl und im Sommer (3 Monate) mit maximaler Drehzahl gelüftet werden. Nach Untersuchungen von AYIK beträgt dann die Leistungsaufnahme 40 %, 50 % bzw. 100 % der Nennleistung. Abweichungen der in Tabelle 15 gezeigten jährlichen Verbrauchswerte können dann auftreten, wenn die Lüfterleistung nicht optimal nach der Kennlinie durch Abstimmung von Betriebspunkt und Luftdurchsatz ausgewählt wurde.

Bei Überdrucklüftungsanlagen (gleiche Lüfterleistung) kann im Durchschnitt mit 13 % und bei Gleichdrucklüftungsanlagen mit 100 % höherem Elektroenergieverbrauch gerechnet werden (105). Im letzteren Fall ist die doppelte Lüfterleistung zu installieren.

Tabelle 15: Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch der Stalllüftung bei Mastbullen- und Schweinehaltung (Unterdrucklüftungssysteme)

Tierart	Bestandsgröße		Sommer- temper- aturzone	max.Sommer- luft- rate (m <sup>3</sup> /h)	Lüfter- leistung (kW)	jährlicher Energieverbrauch	
	Stück bzw. Mastplatz	GV				(kWh)	(kWh/GV)
Mastbullen (Ø 0,7 GV) Mastperiode 125-550kg LG	100	70	< 26°C	21 000	1,45	8 573	123
			> 26°C	28 000	1,94	11 471	164
	300	210	< 26°C	63 000	4,37	25 839	123
			> 26°C	84 000	5,83	34 472	164
	500	350	< 26°C	105 000	7,29	43 105	123
			> 26°C	140 000	9,72	57 474	164
Mastschweine (Ø 0,12 GV) 2,4 Umtriebe/ Jahr 130 Tage/ Schwein	300	36	< 26°C	15 012	1,04	6 149	71
			> 26°C	22 500	1,55	9 165	106
	600	72	< 26°C	30 024	2,08	12 299	71
			> 26°C	45 000	3,12	18 448	106
	1000	120	< 26°C	50 040	3,47	20 518	71
			> 26°C	75 000	5,20	30 747	106
Zuchtschweine (Ø 0,46 GV) mit anteil. Nachzucht	60	28	< 26°C	8 400	0,58	3 433	122
			> 26°C	12 320	0,85	5 026	179
	100	46	< 26°C	13 800	0,95	5 617	122
			> 26°C	20 240	1,40	8 278	179

## 5.2 Beheizung von Ställen

Mit der Entwicklung der einstreulosen Haltungsverfahren treten die Wärmeansprüche der Tierhaltung in den Vordergrund. Die Temperaturen sind bei der Kälberaufzucht zwischen 16 und 20° C zu halten. Deswegen ist ein separater Stall mit Raumheizung vorteilhaft.

Die differenzierten Temperaturansprüche in der Ferkelerzeugung sind in Abb. 28 (Kap. 5) bereits dargestellt worden. Bei einer Raumtemperatur im Abferkelstall von 18° C wird der zusätzliche Wärmebedarf der Ferkel durch lokale Heizquellen gedeckt. Bei den Verfahren mit Frühabsetzen der Ferkel ist in speziellen Fällen die erforderliche Temperatur durch Raumheizung bereitzustellen. Im folgenden werden zunächst die Leistungsansprüche und der Energieverbrauch für Raumheizung dargestellt, während im Anschluß daran die Einrichtungen für lokale Beheizung der Ferkelnester untersucht werden.

Der Wärmefehlbedarf (= Heizlast) errechnet sich nachfolgender allgemeiner Formel (131):

$$Q_H = (Q_{Ti} - Q_L) - Q_B \text{ (kJ/h)}$$

es bedeuten:

- $Q_H$  = Fehlwärmebedarf (Heizlast)
- $Q_{Ti}$  = Wärmeabgabe der Tiere
- $Q_L$  = Lüftungswärme (Verluste)
- $Q_B$  = Wärmeverlust durch raumumschließende Bauteile

Zur Berechnung der Wärmeverluste über die Bauteile gilt folgende Gleichung:

$$Q_B = F \cdot k \cdot t \text{ (kJ/h)}$$

Hierbei bedeuten:

$F$  = die Fläche der Bauteile in m<sup>2</sup>,

$k$  = Wärmedurchgangszahl in kJ/m<sup>2</sup> · h · °C,

$t$  = Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Stallluft in °C.

Um zur Erreichung eines ausgeglichenen Raumklimas nicht zu große Aufwendungen für die Wärmedämmung machen zu müssen, ist Voraussetzung, daß die auf 1 GV entfallenden raumumschließenden Flächen (außer Stallboden) folgende Werte nicht überschreiten: Kälberstall  $F = 25 \text{ m}^2/\text{GV}$ , Ferkelstall  $F = 20 \text{ m}^2/\text{GV}$ , Vormaststall  $F = 30 \text{ m}^2/\text{GV}$ , Stall für Frühabsetzen  $F = 25 \text{ m}^2/\text{GV}$  (112, 113).

Hinsichtlich des k-Wertes wurden folgende Überlegungen zugrundegelegt: Die wirtschaftlichste Kombination zwischen Heizung und Aufwand für die Bauausführung liegt bei einem durchschnittlichen k-Wert von 0,5 - 0,7 für die raumumschließenden Bauteile (9, 57).

Von der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Stallluft hängt letztlich der erforderliche Leistungsbedarf ab, denn die Heizleistung ist nach dem im Winter auftretenden Temperatur-Minimum auszulegen. Hierbei wird von Rechenwerten der DIN 18910(131) ausgegangen, welche mit Extremwerten als Beispiele den Berechnungen zugrundegelegt werden:

Zone I: Außenlufttemperatur  $t_a = -10^{\circ} \text{ C}$ ,  $\varnothing$  10 Eistage/Jahr,

Zone II: Außenlufttemperatur  $t_a = -16^{\circ} \text{ C}$ ,  $\varnothing$  37 Eistage/Jahr.

Über die Heizdauer und den Energieverbrauch liegen in der Literatur keine allgemeingültigen Ergebnisse vor, aus den durchschnittlichen Tagestemperaturen kann die Heizdauer nicht abgeleitet werden. Daher wurden für die Klimazone  $t_a = -10^{\circ} \text{ C}$  300 Stunden und für die Klimazone  $t_a = -16^{\circ} \text{ C}$  600 Stunden Heizdauer/Jahr unterstellt, um wiederum als Beispiele die Extremwerte einzufangen.

Zur Erzeugung der Warmluft in Ställen sind ölbefeuerte Heizquellen verbreitet. Elektrische Heizaggregate können aber im wesentlichen in zwei Verfahren in Betracht gezogen werden:

- a) Heizung mit Heizkörpern,
- b) Heizung durch Vorwärmung der Zuluft.

Den genannten Unterstellungen zufolge errechnen sich die in Tab. 16 angegebenen Werte zur Raumheizung der Ställe. In Abferkelställen müssen in der

Klimazone I ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) 1,2 kW/GV installiert werden, in der Klimazone II ( $-16^{\circ}\text{C}$ ) dagegen 1,5 kW/GV. Dies entspricht bei einem Bestand von 60 Zuchtsauen 11,5 bis 14,5 kW installierter Heizleistung. Bei dem Verfahren "Frühabsetzen der Ferkel" beträgt der Leistungsbedarf in den Batterieställen 1,5 bis 1,8 kW/GV je nach Klimazone, pro Ferkelplatz ( $\phi$  10 kg) also 0,03 bis 0,036 kW. Einer Bestandsgröße von 60 Zuchtsauen sind maximal 270 Ferkelplätze in Batterieställen zuzuordnen, so daß hier 8,1 bis 9,7 kW benötigt werden, bei 100 Zuchtsauen (450 Ferkelplätze) 13,5 bis 16,2 kW.

Für Vormastställe sind in Abhängigkeit des Absetzgewichtes der Ferkel und der Klimazone 2,1 bis 4,6 kW oder für 100 Kälber beispielsweise 14 bis 16 kW notwendig (Tab. 16).

Diese genannten hohen Heizleistungen werden jedoch mit den unterstellten 300 h bzw. 600 h jährlich nur ungenügend ausgelastet. Da eine höhere Auslastung in der Praxis nur in seltenen Fällen erreicht wird, ist ein wirtschaftlicher Elektroenergieeinsatz im allgemeinen bei der Beheizung von Ställen nicht gegeben.

Tabelle 16: Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch für die Raumheizung von Ställen

	Tiergewicht	Außenlufttemperatur	Tierwärme	Lüftungswärme	Restwärme	Wärmeverluste durch Bauteile	Heizlast	El. Leistungsbedarf (spez.)	Energieverbrauch
	kg	$t_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$Q_{Ti}$ (kJ /h·GV)	$Q_L$ (kJ /h·GV)	$Q_R = Q_{Ti} - Q_L$ (kJ /h·GV)	$Q_B = F \cdot k \cdot (t_i - t_a)^*$ (kJ /h·GV)	$Q_H$ (kJ /h·GV)	(kW/GV)	(kWh/GV u. Jahr)
<u>Abferkelstall</u> ( $t_i = 18^{\circ}\text{C}$ , $\phi = 80\%$ )	200	-10	3087	-2364	722	-4939	-4216	1,2	360
		-16	3087	-2520	507	-5997	-5430	1,5	900
<u>Frühabsetzen Batteriestall</u> $t_i = 26^{\circ}\text{C}$ $\phi = 60\%$	10	-10	8400	-10710	-2310	-3175	-5485	1,5	457
		-16	8400	-11340	-2940	-3704	-6644	1,8	1050
<u>Vormaststall</u> $t_i = 20^{\circ}\text{C}$ $\phi = 60\%$	20	-10	6090	-6405	-315	-2268	-2583	0,7	210
		-16	6090	-6720	-630	-2721	-3351	0,9	540
	30	-10	5250	-5040	210	-2268	-2058	0,6	180
		-16	5250	-5250	0	-2721	-2721	0,7	420
<u>Kälberstall</u> $t_i = 18^{\circ}\text{C}$ $\phi = 70\%$	100	-10	4725	-5355	-630	-1764	-2394	0,7	210
		-16	4725	-5649	-924	-2142	-3066	0,8	480

\*  $k = 0,6$  Abferkelstall:  $70 \text{ m}^2/\text{GV}$  Kälberstall:  $25 \text{ m}^2/\text{GV}$   
 Vormaststall:  $30 \text{ m}^2/\text{GV}$  Batteriestall:  $35 \text{ m}^2/\text{GV}$  } raumschließende Bauteile

### Beheizung der Ferkelnester

Im Abferkelstall benötigt man für das Ferkelnest eine zusätzliche lokale Wärmequelle, entweder in Form einer Fußbodenheizung oder eines Infrarotstrahlers.

Infrarotstrahler sind am häufigsten verbreitet und werden mit einem Anschluß von 150 bis 250 Watt verwendet (35). Ihre Bestrahlungsintensität hängt von der Aufhängehöhe und von der zu beheizenden Fläche ab, die Anzahl der Lampen von der Zahl der gleichzeitig zu beheizenden Abferkelboxen (etwa 2/3).

Die installierte Leistung für einen Bestand mit 60 Zuchtsauen ist mit 3,75 kW (15 Lampen je 250 Watt) und für einen Bestand mit 100 Zuchtsauen mit 8,25 kW (33 Lampen je 250 Watt) anzugeben.

Weniger verbreitet ist die elektrische Fußbodenheizung (118). Man unterscheidet zwischen festeingebauten und beweglichen Bodenheizungsanlagen. Die Heizleistung richtet sich nach der zu beheizenden Fläche und liegt bei 250 bis 350 Watt/m<sup>2</sup> (je Bucht 0,6 bis 0,8 m<sup>2</sup>). Bei einer mittleren Heizleistung (300 W/m<sup>2</sup>) sind für 20 Abferkelboxen (60 Sauen) 3,6 bis 4,8 kW und für 30 Abferkelboxen (100 Sauen) 5,4 bis 7,2 kW zu installieren.

Da das Wärmebedürfnis der Ferkel in den ersten Tagen nach der Geburt sehr hoch ist und mit zunehmendem Alter abnimmt, kann die Wärmeabgabe hierbei im Gegensatz zum Infrarotstrahler durch entsprechende Temperaturregeleinrichtungen dem Alter der Tiere angepaßt werden (83). Dazu werden verwendet:

- a) mechanisch oder elektronisch arbeitende Temperaturregler.
- b) Intervall- (Zeittakt-)Schalter. Sie geben die Stromzufuhr je nach Einstellung kürzere oder längere Zeit frei.
- c) Transformatoren, hier wird die Temperatur durch die Veränderung der Betriebsspannung geregelt.

Auch für die Boxen der Absatzferkel hat sich die elektrische Bodenheizung bewährt. Dafür werden meistens ortsfeste Bodenheizungsanlagen mit einer Leistung von 150 bis 200 Watt/m<sup>2</sup> Bodenfläche verwendet. Da einem Bestand von 60 Zuchtsauen 20 m<sup>2</sup> und einem Bestand von 100 Zuchtsauen 30 m<sup>2</sup> für die Boxen der

Absatzferkel zuzuordnen sind, errechnen sich maximal 4,0 bis 6,0 kW Heizleistung.

Die Höhe des Energieverbrauches (bzw. die Heizdauer) wird von der Jahreszeit und den Witterungsverhältnissen, den Stallverhältnissen sowie dem Alter und dem Gewicht der Tiere bestimmt. Sie können jedoch so vielfältig variieren, daß es nicht möglich ist, präzise Abhängigkeiten anzugeben. Bei der Ferkelaufzucht mit dem Infrarotstrahler (250 Watt) ergibt sich ein Energieverbrauch von durchschnittlich 200 kWh/Wurf (2), wobei dieser Wert im Sommer ca. 40 % niedriger und im Winter ca. 36 % höher liegen kann (35). Bei der Bodenheizung dagegen ist ein durchschnittlicher Energieverbrauch von 85 kWh/Wurf zu erwarten. Da hier die Wärmeleistung an den Bedarf der Tiere angepaßt werden kann, liegt der Energieverbrauch niedriger als bei Infrarotstrahlern. Für Absatzferkel mit elektrischer Bodenheizung ist mit etwa 5 bis 8 kWh/Tier im Gewichtsabschnitt von 15 bis 30 kg Gewicht zu rechnen (118).

Nach diesen Angaben über den elektrischen Energieverbrauch der lokalen Heizquellen für Abferkelboxen wird deutlich, daß die Betriebskosten der Fußbodenheizung aufgrund der Regelungsmöglichkeit 60 % unter denjenigen der Infrarotlampen liegen. Bei annähernd gleichem Leistungsbedarf ist aus dieser Sicht trotz höherer Investitionskosten die Fußbodenheizung vorzuziehen.

Am Beispiel der Betriebsmodelle mit 60 und 100 Zuchtsauen (Kap. 7.3.1) wird dieses Problem eingehender erläutert.

### 5.3 Beleuchtung

Für die Beleuchtung im landwirtschaftlichen Betrieb können Glühlampen oder Leuchtstofflampen verwendet werden. Die Leuchtstofflampe (45 Lumen/Watt) zeichnet sich gegenüber der Glühlampe (14,5 Lumen/Watt) durch die bessere Lichtausbeute und die höhere Lebensdauer (7fach) aus (59, 124).

Der Beleuchtungsbedarf der einzelnen Arbeitsbereiche und der daraus abzuleitende Lichtleistungsbedarf in  $\text{Watt/m}^2$  sind in Tab. 17 angegeben. Unter Berücksichtigung eines durchschnittlichen Wirkungsgrades ( $\eta = 0,36$ ) ergeben

sich die in Tabelle 18 errechneten Gesamtwerte und der jährliche Energieverbrauch. Bei Mastschweinen sind 7 bis 10 m<sup>2</sup>/GV, bei Zuchtsauen 16 m<sup>2</sup>/GV und bei Mastbullen (Vollspaltenbodenstall) 1,5 bis 2 m<sup>2</sup>/GV zu beleuchten. Der Energieverbrauch in Tabelle 18 wurde für eine durchschnittliche tägliche Beleuchtungszeit in Höhe von 4 Stunden bei Zuchtsauen, 1 Stunde bei Mastschweinen und 2 Stunden bei Mastbullen berechnet.

Tabelle 17: Beleuchtungsbedarf nach DIN 18910 (131)

	Hauptbeleuchtungszone	Beleuchtungsstärke in Lux (=lm/m <sup>2</sup> )	Spezifischer Lichtleistungsbedarf in (W/m <sup>2</sup> )*	
			Glühlampen (0,07 W/lm)	Leuchtstofflampen (0,02 W/lm)**
<u>Mastbullen</u>				
Anbindestall	Futtergang	30	5,83	1,66
	Mistgang	60	11,66	3,33
Loufstall	Futtergang	60	11,66	3,33
<u>Eber- und Sauenstall</u>	Futtergang	60	11,66	3,33
<u>Abferkelstall</u>	Ferkelbereich	60	11,66	3,33
<u>Schweinemaststall</u>	Futtergang	60	11,66	3,33
Futteraufberei- tungsraum		60	11,66	3,33

\*  $\eta = \varnothing 0,36$

\*\* mit Vorschaltgerät

Nach den Werten der Tab. 18 ist den Leuchtstofflampen unbedingt der Vorzug zu geben. Durch die bessere Lichtausbeute sind beispielsweise mit Leuchtstofflampen in einem Stall für 100 Zuchtsauen 6 kW, für 1000 Mastschweine 10 kW und für 500 Mastbullen 5 kW weniger zu installieren als mit Glühlampen. Daher ergeben sich Einsparungen in der Größenordnung von 9000 kWh/Jahr bei 100 Zuchtsauen und 3500 kWh/Jahr bei 1000 Mastschweinen oder 500 Mastbullen. Wie bereits angedeutet, ist die höhere Wirtschaftlichkeit der Leuchtstofflampe auch durch die wesentlich längere Haltbarkeit gegeben.

Tabelle 18: Spezifischer Lichtleistungsbedarf und Energieverbrauch

	Glühlampen		Leuchtstofflampen (mit Vorschaltgerät)	
	kW/GV	$\frac{\text{kWh}}{\text{GV u. Jahr}}$	kW/GV	$\frac{\text{kWh}}{\text{GV u. Jahr}}$
Mastbullenställe	0,02	14,6	0,006	4,38
Zuchtschweineeställe	0,19	277,4	0,055	80,30
Mastschweineeställe	0,11	40,15	0,030	10,95

6. Die Elektroenergieverbraucher für die Heißwasserbereitung

Die hinsichtlich des Elektroenergieeinsatzes bedeutungsvollen Geräte zur Warmwasserbereitung wurden nach ihrer technischen Ausführung und Arbeitsweise von AYIK untersucht. Der Warmwasserbedarf ist speziell in den Verfahren der Milchgewinnung und -behandlung aufgrund der hygienischen Anforderungen von Bedeutung. Der durchschnittliche Warmwasserbedarf der hier behandelten Verfahren der tierischen Produktion ist in Tab. 19 zusammengefaßt.

Tabelle 19: Der erforderliche Warmwasserbedarf (60° C) in der tierischen Produktion

Zuchtschweine-	je Buchtenreinigung	ca. 17 l
haltung:	je Saendusche	ca. 13 l
Mastschweine:	Ferkelbad pro Ferkel	ca. 1 l
Kälber:	pro Kalb und Tag	ca. 6 l
sonstiger Wasserverbrauch am Tag		ca. 30 l

Bei den Verfahren der Mastbullenhaltung berechnet sich der tägliche Bedarf aus der Anzahl der Kälber (durchschnittl. 20 % des Bestandes). Hier sind wärmeisolierte Warmwasserspeicher am wirtschaftlichsten einsetzbar. Bei den Verfahren der Mast- und Zuchtschweinehaltung ist der Verbrauch von den jeweiligen Gewohnheiten und den Betriebsverhältnissen abhängig, weswegen nur Richtwerte angegeben werden können.

Die Größe des Warmwasserspeichers ist nach dem maximalen täglichen Bedarf auszurichten, der beispielsweise bei Neubelegung des Stalles auftritt. Die richtige Dimensionierung der Behälter (Tab. 20) führt zu größter Wirtschaftlichkeit, da die Warmwasserbereitung dann ausschließlich in der nächtlichen Schwachlastzeit durchgeführt werden kann.

Tabelle 20: Elektrischer Leistungs- und Energiebedarf der Warmwasserspeicher in der Rindermast und der Schweinehaltung				
Tiergruppe (Stück)		Speichergröße (l)	Anschlußwert (kW)	El. Energieverbrauch (kWh/Jahr)
<b>Mastbullen</b> Ø Kälberbestand				
100	20	120	2,0/6,0	2920
300	60	400	6,0	8760
500	100	600	9,0	14600
<b>Mastschweine</b>				
300		120	2,0	784
600		200	2,0	838
1000		300	4,0	906
<b>Zuchtsauen</b>				
60		200	2,0	1022
100		300	4,0	1216

## 7. Der Elektroenergiebedarf in den Produktionszweigen der Rindermast und der Schweinehaltung (Betriebsmodelle)

In den Kapiteln 2 bis 6 wurden die einzelnen Arbeitsgebiete hinsichtlich des Leistungsbedarfes und des Elektroenergieverbrauches untersucht, um die Bedeutung der verschiedenen Einflußfaktoren festzustellen. Um nun ganze Betriebseinheiten aufbauen zu können, werden diese Einzeldaten unter praxisnahen Bedingungen aggregiert.

In den Betriebsmodellen wird grundsätzlich die Nennleistung der Elektromotoren angegeben, da diese den Berechnungen der Tarife zugrunde gelegt wird. Daher muß folgendes beachtet werden:

- a) Falls Werte über die erforderliche Leistung (z. B. an der Gebläsewelle) verfügbar sind, ist ein Motor mit der entsprechenden Nennleistung (genormte Bauausführung) ausgewählt. Da die erforderliche Leistung und somit die Leistungsaufnahme bisweilen von der gewählten Nennleistung abweicht, ist dies jeweils angemerkt und die Berechnung des Elektroenergieverbrauches erfolgt nach der Leistungsaufnahme unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades.
- b) In vielen Fällen ist jedoch der Leistungsbedarf (vom Netz aufgenommene Leistung) bekannt, wie z. B. bei Stalllüftern, Heulüftern, Oberfräsen oder Hammermühlen. In diesem Falle ist der Elektroenergieverbrauch direkt zu ermitteln, da der Wirkungsgrad in diesen Werten enthalten ist. Da jedoch die Nennleistung in den Modellen diesem Leistungsbedarf gleichgesetzt wird, ist davon auszugehen, daß die Motoren dann lediglich zu 80 bis 90 % ihrer Nennleistung ausgelastet sind (vermindert um die Höhe des Wirkungsgrades). Dies gewährleistet jedoch den Betrieb bei optimalem Wirkungsgrad ohne hohen Blindstromanteil.
- c) Falls nach Literaturwerten oder Firmenangaben ausschließlich die Nennleistungen (installierte Motorenleistung) bekannt sind (Körnergebläse, Becherwerke, Körnerschnecken), wird zur Errechnung des Elektroenergieverbrauches eine mittlere Leistungsaufnahme in Höhe der Nennleistung unterstellt.

Somit können mit Hilfe der Modelle Aussagen über die zu installierende Leistung, den auftretenden Leistungsbedarf und den Elektroenergieverbrauch in Abhängigkeit von der Bestandsgröße sowie von den Mechanisierungsverfahren getroffen werden. Mit Hilfe theoretisch ermittelter typischer Belastungsverhältnisse, welche durch Überlagerung der einzelnen Verbraucher beispielsweise an Erntetagen auftreten, läßt sich die jährliche Leistungsspitze und die Nutzungsdauer ableiten. Diese ist als wichtiger Kennwert Maßstab zur Beurteilung des Elektroenergieeinsatzes.

Diese Darstellungsweise führt zu Rückschlüssen über die notwendige Stromversorgung landwirtschaftlicher Betriebe und ländlicher Ortsnetze. Der Schwerpunkt liegt jedoch letztlich in der Beurteilung der Einzelverfahren mit der Schilderung über Möglichkeiten und Wege, Maßnahmen zur Leistungssenkung durchzuführen. Hierbei kommt der zeitlichen Verlagerung bestimmter Arbeitsvorgänge und der Verriegelung einzelner Elektroenergieverbraucher besondere Bedeutung zu, wobei folgende technische Möglichkeiten zur Verfügung stehen:

a) Verlagerung in Schwachlastzeiten

Automatisch ablaufende Arbeitsvorgänge können durch eine Steuerung mit Schaltuhren in die vom jeweiligen EVU festgelegte Schwachlastzeit verlegt werden. Für das gesamte Bundesgebiet läßt sich keine einheitliche Schwachlastzeit angeben, da die Belastungsverhältnisse bei den einzelnen EVU aufgrund der Verbrauchsgewohnheiten der Stromkunden unterschiedlich sind. Von den bisher beschriebenen Arbeitsvorgängen ist vor allem die Warmwasserbereitung verschiebbar, sofern es sich um Großspeicher (ab 200 l) handelt. Auch bei der Hammermühle läßt sich diese Verlagerung durchführen, falls ein automatischer Betrieb störungsfrei gewährleistet ist.

b) Verriegelung einzelner Elektromotoren mit und ohne Vorrangschaltung

Zur Verriegelung von Verbrauchseinrichtungen sind folgende technische Lösungen anwendbar:

- Wahlschalter mit Handbetätigung ohne Vorrang. Hierbei kann zwangsläufig nur einer der angeschlossenen Verbraucher betrieben werden.
- Umschaltung über elektromagnetische Schalter (Schütze) ohne Vorrang. Auch hier erfolgt das Umschalten von Hand. Beim Einschalten eines Verbrauchers muß der andere Verbraucher erst abgeschaltet werden. Durch die Steuerleitung ist zwar ein höherer technischer Aufwand nötig, bei räumlich getrennten Verbrauchseinrichtungen kann dieser Aufwand jedoch sinnvoll sein.

- Verriegelungsschaltung (Vorrangschaltung) mit Strom- oder Leistungsrelais. Hier wird eine automatische Verriegelung beim Einschalten des vorrangigen Verbrauchers durchgeführt. Die Steuerung des zweiten Verbrauchers erfolgt über Schütze.
- Verriegelungsschaltung eines bestimmten Verbrauchers (automatisch mit Vorrangschaltung). Beim Ausschalten des vorrangigen Verbrauchers ist ein automatischer Wiederanlauf des zweitrangigen Verbrauchers möglich.

Diese beschriebenen technischen Einrichtungen haben unterschiedlichen Installationsaufwand und können nach räumlicher Anordnung oder je nach Einschalt-  
häufigkeit der Geräte sinnvoll zugeordnet werden. Bei häufiger Laufzeit sind  
automatische Schaltungen mit Wiederanlauf des zweitrangigen Verbrauchers wün-  
schenswert.

#### 7.1 Mastbullenhaltung

Die nachfolgend beschriebenen Verfahren der Mastbullenhaltung basieren auf  
Intensivmast einer Zweinutzungsrasse. Im einzelnen wurden folgende Unterstel-  
lungen getroffen: Zur Aufzucht der Kälber werden im Gewichtsabschnitt mit  
75 - 100 kg Lebendgewicht 42 Tage benötigt. Der durchschnittliche Kälberbe-  
stand entspricht 20 % des Gesamtbestandes an Mastbullen. Die gesamte Futter-  
menge ist mit 20 kg Milchaustauscher, 30 kg Kälberkraftfutter, 15 kg Getrei-  
de, 15 kg Sojaschrot, 15 kg Heu und 5 kg Maissilage anzugeben.

Die Stallmast in dem Gewichtsabschnitt 100 bis 500 kg Lebendgewicht (durch-  
schnittlich 0,7 GV) dauert 330 Tage. Für das Kraftfutter werden 265 kg Getrei-  
de, 420 kg Sojaschrot, 165 kg Trockenschnitzel sowie Mineralstoffe und Harn-  
stoff benötigt (durchschnittlich 2,5 kg Kraftfutter pro Tier und Tag), das  
gesamte Grundfutter besteht aus 5900 kg Maissilage (durchschnittlich 14 kg  
Silage pro Tier und Tag, 180 StE/kg Silage).

Zur Aufstallungsform: Für den geschlossenen Maststall sind Buchten mit Voll-  
spaltenboden vorgesehen, wobei die Krippenlänge 0,55 m/Bulle, die Futtergang-  
breite 1,25 m und die Breite des Treibganges 0,8 m betragen. Für 100 Mast-  
bullen ist beispielsweise ein Zweihöher Stall mit 30 m Länge, für 300 Mast-  
bullen mit 90 m Länge und für 500 Mastbullen 2 Ställe mit je 70 m Länge not-  
wendig.

### 7.1.1 Installierte Leistung, Elektroenergieverbrauch und Benutzungsdauer der installierten Leistung

Die Verfahren der Mastbullenhaltung, insbesondere die hier beschriebenen Verfahren intensiver Stallmast werden hinsichtlich des elektrischen Leistungsbedarfes und Energieverbrauches entscheidend durch die Mechanisierung der Futterkette beeinflusst (Silobehälter, Einlagerungsgeräte, Fütterungswagen und Kraftfuttermahlung). Von ebenso großer Bedeutung sind die Aufstallungsform mit ihren Konsequenzen auf die Organisation der Mistkette sowie die zur Klimatisierung benötigten Einrichtungen. Unter diesem Gesichtspunkt werden verschiedene Produktionseinheiten modellartig zusammengestellt, wobei die Auswirkungen des unterschiedlichen Elektrizitätseinsatzes - im folgenden mit "Mechanisierungsstufe" bezeichnet - zu untersuchen sind. Die Einzeldaten mit der installierten Leistung und dem jährlichen Elektroenergieverbrauch sind in Tab. 1 des Anhangs angegeben.

Die Hochsilomechanisierung beansprucht außerordentlich hohe elektrische Leistungen (Abb. 30). Für eine Bestandsgröße mit 100 Mastbullen (70 GV) müssen bei Verwendung eines Fördergebläses, einer elektrisch betriebenen Flüssigmistpumpe, leistungsaufwendigen Einrichtungen zur Kraftfuttermahlung und elektrischer Heizung für den Kälberstall insgesamt 96 kW installiert werden (Mechanisierungsstufe I). Bei 300 Mastbullen sind 110 kW zu installieren, da eine leistungstärkere Flüssigmistpumpe benötigt wird. Am Beispiel mit 500 Mastbullen (150 kW installierte Leistung) wird besonders deutlich, daß diese Mechanisierungsstufe I sehr hohe elektrische Leistungsansprüche stellt und daß besonders in großen Tierbeständen nach verfahrenstechnischen Verbesserungen zur Senkung dieser Leistungsansprüche gesucht werden muß.

Der jährliche Elektroenergieverbrauch beträgt 18 436 kWh bei 100 Mastbullen, in größeren Beständen werden 54 700 kWh (300 Mastbullen) bis 92 512 kWh (500 Mastbullen) erreicht (181 - 185 kWh pro Mastbulle und Jahr).

Die Benutzungsdauer der inst. Leistung ist sehr niedrig und beträgt bei einer Bestandsgröße mit 100 Mastbullen 200 Stunden. Bei 500 Mastbullen werden 613 Benutzungsstunden erreicht. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der Elektroenergieverbrauch gleichmäßig mit wachsendem Tierbestand, die installierte Leistung jedoch in einem geringeren Verhältnis ansteigt. Dies geht

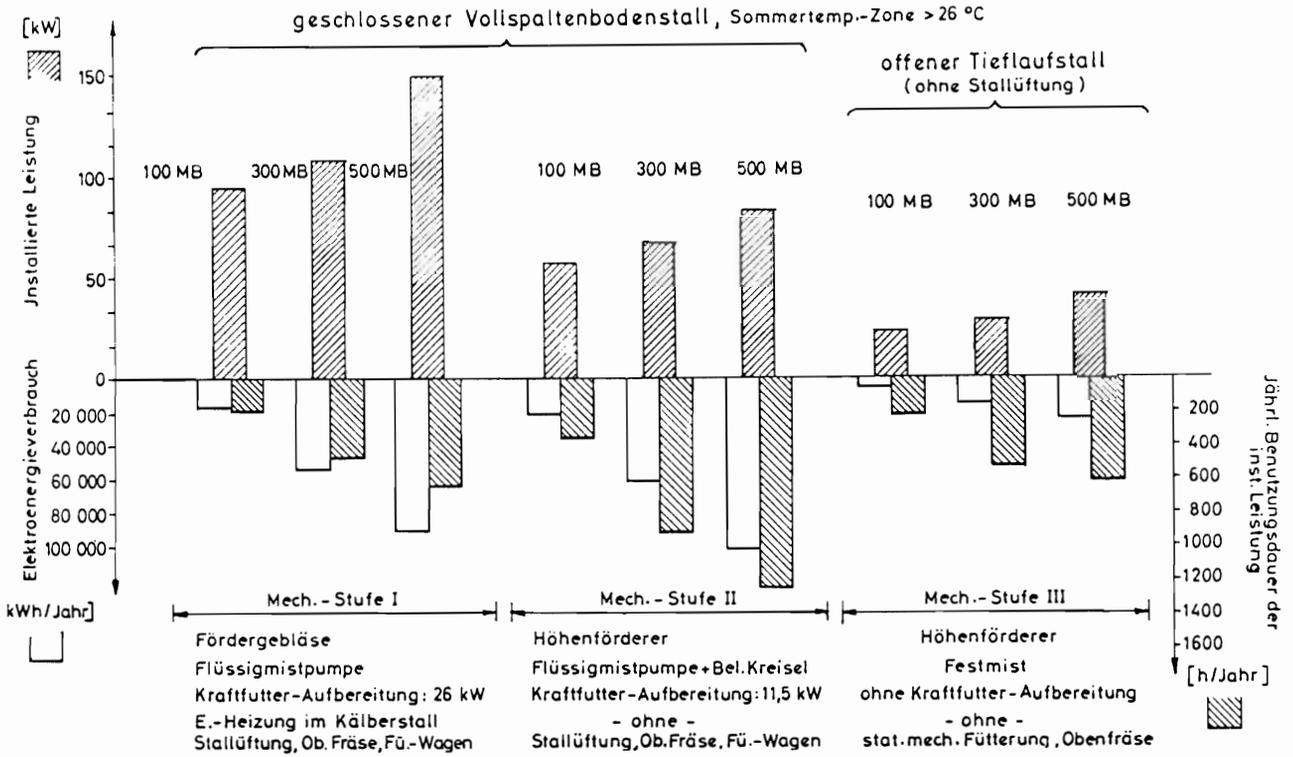


Abb. 30: Installierte Leistung und Energieverbrauch in der Mastbullenhaltung bei unterschiedlicher Hochsilo-Mechanisierung

auch aus Tab. 21 hervor; das schlechte Verhältnis zwischen den Leistungsansprüchen und dem Elektroenergieverbrauch ist besonders in kleinen Beständen deutlich.

Tabelle 21: Spezifische Elektroenergie-Kenndaten der Bullenmast bei Hochsilo-Mechanisierung (nach Abb. 30)

Bestandsgröße	100 Mastbullen		300 Mastbullen		500 Mastbullen	
	kW/Bulle	kWh/Bulle und Jahr	kW/Bulle	kWh/Bulle und Jahr	kW/Bulle	kWh/Bulle und Jahr
Mech.-Stufe I	0,96	184	0,37	182	0,30	185
Mech.-Stufe II	0,56	210	0,23	209	0,16	207
Mech.-Stufe III	0,24	52	0,09	50	0,08	51

In der Mechanisierungsstufe II wird besonderer Wert auf eine Senkung der Leistungsansprüche und der installierten Leistung gelegt (vgl. Tab. 1, Anhang). Die Hochsilobeschickung mit Höhenförderer, die leistungsschwächere Flüssigmispumpe (Konsistenzabbau durch Oberflächenbelüftung), Leistungssenkungen bei der Kraftfutteraufbereitung (einschl. mechanische Körnerförderung) und der Verzicht auf elektrische Raumheizung führen zu einer installierten Leistung in Höhe von 56 kW bei 100 Mastbullen, 68 kW bei 300 Mastbullen und 82 kW bei 500 Mastbullen. Diese Maßnahmen führen zu 41 - 46 % niedrigeren Werten gegenüber der Mechanisierungsstufe I. Da gleichzeitig der Elektroenergieverbrauch geringfügig ansteigt (207 - 210 kWh pro Mastbulle und Jahr), verbessert sich die Benutzungsdauer der installierten Leistung. Besonders deutlich ist dies in den Bestandsgrößen mit 300 und 500 Mastbullen (911 bzw. 1 250 h/Jahr).

Wesentlich geringer sind die Ansprüche an die Elektroenergie in der Mechanisierungsstufe III (Abb. 30). Trotz Hochsilomechanisierung (Höhenförderer, Obenfräse, mechanische Fütterung) zeichnet sich dieses offene Laufstallsystem mit Festmistverfahren durch einen niedrigen Leistungsbedarf aus, da auch auf eine hofeigene Kraftfutteraufbereitung verzichtet wird. Es sind lediglich 24 kW für 100 Mastbullen, 28 kW für 300 Mastbullen und 42 kW für 500 Mastbullen zu installieren. Da jedoch vor allem aufgrund der fehlenden Stalllüftung der jährliche Elektroenergieverbrauch wesentlich sinkt (50 kWh pro Mastbulle und Jahr), wird auch diese geringe installierte Leistung mit 200 - 600 h jährlich nur ungenügend ausgenutzt. Das Verhältnis zwischen Leistung und Elektroenergieverbrauch ist auch bei dieser leistungssparenden Mechanisierungsstufe mit Hochsilos schlecht.

Um Unterschiede zu verdeutlichen, werden den Verfahren mit Flachsilos entsprechende Mechanisierungsstufen I bis III zugrunde gelegt (Abb. 31). Aufgrund der abweichenden Arbeitsverfahren der Futterkette sind jedoch die Leistungsansprüche in diesen Fällen allgemein 65 % - 75 % geringer als bei den bisher behandelten Beispielen mit Hochsilomechanisierung. In der Mechanisierungsstufe I (leistungsstarke Flüssigmispumpe, Kraftfutteraufbereitung und Elektroheizung) sind 63 kW bei 100 Mastbullen, 87 kW bei 300 Mastbullen und 98 kW bei 500 Mastbullen zu installieren. Da sich in der Höhe des jährlichen Elektroenergieverbrauches keine wesentlichen Änderungen ergeben (173 kWh pro Mastbulle

und Jahr), ist hier die jährliche Benutzungsdauer nur noch in kleinen Beständen schlecht (275 h jährlich bei 100 Mastbullen). Bei 300 und 500 Mastbullen errechnen sich mit 600 - 870 h höhere und daher günstigere Werte als in der gleichen Mechanisierungsstufe mit Hochsilos (Abb. 31 und Tab. 22).

Tabelle 22: Elektroenergie-Kenndaten der Bullenmast bei Flachsilomechanisierung (nach Abb. 31)

Bestandsgröße	100		300		500	
	kW/Bulle	kWh/Bulle und Jahr	kW/Bulle	kWh/Bulle und Jahr	kW/Bulle	kWh/Bulle und Jahr
Mech.-Stufe I	0,63	173	0,29	173	0,20	173
Mech.-Stufe II	0,37	198	0,17	197	0,11	197
Mech.-Stufe III	0,07	40	0,02	38	0,02	38

Wesentliche Verbesserungen sind jedoch auch bei der Flachsilomechanisierung mit dem Übergang auf leistungssparende Verfahren möglich (Mechanisierungsstufe II, Abb. 31). Nach Leistungssenkungen bei der Flüssigmistbehandlung und der Kraftfutteraufbereitung sind 37 kW bei 100 Mastbullen und 52 bzw. 59 kW bei 300 oder 500 Mastbullen zu installieren. Die Steigerung des Elektroenergieverbrauches auf 197 kWh pro Mastbulle und Jahr wird durch die Laufzeit der Hammermühle und die Oberflächenbelüftung des Flüssigmistes verursacht und führt zu einer hohen Benutzungsdauer der installierten Leistung; sehr gute Werte sind in den Bestandsgrößen mit 300 Mastbullen (1140 h pro Jahr) und mit 500 Mastbullen (1670 h pro Jahr) erreichbar. An dieser hohen Benutzungsdauer ändert sich bei der Mechanisierungsstufe III aufgrund des minimalen Leistungsanspruches nichts, obwohl der jährliche Elektroenergieverbrauch lediglich 38 kWh pro Mastbulle und Jahr beträgt. Elektrizitätswirtschaftlich ist daher auch in diesem Fall die Flachsilomechanisierung wesentlich günstiger zu beurteilen als die Hochsilomechanisierung.

Am Beispiel der Produktionsmodelle wurde der hohe Leistungsbedarf hochmechanisierter Bullenmast-Verfahren aufgezeigt. Durch verfahrenstechnische Änderungen kann der Leistungsbedarf jedoch wesentlich gesenkt werden, und bei

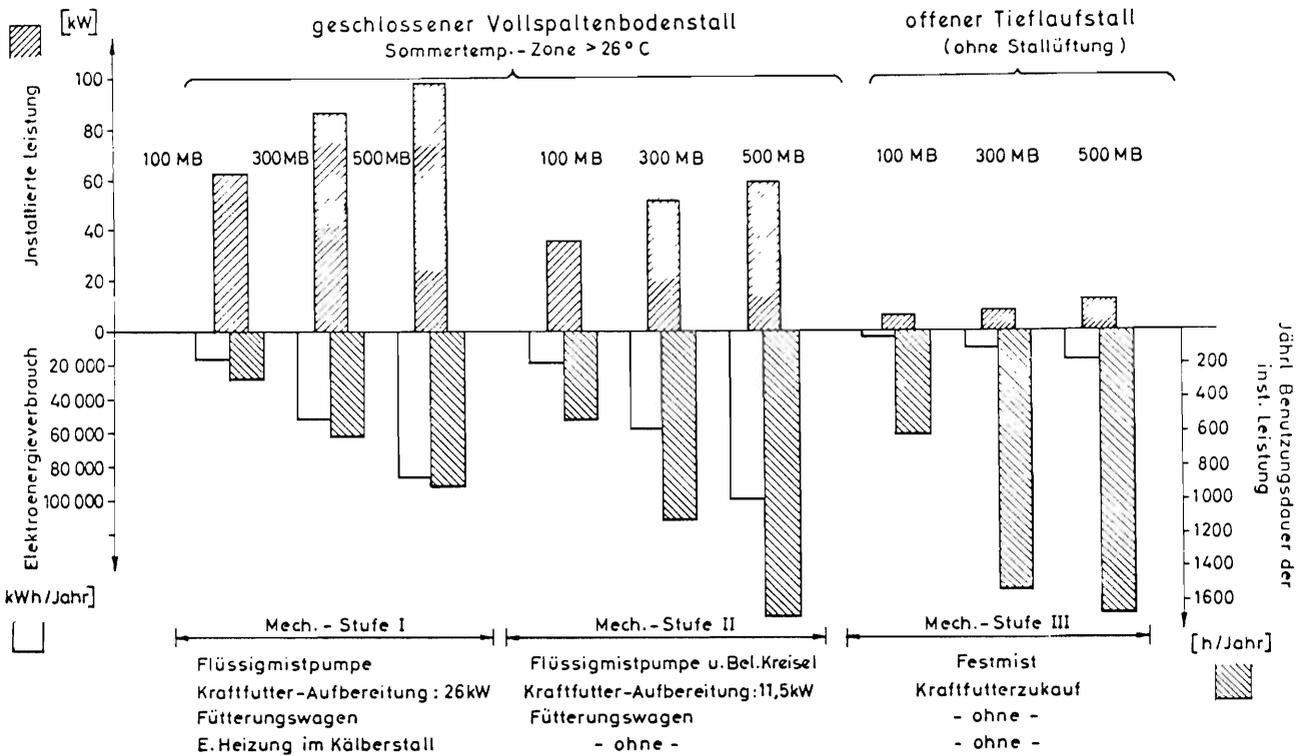


Abb. 31: Installierte Leistung und Energieverbrauch in der Mastbullenhaltung bei unterschiedlicher Flachsilo-Mechanisierung

nahezu konstantem Elektroenergieverbrauch ergeben sich dann elektrizitätswirtschaftliche Vorteile. Die Zusammenstellung der Einzelverbraucher in Abb. 32 verdeutlicht die ungünstigen Einsatzbedingungen von Oberfräse, Raumheizung, Flüssigmistpumpe, Hammermühle, Förder- und Körnergebläse (Modell 300 Mastbullen, geschlossener Vollspaltenbodenstall). Eine Benutzungsdauer mit weniger als 300 h/Jahr ist vor allem bei hoher installierter Leistung nachteilig. Daher sind durch die Auswahl der Geräte Verbesserungen möglich, die in den Modellen in den Mechanisierungsstufen II und III wirksam werden. Wie bereits dargestellt, steigt die Benutzungsdauer der inst. Leistung beispielsweise bei Hochsilomechanisierung für 300 Mastbullen mit der Verwendung eines Höhenförderers, nach Leistungssenkungen bei der Flüssigmistbehandlung und Kraftfutteraufbereitung und bei Verzicht auf elektrische Raumheizung von 500 h auf 900 h an. Auch bei Flachsilomechanisierung sind diese Maßnahmen der Leistungssenkung vorteilhaft und wirken sich mit einer deutlichen Verbesserung

der Benutzungsdauer der inst. Leistung aus (Steigerung von 600 h auf 1140 h bei 300 Mastbullen).

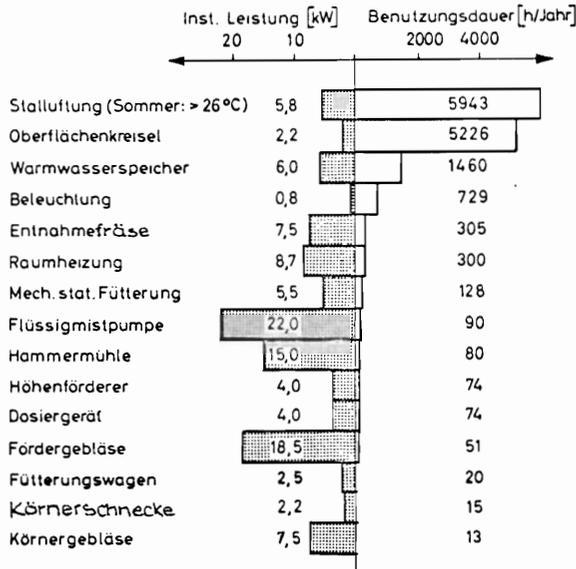


Abb. 32: Installierte Leistung und jährliche Benutzungsdauer einzelner Elektroenergieverbraucher - Modell 300 Mastbullen, geschlossener Vollspaltenbodenstall

7.1.2 Belastungsverlauf und Leistungssenkung durch zeitliche Verlagerung der Arbeitsvorgänge

Aus der Sicht der Elektrizitätsversorgung ist jedoch die zeitliche Verteilung der Leistungsansprüche von besonderer Bedeutung. In vielen Fällen kann trotz hoher installierter Leistungen die einzelbetriebliche Situation durch einen gleichmäßigen Belastungsverlauf verbessert werden.

Die Belastungsverhältnisse eines Betriebes bzw. Produktionsverfahrens lassen sich mit Hilfe der bereits einleitend beschriebenen Wirkleistungsmessungen untersuchen, wobei dann die Summe der Leistungsaufnahme der Einzelgeräte erfaßt wird. Diese Meßmethode ist zwar unerlässlich, falls man auch kurzfristige Vorgänge (z. B. Anlaufspitzen) exakt erkennen will, für die Versorgungsunternehmen ist jedoch im Hinblick auf die Netzbelastung das Viertelstundenmaximum Kennwert und Berechnungsgrundlage. Zur Ermittlung dieses Wertes werden

spezielle Meßeinrichtungen verwendet, so zum Beispiel der von der AEG entwickelte "Maximeter", der neben der elektrischen Arbeit (kWh) auch das Leistungsmaximum erfaßt. Dieses wird als Mittelwert einer 15minütigen Meßperiode unmittelbar in kW auf einer Ziffernrolle fortlaufend aufgeschrieben. Hierbei bleiben dann die absoluten Leistungsspitzen kurzfristig eingeschalteter Geräte unberücksichtigt.

Dieses 1/4-Stunden-Maximum ist Bezugsgröße für die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast, dem Quotient aus dem jährlichen Gesamtverbrauch (kWh) und dem höchsten jährlichen 1/4-Stunden-Maximum (kW max.). Als weitere Kenngröße ist der Verbrauchsfaktor zu nennen (Quotient aus dem jährlichen Maximum und der installierten Leistung), welcher den Grad der Gleichzeitigkeit der in Anspruch genommenen Leistung angibt.

Bei der Darstellung der Belastungsverhältnisse der Betriebsmodelle kann mit der Aggregation der durchschnittlich aufgetretenen Wirkleistung der Einzelgeräte ein Annäherungswert ermittelt werden. Das jährliche Maximum resultiert dann nach Kenntnis des Produktionsablaufes des jeweiligen Betriebsmodelles aus der an einem bestimmten Tage aufgetretenen Leistungsspitze. Als Beispiel sind die Verhältnisse für das Modell mit 300 Mastbullen (ohne Stallheizung) in Abb. 33 angegeben. Die tägliche Grundlast resultiert aus der Stalllüftung, im Sommer bei maximal benötigter Luftrate mit 6 kW. Die nächtliche Warmwasseraufbereitung sowie die Laufzeit der Oberfräse sind zeitlich festgelegt. Die anderen Arbeitsvorgänge sind so verteilt, daß eine Überlagerung mit höchsten Belastungsspitzen vermieden wird. Das jährliche Maximum muß dann beim Einsatz der Flüssigmispumpe, während der Kraftfuttersaufbereitung (Beschickung mit Körnergebläse) oder während der Hochsilobefüllung in der Silomaisernte in Höhe von 25 - 31 kW auftreten. Da letzterer Arbeitsvorgang im Herbst auftritt, wurde auch ein Herbsttag in Abb. 33 dargestellt. Diese Belastungsverhältnisse sind mit einem Verbrauchsfaktor von 0,21 - 0,27 gekennzeichnet. Für die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast errechnen sich zwischen 2070 und 2564 Stunden, da in diesem Beispiel jährlich 64 118 kWh verbraucht werden.

In der Praxis treten jedoch häufig Überlagerungen auf, welche die Benutzungsdauer wesentlich verschlechtern. Folgende Kombinationen sind für das in Abb. 33 gezeigte Beispiel denkbar:

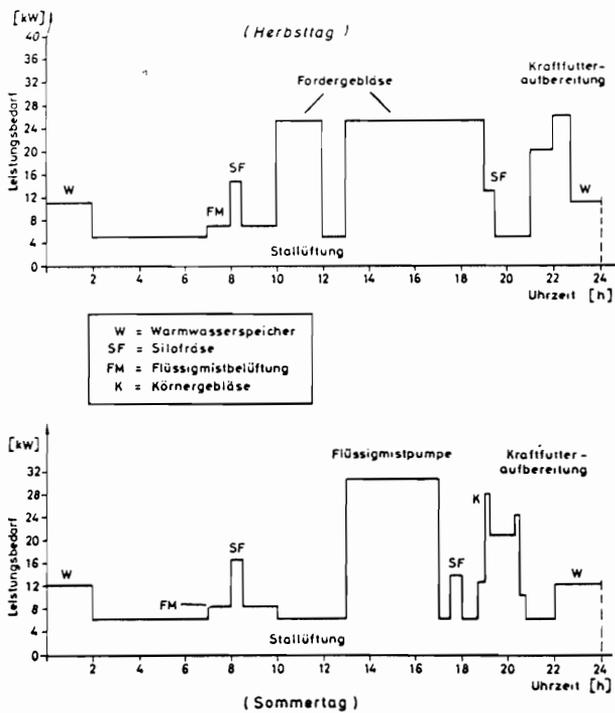


Abb. 33: Beispiel des täglichen Belastungsverlaufes (Betriebsmodell 300 Mastbullen)

a) Flüssigmistpumpe oder Fördergebläse laufen gleichzeitig mit der Oberfräse.

Jahresmaximum: 33 - 39 kW, Verbrauchsfaktor: 0,28 - 0,34  
Benutzungsdauer: 1942 - 1644 Stunden.

b) Flüssigmistpumpe und Kraftfutteraufbereitung (mit Körnergebläse) laufen gleichzeitig.

Jahresmaximum: 53,5 kW, Verbrauchsfaktor: 0,46  
Benutzungsdauer: 1200 Stunden.

c) Fördergebläse, Oberfräse, Flüssigmistpumpe und Kraftfutteraufbereitung laufen gleichzeitig.

Jahresmaximum: 77 - 80,5 kW, Verbrauchsfaktor: 0,67 - 0,70  
Benutzungsdauer: 832 - 796 Stunden.

Für alle Produktionsmodelle der Bullenmast sind in Tab. 23 Jahresmaximum, Verbrauchsfaktor und Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast angegeben. Die Mechanisierungsstufen I, II und III beziehen sich hierbei direkt auf Abb. 30 und Abb. 31 (Tabelle 1 - Anhang). Für das Jahresmaximum wurden neben der Situation bei bestmöglicher zeitlicher Verlagerung der Einzelgeräte die Werte für folgende Überlagerungssituationen errechnet. Es gelangen gleichzeitig zum Einsatz:

- a) Flüssigmistpumpe und Obenfräse
- b) Flüssigmistpumpe und Kraftfutteraufbereitung
- c) Flüssigmistpumpe, Obenfräse, Kraftfutteraufbereitung und Hochsiloeinlagerung.

Mit zunehmender Überlagerung der einzelnen Arbeitsvorgänge tritt in allen Mechanisierungsstufen eine deutliche Verschlechterung der jährlichen Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast ein. Dies wirkt sich wiederum besonders in geringen Bestandsgrößen aus. Bei Hochsilomechanisierung I sind die Maßnahmen einer zeitlichen Verteilung der Leistungsansprüche unerlässlich, da im ungünstigsten Falle (Überlagerung c mit 84 - 139 kW) nur 219 - 681 Benutzungsstunden auftreten. Durch die Verriegelung von Fördergebläse, Flüssigmistpumpe, Hammermühle und Obenfräse sind entscheidende Verbesserungen möglich, die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast steigt auf 680 Stunden (100 Mastbullen) bzw. auf 1 840 Stunden (500 Mastbullen). Auch in den mit Mechanisierungsstufe II bezeichneten leistungssparenden Verfahren (vergl. Abb. 30 bzw. Tab. 1 - Anhang) sind die Maßnahmen einer zeitlichen Verlagerung sinnvoll, um durch die Ausnutzung aller Möglichkeiten in elektrizitätswirtschaftlich gute Bereiche vorzustoßen. Bei Überlagerung aller Arbeitsvorgänge (Überlagerung c) sind hier mit 42,1 - 67,8 kW zwar nicht mehr die Belastungsspitzen in der zuvor genannten Höhe möglich; es tritt aber durch die optimale Verlagerung der Arbeitsvorgänge Hochsilobefüllung, Kraftfutteraufbereitung und Flüssigmistbehandlung eine Steigerung der Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast von 501 Stunden auf 1 238 Stunden bei 100 Mastbullen, von 1 108 Stunden auf 2 002 Stunden bei 300 Mastbullen und von 1 526 Stunden auf 2 932 Stunden bei 500 Mastbullen ein. Daher sollten auch hier die Verriegelungsmaßnahmen zur Anwendung gelangen.

Tabelle 23 :

Elektroenergie-Kenndaten für die Betriebsmodelle der Bullenmast bei unterschiedlicher Überlagerung der Arbeitsvorgänge

	Inst.Leistung*			Jahresmaximum			Verbrauchsfaktor			Ben.-Dauer der Jahreshöchstlast (h)		
	100	300	500	100	300	500	100	300	500	100	300	500
<b>Bestandsgröße</b>	100	300	500	100	300	500	100	300	500	100	300	500
<b>Hochsilomechanisierung I</b>	96	114	150									
optimale Verlagerung				27,0	46,2	50,3	0,28	0,40	0,33	682	1190	1840
Überlagerung** a				36,5	60,0	73,4	0,38	0,52	0,48	505	912	1260
b				51,5	75,0	80,9	0,53	0,65	0,53	358	730	1150
c				84,1	101,0	135,9	0,87	0,88	0,90	219	542	681
<b>Hochsilomechanisierung II</b>	56,6	68,2	82,5									
optimale Verlagerung				17,1	31,2	35,3	0,30	0,45	0,43	1238	2002	2932
Überlagerung a				24,6	38,7	50,3	0,43	0,56	0,60	876	1603	2070
b				26,6	40,7	44,8	0,46	0,59	0,54	791	1551	2310
c				42,1	56,7	67,8	0,74	0,82	0,82	501	1108	1526
<b>Hochsilomechanisierung III</b>	24,3	28,4	42,2									
optimale Verlagerung				10,8	13,2	18,2	0,44	0,46	0,43	488	1136	1408
Überlagerung a				-	-	-	-	-	-	-	-	-
b				-	-	-	-	-	-	-	-	-
c				-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Flachsilomechanisierung I</b>	63,5	87,7	98,9									
optimale Verlagerung				27,0	46,2	50,32	0,42	0,52	0,50	641	1128	1736
Überlagerung* a				-	-	-	-	-	-	-	-	-
b				51,5	75,0	80,9	0,81	0,85	0,81	336	694	1073
c				-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Flachsilomechanisierung II</b>	37,1	52,6	59,5									
optimale Verlagerung				17,1	31,2	35,3	0,46	0,59	0,59	1169	1909	2780
Überlagerung a				-	-	-	-	-	-	-	-	-
b				26,6	40,6	44,8	0,71	0,77	0,75	747	1479	2203
c				-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Flachsilomechanisierung III</b>	6,58	7,24	11,7									
optimale Verlagerung				6,2	6,4	9,6	0,94	0,88	0,82	650	1783	1999
Überlagerung a				-	-	-	-	-	-	-	-	-
b				-	-	-	-	-	-	-	-	-
c				-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Werte für Sommertemperaturzone > 26° C

\*\* Mit Berücksichtigung der el. Stallheizung für den Kälberstall.

In der Mechanisierungsstufe III sind sie dagegen nicht durchführbar, da die Obenfräse in jedem Fall gleichzeitig mit der Fütterungsanlage laufen muß. Falls die Warmwasserbereitung nachts durchgeführt wird, tritt nur eine maximale Belastung in Höhe von 10,8 kW (100 Mastbullen) bis zu 18,2 kW (500 Mastbullen) auf. Aufgrund des geringen Stromverbrauches wird lediglich eine Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast zwischen 488 und 1 408 Stunden erreicht.

Bei Flachsilo mechanisierung können die Belastungsspitzen bei den hier unterstellten Verfahren durch die Flüssigmispumpe und die Kraftfuttermahlung verursacht werden. In der Mechanisierungsstufe I kann beispielsweise durch die Verriegelung dieser beiden Verbraucher das jährliche Maximum von 51 kW auf 27 kW (100 Mastbullen) oder von 80 kW auf 50 kW (500 Mastbullen) gesenkt werden, so daß die sonst niedrige Benutzungsdauer auf 641 bis 1 736 Stunden steigt. Auch in der Mechanisierungsstufe II ist diese Maßnahme durchaus sinnvoll, obwohl bereits eine leistungsschwächere Flüssigmispumpe und leistungssparende Verfahren bei der Kraftfuttermahlung angewandt werden: Die jährliche Benutzungsdauer läßt sich entscheidend erhöhen, bei 100 Mastbullen von 747 Stunden auf 1 169 Stunden, bei 300 Mastbullen von 1 479 Stunden auf 1 909 Stunden und bei 500 Mastbullen von 2 203 Stunden auf 2 780 Stunden.

Die Auswirkungen einer zeitlichen Verlagerung der Arbeitsvorgänge sollte mit den Extremwerten des Belastungsmaximums und der daraus resultierenden Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast verdeutlicht werden. In der Praxis tritt jedoch nur in seltenen Fällen eine Situation ein, wie sie mit der "Überlagerung c" geschildert ist. Daher wurden jeweils einige Zwischenwerte unter "Überlagerung a oder b" errechnet (Tab. 21). Unter Berücksichtigung verfahrenstechnischer Gesichtspunkte läßt sich jedoch eine zeitliche Verteilung der Leistungsansprüche erreichen, welche zur "optimalen Verlagerung" mit den geschilderten Auswirkungen führt. In der Praxis müssen dazu folgende Verriegelungsmaßnahmen zur Anwendung gelangen:

Das Fördergebläse oder die anderen Silobefüllgeräte sind vorrangig zu verriegeln gegen die Flüssigmispumpe, die Kraftfuttermahlung und die Siloentnahmegeräte. Daneben sind jeweils die Flüssigmispumpe, die Siloobenaufschneidfräse und die Hammermühle gegenseitig zu verriegeln. Hierbei muß in den meisten

Fällen der Oberfräse der Vorrang gegeben werden, Flüssigmistpumpe und Hammermühle können nachrangig automatisch an- bzw. ausgeschaltet werden. Zusätzlich zu diesen Maßnahmen ist es richtig, die Warmwasserbereitung und gegebenenfalls den Schrotvorgang in die nächtliche Schwachlastzeit zu verlegen.

Die genannten Maßnahmen wirken sich in der Praxis direkt durch Kostensenkungen aus. Sofern gewährleistet ist, daß die jeweiligen Elektrogeräte nicht gleichzeitig in Betrieb sind, wird zur Berechnung des tariflichen Anschlußwertes nur der Stärkere der Verbraucher herangezogen. Die Kosten der Überanschlußwerte übersteigen in allen Fällen die Aufwendungen für die Installation der Verriegelungseinrichtungen. Auch wenn der tariflichen Abrechnung das aufgetretene Leistungsmaximum zugrunde gelegt wird, können sich die beschriebenen Maßnahmen einer zeitlichen Verlagerung entscheidend auf die Kosten auswirken. Sie sind daher Voraussetzung für eine sinnvolle Elektrizitätsanwendung in hochmechanisierten Verfahren der Rindermast.

## 7.2 Mastschweinehaltung

Die Produktionsmodelle der Mastschweinehaltung konzentrieren sich auf die in der Praxis in immer stärkerem Maße vorherrschende Getreidemast. Für die beschriebenen Bestandesgrößen mit 300, 600 und 1000 Mastplätzen gelten eine Reihe von Unterstellungen. Der Vormast der Ferkel (20 - 35 kg Lebend-Gewicht) schließt die Mastperiode bis zu einem Gewicht von 105 kg an. Es wird eine einheitliche hofeigene Kraftfuttermischung mit 34 % Gerste, 30 % Weizen, 20 % Hafer und zusätzlichen Komponenten verwendet, für die Vormast wird Fertigfutter zugekauft. Bei einer Futterverwertung von 1 : 3,4 lassen sich 2,4 Umtriebe pro Jahr durchführen (560 g durchschnittliche tägliche Zunahme). Für 300 Mastplätze ist ein 2reihiger Längstrogstall mit 48 m Länge, 3 m Buchtentiefe, mittlerem Futtergang und Spaltenbodenboxen vorgesehen (Fließmistverfahren). Falls das Festmistverfahren durchgeführt wird, ist bei gleichen Stallabmessungen ein planbefestigter Mistgang vorgesehen. Die Futteraufbereitungszentrale befindet sich an der Längsachse des Stalles. Bei 600 bzw. 1000 Mastplätzen handelt es sich um einen 4reihigen Längstrogstall mit 40

bzw. 66 m Länge, mittleren Futtergängen und Spaltenbodenboxen (Fließmistverfahren). Der Flüssigmist wird in einem Hochbehälter und dazugehöriger Vorgrube gelagert. Auch hier befindet sich die Futterzentrale an der Längsachse des Stalles.

7.2.1 Installierte Leistung, Elektroenergieverbrauch und Benutzungsdauer der installierten Leistung

Nach der gleichen Methodik wie bereits in den Modellen der Mastbullenhaltung werden in den wichtigsten Mechanisierungsbereichen Fütterung, Mistkette, Futtermittelaufbereitung und Klimatisierung verschiedene Variationen vorgenommen ("Mechanisierungsstufen"), um die auftretenden Grenzwerte zu kennzeichnen (Tab.2 Anh. Abb. 34). In der Mechanisierungsstufe I sind unter Berücksichtigung leistungsstarker Elektromotoren für die Flüssigfütterung, die Flüssigmistpumpe und die Kraftfutteraufbereitung für 100 Mastplätze 47,31 kW, für 600 Mastplätze 62,28 kW und für 1000 Mastplätze 83,30 kW zu installieren. Die spezifischen Werte zeigen mit 0,16 kW/Mastplatz bei 300 Schweinen bis zu 0,08 kW/Mastplatz bei 1000 Schweinen eine starke Degression. Der jährliche Elektroenergieverbrauch

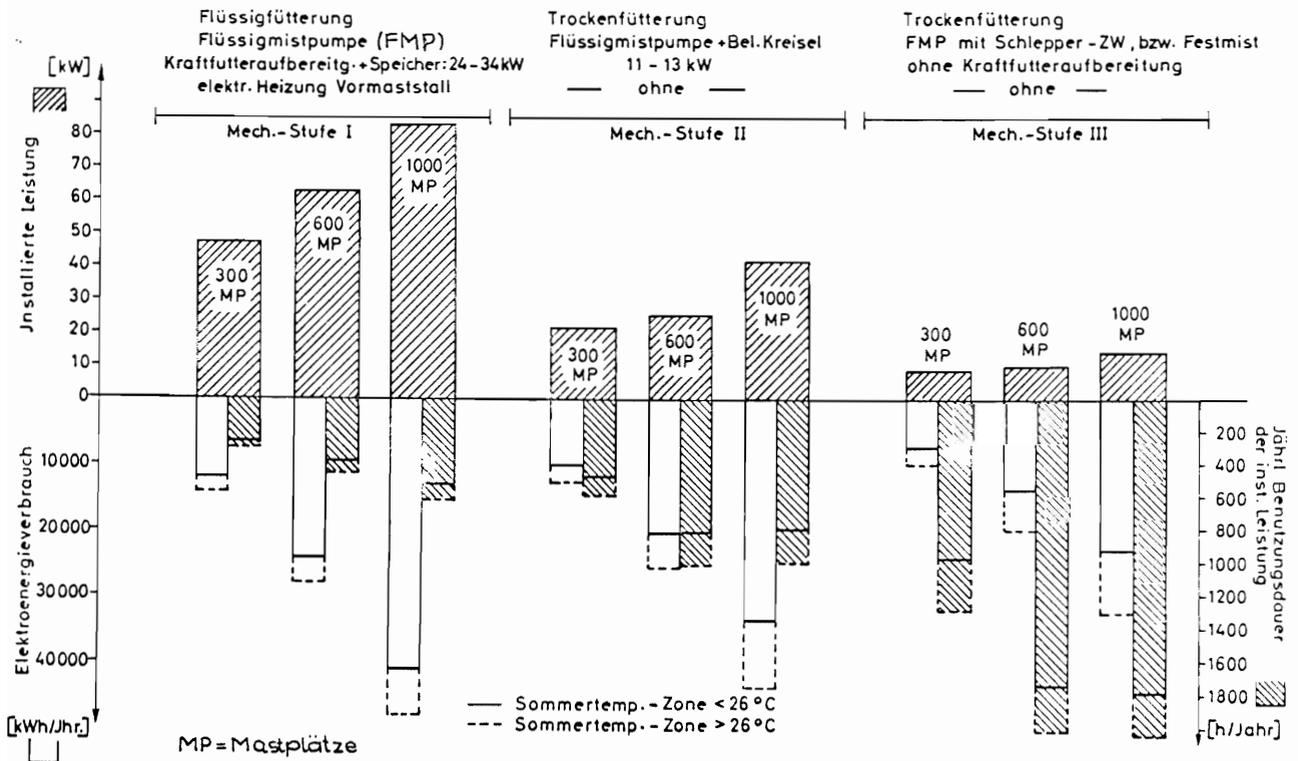


Abb. 34: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch in der Mast-schweinehaltung bei unterschiedlicher Mechanisierung

beträgt 14 220 kWh (300 Mastplätze), 28 688 kWh (600 Mastplätze) und 48 007 kWh (1000 Mastplätze) in der Klimazone mit der höheren Sommertemperatur. In allen Bestandsgrößen werden daher 47 kWh/Mastplatz jährlich verbraucht. Die bei der Stallklimatisierung durch die kältere Klimazone auftretenden Unterschiede (7 kWh/Mastplatz und Jahr) führen zu 2 100 bis 7 000 kWh/Jahr niedrigeren Werten. In diesen Modellen ist die Benutzungsdauer der installierten Leistung mit 260 - 600 Stunden aufgrund der hohen Leistungsansprüche der Futtermahlwerk-Anlage, der Flüssigfütterung und der Flüssigmistpumpe sehr niedrig. Auch durch die höheren Verbrauchswerte der Stalllüftung in der Klimazone  $>26^{\circ}$  C werden keine wesentlichen Steigerungen erreicht.

Die genannten hohen Leistungsansprüche können jedoch durch verfahrenstechnische Verbesserungen wesentlich gesenkt werden. In der Mechanisierungsstufe II ist eine Hammermühle mit 5,5 kW Nennleistung vorgesehen und das Körnergebläse ist durch eine Rohrkettenanlage ersetzt. Der Einsatz einer leistungsschwächeren Flüssigmistpumpe wird nach der Flüssigmistbehandlung durch einen Oberflächenbelüftungskreislauf möglich. Desweiteren ist das Fütterungsverfahren auf eine mechanische Trockenfütterung (Schubklappen) umgestellt und es wird auf die elektrische Beheizung des Vormaststalles verzichtet. Durch diese Maßnahmen (Mechanisierungsstufe II) werden die Leistungsansprüche um 52 - 59 % gesenkt, und es sind 22 kW für 300 Mastplätze, 26 kW für 600 Mastplätze und 40 kW für 1000 Mastplätze zu installieren. Die spezifischen Werte in Höhe von 0,07 kW/Mastplatz (300 Mastplätze) - 0,04 kW/Mastplatz (600 und 1000 Mastplätze) zeigen wiederum eine starke Degression. Durch die Dimensionierung der Flüssigmistpumpe tritt allerdings zwischen 600 und 1000 Mastplätzen keine wesentliche Verbesserung ein. Gegenüber diesen Leistungssenkungen verringert sich jedoch der jährliche Elektroenergieverbrauch nur um 6 - 12 % bei Unterstellung einer milden Klimazone (45 kWh/Mastplatz und Jahr). In der kälteren Klimazone ist der Rückgang aufgrund der fehlenden Raumheizung größer, es werden 34 kWh/Mastplatz und Jahr verbraucht.

Eine deutliche Verbesserung gegenüber Mechanisierungsstufe I tritt im Hinblick auf das Verhältnis zwischen installierter Leistung und Elektroenergieverbrauch auf. Die Benutzungsdauer der installierten Leistung steigt von 260 auf 550 Stunden (300 Mastplätze) und von 600 auf 900 Stunden (600 und

1000 Mastplätze). In der wärmeren Klimazone werden diese Werte aufgrund des höheren Verbrauches der Stalllüftung um jeweils 100 Stunden übertroffen.

Im Beispiel der Mechanisierungsstufe III wurden die Modelle weitgehend verändert; bei Mischfutterzukauf und bei Schlepperantrieb der Flüssigmispumpe (bzw. Festmistverfahren bei einer Bestandsgröße von 300 Mastschweinen) führen lediglich die mechanische Trockenfütterung, die Stalllüftung und die Warmwasserbereitung zu einer installierten Leistung in Höhe von 8 - 14 kW. Der Elektroenergieverbrauch beruht im wesentlichen auf der Stalllüftung und liegt durchschnittlich 10 kWh/Mastplatz und Jahr niedriger als in der Mechanisierungsstufe II (34 kWh/Mastplatz und Jahr in der Temperaturzone  $> 26^{\circ} \text{C}$ , 24 kWh/Mastplatz und Jahr in der Temperaturzone  $< 26^{\circ} \text{C}$ ). Allerdings erhöht sich die Benutzungsdauer der installierten Leistung wesentlich, wobei sich die klimatischen Unterschiede stärker auswirken als in den anderen Mechanisierungsstufen. Selbst in den geringen Bestandsgrößen werden 1000 Benutzungsstunden/Jahr überschritten und bei 600 bzw. 1000 Mastplätzen werden 1 800 Benutzungsstunden/Jahr erreicht. Für die Klimazone  $> 26^{\circ} \text{C}$  errechnen sich jeweils um 300 Stunden höhere Werte.

Die Betriebsmodelle und die errechneten elektrizitätswirtschaftlichen Kennwerte verdeutlichen, daß die hohen Leistungsansprüche bestimmter Verfahren der Mastschweinehaltung oft nur unter ungünstigen Voraussetzungen mit Elektroenergie zu bewältigen sind. Für das Beispiel mit 600 Schweinemastplätzen sind die Elektrogeräte und Motoren mit ihrer installierten Leistung und dem jährlichen Elektroenergieverbrauch in Abb. 35 zusammengestellt, um die Einsatzbedingungen zu charakterisieren. Nur die Stalllüftung zeichnet sich durch einen hohen jährlichen Elektroenergieverbrauch bei gleichzeitig geringer installierter Leistung aus, während besonders die Geräte mit hohen Leistungsansprüchen wie Hammermühle, Flüssigfütterung, Flüssigmispumpe und Körnergebläse bei kurzer jährlicher Laufzeit das Verfahren negativ beeinflussen. An den Modellen wurde gezeigt, daß sich durch die Auswahl der Geräte gezielte Leistungssenkungen durchführen lassen. Hierzu bieten sich vor allem die mechanische Trockenfütterung, mechanische Körnerförderer und leistungsschwächere automatisch arbeitende Hammermühlen an. Ebenso können bei der Flüssigmispumpe erhebliche Einsparungen wirksam werden (vergl. Kap. 4.2). Beispielsweise läßt sich, wie

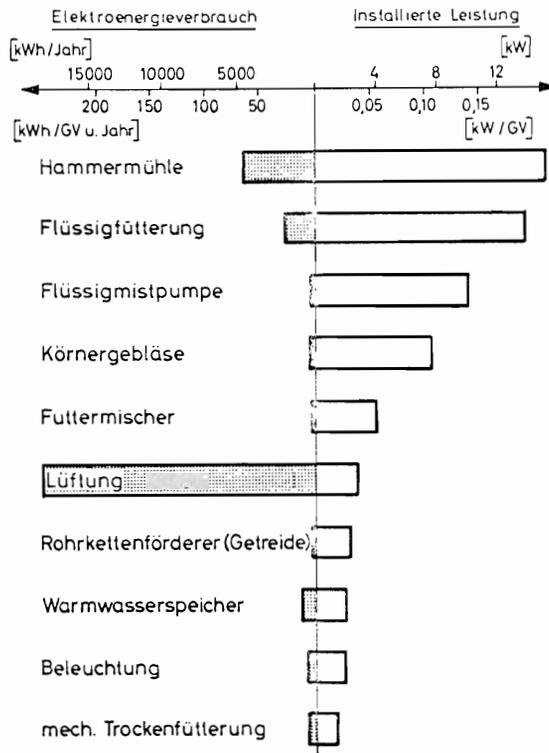


Abb. 35: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch der Einzelgeräte in der Mastschweinehaltung (Modell 600 Mastplätze)

bereits angedeutet wurde, die installierte Leistung für einen Schweinemastbetrieb mit 600 Mastplätzen von 62 kW auf 26 kW, also um 60 % senken. Da gleichzeitig der Elektroenergieverbrauch nur sehr geringfügig zurückgeht (um 6 - 12 %, vergl. Tabelle 2 - Anhang), steigt die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast um 150 % von 350 Stunden auf 850 Stunden an. Durch diese Maßnahmen läßt sich das für eine wirtschaftliche Elektrizitätsversorgung wesentliche Verhältnis zwischen installierter Leistung und Elektroenergieverbrauch also entscheidend verbessern.

### 7.2.2 Belastungsverlauf und Leistungssenkung durch die zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsvorgänge

In der Mastschweinehaltung sind die Maßnahmen einer zeitlichen Verteilung der Leistungsansprüche von großer Bedeutung. Hierbei ist zunächst zu erwähnen, daß die Heißwasserbereitung in der Schwachlastzeit durchgeführt werden kann, die notwendigen Behältergrößen der Speichergeräte sind in Kap. 6 genannt. Weiterhin kann die Hammermühle mit automatischen Schalt- und Überwachungseinrichtungen

nachts eingesetzt werden, wobei geeignete große Mischbehälter zugeordnet werden müssen, um die anfallende Schrotmenge bei längerer Laufzeit der Mühle aufzufangen.

Neben diesen Maßnahmen ist jedoch die zeitliche Verteilung der Leistungsansprüche durch eine Verriegelung einzelner Elektroenergieverbraucher ebenso wie in der Mastbullenhaltung eine wesentliche Voraussetzung dafür, die hohen Leistungsanforderungen moderner Produktionsverfahren elektrizitätswirtschaftlich sinnvoll auszugleichen. Diese Möglichkeiten werden an dem Beispiel des Betriebsmodells mit 600 Mastplätzen aufgezeigt (Abb. 36 und Abb. 37). In der Mastschweinehaltung stehen weniger die saisonalen Belastungsspitzen wie etwa in der Rinderhaltung im Vordergrund, sondern es sind die häufig auftretenden Arbeitsvorgänge Fütterung, Kraftfutteraufbereitung und Flüssigmistbehandlung, welche den typischen Belastungsverlauf bestimmen.

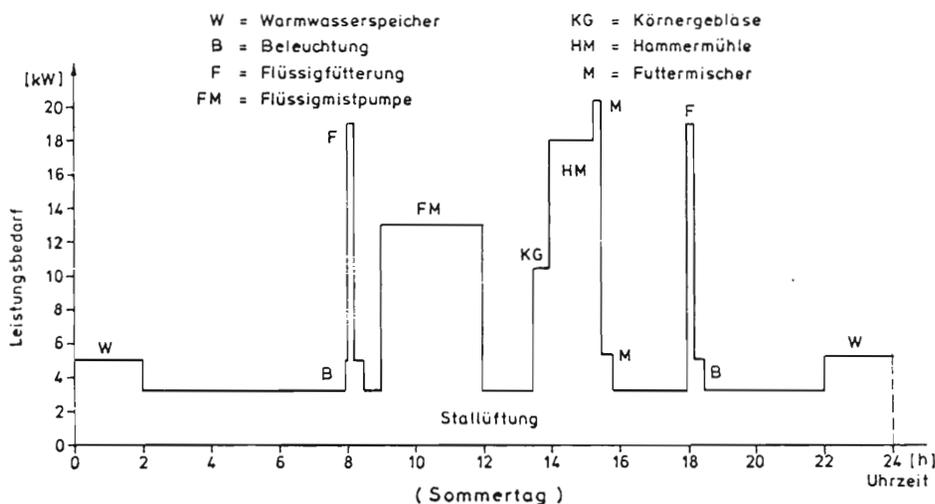


Abb. 36: Beispiel des täglichen Belastungsverlaufes für das Betriebsmodell 600 Mastschweine (Mechanisierungsstufe mit hohen Leistungsansprüchen)

Die in der Mechanisierungsstufe I (Flüssigfütterung, leistungsstarke Hammermühle, Körnergebläse und Flüssigmistpumpe) auftretenden Leistungsansprüche

sind in Abb. 36 optimal verteilt, so daß im Sommer bei voller Drehzahl der Stalllüfter das Maximum in Höhe von 20 kW auftritt. Hieraus leitet sich eine Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast mit 1 370 Stunden ab. Bei Überlagerung der verschiedenen Arbeitsvorgänge können folgende Situationen eintreten:

- a) Körnergebläse und Hammermühle laufen gleichzeitig.  
Jahresmaximum: 25,5 kW, Verbrauchsfaktor: 0,44  
Benutzungsdauer: 1075 h
  
- b) Körnergebläse und Hammermühlen laufen gleichzeitig mit der Flüssigmistpumpe.  
Jahresmaximum: 35,5 kW, Verbrauchsfaktor: 0,61  
Benutzungsdauer: 772 h
  
- c) Flüssigfütterung läuft mit der Hammermühle oder Flüssigmistpumpe gleichzeitig.  
Jahresmaximum: 29 - 34 kW, Verbrauchsfaktor: 0,50 - 0,58  
Benutzungsdauer: 945 - 806 h
  
- d) Fütterung, Hammermühle, Fördergebläse und Flüssigmistpumpe laufen gleichzeitig.  
Jahresmaximum: 51,5 kW, Verbrauchsfaktor 0,89  
Benutzungsdauer: 532 h

Diese Angaben verdeutlichen, daß eine zunehmende Überlagerung der Arbeitsvorgänge und die hohen Belastungsspitzen besonders in dieser Mechanisierungsstufe I zu außerordentlich ungünstigen Verhältnissen führen, die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast kann von 1 370 Stunden bei optimaler Verlagerung auf 532 Stunden absinken.

Der Einsatz leistungssparender Technologien führt zu besseren Belastungsverhältnissen, in der bereits geschilderten Mechanisierungsstufe II (Abb. 37) tritt durch den Einsatz der Trockenfütterung, der mechanischen Körnerförderung und leistungsschwächerer Hammermühlen ein charakteristisch gleichmäßiger Belastungsverlauf ein. Bei zeitlicher Verteilung der Arbeitsvorgänge resultiert

das Maximum in Höhe von 11 kW im Sommer aus der Kraftfutteraufbereitung. Die hohe Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast mit 2 413 Stunden unterstreicht, daß in diesem Falle sehr ausgeglichene Verhältnisse zwischen Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch herrschen.

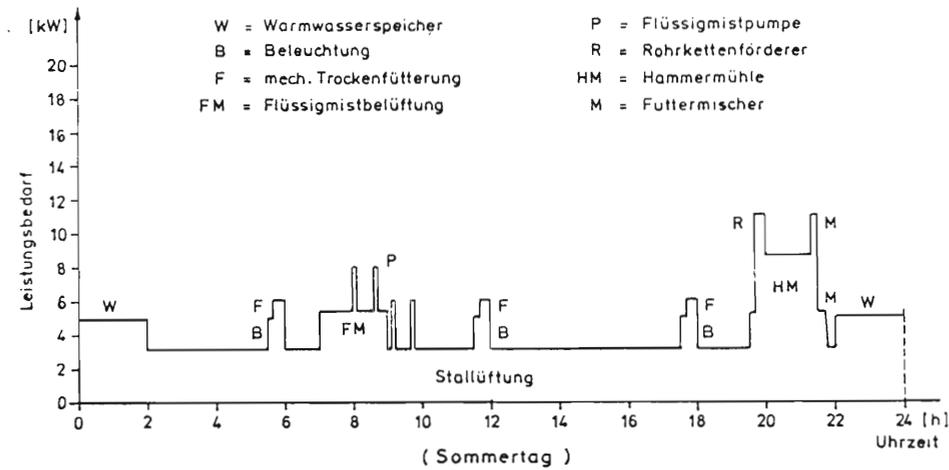


Abb. 37: Beispiel des täglichen Belastungsverlaufes (600 Mastschweine) beim Einsatz leistungssparender Arbeitsverfahren

Auch bei Überlagerung der Kraftfutteraufbereitung mit der Fütterung und der Flüssigmistbehandlung (Oberflächenbelüftung) – die Pumpe fällt aufgrund der kurzen Laufzeit nicht ins Gewicht – liegt die Benutzungsdauer höher als in den vorher beschriebenen Modellen. Bei einem Jahresmaximum in Höhe von 16,2 kW beträgt die Benutzungsdauer 1 629 Stunden. Dennoch ist es auch in diesem Falle durchaus sinnvoll, die Verriegelungsmöglichkeiten zu nutzen, um vor allem in kleinen Produktionseinheiten optimale elektrizitätswirtschaftliche Einsatzbedingungen zu gewährleisten.

Nach der Darstellung unterschiedlicher Belastungsverhältnisse am Beispiel des Modelles mit 600 Mastplätzen folgt ein Überblick über alle behandelten Produktionsmodelle der Schweinemast unter diesem Gesichtspunkt der zeitlichen Verteilung der Leistungsansprüche. In Tabelle 24 sind die Elektroenergie-

Kenndaten mit Jahresmaximum, Verbrauchsfaktor und Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast angegeben. Neben der "optimalen Verteilung" aller Arbeitsvorgänge - in diesem Falle summieren sich lediglich Stalllüftung, Beleuchtung und Kraftfutteraufbereitung - sind folgende Situationen der Überlagerung verschiedener Arbeiten errechnet:

- a) Kraftfutteraufbereitung (einschließlich Körnerförderung) und Flüssigmistpumpe,
- b) Kraftfutteraufbereitung, Flüssigmistpumpe und Fütterungsanlage.

**Tabelle 24:** Elektroenergie-Kenndaten für die Betriebsmodelle der Schweinemast bei unterschiedlicher Überlagerung der Arbeitsvorgänge

	Installierte Leistung*			Jahresmaximum			Verbrauchsfaktor			Ben.-Dauer der Jahreshöchstlast (h)		
	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)						
Bestandsgröße	300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000
<u>Mechanisierungsstufe I**</u>	47,3	62,3	83,3									
optimale Verlagerung				23,0	27,2	32,7	0,48	0,43	0,39	618	1062	1570
Überlagerung a				34,5	40,7	58,7	0,72	0,65	0,70	412	704	874
Überlagerung b				40,5	54,7	72,7	0,85	0,87	0,87	351	524	706
<u>Mechanisierungsstufe II</u>	22,0	26,0	44,9									
optimale Verlagerung				10,25	13,0	21,0	0,46	0,50	0,46	1309	2042	2151
Überlagerung a				15,70	18,2	35,0	0,71	0,70	0,77	845	1458	1291
Überlagerung b				-	19,2	36,0	-	0,73	0,80	-	1382	1255
<u>Mechanisierungsstufe III</u>	8,2	9,2	14,7									
optimale Verlagerung				5,55	6,28	9,8	0,67	0,68	0,66	1912	3254	3424
Überlagerung a				-	-	-	-	-	-	-	-	-
Überlagerung b				-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Werte für Sommertemperaturzone > 26° C

\*\* mit elektrischer Raumheizung Vormaststall

In der Mechanisierungsstufe I muß eine optimale Verteilung der Arbeitsvorgänge erreicht werden, da sonst die Flüssigfütterung, die Hammermühle und die Flüssigmistpumpe mit ihren hohen Leistungsansprüchen in den Bestandsgrößen mit

600 und 1000 Mastplätzen nicht sinnvoll einzusetzen sind. Die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast kann in diesen Bestandsgrößen von 524 - 706 Stunden auf maximal 1 262 - 1 570 Stunden steigen. Das Beispiel mit 300 Mastplätzen zeigt, daß hier die leistungsaufwendigen Verfahren in jedem Falle elektrizitätswirtschaftlich negativ zu beurteilen sind (618 Benutzungsstunden). Auch Leistungseinsparungen bei Hammermühle sowie Flüssigmispumpe und die Verwendung von Trockenfütterungsanlagen (Mechanisierungsstufe II) führen ohne Verriegelungseinrichtungen in diesen kleinen Beständen zu keiner befriedigenden Situation (845 Benutzungsstunden). Daher sind diese Verbesserungen anzustreben, es sind 1 309 Benutzungsstunden erreichbar.

In den Beständen mit 600 und 1000 Mastplätzen können, wie bereits erwähnt wurde, die Verriegelungsmaßnahmen in dieser Mechanisierungsstufe wesentliche Vorteile bringen und zu elektrizitätswirtschaftlich optimalen Einsatzbedingungen führen. Bei Überlagerung von Fütterung, Kraftfutteraufbereitung und Flüssigmistbehandlung werden 1 382 - 1 255 Benutzungsstunden auftreten, eine Steigerung auf 2 042 - 2 151 Stunden ist möglich.

In der Mechanisierungsstufe III (Kraftfutterzukauf, Trockenfütterung, Zapfwellenantrieb für die Flüssigmispumpe) ist ohne weitere Verbesserungsmöglichkeiten mit 1 912 Benutzungsstunden (300 Mastplätze) bis zu 3 454 bzw. 3 424 Benutzungsstunden (600 Mastplätze bzw. 1000 Mastplätze) der Elektroenergieeinsatz aufgrund der geringen Leistungsansprüche unproblematisch (8,2 - 14,7 kW Belastungsmaximum).

Aus der Darstellung der elektrizitätswirtschaftlichen Kennwerte der Produktionsmodelle der Schweinehaltung geht hervor, daß auch hier die zeitliche Verteilung der Leistungsansprüche durch Verriegelung einzelner Elektromotoren zu erheblichen Verbesserungen führt. Aus produktionstechnischen Gründen ist in jedem Falle die Fütterungsanlage - hier in besonderem Maße die Flüssigfütterung - vorrangig gegen die Flüssigmispumpe, die Hammermühle und das Körnergebläse zu verriegeln. Außerdem muß durch geeignete Schaltvorrichtungen erreicht werden, daß nicht zum gleichen Zeitpunkt die Kraftfutteraufbereitung und die Flüssigmistbehandlung durchgeführt werden. Darüber hinaus ist eine Verriegelung von Körnergebläse und Hammermühle sinnvoll.

Obwohl der Einsatz leistungssparender Verfahren, wie sie in den Kapiteln 3 und 4 geschildert und in die Mechanisierungsstufe II der Betriebsmodelle eingesetzt wurden, aus Elektrizitätswirtschaftlicher Sicht richtig ist, kann die Verriegelung in den Produktionsverfahren mit hohen Leistungsansprüchen entscheidende Voraussetzung dafür sein, den Einsatz von Elektromotoren optimal zu nutzen.

### 7.3 Zuchtsauenhaltung (Ferkelerzeugung)

In der Zuchtsauenhaltung wird der Elektroenergieeinsatz hauptsächlich durch die Geräte und Einrichtungen zur Stallklimatisierung bestimmt. Hierbei sind vor allem die Heizgeräte von Bedeutung, welche aufgrund der hohen Wärmeansprüche der Ferkel benötigt werden (vergl. Kapitel 5.3). Im Gegensatz zur Rinder- und Mast-schweinehaltung steht die Futterkette und die Mistkette bei den Verfahren der Zuchtsauenhaltung weniger im Vordergrund. Der Leistungsbedarf und der jährliche Elektroenergieverbrauch werden mit Hilfe von Betriebsmodellen ermittelt und an den Beispielen der Bestandsgrößen mit 60 und 100 Zuchtsauen im folgenden erläutert.

Aufgrund der starken Abhängigkeit von Gebäude- und Aufstallungsform wurden folgende Unterstellungen herangezogen: Die Einzelstände für tragende Sauen sind räumlich getrennt von den Abferkelbuchten und den Boxen für die Absatzferkel. Bei einem Bestand von 60 Zuchtsauen ist ein Stall mit 35 m Länge und 14 m Breite vorgesehen, bei 100 Zuchtsauen ein Stall mit 55 m Länge und 18 m Breite. Die Fütterung erfolgt mit Zuchtsauenalleinfutter, die hofeigene Mischung enthält 30 % Weizen, 10 % Gerste und 10 % Mais. Das Ferkelfutter wird zugekauft. In allen Betriebstypen wird Festmistverfahren zugrunde gelegt (Faltschieber und Jauchepumpe). Die Bestandsgröße und -zusammensetzung gilt nach KTBL-Daten (125) mit einem Aufzuchtergebnis von 18 Ferkeln/Sau und Jahr.

Innerhalb der Bestandsgrößen werden zunächst Variationen mit unterschiedlichen Heizgeräten für die Abferkelboxen vorgenommen. Die wesentlichen, elektrisch bedeutungsvollen Verfahrensunterschiede werden durch das Absetzalter bzw. das Absetzgewicht der Ferkel bestimmt. Bei herkömmlichen Verfahren mit dem Absetzen der Ferkel nach 6 Wochen (ca. 13 kg Lebendgewicht) wird ein zusätzlicher Stallbereich mit den Boxen für die Absatzferkel benötigt, diese sind mit

Fußbodenheizung versehen. Die längere Verweildauer der Ferkel im Abferkelstall hat einen hohen Elektroenergieverbrauch der dort installierten Heizgeräte zur Folge. Beim Verfahren "Frühabsetzen" (Absetzalter 3 bis 4 Wochen, Absetzgewicht 5 bis 6 kg) werden die Ferkel bis zu einem Gewicht von 20 bis 25 kg in einem getrennten Stallbereich gehalten (Flat-Decks). Dieser Stall ist mit Raumheizung zu klimatisieren, die kürzere Verweildauer in den Abferkelboxen führt jedoch in diesem Verfahren zu größeren Energieeinsparungen.

Nach der Darstellung der installierten Leistung, des Elektroenergieverbrauches und der Benutzungsdauer der installierten Leistung konzentrieren sich die Untersuchungen auf die auftretende Belastung und die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast. Diese Benutzungsdauer variiert entsprechend dem Elektroenergieverbrauch der einzelnen Verfahren, so daß die unterschiedlichen Einsatzbedingungen zu diskutieren sind.

### 7.3.1 Installierte Leistung, Elektroenergieverbrauch und Benutzungsdauer der installierten Leistung

In den Modellen der Zuchtsauenhaltung gelten einheitlich folgende Unterstellungen (Einzeldaten in Tab. 3 - Anhang): In der Mechanisierung I wird eine hofeigene Kraftfutteraufbereitung durchgeführt, und für die Abferkelboxen sind Infrarotlampen vorgesehen (Abb. 38 und 39). Die Boxen der Absatzferkel werden über den Boden beheizt, bei dem Verfahren "Frühabsetzen" ist im Stall für die Absatzferkel eine elektrische Raumheizung installiert. Am Beispiel der Mechanisierungsstufe II sollen die Einsatzbedingungen der Fußbodenheizung in den Abferkelboxen untersucht werden, während III die Verhältnisse ohne die hofeigene Kraftfutteraufbereitung zeigt. In diesem Falle wird bei dem Verfahren "Frühabsetzen" auch auf die elektrische Beheizung des Ferkelstalles verzichtet und die Fußbodenheizung im Stall der Absatzferkel (Verfahren "Absetzalter 6 Wochen") entfällt. In sämtlichen Modellen wird die Klimazone mit der Sommertemperatur  $< 26^{\circ} \text{C}$  und die Wintertemperatur  $- 16^{\circ} \text{C}$  berücksichtigt.

Die Mechanisierung I und II unterscheidet sich nur geringfügig hinsichtlich des Leistungsbedarfes (Abb. 38), für 60 Zuchtsauen (Absetzalter der Ferkel 6 Wochen) sind bei Verwendung von Infrarotlampen 24,9 und bei Fußbodenheizung

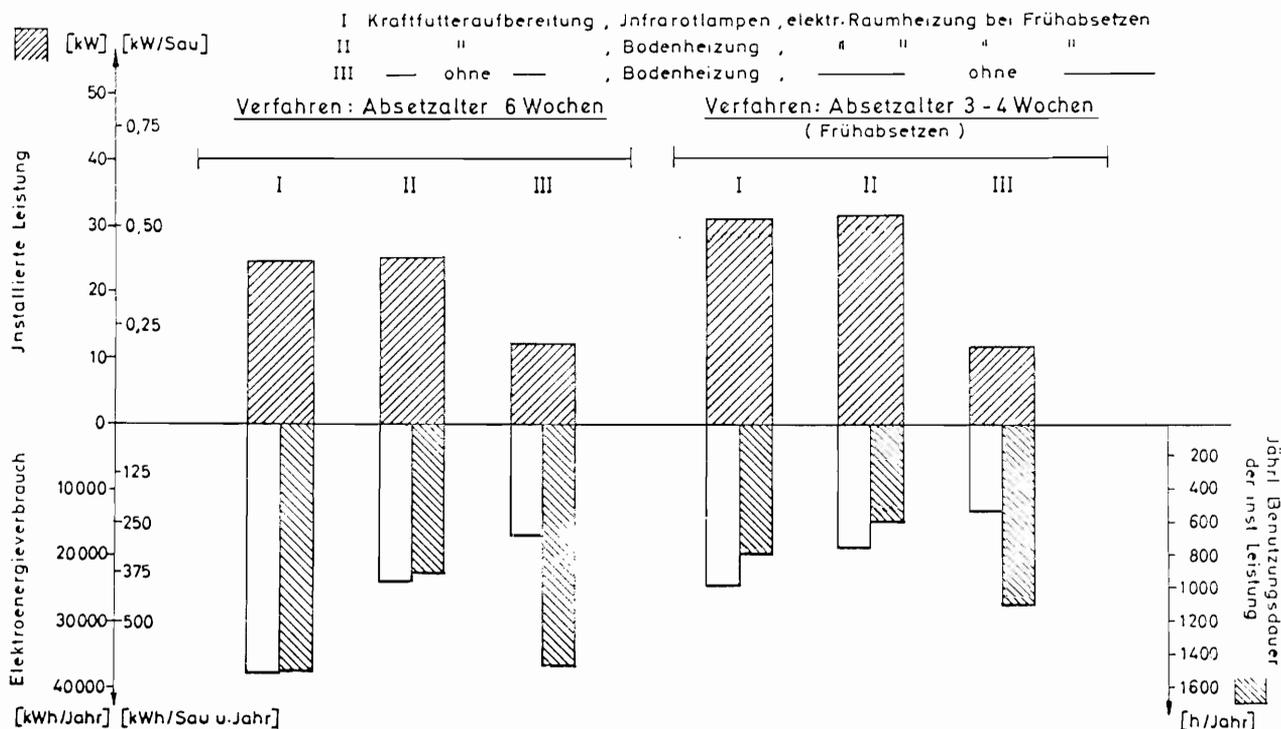


Abb. 38: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch in der Zuchtsauenhaltung - Bestandsgröße 60 Zuchtsauen (Klimazone: <math> < 26^{\circ}\text{C} / - 16^{\circ}\text{C}</math>)

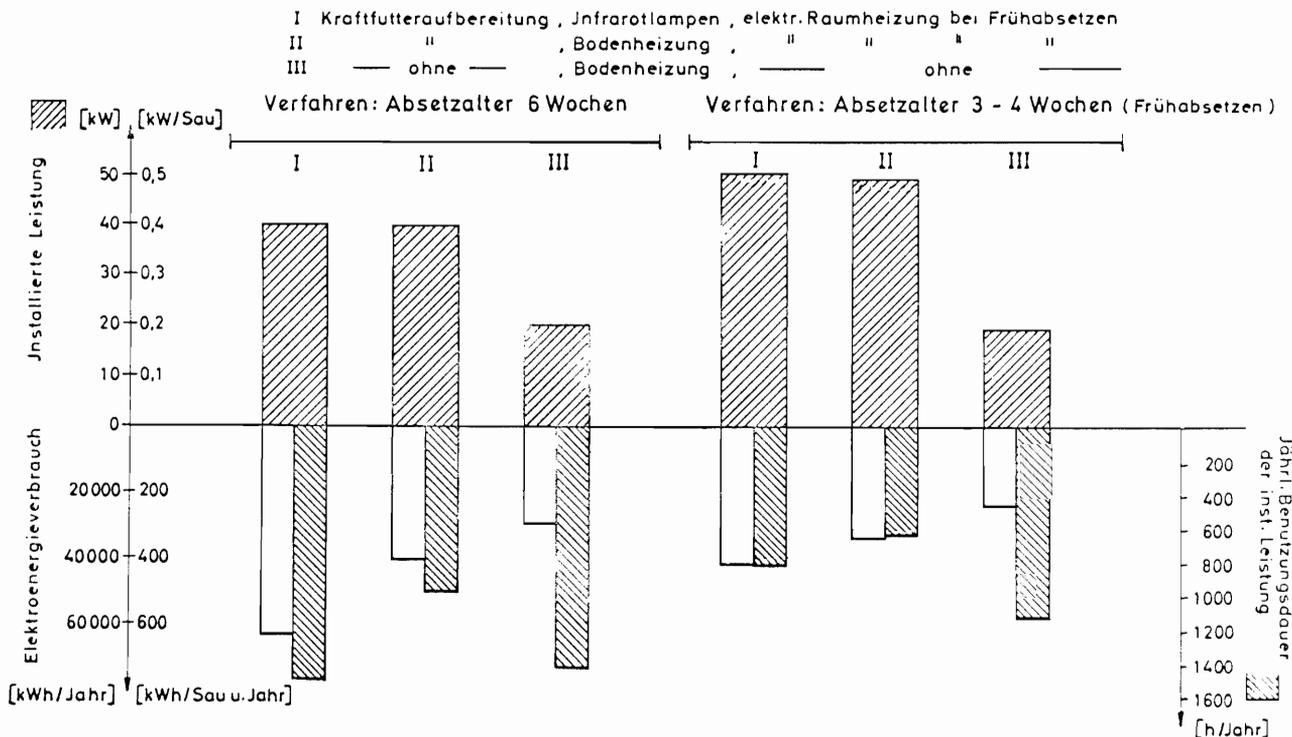


Abb. 39: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch in der Zuchtsauenhaltung - Bestandsgröße 100 Zuchtsauen (Klimazone: <math> < 26^{\circ}\text{C} / - 16^{\circ}\text{C}</math>)

25,75 kW zu installieren (0,41 kW/Sau). Wesentliche Differenzen treten jedoch beim jährlichen Elektroenergieverbrauch auf. Mit Infrarotlampen (I) werden 37 832 kWh jährlich verbraucht (630 kWh/Sau und Jahr), beim Einsatz der Fußbodenheizung erfolgt ein Rückgang auf 24 032 kWh/Jahr (400 kWh/Sau und Jahr). Mit dem geringeren Elektroenergieverbrauch sinkt auch die Benutzungsdauer der installierten Leistung von 1500 h auf 900 h ab. In der Mechanisierungsstufe III sind aufgrund fehlender Kraftfütterraufbereitung (Hammermühle 5,5 kW, Mischer 2,2 kW, Rohrkette 2,2 kW) und bei Verzicht auf die elektrische Fußbodenheizung 12,27 kW zu installieren. Trotz des geringen jährlichen Elektroenergieverbrauches (17 036 kWh) steigt die Benutzungsdauer der installierten Leistung auf 1500 h an. In diesem Falle ist daher gegenüber der Mechanisierungsstufe I und II von sehr guten elektrizitätswirtschaftlichen Voraussetzungen zu sprechen, die hohe Benutzungsdauer der installierten Leistung resultiert auf Einsparungen hinsichtlich des Leistungsbedarfes bei gleichzeitig geringem Elektroenergieverbrauch.

Die Leistungsansprüche der Verfahren "Frühabsetzen" weisen gegenüber den bisher genannten Werten nur geringe Unterschiede auf. Da unter I die Fußbodenheizung für die Absatzferkel entfällt, sind trotz Unterstellung der rauen Klimazone nur 6,1 kW zusätzlich für die elektrische Raumheizung zu installieren. Ebenso wie bei dem vorher geschilderten Verfahren sind die Unterschiede zwischen I (Infrarotlampen) und II (Fußbodenheizung) mit 31,04 kW bzw. 31,89 kW installierter Leistung gering (0,5 kW/Sau). Es tritt jedoch ein wesentlich niedrigerer Elektroenergieverbrauch auf. Bei Verwendung von Infrarotlampen werden jährlich 25 184 kWh, bei Fußbodenheizung in den Abferkelboxen dagegen 19 914 kWh benötigt (419 bzw. 331 kWh/Sau und Jahr). Diese Einsparungen in Höhe von 211 und 70 kWh/Sau und Jahr entstehen durch die kürzere Verweildauer der Ferkel im Abferkelstall, wobei der Rückgang bei Fußbodenheizung weniger ins Gewicht fällt, da der Elektroenergieverbrauch hier in den letzten 3 Wochen aufgrund der Regelungstechnik ohnehin stärker zurückgeht. Ebenso entfällt beim Verfahren "Frühabsetzen" die Fußbodenheizung in den Boxen der Absatzferkel.

Diese geringeren Verbrauchswerte führen jedoch zu einer niedrigen Benutzungsdauer der installierten Leistung. 600 bis 800 jährliche Benutzungsstunden verdeutlichen, daß die elektrische Raumheizung auch in der Zuchtsauenhaltung keine guten Einsatzmöglichkeiten findet. In der Mechanisierungsstufe III wirken sich die

Unterschiede zwischen den beiden geschilderten Verfahren wie folgt aus: Die installierte Leistung in Höhe von 12,27 kW wird beim Verfahren "Frühabsetzen" mit 1100 Stunden schlechter ausgelastet, wobei jedoch die Vorteile des 20 % geringeren Elektroenergieverbrauches hervorzuheben sind (13 566 kWh/Jahr).

In Tabelle 3 (Anhang) sind die Werte auch für eine mildere Klimazone errechnet ( $>26^{\circ}\text{C} / -10^{\circ}\text{C}$ ). Da jedoch hinsichtlich der installierten Leistung keine wesentlichen Unterschiede auftreten, wurde auf eine gesonderte Darstellung verzichtet. Es bleibt darauf hinzuweisen, daß beim Verfahren "Absetzalter 6 Wochen" in einem Bestand mit 60 Zuchtsauen 1500 kWh jährlich zusätzlich verbraucht werden, beim Verfahren "Frühabsetzen" sind 1,6 kW weniger zu installieren und der jährliche Elektroenergieverbrauch sinkt um 1700 kWh.

Die genannten Angaben beziehen sich ausschließlich auf die Modelle mit 60 Zuchtsauen. In den Bestandsgrößen mit 100 Zuchtsauen (Abb. 39) sind bei gleichen Unterstellungen die Einsatzbedingungen und die elektrizitätswirtschaftlichen Auswirkungen ähnlich. Da eine leistungsstärkere Hammermühle zuzuordnen ist, steigen die Leistungsansprüche aller Einrichtungen in gleichem Verhältnis mit der Bestandsgröße. Die spezifischen Werte sind demnach konstant und können als Richtzahlen für die verschiedenen Verfahren der Zuchtsauenhaltung angesehen werden. Bei herkömmlichem Absetzverfahren (Absetzalter 6 Wochen) sind 0,4 kW/Sau zu installieren (Gesamtwert: 40 kW). Mit Infrarotlampen (Mechanisierungsstufe I) werden 634 kWh/Sau und Jahr verbraucht, bei Fußbodenheizung sinkt dieser Wert auf 404 kWh ab (Benutzungsdauer der installierten Leistung: 1500 bzw. 1000 Stunden). In der Mechanisierungsstufe III sind 20 kW zu installieren (0,2 kW/Sau), wobei wiederum eine hohe Benutzungsdauer (1500 Stunden) trotz des geringeren Elektroenergieverbrauches erhebliche Verbesserungen verdeutlicht.

Im Verfahren "Frühabsetzen" ist im Stall für die Absatzferkel eine Heizleistung mit 16,2 kW zu installieren. Bei einer gesamten installierten Leistung in Höhe von 49 - 50 kW geht der Elektroenergieverbrauch auf 420 kWh/Sau und Jahr (Mechanisierungsstufe I) und auf 335 kWh/Sau und Jahr (Mechanisierungsstufe II) zurück. Die niedrige Benutzungsdauer der installierten Leistung (800 - 600 h) zeigt wiederum die ungünstigen Einsatzbedingungen der elektrischen

Raumheizung. Ebenso wie in der Bestandsgröße mit 60 Zuchtsauen sind die Leistungsansprüche in der Mechanisierungsstufe III mit 20 kW sehr gering (0,2 kW/Sau); da die elektrische Raumheizung und die Kraftfutteraufbereitung mit ihrem jeweils ungünstigen Verhältnis zwischen Leistung und Verbrauch entfallen, steigt die Benutzungsdauer auf 1100 h an.

Zusammenfassend wird folgendes deutlich: Während der Leistungsbedarf bei Infrarotlampen und Fußbodenheizung für die Beheizung der Ferkelnester gleich ist, fallen die Unterschiede im jährlichen Elektroenergieverbrauch stark ins Gewicht, besonders durch die längere Verweildauer der Ferkel bei herkömmlichem Absatzverfahren. Mit Fußbodenheizung lassen sich beispielsweise gegenüber Infrarotlampen 13 800 kWh (60 Zuchtsauen) bis 23 000 kWh/Jahr (100 Zuchtsauen) einsparen.

Zwischen den beiden geschilderten Absatzverfahren treten nur geringe Unterschiede hinsichtlich des Leistungsbedarfes auf. Die elektrische Raumheizung (Frühabsetzen) beansprucht 10 bis 16 kW, wobei gleichzeitig die zusätzlichen Heizeinrichtungen für die Boxen der Absatzferkel entfallen (3,6 bzw. 6,1 kW). Aufgrund des geringeren jährlichen Elektroenergieverbrauches beim Verfahren "Frühabsetzen" der Ferkel wird jedoch die installierte Leistung bei Verwendung einer elektrischen Raumheizung mit 600 - 800 h sehr viel schlechter ausgenutzt als beim herkömmlichen Absatzverfahren (1000 - 1500 h/Jahr). Daher kann die elektrische Raumheizung zu keiner befriedigenden Lösung in der Zuchtsauenhaltung führen.

Falls jedoch zur Raumheizung des Ferkelstalles ölbefeuerte Aggregate verwendet werden, ist der Rückgang des Elektrizitätsverbrauches gegenüber dem herkömmlichen Absatzverfahren von großer Bedeutung; bei einem Bestand mit 60 Zuchtsauen sind beispielsweise 12 000 kWh (Infrarotlampen) oder 3 500 kWh (Bodenheizung) sowie 6480 kWh der Bodenheizung der Absatzferkelboxen einzusparen. In den Verfahren der Zuchtsauenhaltung stehen daher weniger die hohen Leistungsansprüche und die Benutzungsdauer im Vordergrund des Interesses, sondern es sind die großen Unterschiede im Energieverbrauch, welche bei der Betrachtung elektrizitätswirtschaftlicher Probleme berücksichtigt werden müssen.

### 7.3.2 Belastungsverlauf und Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast

Der Elektroenergieeinsatz in der Zuchtsauenhaltung wird ausschließlich durch die Einrichtungen zur Aufrechterhaltung des optimalen Stallklimas bestimmt. Daher treten keine kurzfristigen hohen Leistungsansprüche auf wie etwa in der Mastbullenhaltung oder in der Schweinemast mit den Geräten der Futterkette und der Mistkette. Bereits die Darstellung der Benutzungsdauer der installierten Leistung in Abb. 38 und Abb. 39 zeigt das überwiegend ausgeglichene Verhältnis zwischen installierter Leistung und Elektroenergieverbrauch in den Verfahren ohne elektrische Raumheizung.

In den hier geschilderten Mechanisierungsstufen der Zuchtsauenhaltung kann keine Verriegelung einzelner Verbraucher durchgeführt werden. Bei niedriger Außentemperatur im Winter werden alle Heizgeräte voll ausgelastet, so daß das jährliche Belastungsmaximum dann während der Kraftfutteraufbereitung auftritt (Mechanisierungsstufe I und II). Eine zeitliche Verlagerung in die Schwachlastzeit kann lediglich bei den Geräten zur Warmwasserbereitung vorgenommen werden; allerdings ist dadurch nicht die Belastungssituation des Einzelbetriebes zu verbessern, da die Heizgeräte ebenfalls nachts eingeschaltet sind. Diese, für die Zuchtsauenhaltung typische Belastungssituation führt zu den in Tabelle 25 angegebenen gleichmäßigen hohen Verbrauchsfaktoren. Das jährliche Maximum beträgt in den Modellen 69 % bis 83 % der installierten Leistung, die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast erreicht die für die Zuchtsauenhaltung charakteristischen hohen Werte. Es ist elektrizitätswirtschaftlich von Bedeutung, daß diese Situation bei hohen Verbrauchsfaktoren ohne zusätzliche Verriegelungsmaßnahmen erreicht wird. Im Gegensatz hierzu konnte beispielsweise in der Mastbullenhaltung und in der Schweinemast eine hohe Benutzungsdauer nur nach einer Senkung des Verbrauchsfaktors über eine zeitliche Verteilung der Leistungsansprüche eintreten.

In der Mechanisierungsstufe I werden 2 195 bis 2 138 Benutzungsstunden jährlich erreicht. Die Ursache hierfür ist der hohe Stromverbrauch der Infrarotlampen. Die Anwendung einer Fußbodenheizung (Mechanisierung II) ist jedoch für die Praxis wesentlich günstiger, da bei einem Rückgang des Elektroenergieverbrauches eine dennoch ausreichende Benutzungsdauer in Höhe von 1 320 bis

1 406 Stunden auftritt. In der Mechanisierungsstufe III kann mit einer Leistungssenkung durch Einsparungen bei der Kraftfuttersaufbereitung die sehr gute Situation mit 1 896 bis 1 701 jährlichen Benutzungsstunden erreicht werden.

Die elektrische Raumheizung, die in den Modellen mit dem Verfahren "Frühabsetzen" in der Mechanisierungsstufe I und II zum Einsatz gelangte, führt zu wesentlichen Verschlechterungen. Höherer Leistungsbedarf und ein geringerer Elektroenergieverbrauch des Gesamtverfahrens führen zu einem Rückgang der Nutzungsdauer auf 1 069 bis 1 066 Stunden (Mechanisierungsstufe I mit Infrarotlampen) bzw. auf 816 bis 864 Stunden (Mechanisierungsstufe II mit Fußbodenheizung). Daher sollten in der Praxis zur Raumheizung andere Energieträger verwendet werden; in diesem Falle werden zugleich der elektrische Leistungsbedarf und der Elektroenergieverbrauch gesenkt und das Verfahren "Frühabsetzen der Ferkel" (Mechanisierungsstufe III) ist mit 1 510 bis 1 358 Benutzungsstunden elektrizitätswirtschaftlich vorteilhaft.

Tabelle 25: Elektroenergie-Kenndaten für die Betriebsmodelle der Schweinezucht  
(Klimazone: <math> < 26^{\circ}\text{C}</math> Sommer und <math> - 16^{\circ}\text{C}</math> Winter)

	Installierte Leistung (kW)		Jahresmaximum (kW)		Verbrauchs-faktor		Ben.-Dauer der Jahreshöchstlast (h)	
	60	100	60	100	60	100	60	100
Bestandsgröße (Sauen)								
Mechanisierung I								
Verfahren: Absetzalter 6 Wochen	24,90	41,15	17,23	29,67	0,69	0,72	2 195	2 138
Frühabsetzen	31,00	51,23	23,55	39,75	0,75	0,77	1 069	1 066
Mechanisierung II								
Verfahren: Absetzalter 6 Wochen	25,75	40,25	18,20	28,77	0,70	0,71	1 320	1 406
Frühabsetzen	31,85	50,33	24,40	38,85	0,76	0,77	816	864
Mechanisierung III								
Verfahren: Absetzalter 6 Wochen	12,27	20,43	8,98	16,95	0,78	0,82	1 897	1 701
Frühabsetzen	12,27	20,43	8,98	16,95	0,73	0,83	1 510	1 358

#### 7.4 Vorschläge zu weiterführenden Untersuchungen

In den Betriebsmodellen der Rinder- und Schweinehaltung wurden die Möglichkeiten aufgezeigt, welche zu einer Senkung der Leistungsansprüche bei bestimmten Arbeitsverfahren führen, beispielsweise bei der Hochsilobeschickung, der Kraftfutteraufbereitung und der Flüssigmistbehandlung. Sie sind ebenso wie die auf eine zeitliche Verlagerung bestimmter Arbeitsvorgänge in die Schwachlastzeit zielenden Vorschläge oder die Verriegelung bestimmter Verbrauchseinrichtungen in den meisten Fällen mit einem direkten Eingriff in den Produktionsablauf des jeweiligen Betriebes verbunden.

In der vorliegenden Untersuchung wurden zwar die elektrizitätswirtschaftlichen Auswirkungen dieser Maßnahmen erläutert, in der praktischen Anwendung muß jedoch eine Leistungs-Kosten-Analyse ausschlaggebend sein, welche auf den Tarifbestimmungen der Elektrizitätsversorgungsunternehmen basiert. Die Anwendung dieser Stromtarife, welche sich in Bereitstellungspreis, Arbeitspreis und Verrechnungspreis gliedern, ist außerordentlich unterschiedlich, so daß diese Fragestellung in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden konnte. Es ist jedoch bekannt, daß durch Überanschlußwerte jährlich sehr hohe Kosten entstehen, wodurch die Wirtschaftlichkeit der Elektrizitätsanwendung stark beeinflußt werden kann. Auf der anderen Seite müssen auch diejenigen Aufwendungen berücksichtigt werden, welche durch die installations-technischen Einrichtungen einer Verriegelung notwendig werden. Nachdem die Leistungsansprüche und der Elektroenergieverbrauch moderner tierischer Produktionseinheiten vorliegen, kann die Bearbeitung dieser Fragen basierend auf einer variablen Tarifgestaltung mit Hilfe der Grenzkostenrechnung zu einer weiteren wesentlichen Klärung führen.

Neben den Verfahren der Rinder- und Schweinehaltung verbleiben weitere landwirtschaftliche Produktionsrichtungen, beispielsweise stellen eine intensive Geflügelhaltung, die Getreideaufbereitung und die Kartoffellagerung ebenfalls hohe Anforderungen an die Elektroenergie.

Auch auf diesen Gebieten müssen unter Einbeziehung der ländlichen Haushalte Analysen durchgeführt werden, um die Erkenntnisse über landwirtschaftliche Elektrizitätsanwendung zu vervollständigen.

## 8. Vergleich der Betriebsmodelle mit Ergebnissen der in der Praxis durchgeführten Betriebsmessungen

Mit der Darstellung der Modelle wurden bestimmte Produktionsformen und Bestandsgrößen sowie typische Mechanisierungsverfahren erfaßt. Hierbei sollten vor allem die auftretenden Grenzbereiche geschildert und die elektrizitätswirtschaftlichen Auswirkungen untersucht werden. Obwohl in der Praxis naturgemäß eine außerordentliche Vielzahl von Einflußfaktoren den Elektroenergieeinsatz bestimmt, ist es zweckmäßig, die theoretisch ermittelten Daten mit Praxiswerten zu vergleichen.

Daher wurde eine Erhebung in der Praxis durchgeführt, welche einer Absicherung der Modelle dienen soll. Außerdem führt sie als Ist-Analyse zu Erkenntnissen über den derzeitigen Stand der Elektrizitätsanwendung in landwirtschaftlichen Betrieben. Diese Untersuchungen beinhalten elektrische Leistungs- und Verbrauchsmessungen, welche durch die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) unter Mitwirkung der Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft (AEL) im Zeitraum 1973/74 in 158 landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt wurden. Weiterhin wurden anhand eines in Weihenstephan erarbeiteten Fragebogens die Betriebsdaten, die Mechanisierung und die installierte Leistung ermittelt, so daß Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch in Abhängigkeit von den speziellen Betriebsverhältnissen untersucht werden können. Da man einen möglichst breiten Querschnitt landwirtschaftlicher Produktionsformen zugrunde legte, gliedert sich die Zahl der untersuchten Betriebe sehr stark auf:

- 53 Betriebe mit Milchviehhaltung
- 10 Betriebe mit Rindermast
- 11 Betriebe mit Schweinezucht
- 17 Betriebe mit Schweinemast
- 11 Betriebe mit Geflügelhaltung
- 5 Betriebe mit sonstigen Produktionsrichtungen
- 51 Betriebe mit gemischten Betriebsformen

Wie bereits angedeutet, liegt mit der Erarbeitung einer umfassenden Ist-Analyse der Auswertung des gesamten Datenmaterials eine über das Ziel der hier vorlie-

genden Untersuchung hinausgehende Fragestellung zugrunde; im Mittelpunkt steht dabei die jahreszeitliche Verteilung von Leistung und Energieverbrauch einschließlich der Wechselwirkungen zwischen landwirtschaftlichem Betriebsteil und Haushalt. Für den an dieser Stelle erfolgenden direkten Vergleich mit den Modellen ist nur ein Teil der Meßergebnisse heranzuziehen, da gemischte Betriebsformen und Gesamt-Betriebsmessungen hierfür ungeeignet sind. Die verbleibende geringe Anzahl der Stichproben ermöglicht daher keine ausreichende statistische Absicherung. Somit kann lediglich der in der Praxis aufgetretene Streubereich dargestellt und mit den theoretisch ermittelten Werten verglichen werden.

Die Mastbullenhaltung wurde in 7 Betrieben mit geringen Bestandsgrößen erfaßt (20 bis 160 Tiere). Bei einer durchschnittlichen Tierzahl von 69 Mastbullen sind 21 kW installiert, und es trat ein Stromverbrauch in Höhe von 7 480 kWh pro Jahr auf. Das durchschnittliche Maximum (11 kW) entspricht dem niedrigen Elektrizitätseinsatz und führt zu 680 jährlichen Benutzungsstunden. Diese Werte ergeben sich ebenso in den Mechanisierungsstufen III der Betriebsmodelle (vergl. Tabelle 1 - Anhang und Tabelle 23). Hier sind für 100 Mastbullen bei Hochsilomechanisierung 24,3 kW installiert, das Jahresmaximum in Höhe von 10,8 kW führt zu einer Benutzungsdauer mit 488 Stunden. Der in den Modellen angegebene Stromverbrauch (5 277 kWh) gilt allerdings für Ställe ohne elektrische Stalllüftung (offene Laufställe). Somit ist der in der Praxis aufgetretene höhere Wert ( $\varnothing$  7 480 kWh/Jahr) auf den Einsatz von Stalllüftern zurückzuführen, wobei jedoch der theoretisch erforderliche Elektroenergieverbrauch nicht eingetreten ist.

Die Stichproben erlauben keine weiteren Vergleiche mit den in den Modellen vornehmlich behandelten hochmechanisierten Produktionsformen mit größeren Tierzahlen. Die dargestellte partielle Übereinstimmung mit den Modellen bestätigt jedoch, daß besonders in kleineren Beständen die installierte Leistung durch den geringen Stromverbrauch sehr schlecht ausgenutzt wird und daß für diese Betriebe die Problematik der Elektrizitätsanwendung in besonderem Maße zutrifft.

17 Betriebe mit ausschließlicher Produktionsrichtung Schweinemast ermöglichen eine weitere Gegenüberstellung mit den erarbeiteten Produktionsmodellen. Es

treten unterschiedliche Mechanisierungsformen in den Beständen von 110 bis 1 800 Mastschweinen auf. Die installierten Leistungen und der Elektroenergieverbrauch dieser Betriebe sind in Abb. 40 angegeben. Erwartungsgemäß läßt der große Streubereich keine Aussage über einen direkten Zusammenhang dieser Größen zu ( $r = 0,32$ ). Allerdings wird deutlich, daß die Produktionsmodelle in ihren Variationen den in den Erhebungen aufgetretenen Streubereich wiedergeben. Die Ausnahmen mit 118 kW bei 800 Mastplätzen und mit 102 kW bei 664 Mastplätzen sind auf den Einsatz größerer Getreidetrocknungsanlagen zurückzuführen. Auch in den Bestandsgrößen von 1 200 bis 1 800 Mastplätzen erscheinen keine höheren installierten Leistungen; hier sind also in der Praxis diejenigen Mechanisierungsstufen vorzufinden, die unter II und III in den Modellen errechnet und dargestellt sind (vergl. Abb. 34). Im Durchschnitt der 17 Praxismessungen treten folgende Werte auf: Bei einer Bestandsgröße mit 814 Mastplätzen sind 43,5 kW installiert. Das Jahresmaximum in Höhe von 17,4 kW (Verbrauchsfaktor: 0,40) hat bei einem Elektroenergieverbrauch in Höhe von 30 156 kWh eine Benutzungsdauer mit 1 905 Stunden zur Folge. Diese Durchschnittsgrößen treffen

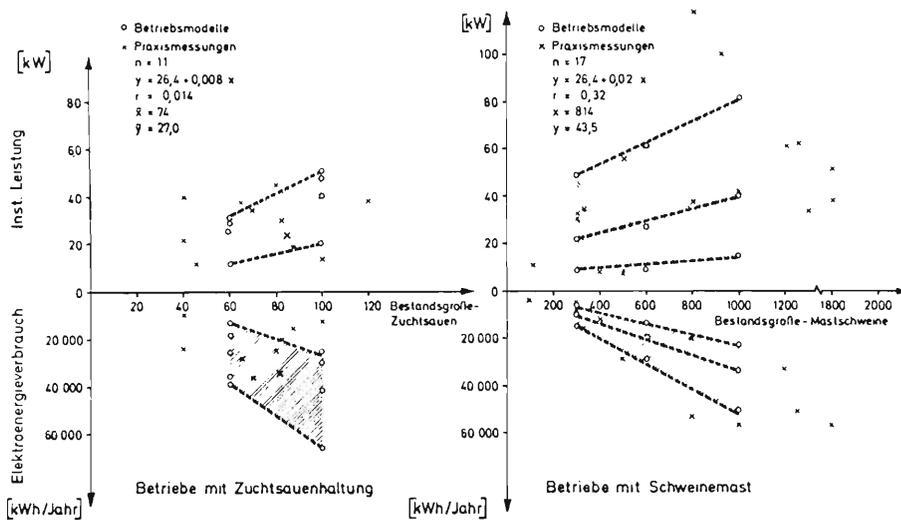


Abb. 40: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch praktischer Betriebe im Vergleich mit den Betriebsmodellen

für ein Modell mit 1 000 Mastplätzen der Mechanisierungsstufe II zu. Hier errechnen sich 44,9 kW installierte Leistung, 21,0 kW jährliches Maximum und eine Benutzungsdauer von 2 154 Stunden (Tabelle 24). Bei der Analyse einzelner Betriebe ist festzustellen, daß eine vollständige Überlagerung von Arbeitsvorgängen (Verbrauchsfaktor: 0,8 bis 0,9) vor allem in denjenigen Betrieben auftritt, die den Mechanisierungsstufen II der Modelle entsprechen. In diesen Fällen liegt die Benutzungsdauer in den Modellen und in der Praxis übereinstimmend bei 1 200 Stunden. In allen Betrieben der vorliegenden Auswahl werden jedoch nicht die höchsten Werte hinsichtlich der Benutzungsdauer erreicht (>2 000 Stunden), da entweder optimale Verlagerung oder maximale jährliche Verbrauchswerte nicht anzutreffen sind. Auf der anderen Seite bestätigen die Werte aus Betrieben mit geringen Bestandsgrößen (300 Mastplätze), daß hier ein wirtschaftlicher Einsatz leistungsstarker Flüssigmispumpen und Hammermühlen nicht erfolgen kann (Benutzungsdauer 500 bis 700 Stunden). Somit bleibt in Übereinstimmung mit den Aussagen der Betriebsmodelle festzustellen, daß bei geringen Bestandsgrößen der Einsatz leistungsaufwendiger Geräte und Maschinen elektrizitätswirtschaftlich besonders ungünstig ist. In größeren Beständen sind dagegen bessere Bedingungen vorzufinden, vor allem wenn leistungssparende Mechanisierungsformen vorgezogen werden.

In 11 spezialisierten Betrieben mit Ferkelproduktion variieren die Bestandsgrößen zwischen 40 und 120 Sauen. Hierbei zeigt sich, daß die maximale installierte Leistung in Höhe von 45 kW (80 Zuchtsauen) auch bei noch größeren Beständen nicht überschritten wird, womit die in der Praxis gewonnenen Werte mit den Produktionsmodellen übereinstimmen (Abb. 40). In kleineren Betrieben treten neben den geringen installierten Leistungen (12 kW bei 45 Zuchtsauen) auch mit 40 kW (42 Zuchtsauen) sehr hohe Werte auf, diese Spannweite wurde in den Modellen mit der Mechanisierung I bis III erfaßt (vergl. Abb. 38). Eine allgemeine Abhängigkeit zwischen den Bestandsgrößen der Zuchtsauenhaltung und der installierten Leistung besteht nicht. Mit der Funktion  $y = 26,4 + 0,008 \cdot x$  (Abb. 40) ist ein Zusammenhang dieser beiden Größen nicht nachzuweisen ( $r = 0,014$ ).

Eine gute Übereinstimmung mit dem Modell zeigt wiederum der aufgetretene Mittelwert. Bei einer durchschnittlichen Bestandsgröße von 74 Zuchtsauen sind 27 kW installiert, im theoretischen Modell sind dies 25 kW für 60 Zuchtsauen.

Größere Abweichungen treten jedoch hinsichtlich des jährlichen Elektroenergieverbrauches auf. In der Praxis wurden durchschnittlich 22 994 kWh gemessen, in den Modellen errechnen sich für die vergleichbaren Mechanisierungsstufen 24 032 bis 39 000 kWh. Diese Abweichungen sind auch bei größeren Beständen deutlich (Abb. 40). Die in der Praxis auftretende Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast ( $\varnothing$  1 905 Stunden) resultiert aus einer geringeren Belastung, weil die in den Modellen unterstellte hohe Gleichzeitigkeit beim Einsatz der Heizgeräte nicht aufgetreten ist. Der abweichende Elektroenergieverbrauch muß auf besondere klimatische Verhältnisse im Untersuchungszeitraum zurückgeführt werden.

Trotz dieser Unterschiede, zu deren endgültiger Klärung weitere gezielte mehrjährige Praxismessungen durchgeführt werden müssen, verdeutlicht die durchschnittliche Benutzungsdauer in Höhe von 1 905 Stunden, daß in der Zuchtsauenhaltung bei gleichmäßiger Belastung und gleichzeitig hohem Elektroenergieverbrauch bessere elektrizitätswirtschaftliche Bedingungen gegeben sind als beispielsweise in der Mastbullenhaltung oder in der Mastschweinehaltung.

## 9. Zusammenfassung

Die intensive Tierhaltung stellt bei zunehmender Bestandsgröße in der Rinder- und in der Schweinehaltung steigende Ansprüche an die Elektrizitätsversorgung. Auf diesem Gebiet sind neuerliche Untersuchungen notwendig geworden, um Daten über den elektrischen Leistungsbedarf und Energieverbrauch als Kalkulations- und Planungsgrundlagen zu erstellen. Zugleich mußten Ansätze zu einer gezielten Senkung der Leistungsansprüche erarbeitet werden, um die Möglichkeiten einer sinnvollen Elektroenergieanwendung zu verdeutlichen. Untersuchungen und Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die angewandte analytische Methodik zielt auf die Erfassung der einzelnen, in modernen Produktionsverfahren der Rindermast und der Schweinehaltung bedeutungsvollen Maschinen und Geräte ab. Neben der Zusammenstellung bereits in der Literatur vorliegender Daten wurden elektrische Leistungs- und Verbrauchsmessungen an Einzelgeräten durchgeführt. Somit können Abhängigkeiten und Einflußfaktoren ermittelt werden.
2. Die Einzeldaten werden nach einer Zuordnung zu Bestandsgrößen und Arbeitsverfahren in Produktionsmodellen aggregiert. Dadurch lassen sich Aussagen über die Leistungsansprüche und den Elektroenergieverbrauch beliebig zu variierender Produktionsverfahren treffen.
3. In der Rindermast treten die Schwerpunkte des Leistungsbedarfes bei der Hochsilomechanisierung (Einlagerung, Entnahme, Fütterung) und bei der Flüssigmistbehandlung auf. Leistungsfähige Fördergebläse zeichnen sich durch hohe Umfangsgeschwindigkeit der Schaufeln, enge Rohrdurchmesser und somit durch eine hohe erzielbare Luftgeschwindigkeit aus. Bei der Hochsilobefüllung tritt an der Gebläsewelle ein Leistungsbedarf von 0,5 bis 0,7 kW/(t/h) auf (14 m Höhe). Die Versuche zeigen, daß bei 30 % höherem Leistungsbedarf auch Förderhöhen bis zu 30 m erreichbar sind. Bei einer richtigen Zuordnung des Fördergebläses zum Ernteverfahren (Silomais) sind folgende Leistungen zu installieren: 22 kW bei dem 1 AK-Verfahren mit Anbauhäcksler, 18,5 kW bei dem absätzigen Verfahren mit 3 AK und Selbstentladewagen, 15 kW bei dem Parallelverfahren (4 AK). Bei dem Einsatz von Dosiergeräten gehen die Leistungsansprüche

des Gebläses durch gleichmäßige Zuführung und kontinuierliche Beschickung um 50 % zurück. Höhenförderer stellen mit 3 bis 4 kW bedeutend geringere Ansprüche an den elektrischen Leistungsbedarf. Ihre Nachteile sind jedoch unter anderem der hohe Kapitalaufwand und die bedeutenden Platzansprüche.

4. Auch in der Schweinehaltung konzentrieren sich die Untersuchungen auf die Futterkette. Mechanische Getreideförderer (Rohrkette, Becherwerk, Körnerschnecke) beanspruchen mit 0,2 bis 0,4 kW/(t/h) bei vergleichbarer Förderlänge eine wesentlich geringere Leistung als die pneumatisch arbeitenden Körnergebläse (1,0 kW/(t/h)). Die spezifischen Leistungsdaten der Hammermühlen richten sich nach der Art des Mahlgutes; bei Hafer werden 3,0, bei Gerste 1,6 und bei Weizen 0,9 kW/(t/h) benötigt. Eine Senkung der Mühlenleistungen von beispielsweise 15 auf 5,5 kW ist mit automatischen Schalt- und Überwachungseinrichtungen selbst bei größeren Mastschweinebeständen durchführbar. Bei Flüssigfütterungssystemen sind leistungsstarke Pumpen mit 5,5 bis 11,0 kW zu installieren (600 bzw. 1 000 Mastplätze). Absätzi-ge Verfahren mit Mischbottichen benötigen zusätzliche Rührwerke (3 kW). Dagegen treten bei mechanischen Trockenfütterungsanlagen mit 0,5 bis 1,5 kW sehr geringe Leistungsansprüche auf.
  
5. Für Rinder- und Schweinehaltung in gleichem Maße bedeutungsvoll ist die Flüssigmistbehandlung. Die hohen Leistungsansprüche der Flüssigmistpumpen werden zum Mischen des Behälterinhaltes benötigt. Bei dünnflüssigem Rinder- und Schweinemist sind Pumpenmotoren mit 15 kW in Behältern bis zu einem Fassungsvermögen von 500 m<sup>3</sup> ausreichend. In größeren Behältern (1 000 m<sup>3</sup>) tritt ein Leistungsbedarf in Höhe von 25 kW auf (maximal 150 Tage Lagerzeit). Bei Flüssigmist mit höherer Konsistenz (Bullenmast mit Maissilagefütterung) sind Antriebsleistungen von 25 kW (Behälter bis 500 m<sup>3</sup>) bis zu 40 kW (Behälter bis 1 000 m<sup>3</sup>) notwendig. Falls das Mischen mit schleppergetriebenen Rührwerken durchgeführt wird, ist zur Förderung des Flüssigmistes eine geringere Pumpenleistung ausreichend. Für die Praxis bedeutungsvoller ist jedoch die Verwendung von Oberflächenbelüftungskreiseln (2,2 kW). Konsistenzabbau und Verflüssigung des Mistes ermöglichen auch hier 50 % geringere Pumpenleistungen. Mechanische Entmistungsanlagen sind mit ihren Leistungsansprüchen in Höhe von 0,5 bis 1,5 kW hinsichtlich des Elektroenergieeinsatzes weniger wichtig.

6. Bei der Zusammenstellung der Produktionsmodelle der Mastbullenhaltung wird deutlich, daß bei Hochsilomechanisierung höchste Leistungsansprüche auftreten. Für 100 Mastbullen sind 90 kW, für 300 Mastbullen 115 kW und für 500 Mastbullen 150 kW zu installieren (0,9 bis 0,3 kW/Mastplatz). Der Elektroenergieverbrauch liegt bei 190 kWh/Mastplatz und Jahr. Um das schlechte Verhältnis zwischen Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch dieser Verfahren zu verbessern, müssen Einsparungen in den Bereichen Hochsilobefüllung, Flüssigmistbehandlung und Kraftfutteraufbereitung vorgenommen werden. So ist die installierte Leistung um 40 bis 50 % auf 56 kW (100 Mastbullen) bis zu 82 kW (500 Mastbullen) zu senken (0,56 bis 0,16 kW/Mastplatz). Bei konstantem Elektroenergieverbrauch führen diese Maßnahmen zu einer wesentlich besseren Ausnutzung der installierten Leistung. Für Flachsilomechanisierung oder offene Laufstallsysteme (Festmistverfahren) wurden niedrigste Leistungsansprüche mit 25 kW (100 Mastbullen) bis herab zu 20 kW (500 Mastbullen) ermittelt.
  
7. In der Mastschweinehaltung treten hohe Leistungsansprüche durch Kraftfutteraufbereitung, Flüssigfütterung und Flüssigmistbehandlung auf. Hier sind beispielsweise 45 kW für 300, 62 kW für 600 und 80 kW für 1 000 Mastplätze zu installieren. Trotz des hohen jährlichen Elektroenergieverbrauches (46 kWh/Mastplatz) werden die installierten Leistungen nur ungenügend ausgelastet. Eine Leistungssenkung in den Teilbereichen Kraftfutteraufbereitung, Fütterung und Flüssigmistbehandlung führt zu einem wesentlich niedrigeren Leistungsbedarf (maximal 40 kW bei 1 000 Mastplätzen). Da der Elektroenergieverbrauch trotz dieser Leistungssenkungen nahezu gleich bleibt, werden auch hier elektrizitätswirtschaftliche Verbesserungen deutlich.
  
8. Die beschriebenen Verfahren der Zuchtsauenhaltung zeigen, daß keine wesentlichen Leistungssenkungen vorzunehmen sind. Einschließlich der hofeigenen Kraftfutteraufbereitung sind zwischen 25 kW für 60 Zuchtsauen und 40 kW für 100 Zuchtsauen zu installieren. Der Einsatz einer elektrischen Raumheizung (8 bis 16 kW) ist mit deutlichen Nachteilen verbunden. Die Beheizung der Ferkelnester und der daraus resultierende hohe Elektroenergieverbrauch bestimmen die Elektrizitätsanwendung in der Zuchtsauenhaltung. Da bei Fußbodenheizung die Wärmeabgabe über die Leistungsaufnahme regelbar ist, werden bei

diesem Verfahren 170 kWh/Sau und Jahr verbraucht. Demgegenüber sind es 400 kWh/Sau und Jahr bei Verwendung von Infrarotlampen.

9. Große Bedeutung ist den beschriebenen installationstechnischen Vorrichtungen zur Verriegelung einzelner Elektromotoren zuzumessen, da hierdurch verhindert wird, daß bei Überlagerung der Arbeitsvorgänge hohe Belastungsspitzen auftreten. Mit Hilfe der Betriebsmodelle wird gezeigt, daß beispielsweise in der Mastbullenhaltung (Hochsilomechanisierung) bei Verriegelung des Fördergebläses mit der Flüssigmistpumpe und mit der Kraftfuttersaufbereitung eine deutliche Senkung des jährlichen Belastungsmaximums erreichbar ist. Folglich steigt die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast auf 700 bis 1 800 Stunden an, während bei Überlagerung dieser Arbeitsvorgänge nur etwa 200 bis 600 Stunden auftreten. In anderen Mechanisierungsstufen können mit maximal 2 000 bis 2 900 Benutzungsstunden gute elektrizitätswirtschaftliche Verhältnisse herbeigeführt werden. In der Mastschweinehaltung sind beispielsweise die Flüssigfütterung, die Hammermühlen, die Körnergebläse und die Flüssigmistpumpen gegenseitig zu verriegeln, so daß auch in den Verfahren mit hoher installierter Leistung 1 000 bis 1 500 jährliche Benutzungsstunden zu erzielen sind. In der Zuchtsauenhaltung läßt sich die zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsvorgänge nicht durchführen, ohne daß jedoch schlechte Einsatzbedingungen vorherrschen (1 300 bis 2 000 Benutzungsstunden).
10. In der vorliegenden Arbeit werden die elektrizitätswirtschaftlichen Auswirkungen einzelner Maßnahmen zur Senkung der elektrischen Leistungsansprüche dargestellt. Wirtschaftlichkeitsrechnungen und die Probleme einer unterschiedlichen Tarifgestaltung sollten weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

10. Literaturverzeichnis

- (1) ACKERMANN, G.: Meßtechnik bei Gebläseuntersuchungen  
Landtechn. Forschung 3, (1957). 1, S. 14 - 17
- (2) BLANKEN, G. u.a.: Produktionsverfahren in der Ferkelerzeugung  
KTBL-Schrift 166  
Landwirtschaftsverlag GmbH Hilstrup 1973
- (3) BLENDL, H. u.a.: Produktionsverfahren in der Schweinemast  
KTBL-Flugschrift Nr. 21  
Hellmut Neureuter-Verlag, Wolfratshausen 1970
- (4) BLÜMEL, K.,  
SEGLER, G.,  
KOSCHATZKY, R.: Mechanisierung der Belüftungstrocknung von Heu  
KTBL-Schrift 160, Landwirtschaftsverlag,  
Hilstrup 1973
- (5) BONDAREV, G.: Eine neue Technologie der Schweinehaltung  
Agrartechnik, 23 (1973), 2, S. 65 - 66
- (6) BOSMA, H.,  
WEIDINGER, A.,  
MAIER, L.: Leistungsmessungen an Siloobnenfräsen in  
Wageningen und Weihenstephan  
Rapport 218, Institut voor Landbouwtechniek  
en Rationalisatie  
Wageningen/Holland 1973
- (7) BOXBERGER, J.: Neuere Haltungssysteme für die Ferkelproduktion  
Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch.  
51. SH 2/1974
- (8) BOXBERGER, J.,  
LANGENEGGER, G.: Flüssigfütterung - das Ei des Kolumbus?  
Zwei aktuelle Systeme  
DLZ, 25 (1974). 11, S. 649 - 652  
12, S. 690 - 694
- (9) BRANDT, J.: Der Bau von Warmställen  
Landbau, 11 (1974). 3, S. 43 - 47
- (10) BRÜCKMANN, W.: Die Herstellung von Mischfutter in einer  
rechnergesteuerten Wägeanlage  
Die elektrische Ausrüstung, Nr. 6, (1969), S. 31-36
- (11) C.I.G.R.: Vorträge anlässlich der 5. Int. Arbeitstagung  
der C.I.G.R., Sektion IV "Elektrifizierung in  
der Landwirtschaft", Berlin (West) 31.1. - 3.2.1973  
Thema 1:  
Bereitstellung elektrischer Energie in Gebieten  
intensiver tierischer oder gartenbaulicher Pro-  
duktion. Leistungsanforderung, Benutzung, Ver-  
teilung, Kosten der Versorgung, Vorausschätzung  
des Verbrauches  
HEA, Frankfurt/Main 1973

- (12) CLAUS, G.:  
Versuche über die Warmlufttrocknung von  
Halmfutter in Satztrocknungsanlagen  
Grundlagen der Landtechnik, 21 (1971).  
3, S. 65 - 69
- (13) DAO, H.B.:  
Les techniques et materiels utilises dans  
l'alimentation des porcins  
Bulletin d'Information du CNEEMA,  
Antony (1972). 177, S. 45 - 83
- (14) DOHNE, E.,  
FELDMANN, F.:  
Landtechnik 1, Feldwirtschaft  
Ulmers Taschenhandbücher,  
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1965
- (15) EICHHORN, H.,  
BOXBERGER, J.,  
SEUFERT, H.:  
Flüssigmist - Entmistung, Lagerung, Ausbringung  
Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Beton-  
Verlag, Düsseldorf 2. Auflage 1972
- (16) EICHHORN, H.:  
Erntehofdrusch und elektrische Energieversorgung  
Diss. Technische Hochschule München,  
Weihenstephan 1958
- (17) EICHHORN, H.:  
Bau und Klimatisierung von Zucht- und  
Mastschweinställen  
Bauen auf dem Lande, 20 (1970). 7, S. 198 - 207
- (18) FELDMANN, F.:  
Die Voraussetzung für eine erfolgreiche  
Heubelüftung  
Landtechnik, 13 (1958). 20, S. 640 - 647
- (19) FELDMANN, F.:  
Trocknung und Belüftung in der Landwirtschaft  
KTL-Ber. über Landtechnik 48, 1956
- (20) FITZEN, W.:  
Entwicklung der Elektrizitätsanwendung in  
der Landwirtschaft im Raum Niederrhein in  
den Jahren 1950 - 1970  
Diplom-Arbeit Bonn 1971
- (21) GARTEN, W.:  
Bleiakkumulatoren,  
VARTA-Aktiengesellschaft, Frankfurt/Main,  
VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1955
- (22) GLUTH, M.:  
Untersuchungen zur Wurfgebläseförderung  
VDI-Forschungsheft 544  
VDI-Verlag Düsseldorf 1971
- (23) GOLL, W.:  
Entwicklung der Elektrizitätsanwendung  
im Bereich der Landwirtschaft  
Elektrowärme International, Edition  
A-Nr. 3, Mai 1973

- (24) GOLL, W.: Entwicklung der Elektrizitätserzeugung, -verteilung und -anwendung  
Vortrag bei der Landwirtschaftskammer Rheinland, 1971
- (25) GOLL, W.: Neue allgemeine Tarife und ihre Auswirkungen auf die Landwirtschaft  
Vortragsmanuskript Mai 1974
- (26) GRIMM, A.: Automatisch gesteuerte Flüssigentmischung Beton-Landbau, 7 (1970). 1, S. 11 - 12
- (27) GRIMM, K.: Entwicklungsrichtung bei der Technik der Entmischung  
In: Berichte über Aufgaben und Tätigkeit der Landtechnik Weihenstephan von 1970 - 1972 (4), Weihenstephan 1972, S. 200 - 207
- (28) GRIMM, K.: Großbehälteranlagen für Flüssigmist und Gärfutter  
Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Beton-Verlag Düsseldorf 1971
- (29) GRIMM, K., LANGENEGGER, G.: Stand der Technik bei der Stallentmischung sowie der Lagerung und Ausbringung von Flüssigmist  
In: Berichte über Aufgaben und Tätigkeit der Landtechnik Weihenstephan von 1968 - 1969 (3), Weihenstephan 1969
- (30) GRIMM, K., SCHURIG, M., WEIDINGER, A.: Die Häckselkette im modernen Futterbaubetrieb  
Angewandte Landtechnik, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart 1960
- (31) HAMMOND, A.L., u.a.: Energie für die Zukunft  
Wege aus dem Engpaß  
Umschau Verlag Frankfurt/Main 1974
- (32) HECHTER, K., JAKOB, G.: Konstruktive Gestaltung der technologischen Ausrüstung des Hochsilos HS 25  
Deutsche Agrartechnik, 22 (1972). 4, S. 167 - 169
- (33) HEEGE, G.: Die Endglieder der Feldhäcksler-Hochsilo Futterkette in den Vereinigten Staaten  
Forschung und Beratung Reihe B, Wissenschaftliche Berichte der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn, Heft 7, Landwirtschaftsverlag Hiltrup 1963

- (34) HOCHKÖNIG, W.: Die Wirtschaftlichkeit der Elektrizitätsanwendung in der österreichischen Landwirtschaft 67. Arbeit des ÖKL, Wien 1957
- (35) HONIG, H.: Energiewirtschaftliche Bedarfszahlen Berichte über Landtechnik 73, Teil I KTBL, Frankfurt/Main 1965
- (36) HUSMANN, J.F.,  
FINNER, F.: Techniques for Evaluating Forage Blowers ASAE-Paper, No. 74 - 1003 St. Joseph - Michigan 1974
- (37) ISENSEE, E.: Mobile Entmistungsverfahren Der Tierzüchter, 21 (1969). 23, S. 696 - 698
- (38) ISSELSTEIN, R.,  
GOLL, W.: Landwirtschaft und Elektrizität RWE informiert Nr. 103
- (39) JANSSEN, M.: Technik und Arbeitswirtschaft bei der Flüssigfütterung, insbesondere in der Hackfruchtmast KTBL-Berichte über Landtechnik 130 Frankfurt/Main 1969
- (40) JANSSEN, M. und  
RIEMANN, U.: Mechanische Arbeitsverfahren in der Hackfruchtmast durch Einsatz der Flüssigfütterung Landtechnik, 25 (1970). 4, S. 82 - 84
- (41) KALICH, J.: Der Einfluß des Stallklimas auf die Leistung der Tiere Bauen auf dem Lande, 21 (1970). 4, S. 98 - 104
- (42) KASTROLL, H.J.: Mobile Mechanisierung im Rindviehstall Landmaschinenmarkt, 51 (1972). 18/19, S. 8 - 10
- (43) KASTROLL, H.J.: Nach dem Klingeln gibt es Fressen Landmaschinen Markt, 49 (1970). 16, S. 10 - 12
- (44) v. KEISER, H.: Konsequenzen aus der Energiekrise für die Landwirtschaft In: Betriebswirtschaftliche Mitteilungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Nr. 227, Febr. 1974
- (45) KIONKA, U. und  
LAYER, G.: Strombedarfsstruktur landwirtschaftlicher Betriebe Forschungsstelle für Energiewirtschaft München 1971
- (46) KLING, A.,  
RUDE, M.: Heubelüftung und Ortsnetzbelastung Elektrizität, 17 (1957). S. 195 - 197

- (47) KLOEPEL, R.: Fließfutter im Schweinestall  
RKL-Schrift, Februar/März 1972
- (48) KÖBSELL, H.M.: Beschickung von Fördergebläsen mit  
Ladewagengut  
Landtechnik, 24 (1969). 8, S. 250 - 253
- (49) KRECK, H.J.: Elektrische Heißwasserbereitung  
HEA Hefte für Elektrizitätsanwendung,  
VWEW Frankfurt/Main 1968
- (50) KRINNER, L.: Untersuchungen an Laufkrananlagen  
In: Berichte über Aufgaben und Tätigkeit der  
Landtechnik Weihenstephan von 1970 - 1972 (4),  
S. 149 - 154, Weihenstephan 1972
- (51) KRINNER, L.: Versuchsbericht über Andreas-Stalldungs-  
schieber  
Unveröffentlichtes Manuskript  
Landtechnik Weihenstephan 1973
- (52) KRÜGER, W.: Elektrischer Energieverbrauch und Leistungs-  
bedarf der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein  
Diss. Kiel 1960
- (53) LANGENEGER, G.: Eine Meßmethode zur Bestimmung der Pumpfähig-  
keit von Gülle und Flüssigmist  
In: Berichte über Aufgaben und Tätigkeit  
der Landtechnik Weihenstephan von 1968 -  
1969 (3) Weihenstephan 1969
- (54) LEBEL, J. u.a.: Wirtschaftlich-technische Lösungen für die  
elektrische Beheizung von Ställen  
Vortrag anlässlich der 5. Internationalen  
Arbeitstagung der C.I.G.R., Sektion IV  
"Elektrifizierung in der Landwirtschaft"  
Berlin (West) 31.1. - 3.2.1973
- (55) LOOS, A.: Energiebedarf und Installation von Schwein-  
emast- und Zuchtstätten  
Bauen auf dem Lande, 22 (1971). 10,  
S. 339 - 340
- (56) METZNER, R.: Technische und arbeitswirtschaftliche Unter-  
suchungen an einem programmgesteuerten mobilen  
Futterverteilwagen für die Schweinemast  
Dipl.-Arbeit, Weihenstephan 1973
- (57) v. PAPPRITZ, C.L.: Einzelheiten über Stallklimatisierung  
Elektrizität, 11 (1961). 6, S. 128 - 133

- (58) PENNER, D.: Schwerpunkt: Futteraufbereiten für die Schweinemast  
Elektrizität, 22 (1972). 5, S. 130 - 133
- (59) PENNER, D.: Neuzeitliche Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft  
Kali Briefe, Bern 10 (1970). 7, S. 8
- (60) PETIT, K.L. u.a.: De karakterisatie van het elektrisch energieverbruik in moderne dierlijke produktieeenheden  
Rijks universiteit Gent  
Fakulteit van de Landesbouwetenschappen 1973
- (61) PIRKELMANN, H.: Pers. Mitteilungen,  
Weihenstephan 1975
- (62) PIRKELMANN, H.,  
WAGNER, M.: Lohnen sich Dosiergeräte beim Einlagern von Ladewagengut  
Landmaschinen-Rundschau, 22 (1970).  
S. 90 - 94
- (63) PIRKELMANN, H.: Verbesserte Geräte und Verfahren zur Entleerung von Gärfuttersilos  
In: Berichte über die Jahrestagung der Landtechnik Weihenstephan, 10 u., 11.10.1973  
S. 118 - 130, Weihenstephan, Freising 1973
- (64) REINERS, G.: Elektrizitätswirtschaftliche Voraussetzungen und Folgerungen für Gebiete mit intensiver Agrarproduktion  
In: Elektrizität, Entwicklungsfaktor für Landwirtschaft und ländlichen Raum.  
KTBL-, AEL-, HEA-Vortragstagung am 5.6.1973 in Osnabrück
- (65) REINHARD, H.: Mechanische Entmistungsanlagen in der DLG-Prüfung  
Landtechnik, 29 (1974). 2, S. 81 - 84
- (66) RIEMANN, U.: Aufbereitung von Schrotmischungen im landwirtschaftlichen Betrieb  
KTL-Flugschrift Nr. 18  
Hellmut-Neureuter-Verlag, München 1968
- (67) RIEMANN, U.: Mechanische Körnerförderer  
KTL-Arbeitsblatt für Landtechnik Nr. 28  
Frankfurt/M. 1965

- (68) RIEMANN, K.,  
MANNEBECK, H.: Fütterungsverfahren für Hochleistungskühe  
Landtechnik 27, (1972). 23/24, S. 589 - 593
- (69) ROLLER, W.L. und  
TEAGUE, K.S.: Eine automatische Fütterung mit pastigem  
Futter  
Agricultural Engineering  
52 (1971). 4, S. 190 - 191
- (70) ROOS, L.J.: Der Getreidespeicher im landwirtschaft-  
lichen Betrieb  
KTBL-Berichte über Landtechnik Nr. 127  
Hellmut-Neureuter-Verlag, München 1969
- (71) RUDE, M.: Elektrizitätswirtschaftliche Folgerungen  
und Prognosen  
Landtechnik, 25 (1970). 23/24, S. 737 - 742
- (72) RUDE, M.: Elektrizitätswirtschaftliche Auswirkungen  
des Strukturwandels der Landwirtschaft  
in Südwestdeutschland  
Manuskript des Vortrages anlässlich der  
ÖKL-Konferenz, Gröbning, Okt. 1969
- (73) RÜPRICH, W.: Versuche zur Aufbereitung von tierischen  
Exkrementen mit Umwälzbelüfter und Ober-  
flächenkreisel  
Vortrag anlässlich der 5. Internationalen  
Arbeitstagung der C.I.G.R., Sektion IV.  
"Elektrifizierung in der Landwirtschaft"  
Thema 5. Berlin (West) 31.1. - 3.2.1973
- (74) SCHEUERMANN, A.: Der Strömungswiderstand bei der Belüftungs-  
trocknung von blattreichem, dicht lagerndem Heu  
Grundlagen der Landtechnik, 16 (1966). 4,  
S. 140 - 146
- (75) SCHERPING, E.: Untersuchungen zur Siloentnahme aus Hochsilos  
Deutsche Agrartechnik, 22 (1972). 4, S. 172 - 173
- (76) SCHMIDT, L. u.a.: Schweineproduktion  
DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt/M. 1974
- (77) SCHÖN, H.,  
AUERNHAMMER, H.: Die Organisation leistungsfähiger Futter-  
ketten für Anwelksilage und Silomais  
Berichte über die Arbeitstagung der Referenten  
"Landtechnik" und "Landwirtschaftliches Bau-  
wesen" vom 3. bis 6. Okt. 1972 in Stuttgart-  
Hohenheim AID, Bonn, 1973
- (78) SCHURIG, M.: Vergleichende Untersuchungen über Technik  
und Arbeitswirtschaft bei der Befüllung und  
Entleerung von Gärfuttersilos  
Berichte über Landtechnik 80,  
KTL-Frankfurt/M. 1964

- (79) SCHURIG, M.: Untersuchungen über leistungsfähige Beschickungsgeräte für Hochsilos  
Forschungsbericht Landtechnik Weihenstephan 1973
- (80) SEGLER, G.: Fortschritte in der Heubelüftungstechnik  
Landtechnik, 13 (1958). 19, S. 590 - 594
- (81) SEGLER, G.: Gebläseauswahl für Heubelüftungsanlagen  
Landtechnik, 12 (1957). 20, S. 599 - 607
- (82) STEFFEN, G. u.a.: Neuzeitliche Schweineproduktion  
KTBL-Manuskriptdruck 29, Frankfurt/M. 1971
- (83) THORWARTH, T.: Eine regelbare Wärmequelle für das Fer-  
kelnest  
Übersicht, 24 (1973). 4, S. 266 - 273
- (84) THORWARTH, T.: Flüssigfütterung, einfach und voll-  
automatisch  
Übersicht, 23 (1972). 10, S. 772 - 782
- (85) THORWARTH, T.: Flüssigfütterung  
plt - Praktische Landtechnik Wien, 26  
(1973). 17, S. 386 - 390
- (86) TSCHIERSCHKE, M.: Möglichkeiten und Grenzen für die Auto-  
motorisierung des Produktionsprozesses zur  
Erzeugung von Schweinefleisch  
Deutsche Agrartechnik 22 (1972). 2,  
S. 79 - 82
- (87) TSCHIERSCHKE, M.,  
FREITAG, H.: Mechanisierte Schweinemastanlagen  
VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag,  
Berlin 1966
- (88) VOGT, C.: Futterwagen in der Mastschweinehaltung  
Mitteilungen der DLG, 89 (1974). 33,  
S. 954 - 956
- (89) VOGT, C.: Flüssigfütterungsanlagen für Mast-  
schweinehälte  
Mitteilungen der DLG, 89 (1974). 34,  
S. 980 - 981
- (90) VOGT, C.: Intensive tierische Produktion und  
Energiebedarf  
Landtechnik, 28 (1973). 11/12,  
S. 312 - 314

- (91) VOGT, C. und  
THORWARTH, T.: Fütterungsanlagen für Mastschweine  
DLG-Manuskript, Frankfurt/M. 1972
- (92) VOSS, U.: Schrotmühlen und Futtermischer  
Landtechnik, 29 (1974). 8, S. 349
- (93) v. WÄCHTER, H.: Mehr Silos und Heubelüftungsanlagen  
Mitt. d. DLG, 89 (1974). 44, S. 1340
- (94) WEBER, A.: Energie und Nahrungsmittelproduktion  
Betriebswirtschaftliche Mitteilungen  
der Landwirtschaftskammer Schleswig-  
Holstein, Nr. 224/225, Nov./Dez. 1973
- (95) WEBER, A.: Arbeits- und bodensparende Technologien  
Bestimmungsgründe und Indikatoren ihres  
Einsatzes in den EWG- und RGW-Ländern  
von 1960 - 1969  
Agrarwirtschaft, 22 (1973). S. 57 - 68
- (96) WEIDINGER, A.: Trockenfütterungsanlagen  
plt-Praktische Landtechnik, Wien, 26  
(1973). 17, S. 384 - 386
- (97) WEIDINGER, A.: Technische und funktionelle Untersuchun-  
gen an ausgewählten mechanischen Fütte-  
rungsanlagen für Rinder  
Diss. Weihenstephan 1967
- (98) WEIDINGER, A.: Futterverteilanlagen für Rinder  
DLG-Manuskript, Dezember 1973
- (99) WEIDINGER, A.: Vom Futterwagen zur Flüssigfütterung  
Sonderdruck DLP, 96 (1973). 5
- (100) WEIDINGER, A.: Vollmechanische Entleerung von Gärfütter-  
silos mit Obenentnahmefräsen in Grünland-  
wirtschaften  
Forschungsbericht, Weihenstephan 1973
- (101) WENNER, H.L.: Technische Hilfsmittel für die Futter-  
bereitung und Fütterung  
In: Handbuch der Landtechnik, Bd. VI.  
Parey Verlag, Berlin - Hamburg 1961
- (102) WENNER, H.L. u.a.: Landtechnik Bauwesen  
BLV-Verlagsgesellschaft München 1973
- (103) WIENEKE, F.: Verfahrenstechnik der Halmfutterproduktion  
Eigenverlag Göttingen 1972

- (104) ZEISIG, H.D.: Oberflächenbelüftung von Flüssigmist zur Geruchseinschränkung  
Berichte über die Jahrestagung der Landtechnik Weihenstephan, 10./11. Okt. 1973  
Weihenstephan, Freising 1973
- (105) ZEISIG, H.D.,  
LANGENEGGER, G.: Persönliche Mitteilungen  
Weihenstephan 1974/1975
- (106) ZIHLMANN, F.,  
JAKOB, R.: Vergleichsprüfung von Vielzweckfördergebläsen  
Blätter für Landtechnik 28, Febr. 1972  
Eidgen. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik  
Tänikon, Schweiz
- (107) ZIPFEL, M.: Die wirtschaftliche Stromversorgung der Landwirtschaft  
Beiträge zur praktischen Energiewirtschaft Band 1  
Energiewirtschaftlicher Verlag Hugo L. Meyer, Karlsruhe 1949
- (108) Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1973  
Statistischer Bericht des Referates Elektrizitätswirtschaft im Bundesministerium für Wirtschaft  
Elektrizitätswirtschaft 73 (1974)  
Sonderdruck Nr. 2693, Heft 21, S. 587 - 626
- (109) Flüssig - aber warm  
Drinne und Draußen  
1/1974 Information für die Landwirtschaft  
HEA, Energie-Verlag, Heidelberg
- (110) Futtergetreide aufbereiten  
Drinne und Draußen 4/1970  
Information für die Landwirtschaft  
Herausgegeben von der HEA Frankfurt/M.
- (111) Geruch wird störend oft empfunden ...  
Drinne und Draußen 4/1974  
Information für die Landwirtschaft  
HEA, Frankfurt/M.
- (112) AEL-Schriftenreihe: Elektrische Raumheizung in der Landwirtschaft  
AEL-Schriftenreihe, Heft 2/1966, Landwirtschaftsverlag Hiltrup

- (113) AEL-Schriftenreihe: Berechnungs- und Planungsgrundlagen für das Stallklima in Rindvieh- und Mastkälberställen  
AEL-Schriftenreihe, Heft 4/1967,  
Landwirtschaftsverlag Hiltrup
- (114) " Berechnungs- und Planungsgrundlagen für das Stallklima in Mastschweine- und Abferkelställen  
AEL-Schriftenreihe, Heft 5/1968,  
Landwirtschaftsverlag Hiltrup
- (115) " Schrot- und Mischanlagen im landwirtschaftlichen Betrieb  
AEL-Schriftenreihe, Heft 7/1969,  
Landwirtschaftsverlag Hiltrup
- (116) " Elektrische Heißwasserbereitung in der Landwirtschaft  
AEL-Schriftenreihe, Heft 11/1970,  
Landwirtschaftsverlag Hiltrup
- (117) " Heißes Wasser in der Landwirtschaft  
AEL-Merkblatt 2/1970, Landwirtschaftsverlag Hiltrup
- (118) " Elektrowärme bei der Ferkelaufzucht  
AEL-Merkblatt 6/1974, Landwirtschaftsverlag Hiltrup
- (119) Herstellen von Futtermischungen auf dem Hof  
AID Heft 20, Bonn-Bad Godesberg 1969
- (120) Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues, Weihenstephan: Ökonomik der tierischen Produktion, Rindviehhaltung  
Umdruck 27 und 29,  
Vorlesungsblätter 1972
- (121) DLG-Prüfberichte: Schrotmühlen und Zubehör  
Gruppe 9 h,  
Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft,  
Frankfurt/M.
- (122) " Heulüfter, Gruppe 8 g  
Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft  
Frankfurt/M.
- (123) " Entmistungsanlagen  
Gruppe 10 c  
Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft  
Frankfurt/M.

- (124) Planungsgrundlagen für die Beleuchtung  
in landwirtschaftlichen Betriebsstätten  
KTBL-Arbeitsblatt Bauwesen  
KTBL Schriftenvertrieb im Landwirt-  
schaftsverlag, Hiltrup 1974
- (125) KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Be-  
triebswirtschaft  
Daten für die Betriebskalkulation in  
der Landwirtschaft  
KTBL-Frankfurt/Main,  
5. Aufl. Landwirtschaftsverlag  
Hiltrup 1969
- (126) Betriebswirtschaftliche und landtechni-  
sche Datensammlung für die Landwirtschafts-  
beratung in Bayern Bd. II  
Bayerisches Staatsministerium für Ernäh-  
rung, Landwirtschaft und Forsten,  
München 1966
- (127) Bauplanung - ein Vorschlag,  
Raum- und Funktionsprogramm für land-  
wirtschaftliche Betriebsgebäude  
Arbeitsgemeinschaft zur Verbesserung  
der Agrarstruktur in Hessen  
Wiesbaden, März 1968
- (128) Statistisches Jahrbuch über Ernährung,  
Landwirtschaft und Forsten  
verschiedene Jahrgänge  
Herausgegeben vom Bundesministerium für  
E.L.F.,  
Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- (129) Begriffsbestimmungen in der Elektrizitäts-  
wirtschaft  
C.I.G.R. Sektion IV,  
zusammengestellt von H.J. Kastroll und  
M. Rude, Berlin 1973
- (130) Begriffsbestimmungen in der Energie-  
wirtschaft  
Band 1, Teil 1 Elektrizitätswirtschaft-  
liche Grundbegriffe  
4. Ausgabe 1973  
Vereinigung Deutscher Elektrizitäts-  
werke e.V.  
Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der  
Elektrizitätswerke m.b.H.  
Frankfurt/Main 1973

- (131) DIN 18 910, Klima im geschlossenen Stall  
Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln, Okt. 1974
- (132) DIN 42 673  
Oberflächengekühlte Drehstrommotoren, Anbau-  
maße und Zuordnung der Leistungen  
Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln, April 1964
- IEC-Publikation 34 - 1, 72,  
5. Ausgabe, 79 und 85  
Empfehlungen für Normmotoren
- CENEL-Dokument 2 B 64  
April 1970  
Europäische Motornorm
- VDE - 0530, Bestimmungen für elek-  
trische Maschinen
- (133) Firmenunterlagen  
und Prospekte:  
Bayerische Pflugfabrik - Landsberg  
Blase -  
Dameco - Skjold - Rendsburg  
Gassner -  
Horstkötter - Beckum  
Huber - Erding (1974)  
Kemper -  
Lely -  
Melotte - Niederlande  
Pöttinger - Grieskirchen (1974)  
Westeria - Westbevern (1974)
- (134) FINNER, F. u.a.:  
Techniques for evaluating  
Forage Blowers  
ASAE-Paper Nr. 74 - 1003  
St. Joseph, Michigan 1974
- (135) WHITE, R.G.:  
Selecting a Forage Harvesting System  
Information Series No. 225, 1968  
Dept. of Agricultural Eng., East  
Lansing, Mich.
- (136) BECKER, H. u.  
SEIFERT, H.:  
Arbeitszeitbedarf für die Futterernte  
KTBL-Manuskriptdruck Nr. 19  
Frankfurt/Main 1969

11. Anhang

Bestandsgröße (Mastbullen)	100		300		500	
	kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr
1.) Stalllüftung: Temp.-Zone <26°C	1,45	8 543	4,37	25 839	7,29	43 105
2.) " " >26°C	1,94	11 471	5,83	34 472	9,72	57 474
3.) Beleuchtung (Leuchtstofflampe)	0,42	306	0,84	613	2,10	1 533
Futtereinlagerung						
4.) 1 AK, Gebläse	22,00(25,0)*	344				
5.) 2 AK, Gebläse			18,50	957		
6.) 2 AK, Höhenförd.+Dosierer	8,00	396	8,00	595		
7.) 4 AK, Gebläse					37,00(40,0)	1 387
8.) 4 AK, Höhenförd.+Dosierer					8,00	992
9.) Siloentnahmefräse(n)	7,50(8,0)	763	7,50(8,0)	2 291	15,00	38 181
10.) Fütterungswagen	3,70	32	3,70	76	Schlepper	
Flüssigmistbehandlung						
11.) Kreiseltauchpumpe	22,00(25,0)	483	37,00(40,0)	2 204	37,00(40,0)	3 589
12.) Kreiseltauchpumpe und Oberflächenbelüftung	15,00	182	22,00(25,0)	907	22,00(25,0)	1 182
	2,20	3 831	2,20	11 497	4,40	19 161
13.) Stationäre mech. Fütterung Schubstange	2,20	86	5,50(4,0)	708	7,50	1 629
Kraftfuttermittelzubereitung						
14.) Hammermühle	15,00	401	15,00	1 213	15,00	2 012
15.) Hammermühle	11,00	375	11,00	1 133	11,00	1 879
16.) Hammermühle	5,50	286	5,50	864	5,50	1 433
17.) Futtermischer	4,00(2,2)	41	4,00(2,2)	123	4,00	205
Speichereinrichtung						
18.) Rohrschnecke	2,2	13	2,20	32	2,20	53
19.) Fördergebläse	7,50	30	7,50	94	7,5	156
Kälberstall						
20.) Lüftung T.-Zone <26°C	0,13	683	0,20	1 530	0,50	2 251
21.) Lüftung T.-Zone >26°C	0,16	805	0,40	2 041	0,60	3 061
22.) Beheizung: Zone -10°C	2,80	840	8,70	2 520	14,00	4 200
23.) Zone -16°C	3,20	1 920	9,60	5 760	16,00	9 600
24.) Heißwasserbereitung	2,00/6,00	2 920	6,00	8 760	9,00	14 600
** <u>Hochsilomechanisierung I</u> 2, 3, 4, (5,7), 9, 10, 11, 14, 17, 19, 21, 22, 24	96,00	18 436	114,50	54 750	150,00	92 035
<u>Hochsilomechanisierung II</u> 2, 3, 6, (8), 9, 10, 12, 16, 17, 18, 21, 24	56,60	21 047	68,20	62 073	82,50	103 512
<u>Hochsilomechanisierung III</u> 3, 6, (8), 9, 13, 21, 24	24,30	5 277	28,24	15 000	42,20	25 634
<u>Flachsilomechanisierung I</u> 2, 3, 10, 11, 14, 17, 19, 21, 23, 24	63,50	17 330	87,70	52 116	98,90	86 830
<u>Flachsilomechanisierung II</u> 2, 3, 10, 12, 16, 17, 18, 21, 24	37,10	19 887	52,60	59 187	59,52	98 702
<u>Flachsilomechanisierung III</u> 3, 21, 24	6,58	4 031	7,24	11 414	11,70	19 194

\* Leistungsaufnahme während des Arbeitsvorganges

\*\* Die Mechanisierungsstufen I bis III gelten für Sommertemp.-Zone &gt;26°C

Tabolle 2 :

Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch verschiedener Verfahren der Schweinemast

Bestandsgröße (Mastplätze)		300		600		1000	
		kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr
1)	Stalllüftung: Temp.Zone < 26°C	1,04	6149	2,08	12299	3,47	20518
2)	" " > 26°C	1,55	9165	3,12	18448	5,20	30747
3)	Beleuchtung	1,00	356	2,16	788	3,60	1314
Kraftfutteraufbereitung							
4)	Hammermühle	15,00	2482	15,00	4965	15,00	8280
5)	"	11,00	2250	11,00	4500	11,00	7510
6)	"	5,50	1880	5,50	3760	5,50	6280
7)	Futtermischer	4,00 (2,2)	65	4,00 (2,2)	131	4,00 (2,2)	218
Speichereinrichtung							
8)	Körnergebälde	5,50	158				
	"			7,50	287		
	"					15,00	479
9)	Rohrkette (60 m)	2,20 (2,0)	48	2,20	96	4,00	159
	Becherwerk (15 m)	2,20	16	2,20	32	2,20	52
10)	mit Schneckenrinne	2,20	16	2,20	32	2,20	52
Entmistung							
11)	Schubstange	3,00	262				
12)	Flüssigmispumpe	10,00	95	10,00	210	15,00	465
13)	Flüssigmispumpe mit Belüftungskreisel	3,00 2,20	1077	3,00 2,20	2127	10,80 2,20	3744
Fütterung							
14)	mech. Trockenfütterung	1,14 (0.5)	137	1,88 (1,0)	365	1,88 (1,0)	593
15)	Fütterungswagen (Ladegerät)	0,60	46				
16)	Flüssigfütterung, Bottich mit Rührwerk	6,00	754	14,00	1758	14,00	3551
17)	Warmwasserspeicher	2,00	784	2,00	838	4,00	906
Stallheizung (Vormaststall)							
18)	Temp.-Zone - 10° C	2,26	361	4,50	1263	7,50	2117
19)	" " - 16° C	2,90	1555	5,80	3110	9,70	5184
Mechanisierungsstufe I.							
Klima I: >26°C/-10°C (mild)							
2, 3, 4, 7, 8, 12, 16, 17, 18		47,31	14220	62,28	28688	83,30	48077
Klima II: <26°C/-16°C (rauh)							
1, 3, 4, 7, 8, 12, 16, 17, 19,		47,44	12398	62,54	24386	83,77	40915
Mechanisierungsstufe II							
Klima I: mild							
2, 3, 6, 7, 9, 13, 14, (15), 17		22,05	13430	26,1	26553	40,4	43961
Klima II: rauh							
1, 3, 6, 7, 9, 13, 14, 17,		21,54	10414	25,1	20404	38,65	33732
Mechanisierungsstufe III							
Klima I: mild							
2, 3, (11), 14 (15), 17,		8,15	10613	9,66	20439	14,68	33560
Klima II: rauh							
1, 3, (11), 14 (15), 17.		7,74	7597	8,12	14290	12,95	23331

Tabelle 3.2: Installierte Leistung und Energieverbrauch in der Zuchtsauenhaltung

Bestandsgröße	60 Zuchtsauen (28 GV)				100 Zuchtsauen (46 GV)			
	Absatzgewicht 6 Wochen		Frühabsetzen		Absatzgewicht 6 Wochen		Frühabsetzen	
	kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr
1. Stalllüftung: < 26° C	0,58	3 433	0,58	3 433	0,95	5 617	0,95	5 617
2. " : > 26° C	0,85	5 026	0,85	5 026	1,40	8 278	1,40	8 278
3. Beleuchtung	1,54	2 248	1,54	2 248	2,53	3 693	2,53	3 693
4. Infrarotlampen, Abferkelbox	3,75	24 000	3,75	12 000	8,25	40 000	8,25	20 000
5. Bodenheizung, Abferkelbox	4,60	10 200	4,60	6 730	7,35	17 000	7,35	11 220
6. Bodenheizung, Absatzferkel	3,60	6 480			6,12	10 800		
Stallheizung: Temp.-Zone								
7. (Frühabsetzen) - 10° C			8,10	2 467			13,50	4 113
8. " - 16° C			9,72	5 832			16,20	9 720
Entmistung								
9. Faltschieber	0,55	122	0,55	122	1,10	206	1,10	206
Schubstange					1,50	183	1,50	183
10. Güllepumpe	3,00	11	3,00	11	3,00	18	3,00	18
Kraftfutteraufbereitung								
11. Homermühle	5,50	418	5,50	418	7,50	765	7,50	765
12. Mischer	2,20	86	2,20	86	4,00 (2,20)*	40	4,00 (2,20)*	40
13. Rohrkette	2,20	12	2,20	12	2,20	20	2,20	20
14. Warmwasserspeicher	2,00	1 022	2,00	1 022	4,00	2 116	4,00	2 116
<u>Mechanisierungsstufe I</u>								
Klima rauh: < 26°C/-16°C	24,90	37 832	31,04	25 184	41,15	63 458	51,23	42 378
1,3,4, (6),9-14, (8)								
Klima mild: > 26°C/-10°C	25,19	39 425	29,69	23 412	41,60	66 119	48,98	39 432
2,3,4, (6),9-14, (7)								
<u>Mechanisierungsstufe II</u>								
Klima: rauh	25,75	24 032	31,89	19 914	40,25	40 458	50,33	33 598
1,3,5,(6), 9-14 (8)								
Klima: mild	26,00	25 625	30,54	18 142	40,70	43 119	48,08	30 652
2,3,5,(6), 9-14 (7)								
<u>Mechanisierungsstufe III</u>								
Klima: rauh	12,27	17 036	12,27	13 566	20,43	28 833	20,43	23 053
1,3,5,9,10,14								
Klima: mild	12,54	18 629	12,54	15 159	20,88	31,494	20,88	25 714
2,3,5,9,10,14								

\* Leistungsaufnahme während des Arbeitsvorganges.