AEL

BERICHT 1/1975

Analyse des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfs wichtiger Bereiche der Milchviehhaltung

Arbeitsgemeinschaft
für Elektrizitätsanwendung
in der Landwirtschaft e.V.

Bericht 1/1975

B e r i c h t

über das Forschungsvorhaben
des Institutes und der Bayerischen Landesanstalt
für Landtechnik der Technischen Universität München
Freising-Weihenstephan

Professor Dr. H.-L. Wenner

Analyse des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfs wichtiger Bereiche der Milchviehhaltung

von Dr. agr. Musa Ayik
unter Mitarbeit von Dr. Josef Boxberger

Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der
Landwirtschaft e. V.

Geschäftsführung:
4300 Essen 1, Beethovenstraße 32, Fernruf (0201) 185 - 2347

V O R W O R T

Die landwirtschaftlichen Betriebe haben in den letzten Jahren in starkem Maße die Innenwirtschaft technisiert. Dies hat zu einem wesentlich höheren elektrischen Leistungsbedarf geführt. Daher war es notwendig, neue Daten über den elektrischen Leistungsbedarf in Verbindung mit modernen Produktionstechniken zu ermitteln. Im Rahmen eines Forschungsauftrages der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW), unter Mitwirkung der Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft (AEL) und mit Unterstützung des Sonderforschungsbereiches 141 war es dem Institut und der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik der Technischen Universität München, Freising-Weihenstephan, möglich, entsprechende Untersuchungen durchzuführen.

Die Untersuchungen führten zu zwei Dissertationen. Der vorliegende Bericht (AEL-Bericht 1/1975) befaßt sich mit der Analyse des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfes wichtiger Bereiche der Milchviehhaltung. Der AEL-Bericht 2/1975 enthält die entsprechenden Untersuchungen aus Bereichen der Rinder- und Schweinehaltung. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, elektrizitätswirtschaftliche Kenndaten und Möglichkeiten der Verbesserung der Benutzungsdauer zu ermitteln.

Daneben wurden in 158 weitgehend spezialisierten landwirtschaftlichen Betrieben ganzjährige Verbrauchs- und Leistungsmessungen durchgeführt, deren Ergebnisse in diesen Untersuchungen Berücksichtigung fanden.

(Prof. Dr. H.-L. Wenner)

Inhaltsverzeichnis

		Seite
	Die verwendeten Begriffe und Bezeichnungen	4
1.	Einleitung	6
1.1	Einführung in den Problemkreis	6
1.2	Ziel und Abgrenzung der Arbeit	9
1.3	Stand der Forschung	10
2.	Methodik und Arbeitsdurchführung	12
3.	Die einzelnen Energieverbraucher der Milchviehhaltung	15
3.1	Milchgewinnung	16
3.1.1	Melkmaschine	16
3.1.2	Milchpumpe	23
3.1.3	Kraftfutterzuteiler im Melkstand	25
3.1.4	Elektrische Heißwasserbereiter	26
3.1.5	Spülautomat	32
3.1.6	Milchkühlung	41
3.2	Futterkette	50
3.2.1	Futtereinlagerung (Hochsilos)	51
3.2.1.1	Fördergebläse und Gebläsehäcksler	51
3.2.1.2	Höhenförderer	54
3.2.1.3	Dosiereinrichtungen	55
3.2.1.4	Greifer und Laufkrananlagen	57
3.2.1.5	Vergleichende Zusammenstellung der Geräte zur Futtereinlagerung	58
3.2.2	Futterentnahme- und Fütterungseinrichtungen	62
3.2.2.1	Siloentnahmefräsen	62
3.2.2.2	Mechanische Futtervorlage	64
3.2.3	Kraftfutteraufbereitung	68
3.2.4	Mechanisierung der Belüftungstrocknung von Heu	73
3.3	Mistkette	76
3.3.1	Mechanische Entmistungsanlagen	77

3.3.2 Flüssigmistförderung und -behandlung 79

3.4 Stallklimatisierung 83

3.4.1 Stallüftung 84
3.4.2 Melkstandheizung und -lüftung 97
3.4.3 Beleuchtung 99

4. Betriebsmodelle mit ihren elektrizitätswirtschaftlichen Kenndaten 106

4.1 Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch 110

4.1.1 Milchviehhaltung mit Nachzucht 110
4.1.2 Milchviehhaltung ohne Nachzucht 118

4.2 Die Jahreshöchstlast und ihre Benutzungsdauer 121

4.2.1 Milchviehhaltung mit Nachzucht 124
4.2.2 Milchviehhaltung ohne Nachzucht 136

5. Möglichkeiten zur Verbesserung der Benutzungsdauer in der Milchviehhaltung und energiewirtschaftliche Folgen 137

5.1 Optimale Zuordnung der Verbraucher 139

5.2 Zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsverfahren 141

5.2.1 Verlagerung in Schwachlastzeiten 141
5.2.2 Verriegelung mit und ohne Vorrangschaltung 142
5.2.3 Lastabwurf 146

6. Praktische Betriebsmessungen und Vergleiche mit den Betriebsmodellen 147

7. Zusammenfassung 151

8. Literaturverzeichnis 155

9. Anhang 169

Die verwendeten Begriffe und Bezeichnungen

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.
Jahreshöchstlast (Pmax)	kW	Die höchste in einem Jahr tatsächlich auftretende Belastung.
Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast (Tm)	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 (vi) (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 Elektrizitätsanwendung 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
l/min	Umdrehungszahl pro Minute oder Drehfrequenz pro Minute.
AK	Arbeitskraft
MZ	Melkzeug

1. Einleitung

1.1 Einführung in den Problemkreis

Die Entwicklung der westdeutschen Landwirtschaft in den vergangenen Jahrzehnten ist gekennzeichnet durch einen fortschreitenden Wandel der Betriebsgrößenstruktur und durch die Abnahme der in der Landwirtschaft Beschäftigten. Parallel zur Flächenaufstockung in der Außenwirtschaft geht die Entwicklung in der Innenwirtschaft auf immer größere Tierbestände. So hatten z. B. im Jahre 1965 ca. 34 % der gesamten Milchviehbetriebe mehr als 10 Kühe (Tab. 1), 1969 waren es 45 % und 1971 51 % (132), wobei der Mittlere Milchviehbestand (1971, 7,7 Kühe pro Halter) noch nicht die technisch-wirtschaftliche optimale Höhe erreicht hat.

Tabelle 1: Entwicklung der Zahl der Milchviehbetriebe und des Milchviehbestandes nach Haltungsgrößenklassen (Quelle: Statistisches Jahrbuch ü. ELuF, 132)

		Jahre							
		1965		1967		1969		1971	
		1000 St	%	1000 St	%	1000 St	%	1000St	%
Zahl der Kühe in Bestandsgrößenklassen	1-10	3873	66	3644	62	3199	55	2686	49
	11-20	1436	25	1605	27	1831	32	1775	32
	20 <	543	9	616	11	774	14	1013	19
	gesamt	5852	100	5865	100	5804	100	5474	100
Milchviehbetriebe		1000 =	100	929	92	818	83	711	71
Ø Kühe je Betrieb		4,8		6,3		7,0		7,7	

Parallel zur dieser Entwicklung verzeichnete die Landwirtschaft einen starken Produktivitätsfortschritt, d. h. : die Zahl der Vollarbeitskräfte hat sich im Wirtschaftsjahr 1971/72 mit 1,3 Mio um 1/3 der Zahl vom Jahr 1950/51 (3,9 Mio) verringert, während gleichzeitig die Nahrungsmittelproduktion im selben Zeitraum um das 1,7 fache gestiegen ist (Tab. 2). Bezieht man die Produktivitätssteigerung auf die Nahrungsmittelproduktion, so ergibt sich ein noch stärkerer Anstieg (Erhöhung um das 4,9 fache; von 8,8 auf 43,1 t GE pro Vollarbeitskraft). Anhand der bisherigen Tendenzen läßt sich ablesen, daß sich dieser Strukturwandel auch in den kommenden Jahren weiter fortsetzen wird (82).

Ein wesentlicher Faktor, der zu dieser Produktivitätssteigerung in der letzten Zeit beitrug und in Zukunft weiterhin im Vordergrund stehen wird, ist der verstärkte Einsatz elektrischer Energie in der Landwirtschaft. Der Stromverbrauch der Landwirtschaft stieg daher stark an (Tab. 2 und Abb. 1), nämlich von 743 Mio kWh im Jahre 1950 auf 1956 Mio kWh 1960 und weiter auf 4295 Mio kWh 1970, also etwa um das 6 fache (Werte einschließlich Haushalt). Denn 75-80 % der landwirtschaftlichen Verkauferlöse stammen aus der tierischen Veredelung (132), die auch den größten Teil des Arbeitsaufwands beansprucht, für deren Technisierung aber vor allem die elektrische Energie in Betracht kommt.

Infolge des Rückgangs der Arbeitskräftezahl erhöhte sich im gleichen Zeitraum der durchschnittliche Elektroenergieverbrauch pro Arbeitskraft (AK) um mehr als das 15-fache von 191 kWh pro AK und Jahr auf 2837 kWh pro AK und Jahr (Tab. 2), sowie im Jahr 1972 mit 3680 kWh/AK um das 19-fache.

Die zunehmende Technisierung landwirtschaftlicher Betriebe wirft jedoch die Frage eines optimalen Einsatzes der elektrischen Energie auf. Es ist daher notwendig festzustellen, wie sich unter den jeweils geänderten Umständen der Bedarf an elektrischer Leistung und elektrischem Energieverbrauch verändert und welcher Belastungsverlauf sich daraus ergibt, da die Elektrizitätsversorgungsunter-

Tabelle 2: Entwicklung der Zahl der Vollarbeitskräfte und der gesamten Betriebe , der Nahrungsmittelproduktion, der Arbeitsproduktivität und des Elektroenergieverbrauches in der westdeutschen Landwirtschaft (Quelle: Statistisches Jahrbuch ü. ELuF, 132)

	Jahre											
	1950		1960		1967		1969		1970		1972	
		%		%		%		%		%		%
Vollarbeitskräfte (1000 St)	3885	100	2561	66	1798	46	1624	42	1514	39	1330	34
Nahrungsmittelproduktion (Mio t GE)	34,0	100	49,4	145	55,4	163	57,3	168	58,6	172	58,9	173
Anteil der tierisch.Prod.(%)	73		74		80		81		81		80	
Arbeitsproduktivität (t GE/AK)	8,7	100	19,3	222	30,8	354	35,2	404	38,7	445	44,3	509
E. Energieverbrauch (Mio kWh)	743	100	1956	263	3362	452	4000	538	4295	578	4894	659
(kWh/AK)	191	100	764	400	1870	979	2463	1289	2837	1485	3680	1926
(kWh/Betr.)	384	100	1209	315	2400	625	2980	776	3455	900	4293	1118
Zahl der Betriebe (1000 St.)	1936	100	1617	83	1401	72	1342	69	1243	64	1140	59
Ø tarifliche Gesamtlöhne (Stand 1950 = 100 %)		100		190		329		358		407		460

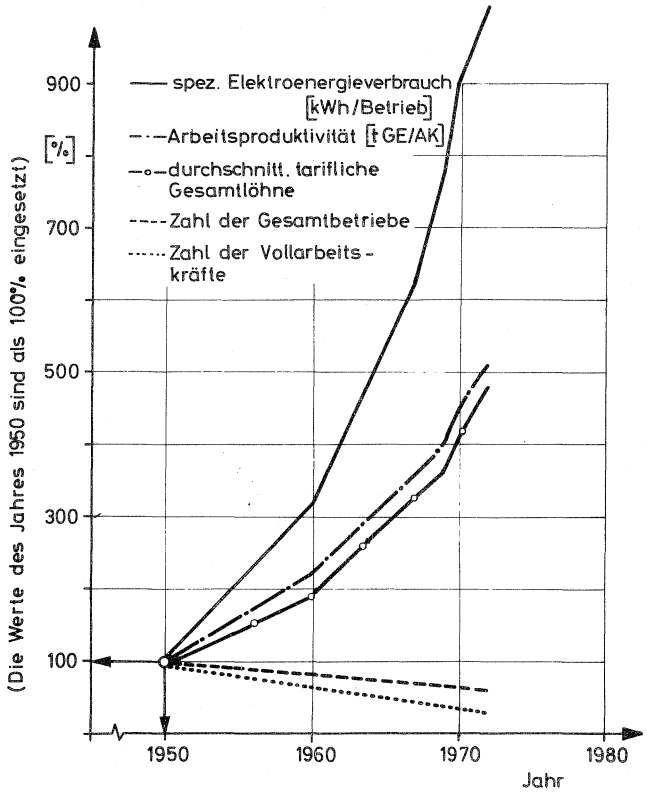


Abb. 1: Entwicklung der Löhne, der Zahl der Vollarbeitskräfte und der Betriebe, der Arbeitsproduktivität und des Elektroenergieverbrauches in der westdeutschen Landwirtschaft

nehmen (EVU) ihre oft langfristigen Planungen danach ausrichten und bei der Bereitstellung der Elektroenergie für ländliche Netze wirtschaftliche Gesichtspunkte berücksichtigen müssen. Da die moderne landwirtschaftliche Produktion an eine hohe Versorgungssicherheit mit Elektroenergie gebunden ist, müssen die EVU die elektrische Energie ohne Unterbrechung und mit entsprechenden Leistungen bereitstellen, was selbstverständlich bei unrentabler Ausnutzung der Netze - z. B. bei ungleichmäßigem Belastungsverlauf - zusätzliche Kosten mit sich bringt. Daher nimmt zwangsläufig das Verständnis für eine gesonderte Behandlung der Landwirtschaft in stromtariflicher Hinsicht ab.

Für die Projektierung oder Erweiterung der ländlichen Netze müssen deshalb zuverlässige Richtwerte und Kennziffern hinsichtlich des Einsatzes der Elektroenergie vorhanden sein. Dann erst können mittels dieser Werte exakte Angaben über die zu erwartenden Anschlußbedingungen der landwirtschaftlichen Betriebe ermittelt werden, wobei bei der Erarbeitung dieser Kennwerte als Bezugsgrößen die Produktionseinheiten (oder die Produktion selbst) im Vordergrund stehen sollen. Auch für den landwirtschaftlichen Betrieb ist der Elektrizitätseinsatz ein wichtiger Kostenfaktor. Daher werden diese Ergebnisse in Zukunft steigende Beachtung finden.

1.2 Ziel und Abgrenzung der Arbeit

Die in der Landwirtschaft benötigte Energie wird zu etwa 40 % durch feste Brennstoffe, zu 50 % durch flüssige Energieträger und zu 10 % durch Elektroenergie gedeckt. Die Elektroenergie ist der wichtigste Energieträger, besonders für die Innenwirtschaft. Etwa 85 % des elektrischen Anschlußwertes und Stromverbrauches entfallen auf diesen Bereich (80). Besondere Bedeutung besitzt bei der Energieversorgung die Milchviehhaltung. Eine wirtschaftliche Elektroenergieversorgung der Milchviehbetriebe muß gegenüber den anderen Tierhaltungen am kritischsten beurteilt werden. Typische biologisch bedingte Produktionsabläufe verursachen im täglichen (z. B. Melkzeiten) bzw. im jahreszeitlichen Ablauf

(z. B. Futtererntezeiten) ungleichmäßige Belastungen des Netzes. Dies fällt besonders ins Gewicht, da die Technisierung der Milchviehbetriebe zu einer starken Erhöhung der Leistungsansprüche führt.

Durch die zunehmende Spezialisierung landwirtschaftlicher Betriebe ist für die energiewirtschaftliche Beurteilung innerhalb des Gesamt-Betriebes dieser Produktionsbereich von Interesse. Ziel dieser Arbeit ist daher zunächst eine Analyse der Produktionsverfahren der Milchviehhaltung hinsichtlich des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfes in Abhängigkeit von der Mechanisierung. Die so geschaffenen Daten sollen als neue Kalkulationsunterlagen für Beratung und weiterführende wissenschaftliche Arbeiten dienen. Darüberhinaus werden energiewirtschaftliche Kennwerte erarbeitet und die Möglichkeiten zu sinnvollem und wirtschaftlichem Einsatz der elektrischen Energie diskutiert. Neben Richtlinien über optimale Zuordnung der Geräte und Maschinen zum jeweiligen Arbeitsverfahren sind eine zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsvorgänge und Anschlußwertbegrenzungen vorzuschlagen.

1.3 Stand der Forschung

Die meisten der bisherigen Arbeiten über den Elektrizitätseinsatz in der Landwirtschaft gehen zunächst von dem Verbrauch an Energie und den Belastungsverhältnissen ganzer Betriebe aus, also ohne detaillierte Darstellung der einzelnen Produktionsbereiche. In einer Arbeit untersucht KRÜGER (48) aufgrund von Erhebungen und Messungen in Schleswig-Holstein den Elektroenergieverbrauch, den Belastungsverlauf und die Benutzungsdauer von Gesamtbetrieben in Abhängigkeit von verschiedenen Technisierungsstufen. Für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit notwendige Detaillierung ließ sich das gewonnene Material jedoch nicht aufschlüsseln. Von in Elektrobeispielsbetrieben gewonnenen Ergebnissen in Österreich berichtet HOCHKÖNIG (33). Er führt einen Kostenvergleich verschiedener Energieträger für mehrere Anwendungsgebiete innerhalb des Betriebes anhand theoretischer Über-

legungen an einem Betriebsmodell durch. Die dabei angenommenen Bedarfszahlen gelten jedoch nur für spezielle Bedingungen. Ebenfalls auf Untersuchungen in Elektrobeispielsbetrieben baut PAPPRITZ (60) auf. Er führt im Rahmen eines Modellbetriebes für 28 Maschinen und Geräte Wirtschaftlichkeitsberechnungen durch. Der Einfluß unterschiedlicher Einsatzbedingungen ist in ihnen nicht erfaßt, so daß sie für andere Fälle nicht ohne weiteres benutzt werden können.

Um die Strombedarfsstruktur der landwirtschaftlichen Betriebe zu ermitteln, haben RUDE (82) in Südwestdeutschland, KIONKA und LAYER (40) im Raum Niederrhein in nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewählten Betrieben Messungen durchgeführt. Die dabei gewonnenen Daten sind aber nur in Verbindung mit den jeweiligen speziellen, örtlichen und betrieblichen Verhältnissen aussagekräftig und erlauben keine Feststellung des Leistungs- und Energiebedarfes einzelner Elektroenergieverbraucher.

PETIT und Mitarbeiter (67, 68) haben in Belgien neben der Mastschweine-, der Mastkälber- und der Hühnerhaltung auch die Milchviehhaltung hinsichtlich des Elektrizitätseinsatzes untersucht. In 5 Milchviehbetrieben mit Bestandsgrößen 45, 60 und 80 Kühen wurden separate Messungen an bestehenden Energieverbrauchern durchgeführt, wobei wiederum einzelne Einflußgrößen nicht dargestellt sind, so daß Meßergebnisse nur für die analysierten Fälle interpretiert werden können.

ROHRER (79) stellte Entwicklungsmöglichkeiten des Energiebedarfes in Grünlandgebieten mit spezieller Berücksichtigung der Rauhfutter-Einlagerung und -Konservierung dar. Außerdem wurden mögliche technische Lösungen und ihr Einfluß auf den Energiebedarf der Grünlandgebiete diskutiert.

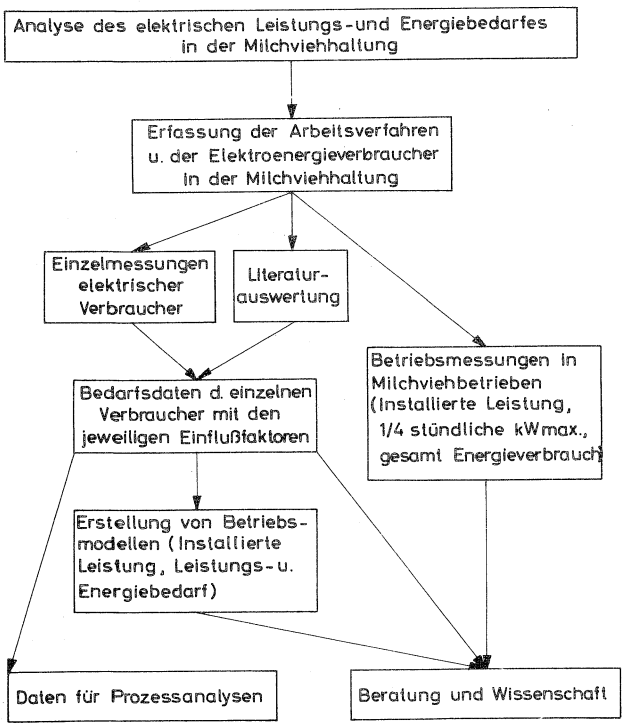
Bei der Energiebedarfskalkulation geht man von den Bedarfswerten mit allen Einflußfaktoren für die einzelnen Maschinen und Geräte aus. Solche Kalkulationen erlauben es, systematisch den Ein-

fluß beliebiger Einzelfaktoren auf den Gesamtbedarf festzustellen. Aus diesen Überlegungen lieferte HONIG (34) in seiner Arbeit Bedarfswerte, die für den gesamten Bereich der Innenwirtschaft zusammengestellt wurden, die jedoch die neueren technischen Entwicklungen seit 1965 nicht berücksichtigen.

Die Literaturauswertung hat ergeben, daß in einigen Sachgebieten der Milchviehhaltung, wie z. B. Melkstandheizung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung und Heubelüftung, bereits auf genaue Bedarfswerte zurückgegriffen werden kann. Alle Daten der weiteren Teilbereiche sind unzureichend und weisen große Lükken auf. Um das Ziel dieser Arbeit zu erreichen, mußten daher neuerliche Messungen vorgenommen werden.

2. Methodik und Arbeitsdurchführung

Die für diese Arbeit notwendigen Untersuchungen basieren auf der in Übersicht 1 aufgezeigten analytischen Methodik, wobei die Elektroenergieverbraucher einzeln erfaßt und ihr Energieverbrauch und Leistungsbedarf mit den in der Praxis vorkommenden Einflußfaktoren ermittelt werden.



Übersicht 1

Bei der Durchführung der Einzeluntersuchungen ist zunächst eine zielgerechte Auswahl der Arbeitsverfahren und der entsprechenden und in der Praxis vorwiegend eingesetzten Elektroenergieverbraucher notwendig. Wie bereits erwähnt ließen sich in manchen Teilbereichen genaue Werte aus der Literatur verwenden. Für die zusätzlich erforderlichen elektrischen Wirkleistungsmessungen nach der DIN 43807 (144) wurde der Leistungsmesser direkt an die Zuleitung des Verbrauchers angeschlossen (136).

Als Wirkleistungsmesser diente für die Messung des Produkts $P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi$ (in kW) ein statischer Meßumformer, der über einen Stromwandler in den Meßbereichen 3 kW, 9 kW und 30 kW arbeiten kann. Im Meßumformer werden die Eingangsgrößen Strom (I_E) und Spannung (U_E) über den Wandler dem Multiplizierer zugeführt, wo das Produkt der zusammengehörenden Momentanwerte von Strom und Spannung gebildet wird. Als Ausgangsgröße des Meßumformers geht ein der Wirkleistung proportionaler Strom an die Ausgangbuchse zum Schreiber. Somit konnte der Leistungsaufnahmeverlauf des Verbrauchers über die Zeit registriert und gleichzeitig die jeweils entscheidenden Einflußgrößen auf die Leistungsaufnahme miterfaßt werden.

Da es bei der Ermittlung des Leistungsbedarfes in erster Linie auf Fragen der Belastung des Netzes ankommt, wird der elektrische Leistungsbedarf in dieser Arbeit immer als die Leistungsaufnahme des Verbrauchers aus dem Versorgungsnetz angegeben, wobei der Wert auch die Motorverluste und den Leistungsfaktor ($\cos\varphi$) enthält. Bei der Zusammenstellung der Betriebsmodelle wird jedoch die installierte Leistung nach Normmotoren festgelegt (146, 148, 149),welche im Vergleich zum Leistungsbedarf im allgemeinen um den Wirkungsgrad des Motors niedriger liegt. Bei einigen Fällen ist der Leistungsbedarf der installierten Leistung gleichgesetzt, so daß die so ausgewählten Motoren unterbelastet werden. Wie Abb. 2 zeigt, bringt aber ein Absinken der Belastung bis auf 60 % keine Verschlechterung des Wirkungsgrades mit sich (16). Das bedeutet, daß die E-Motoren mit einer

Belastung von 60-90 % bei optimalem Wirkungsgrad laufen.

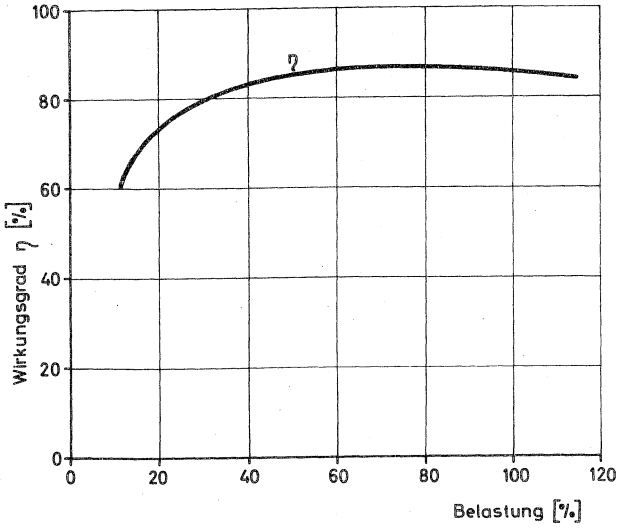


Abb. 2: Wirkungsgrad (η) eines Drehstrommotors bei verschiedener Belastung (nach DENCKER, 16)

Die Bedarfswerte aus Literatur und eigenen Messungen bilden die Grundlage für die Prozeßanalyse. Weiterhin ermöglichen sie die Zusammenstellung von Betriebsmodellen. An den Modellen kann in beliebiger Variation der Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch bei unterschiedlichen Bestandsgrößen und Technisierungsstufen ermittelt und für die Beratung und Wissenschaft eine dynamische Orientierungsbasis geschaffen werden.

Der besondere Vorteil dieser analytischen Methode ist darin zu sehen, daß diese Einzeldaten zu einem späteren Zeitpunkt auch die Berücksichtigung neuartiger Entwicklungsstufen erlauben.

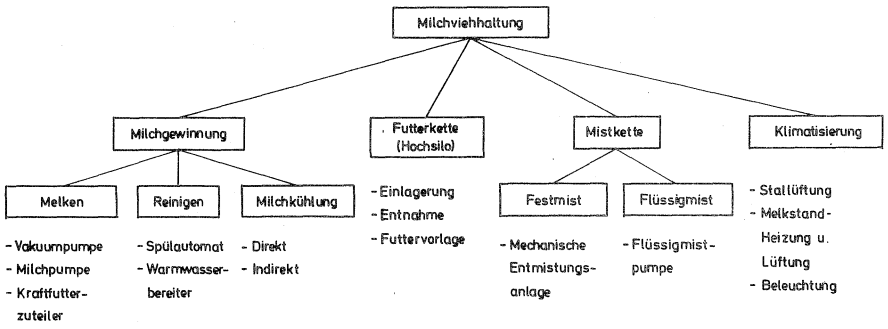
Um den auf analytischem Wege hergestellten Soll-Stand der Modellbetriebe kontrollieren zu können, wurden in dem Zeitraum von 1973 bis 1975 durch die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) unter Mitwirkung der Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft (AEL) Ist-Analysen durchgeführt. Die Anzahl der im Bundesgebiet erfaßten Betriebe betrug 158, wovon etwa 30 % reine Milchviehbetriebe mit unterschiedlichen Technisierungsstufen waren.

Zur Vervollständigung der vorliegenden Arbeit wurden die Untersuchungsergebnisse aus den Gebieten "Futterkette" und "Mistkette", welche durch VON HEYL in einer parallel laufenden Untersuchung erarbeitet wurden, übernommen.

3. Die Elektroenergieverbraucher der Milchviehhaltung

Zunächst müssen die Bedarfswerte der einzelnen in der Milchviehhaltung auftretenden Verbraucher ermittelt werden, da diese Werte die Grundlage für die Modellbetriebe der Milchviehhaltung im Kapitel 4 bilden.

Die elektrischen Energieverbraucher der Milchviehhaltung lassen sich nach sachlicher Zugehörigkeit gruppenweise verschiedenen Arbeitsverfahren zuordnen, und zwar der Milchgewinnung, der Futterkette, der Mistkette und der Stallklimatisierung (Übersicht 2).



Übersicht 2

Die innerhalb dieser Produktionsbereiche üblicherweise verwendeten Einzelgeräte werden nach einer kurzen Beschreibung des elek-

trischen Leistungs- und Energiebedarfes in Abhängigkeit von den wesentlichen Einflußfaktoren im folgenden erläutert.

3.1 Milchgewinnung

Die zweckmäßige Mechanisierung der Melkarbeit ist besonders wichtig, da 40 - 60 % der gesamten Stallarbeiten auf das Melken entfallen. Außerdem kann die Milchleistung, insbesondere der Fettgehalt und die Milchqualität, wesentlich durch den richtigen Einsatz von Melkmaschine, Spülautomat und Milchkühlung beeinflußt werden (111).

Zum Bereich der Milchgewinnung gehören folgende Elektroenergieverbraucher: Die Melkmaschine mit Vakuumpumpe, die Milchpumpe, der Kraftfutterzuteiler, die Milchkühlung, der Spülautomat und der Warmwasserbereiter.

3.1.1 Melkmaschine

Melkanlagen bestehen aus folgenden Baugruppen:

1. den Systemen zur Erzeugung des Vakuums
2. den Systemen zur Erzeugung der Druckdifferenz
3. den Transportsystemen für Luft, Milch, Reinigungs- und Desinfektionsmittel.

Beim maschinellen Milchentzug wird das Saugen des Kalbes nachgeahmt. Dazu dient ein Zweiraum-Melkbecher, wobei die innere Wand aus Gummi besteht. Im inneren Raum der Zitzenbecher herrscht ein ständiger Unterdruck von etwa 0,5 bar, im äußeren dagegen wechseln Normaldruck und Unterdruck ab, so daß die Zitzen periodisch zusammengedrückt und entlastet werden. Diese Pulstakte werden durch pneumatisch oder elektromagnetisch angetriebene Pulsatoren erzeugt. Die Melkmaschine wird im Vergleich mit anderen landwirtschaftlichen Ausrüstungen regelmäßig und häufig eingesetzt, wobei hinsichtlich des Elektrizitätseinsatzes lediglich die Vakuumpumpe zur Erzeugung des notwendigen Melkvakuums

bedeutungsvoll ist.

Zum einwandfreien Betrieb einer Melkanlage ist eine ausreichende Kapazität der Vakuumpumpe in Verbindung mit entsprechend dimensionierten Rohrleitungen und milchführenden Teilen erforderlich. Neben den hygienischen Anforderungen kommt es deshalb beim maschinellen Melken besonders auf die Bereitstellung eines ausreichend stabilen Vakuums an,gemäß DIN 28400 Bl. 1 (141) mit 0,5 bar (Grobvakuumbereich). Diese stabile Vakuumhöhe ist von der Förderleistung der Pumpe, der Leitungslänge, dem Leitungsquerschnitt, der Leitungsführung, dem Luftverbrauch des Pulsators und dem Aufbau des Sammelstücks abhängig (138). Stärkere azyklische Vakuumschwankungen führen zur Verlängerung der Milchentzugszeit und zum Auftreten von Euterkrankheiten, wodurch Arbeitsproduktivität und Milchqualität vermindert werden (73).

Zur Erzeugung des Vakuums werden meistens Verdrängervakuumpumpen sogenannte mechanisch arbeitende Vakuumpumpen verwendet, die mit Hilfe rotierender Verdränger (z. B. Drehschieber-, Sperrschieber- und Vielzellenrotationspumpen) oder oszillierender Verdränger (Hubkolben- und Membranpumpen) durch periodische Vergrößerung und Verkleinerung eines Arbeitsraumes die zu fördernde Luft ansaugen, verdichten und ausstoßen (52).

Der elektrische Leistungsbedarf der Vakuumpumpe richtet sich nach dem zum Melkvorgang benötigten Luftdurchsatz, der Vakuumhöhe, der Dichte der Luft sowie nach dem Wirkungsgrad der Pumpe, des Motors und des Übertragungsmechanismus.

Nach DLG-Prüfberichten (155), welche in der Praxis durch neuerliche Messungen überprüft wurden, läßt sich der Leistungsbedarf der Vakuumpumpe in Abhängigkeit von dem geförderten Luftdurchsatz mit folgender Regressionsformel darstellen:

(1) $N = 0{,}2 + 0{,}003 \cdot V$

Es sind N = elektrischer Leistungsbedarf (kW)

V = Luftdurchsatz der Vakuumpumpe (l/min)

Diese Beziehung gilt bei einer Raumtemperatur von 20° C für ein Vakuum von 0,5 bar.

Es zeigt sich, daß zwischen dem elektrischen Leistungsbedarf und dem Luftdurchsatz der Vakuumpumpe eine höchstsignifikante positive Linearkorrelation besteht ($r = 0{,}84^{***}$, $n = 16$).

In der Darstellung (Abb. 3) ist dieser Zusammenhang auf der rechten Seite wiedergegeben.

Der zu einem sicheren Melkvorgang benötigte Luftdurchsatz ist nach der Anzahl der Melkzeuge einschließlich der durch weitere luftführende Teile hervorgerufenen Vakuumverluste auszurichten. Er wird in der DIN 11845 (142) als Basiswert bezeichnet. Außerdem wird zusätzlich ein Luftdurchsatz von 90 l/min zum Sichern des Melkvorganges als Reserve und für jede vorhandene Milchschleuse ein Luftdurchsatz von 75 l/min vorgesehen. Folglich ergibt sich nach der DIN 11845 (142) ein linearer Zusammenhang zwischen dem Luftdurchsatz und der Melkzeugzahl nach der Formel

(2) $$V = 90 + 60 \cdot MZ$$

Es bedeuten: V : Luftdurchsatz (l/min)
MZ : Melkzeugzahl (Stück)

Dieser Zusammenhang ist in Abb. 3 auf der linken Seite für Rohrmelkanlagen mit Milchschleuse (unterbrochene Linie) und ohne Milchschleuse (geschlossene Linie) dargestellt.

Damit läßt sich der elektrische Leistungsbedarf der Vakuumpumpe für beliebige Fälle ermitteln, indem man im ersten Schritt die gewünschte Melkzeugzahl in die Formel (2) einsetzt und nach dem erforderlichen Luftdurchsatz auflöst. Wird der Luftdurchsatz in die Formel (1) eingesetzt, so kann der elektrische Leistungsbedarf in kW in Abhängigkeit von der MZ bei einer Vakuumhöhe von 0,5 bar errechnet werden. Bei einem Luftdurchsatz von z. B. 530 l/min für 6 Melkzeuge mit einer Milchschleuse ergibt sich ein

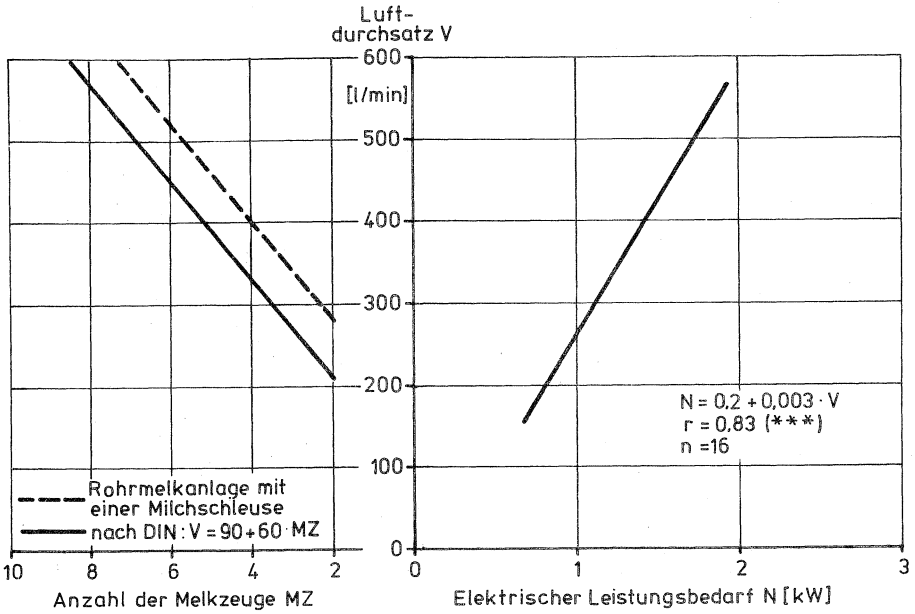


Abb. 3: Leistungsbedarf und Luftdurchsatz von Vakuumpumpen (20° C Raumtemperatur, 0,5 bar Gegendruck)

elektrischer Leistungsbedarf von 1,8 kW. Es zeigt sich, daß der Leistungsbedarf der Vakuumpumpe mit der Anzahl der Melkzeuge linear ansteigt. Da die gemessenen Melkanlagen bis zu 8 Melkzeuge haben, ist in Abb. 3 ein entsprechender Bereich dargestellt. Hier muß darauf hingewiesen werden, daß die in der DIN 11845 (142) geforderten Luftdurchsätze in vielen landwirtschaftlichen Betrieben wegen ungenügender Dimensionierung und schlechter Wartung der Vakuumpumpe nicht erreicht werden (73). Dies ist häufig die Ursache von Euterkrankheiten.

Während der Melkzeit ändert sich die Leistungsaufnahme der Vakuumpumpe nicht wesentlich, weil durch den Unterdruckregler die geförderte Gesamtluftmenge nahezu konstant gehalten wird. Der elektrische Energieverbrauch der Vakuumpumpe wird daher lediglich durch die Dauer der Melkarbeit bestimmt, die von verschiedenen Faktoren beeinflußt wird. Es bedurfte daher keiner weiteren elektrischen Messungen, da aus dem vorliegenden umfangreichen arbeitswirtschaftlichen Datenmaterial die Dauer des Melkens errechnet werden konnte. Nach arbeitswirtschaftlichen Untersuchungen von SCHÖN (89) ergibt sich, daß die stünd-

liche Arbeitserledigung beim Melken in erster Linie von der Zahl der Melkzeuge abhängt, die von einer AK gleichzeitig bedient werden können (Abb. 4). Die Melkzeugzahl je AK wird wiederum von folgenden Faktoren bestimmt:

1. Der Länge des Maschinenhauptgemelkes,
2. den Routinearbeiten und
3. den Wegen, die vom Melker beim Bedienen und Kontrollieren der Melkzeuge zwischen den Tieren zurückgelegt werden müssen.

Bei konventionellen Melkzeugen können in der Regel von einer AK im Anbindestall nicht mehr als 3 Melkzeuge gleichzeitig bedient und zwischen 18 und 22 Kühen in der Stunde gemolken werden. Bei teilautomatisierten Melkzeugen dürften nicht mehr als 5 Melkzeuge von einer AK zu bedienen sein. Dies würde einer stündlichen Melkleistung von 40 Kühen entsprechen.

Im Fischgrätenmelkstand ist eine AK in der Lage, mehr Melkzeuge als im Anbindestall zu bedienen und zu überwachen. So sind bei guter Arbeitserledigung mit 8 Melkzeugen (2 x 4 Fischgrätenmelkstand) Leistungen bis zu 45 Kühen in der Stunde möglich, bei schlechter Arbeitserledigung dagegen bis zu 22 Kühen. Beim Einsatz teilautomatisierter Melkzeuge im Fischgrätenmelkstand können von einer AK 12 bis 14 Melkzeuge bedient und über 70 Kühe in der Stunde gemolken werden.

In Karussellmelkständen sind Leistungen von 60 Kühen/h mit konventionellen Melkzeugen beim Zwölferkarussell zu erreichen. Beim Einsatz teilautomatisierter Melkzeuge kann 1 AK bis zu 90 Kühe/h melken, allerdings sind dafür große Melkstände mit mehr als 16 Buchten erforderlich.

Die Auswahl der Melkverfahren kann neben der Höhe des Kapitalbedarfes nach der täglich verfügbaren Arbeitszeit für das Melken erfolgen.

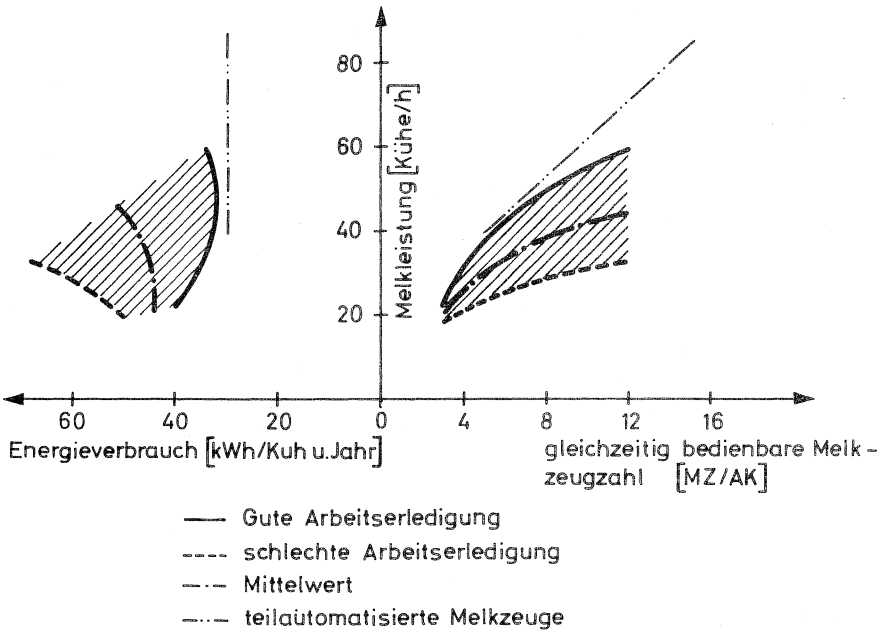


Abb. 4: Elektroenergieverbrauch von Vakuumpumpen in Abhängigkeit der Melkleistung

Die oben genannten Daten wurden in der Tabelle 3 nach der Bestandsgröße zugeordnet und in Abb. 4 dargestellt, wobei eine verfügbare Melkzeit von 2 - 3 Stunden unterstellt wurde.

Für einen besseren Vergleich des Elektroenergieverbrauches der verschiedenen Melkverfahren ist der spezifische Wert, bezogen auf Kuhplatz und Jahr, maßgebend.

Auf der anderen Seite spielt die Arbeitserledigung bei der Melkleistung bzw. beim Elektroenergieverbrauch eine entscheidende Rolle. Eine schlechte Arbeitserledigung mit konventionellen Melkzeugen fällt besonders bei den großen Beständen ins Gewicht. So liegt der spezifische Elektroenergieverbrauch bei einem Bestand von 60 Kühen (8 MZ) bei 66,7 kWh/Kuh u. Jahr, während er bei 20 Kühen (3 MZ) 48,7 kWh/Kuh und Jahr beträgt. Bei guter Arbeitserledigung mit konventionellen Melkzeugen ist der Unterschied zwischen Groß- und Kleinbeständen im Vergleich zur schlechten Arbeitserledigung gering (bei 60 Kühen 30,7 kWh/Kuh und Jahr und bei 20 Kühen 39,8 kWh/Kuh und Jahr). Der Einsatz teilauto-

matisierter Melkzeuge dagegen ergibt einen konstanten Elektroenergieverbrauch von etwa 30 kWh/Kuh und Jahr, da die Melkleistung mit der Anzahl der gleichzeitig bedienbaren Melkzeuge linear ansteigt.

Eine Verminderung des Elektroenergieverbrauches ist zwischen 20 und 50 % möglich, falls bei konventionellen Melkzeugen eine gute Arbeitserledigung vorliegt oder aber mit automatisierten Melkzeugen gearbeitet wird.

Da die Vakuumpumpe während der Spülung der Melkanlage mitlaufen muß, ergeben sich die in Tabelle 3 zusammengestellten Energieverbrauchswerte. Diese Werte entsprechen Melkanlagen mit einer Milchschleuse bei einer 40-minütigen Spülzeit am Tag. Für den Spülvorgang steigt der Elektroenergieverbrauch ebenso wie der Leistungsbedarf der Vakuumpumpe linear mit der Anzahl der Melkzeuge an.

Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht hat die Spülzeit gegenüber der Melkzeit keine Bedeutung, weil die Spülung automatisch abläuft. Hinsichtlich des Elektrizitätseinsatzes trägt sie dazu bei, daß die Jahresbenutzungsdauer der Vakuumpumpe günstiger wird (über 1.000 h/a).

Tabelle 3: Elektrischer Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch der Vakuumpumpe in Abhängigkeit der Melkzeugzahl und der Arbeitszeit

			Anbindestall		Fischgrätenmelkstand			Karussellmelkstand		
Bestandsgröße		Kühe	20	40 - 60	40	60	80	40	60	80 u. mehr
Melkzeugzahl je Arbeitskraft		MZ	3	teilautomatisiert 5	6	8	teilautomatisiert 12	6	12	teilautomatisiert 16
Elektrischer Leistungsbedarf		kW	1,2	1,6	1,8	2,1	2,7	1,8	2,7	3,6
Melkleistung	schlechte Arbeitserledigung	Kühe/h	18	40	22	23	70	35	37	90
	gute Arbeitserledigung		22		45	50		45	60	
Elektrischer Energieverbrauch	schlechte Arbeitserledigung	kWh	48,7	29,2	59,7	66,7	30,2	37,5	57,2	29,2
	gute Arbeitserledigung	Kuh u.J.	39,8		29,2	30,7		29,2	35,3	

Tabelle 4: Elektroenergieverbrauch der Vakuumpumpe für den Spülvorgang

Anzahl der Melkzeuge	Leistungsbedarf der Vakuumpumpe (mit einer Milchschleuse)	Elektr. Energieverbrauch für den Spülvorgang
Stück	kW	kWh/Jahr
1	0,9	219
2	1,1	268
3	1,2	292
4	1,4	341
5	1,6	389
6	1,8	438
8	2,1	511
10	2,5	608
12	2,9	706
16	3,6	876

Im Gegensatz zu Fischgrätenmelkständen erfordern Karussellmelkstände einen zusätzlichen elektrischen Antrieb für die Plattform. Hierfür werden Elektromotoren von 0,18 - 1,5 kW verwendet (159). Die Regelung der erforderlichen Umlaufgeschwindigkeiten des Karussells ermöglicht ein Getriebe. Der Elektroenergieverbrauch des Getriebemotors beträgt bei einer durchschnittlichen Melkleistung von 60 Kühen/h ca. 3 - 4 kWh/Kuh und Jahr, er ist also sehr gering.

3.1.2 Milchpumpe

Nachdem die Milch über Zitzenbecher und Sammelstück gelangt ist, muß sie in den Kühlbehälter transportiert werden. Dies geschieht zunächst durch Vakuumtransport bis zum Milchabscheider, wobei die Rohrleitungen keine Steigungen haben dürfen, da dies zu stärkeren azyklischen Vakuumschwankungen und damit zu starker Beschädigung der Milch führen kann (74). Die Milch wird dann im Milchabscheider schonend bei Normaldruck ausgeschleust, wobei sie der Schwerkraft folgend an der Behälterwand abwärts läuft.

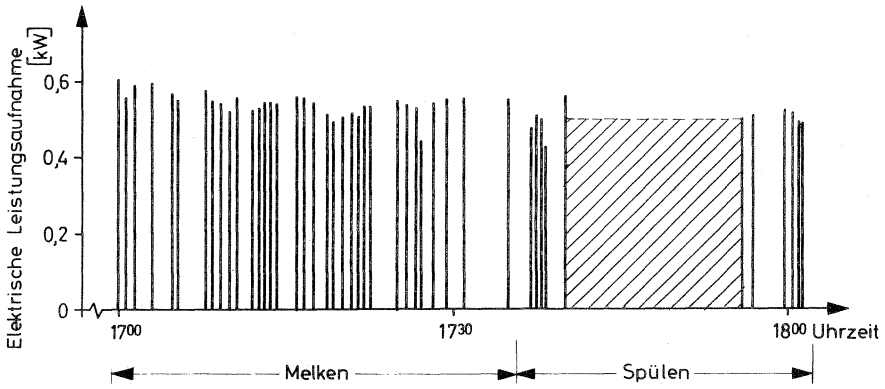
Die Weiterförderung der Milch wird bei modernen Melkanlagen durch eine Milchpumpe intermittierend vorgenommen, falls ein Niveauunterschied zum Kühlbehälter besteht. Bei unterflurverlegten Milchleitungen muß die Milchpumpe in einer Grube in der Milchkammer (Anbindestall) bzw. im Melkstand (Laufstall) untergebracht sein.

Die in der Praxis verbreiteten Milchpumpen sind kleine Radialkreiselpumpen (mit offenem Laufrad) und weisen Förderleistungen bis zu 3.600 l/h auf. Sie erlauben sowohl eine schonende Milchförderung als auch eine unkomplizierte Reinigung.

Wie stichprobenartige Messungen ergeben haben, liegt der elektrische Leistungsbedarf der Milchpumpen zwischen 0,3 und 0,7 kW. Er hängt von der Förderhöhe, dem Strömungswiderstand in Rohrleitungen sowie von der Dichte und Temperatur des Fördermittels ab. Abb. 5 zeigt als Beispiel den Verlauf der Leistungsaufnahme bei einer Milchpumpe (0,55 kW-Motor).

Es ist ersichtlich, daß die Leistungsaufnahme nicht schwankt und sich mit dem Anschlußwert deckt. Der Elektroenergieverbrauch der Milchpumpe hängt daher nur von der Einschaltdauer ab, die neben der Milchförderung wesentlich von der Spüldauer beeinflußt wird (Abb. 5, unterbrochene Linie und Kap. 3.1.5). Nach eigenen Messungen liegt die relative Einschalthäufigkeit der Milchpumpe beim Spülvorgang (50 - 75 % der Gesamtspülzeit) wesentlich höher als beim Melken (10 - 15 % der Gesamtmelkzeit).

Bei einer Milchleistung von 5.000 l/Kuh und Jahr und einer 40 minütigen Spüldauer/Tag liegt der Elektroenergieverbrauch zwischen 5 und 3 kWh/Kuh und Jahr (Bestände von 20 bis 80 Kühen) und ist zu vernachlässigen.



Laufdauer der Milchpumpe schwankt jeweils zwischen 0,05 und 0,18 min

Abb. 5: Verlauf der elektrischen Leistungsaufnahme bei einer Milchpumpe (0,55 kW-Motor)

3.1.3 Kraftfutterzuteiler im Melkstand

Melkstände sind in der Regel mit Kraftfutterzuteilern ausgestattet, um die gezielte Verabreichung des Kraftfutters je nach Milchleistung durchzuführen; denn die Kühe können bei Laufstallhaltung nur im Melkstand identifiziert und fixiert werden. Das Kraftfutter gelangt bei diesen Geräten durch einen Entnahmetrichter (deckenlastige Lagerung) oder eine Entnahmeschnecke (Lagerung außerhalb des Melkstandes) vom Lagerbehälter zu den Futtertrögen. Die Dosierung wird mit Schwingförderern oder Schnecken in Form von Gewichts-oder Volumendosierung durchgeführt (159), wobei man zwischen der absätzigen und der kontinuierlichen Vorlage unterscheidet. Das letztere System ist wegen der Funktionssicherheit vorteilhaft.

Die Steuerung der Kraftfutterabgabe geschieht entweder manuell durch Stellhebel oder bei neu entwickelten Anlagen vollautomatisch durch Impulse, die von den an der Kuh befestigten Gebern hervorgerufen werden.

Der elektrische Leistungsbedarf des Antriebsmotors von Kraftfutterzuteilern liegt zwischen 0,07 und 0,18 kW (159), womit 3 - 7 Futterautomaten (Dosierer) gleichzeitig betrieben werden können. Nach eigenen Messungen schwankt die Leistungsaufnahme während der Dosierung nicht, so daß der Elektroenergieverbrauch ausschließlich von der Laufzeit der Dosierer bzw. von der Melkzeit beeinflußt wird. Er beträgt im Jahr zwischen 3 und 7 kWh/Kuh.

Der Kraftfutterzuteiler stellt keine problematischen Ansprüche an die Elektrizitätsversorgung, d. h., sein Leistungs- und Energiebedarf sind wie bei der Milchpumpe zu vernachlässigen.

3.1.4 Elektrische Heißwasserbereiter

Steigende Qualitätsansprüche erfordern eine stärkere Beachtung der Hygiene. Verbunden damit ist ein wachsender Bedarf an Warmwasser in den verschiedensten Produktionsbereichen, vor allem bei der Milchgewinnung und hier insbesondere für die Reinigung der Melkanlage, der Kühlwanne und für die Euterbrause.

Elektrische Heißwassergeräte sind meistens die technisch einfachste Lösung für die Warmwasserversorgung in der tierischen Produktion (55). Sie arbeiten sauber, gefahrlos und wirtschaftlich. Grundsätzlich werden elektrische Heißwassergeräte nach ihrem Aufbau in Heißwasserspeicher, Boiler und Durchlauferhitzer, nach ihrer Betriebsart in drucklose Überlaufgeräte und Druckgeräte unterschieden.

Heißwasserspeicher, in druckloser wie druckfester Ausführung, sind wärmeisolierte Geräte, die unabhängig vom Zeitpunkt der Entnahme aufgeheizt werden und durch die Regelautomatik das Wasser konstant auf der vorgewählten Temperatur halten. Die Erwärmung des Wassers erfolgt zeitlich getrennt von der Nutzung. Die Geräte lassen sich nach Behältergröße in Kleinspeicher (5 - 120 Liter) und Großspeicher (200 - 3.000 Liter) einteilen. Die Anschlußwerte liegen zwischen 1 und 9 kW. Die Aufheizung erfolgt meistens in den vom Elek-

trizitätswerk festgelegten täglichen Schwachlastzeiten. Die Speicher müssen so dimensioniert werden, daß nach der Aufheizung während der Schwachlastzeiten am Tage jederzeit heißes Wasser in ausreichender Menge zur Verfügung steht.

Heißwasserboiler bestehen im wesentlichen aus einem Kupferblechbehälter, der im unteren Bereich seines Innenraumes Elektroheizkörper enthält. Die Heißwasserboiler mit einem Behälterinhalt von 15 - 80 Liter arbeiten als drucklose Geräte. Sie sind nicht wärmeisoliert und müssen daher erst jeweils kurz vor dem Bedarfsfall eingeschaltet werden.

Durchlauferhitzer sind kompakt gebaute Heißwassergeräte, die das Wasser erst unmittelbar während des Durchlaufens erwärmen. Die Entnahme und Erwärmung des Wassers ist also zeitlich nicht getrennt. Die Heißwasserleistung hängt von der elektrischen Anschlußleistung ab, so daß die Durchlauferhitzer oft große Heizleistungen (12 - 33 kW) haben müssen.

Die Auswahl des Heißwassergerätes richtet sich nach der Anzahl der Zapfstellen, nach dem Warmwasserbedarf an den einzelnen Zapfstellen sowie nach der Entfernung der Geräte untereinander. Die elektrische Heißwasserbereitung kann durch einzelne Geräte an den jeweiligen Bedarfsstellen oder durch ein zentral angeordnetes Gerät für alle Zapfstellen durchgeführt werden, wenn sie räumlich nahe beieinander liegen.

Wegen der großen Wassermengen, die zur Stallhygiene gebraucht werden, benutzt man in der Landwirtschaft in zunehmendem Maße wärmeisolierte vollautomatische Heißwasserspeicher (64). Daher werden im folgenden ausschließlich Heißwasserspeicher behandelt. Sie müssen so groß gewählt werden, daß der gesamte Tagesbedarf an heißem und warmem Wasser in den Schwachlastzeiten bereitet werden kann.

Bei wechselndem Heißwasserbedarf kann bei Verwendung von Zweikreisspeichern (mit zwei verschiedenen Heizstufen) die Heiz-

leistung dem jeweiligen Heißwasserbedarf angepaßt werden. Hierbei ermöglichen kleine Heizleistungen eine Aufheizung des Wassers während der Schwachlastzeit. Durch Zuschalten der starken Heizleistung kann erhöhter Heißwasserbedarf tagsüber schnell gedeckt werden. Diese Zweikreisausführung ist bei Kleinheißwasserspeichern möglich. Sie bietet große Vorteile vor allem bei der Spülung von Melkanlagen, wenn der Leistungsbedarf des Durchlauferhitzers am Spülautomaten reduziert oder wenn gar auf den Durchlauferhitzer verzichtet werden soll (s. Kapitel 3.1.5).

Der elektrische Leistungsbedarf bei der Heißwasserbereitung ist von der aufzuheizenden Wassermenge, der Temperaturerhöhung des Wassers und der Aufheizzeit abhängig. Er läßt sich direkt nach dem Joule'schen Gesetz mit der nachstehenden Formel errechnen (131). Allgemein sollte die Aufheizung des Wassers möglichst auf 60° C begrenzt werden, da bei dieser Temperatur die Gefahr einer Korrosion und Kesselsteinbildung relativ gering ist (44). Außerdem reicht diese Temperatur erfahrungsgemäß für alle Anwendungsbereiche in der Landwirtschaft aus. Die Formel lautet:

(3) $$N = \frac{G \cdot c \cdot (t2 - t1)}{3600 \cdot \eta \cdot T}$$

Dabei sind:

- N : elektrischer Leistungsbedarf (Anschlußwert) (kW)
- G : Wassermenge (l)
- c : spez. Wärmekapazität des Wassers (4,186 kJ/kg · K)
- t1 : Einlauftemperatur des Wassers, im Mittel 10° C
- t2 : Endtemperatur des Wassers (° C)
- η : Wirkungsgrad des Heißwasserbereiters. Er wird im praktischen Betrieb etwa zwischen 0,91 und 0,98 angegeben (125)
  1 kWh = 3600 kJ
- T : Aufheizzeit

Der Elektroenergieverbrauch der Heißwasserbereitung richtet sich nach der benötigten Wassermenge und den Aufheiztemperaturen. Theoretisch kann die elektrische Energie einer Kilowattstunde ohne Verluste in 3600 Kilojoule Wärmeenergie umgesetzt werden.Liegen Anfangs- und Endtemperatur der benötigten Wassermenge vor, so kann der Elektroenergieverbrauch nach obiger Formel

(4) $$A = N \cdot T$$

ermittelt werden.

Dabei bedeutet: A : Elektroenergieverbrauch in kWh
N : elektrischer Leistungsbedarf in kW
T : Aufheizzeit in Stunden

Es ist jedoch hier für die Wärmeverluste am Speicher (sekundäre Wärmeverluste) allgemein ein Zuschlag in Höhe von 10 % zu machen (44), womit in der Praxis auftretende ungünstige Verhältnisse berücksichtigt sind. Um einen Speicherinhalt von 400 l 10° C auf 60° C aufzuheizen, ergibt sich z. B. ein Elektroenergieverbrauch von ca. 26,9 kWh (η = 0,95 und Wärmeverluste von 10 %).

Der Bedarf an warmem und heißem Wasser ist stark von den jeweiligen Gewohnheiten oder Betriebsverhältnissen abhängig. Tabelle 5 enthält die auf Untersuchungen und Erfahrungen in der Milchviehhaltung beruhenden Bedarfswerte an Heißwasser, die auf 60° C umgerechnet sind (55, 64, 122, 125, 131, 156, 159). Aus dem Bedarf kann somit die Gerätegröße und der elektrische Leistungsbedarf festgelegt werden.

Ergeben sich bei der Ermittlung der Speichergröße Grenzwerte, ist der größere Speicher zu wählen.

Tabelle 5: Der erforderliche Heißwasserbedarf in der Milchviehhaltung

	Wassermenge (60°C) in Liter
Euterbrause je Kuh und Tag	1,5
Einmal Händewaschen	2
Reinigen von Milchbehälter Inhaltsgröße: 400 - 2000 Liter	25 - 100
Kälber, pro Kalb und Tag	ca. 6
Sonstiger Wasserverbrauch am Tag	ca. 30

Für die Speichergröße ist in erster Linie die Bestandsgröße maßgebend. Eine Zusammenstellung der elektrischen Heißwasserspeicher für ausgewählte Bestandsgrößen der Milchviehhaltung erfolgt in Tab. 6. Bei den Angaben des Heißwasserbedarfes ist die Wassermenge, die zur Spülung der Melkanlage verwendet wird, nicht berücksichtigt (Kapitel 3.1.5). Die elektrischen Anschlußwerte bzw. Speichergrößen beziehen sich jeweils auf in der Praxis verbreitete Geräte. Der Elektroenergieverbrauch wird nach dem durchschnittlichen Tagesverbrauch ermittelt, wobei sekundäre Wärmeverluste mit einem üblichen Zuschlag in Höhe von 10 % berücksichtigt werden.

Nach dem in Tabelle 5 genannten erforderlichen Heißwasserbedarf ist für 20 Kühe mit Nachzucht ein Warmwasserspeicher mit 200 l und einem Anschlußwert von 6 kW vorgesehen (Tabelle 6). Bei größeren Beständen bis zu 80 Kühen ohne Nachzucht sind ebenfalls 6 kW ausreichend, da mit längeren Aufheizzeiten auch bei größeren Behältern kalkuliert werden kann. Lediglich bei 80 Kühen mit Nachzucht ist ein 600 l-Speicher mit 9 kW Anschlußwert notwendig. Der Elektroenergieverbrauch beträgt bei den Bestandsgrößen mit 20 bis 80 Kühen ohne Nachzucht zwischen 110 und 78 kWh/Kuh und Jahr, wobei in den größeren Beständen eine gering-

Tabelle 6: Elektrischer Leistungs- und Energieverbrauch der Heißwasserbereitung in der Milchviehhaltung

Bestandsgröße		GV	Mittlerer Warmwasserverbrauch (60°C)	Heißwasserspeichergröße	Anschlußwert	Jährlicher Energieverbrauch	
Kühe			Liter/Tag	Liter	kW	kWh (2)	kWh/Kuh
20	ohne Nachzucht	20,0	90	120	1,5/4,5 (1)	2204	110
	mit Nachzucht	29,6	105	200	6,0	2571	129
40	ohne Nachzucht	40,0	150	200	6,0	3674	92
	mit Nachzucht	59,2	175	300	6,0	4285	107
60	ohne Nachzucht	60,0	190	300	6,0	4653	78
	mit Nachzucht	88,8	230	400	6,0	5633	94
80	ohne Nachzucht	80,0	260	300	6,0	6367	78
	mit Nachzucht	118,4	310	600	9,0	7592	94

(1) Zweikreisgerät.

(2) Unter Berücksichtigung eines Wärmeverlustes von 10 %.

fügige Degression eintritt.

In Betrieben mit Nachzucht ist mit 20 % höheren Werten, 129 bis 94 kWh/Kuh und Jahr, zu rechnen.

Der gesamte, in Tabelle 6 angegebene jährliche Elektroenergieverbrauch (max. 7592 kWh/Jahr bei 80 Kühen mit Nachzucht) tritt jedoch in der Schwachlastzeit auf, wobei für den landwirtschaftlichen Betrieb Kosteneinsparungen durch Niedertarife wirksam werden. Der Leistungsbedarf ist trotz höherer Anschlußwerte für die Elektrizitätsversorgung weniger problematisch, da die maximale Belastung des Betriebes nicht beeinflußt wird. Somit sollte die Verwendung der Großspeicher, wie sie hier beschrieben wurden, in landwirtschaftlichen Betrieben als Maßnahme eines sinnvollen Elektrizitätseinsatzes berücksichtigt werden.

3.1.5 Spülautomat

Bei der hygienischen und keimarmen Milchgewinnung ist besondere Sorgfalt auf die tägliche Reinigung und Desinfektion der Melkanlage zu legen, da diese entscheidend die Milchqualität beeinflußt.

Die Reinigungsmaßnahmen verfolgen das Ziel, eine Keimverminderung zu erreichen, indem Rückstände, Ablagerungen und die Mikroorganismen selbst entfernt werden. Eine wirkungsvolle Reinigung und Desinfektion ist nicht nur an geeignete Spülmittel und an einwandfreies Wasser gebunden, sondern auch an die Einhaltung bestimmter Arbeitsgänge wie Vorspülen und Hauptspülen. Die Reinigung und Desinfektion der Melkanlage kann, wie es noch meistens der Fall ist, durch das Handverfahren erfolgen. Die moderne Produktionstechnik mit Spülautomaten ermöglicht jedoch gegenüber dem Handverfahren erhebliche Arbeitszeiteinsparungen und eine sicherere Reinigung.

Die neueren Melkanlagen sind daher nahezu ausschließlich mit Spülautomaten ausgestattet, die nach einem vorgegebenen Programm die verschiedenen Spülvorgänge selbsttätig durchführen (100). Der Verlauf der Spülvorgänge läßt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Vorspülen mit klarem lauwarmem Wasser (ca. 3 min). Hierdurch werden in der Anlage verbleibende Milchreste und Verunreinigungen sofort entfernt.
2. Hauptspülen: Reinigen und Desinfizieren kann auf thermischem und chemischem Wege erfolgen. Da eine wirksame thermische Desinfektion in der Regel mit relativ hohen Kosten durch Isolierung oder Wärmeverluste verbunden ist, und außerdem die Rohre aus thermoplastischen Kunststoffen nicht mehr als 70° C über einen langen Zeitraum vertragen können, wird heute meist warmes Wasser mit einem Zusatz chemisch desinfizierender Substanzen verwendet.

3. Nachspülen mit klarem kaltem Wasser (ca. 3 min). Hierbei werden die Reste von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln in der Anlage entfernt.

Spülautomaten sind in zweifacher Hinsicht für den Leistungsbedarf und den Stromverbrauch bedeutungsvoll, und zwar 1. durch die Laufzeit der Vakuumpumpe und Milchpumpe während der Spülung (Kapitel 3.1.1 und 3.1.2) und 2. durch das Heizen des Wassers. Letzteres geschieht entweder während der Spülung durch einen Durchlauferhitzer oder vor der Spülung mit Warmwasserbereitern. Wegen günstiger Einbaumöglichkeiten werden Spülautomaten mit Durchlauferhitzern in der Praxis bisher bevorzugt (102). Die Spülautomaten ohne Durchlauferhitzer sind mit Warmwasserspeichern gekoppelt und bestehen nur aus Steuerorganen; hier wird das benötigte Wasser mit der gewünschten Temperatur vom Speicher bereitgestellt.

Da die anderen Geräte zur Heißwasserbereitung im Kapitel 3.1.4 beschrieben sind, werden im folgenden Spülautomaten mit Durchlauferhitzern und ihre Problematik behandelt.

Die elektrische Heizleistung des Durchlauferhitzers bei Spülautomaten ist von der Menge und Abkühlung der Spülflüssigkeit im Kreislauf während der Spülung, also von den Wärmeverlusten durch die Rohre, abhängig. Auf die Wärmeverluste zwischen einem strömenden Medium und einem festen Körper haben folgende Größen Einfluß (28):

1. Die Art der Strömung (laminar oder turbulent) und damit die Strömungsgeschwindigkeit.
2. Die Eigenschaften des strömenden Mediums; Temperatur, Dichte, Zähigkeit, spezifische Wärme und Wärmeleitfähigkeit.
3. Die Bauart des Wärmeüberträgers, Rohrdurchmesser und Länge sowie die Beschaffenheit der Wandoberflächen.

Theoretisch können diese Wärmeverluste als Wärmedurchgang von dem strömenden Wasser auf die Stalluft mit den folgenden Formeln ermittelt werden, wobei es sich hier um Wärmeübertragungen und Wärmeleitung handelt (28, 101):

a) Wärmeübertragung vom strömenden Wasser auf das Rohrmaterial:

(5) $$Q_1 = \Pi \cdot di \cdot \alpha_1 \cdot L \cdot (t_1 - twi) \qquad (kJ/h)$$

b) Wärmeleitung im Rohrmaterial:

(6) $$Q_2 = \frac{2\,\Pi \cdot \lambda}{\ln \frac{da}{di}} \cdot L \cdot (twi - twa) \qquad (kJ/h)$$

c) Wärmeübertragung vom Rohrmaterial auf die Stalluft:

(7) $$Q_3 = \Pi \cdot da \cdot \alpha_2 \cdot L \cdot (twa - t_2) \qquad (kJ/h)$$

Aus diesen drei Beziehungen ergibt sich dann eine Formel für den Wärmedurchgang pro m Rohrlänge,

(8) $$Q = k \cdot L \cdot (t_1 - t_2) \qquad (kJ/h)$$

wobei k als Wärmedurchgangszahl bezeichnet und mit der Gleichung

(9) $$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot di} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{da}{di} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot da}} \qquad (W/m^2 \cdot K)$$

wiedergegeben wird.

Es bedeuten:
- di : Rohrinnendurchmesser (m)
- da : Rohraußendurchmesser (m)
- t_1 : Wassertemperatur im Rohr (^{o} C)
- twi : Temperatur an der Rohrinnenwand (^{o} C)
- twa : Temperatur an der Rohraußenwand (^{o} C)
- t_2 : Temperatur der Raumluft (^{o} C)
- α_1 : Wärmeübergangszahl für Wasser ($W/m^2 \cdot K$)

α_2 : Wärmeübergangszahl für Luft ($W/m^2 \cdot K$)
λ : Wärmeleitzahl des Rohrmaterials ($W/m^2 \cdot K$)
L : Rohrlänge (m)

Aus dieser Vielzahl von Einflußgrößen erkennt man die Schwierigkeit der theoretischen und experimentellen Behandlung des Wärmedurchgangs. Da in der landwirtschaftlichen Praxis bei der Spülung von Melkanlagen die erforderlichen Wärmemengen und die auftretenden Wärmeverluste gegenüber industriellen Anlagen vergleichsweise sehr gering sind, wurden bei den Untersuchungen lediglich die Haupteinflußgrößen Rohrmaterial und Raumtemperatur besonders berücksichtigt.

Hinsichtlich der Feststellung der Wärmeverluste wurden an Spülautomaten unterschiedlichen Fabrikates mit verschiedenem Rohrmaterial auf den landwirtschaftlichen Betrieben Messungen durchgeführt. Das Meßverfahren erfaßte neben der elektrischen Leistungsaufnahme des Durchlauferhitzers fortlaufend die Temperaturen der Spülflüssigkeit am Eingang und Ausgang des Durchlauferhitzers, sowie die Temperaturen der Rohroberflächen und des Raumes und die für die Spülung verwendete Flüssigkeitsmenge.

Für den Hauptspülgang wurde bei den Messungen eine Wassermenge von durchschnittlich 3,5 l bezogen auf einen m^2 Rohroberfläche benötigt, wobei 1 m^2 Rohroberfläche bei einem Durchmesser von 30 mm einer Rohrlänge von ca. 10 m und bei einem Durchmesser von 40 mm einer Rohrlänge von ca. 8 m entspricht (Wandstärke 1 - 3 mm).

Haupteinflußfaktoren auf die Wärmeverluste sind die Raumtemperatur und das Rohrmaterial. Abbildung 6 zeigt die Wärmeverluste durch die Rohre während des Hauptspülvorgangs (50° C) für Cr-Ni-Rohre und Plexiglasrohre in Abhängigkeit von den Raumtemperaturen. Aus den abgesicherten Ergebnissen ist ersichtlich, daß die Verluste im allgemeinen mit sinkender Raumtemperatur linear ansteigen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Stärke des Wärmeflusses mit zunehmendem Temperaturgefälle zwischen Rohroberfläche und Raumtemperatur ebenfalls zunimmt. Weiterhin treten

bei den Cr-Ni-Rohranlagen 50 - 60 % höhere Wärmeverluste als bei den Plexiglasrohranlagen auf. Sie betrugen bei 15° C Raumtemperatur beispielsweise 413 W/m^2 (Cr-Ni-Rohre) und 242 W/m^2 (Plexiglasrohre). Durch die höheren Wärmeverluste müssen bei Anlagen mit Cr-Ni-Rohren größere Durchlauferhitzer installiert werden, um in der gewünschten Zeit die Hauptspülung gewährleisten zu können. Die Leistungsanforderung an den Durchlauferhitzer ist somit stark vom Rohrmaterial abhängig.

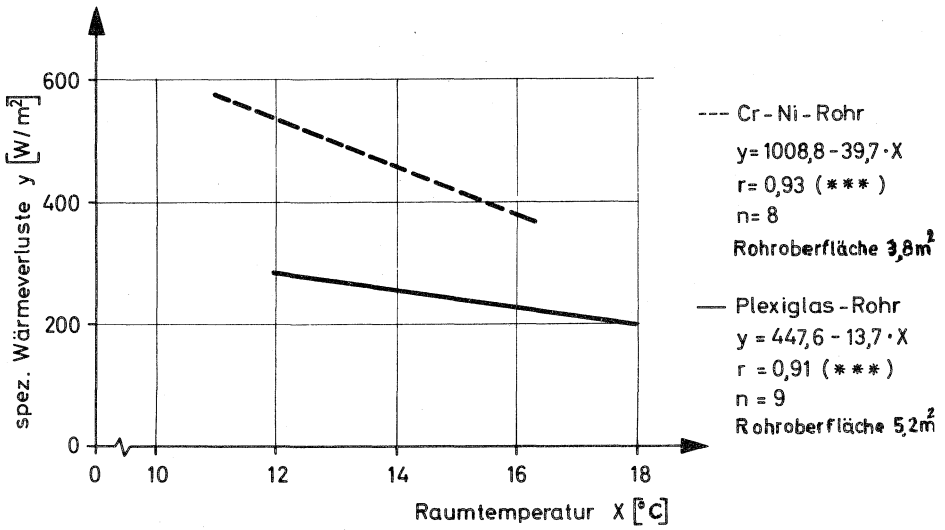


Abb. 6: Spezifische Wärmeverluste bei Spülanlagen mit Cr-Ni-Rohr und Plexiglasrohr (Hauptspültemperatur 50° C)

Nach eigenen Messungen in Versuchsbetrieben und nach Firmenunterlagen (159) sollte eine spezifische Heizleistung für den Durchlauferhitzer bei Plexiglasrohranlagen mit 1,1 kW/m^2 und bei Cr-Ni-Rohranlagen mit 1,3 kW/m^2 installiert werden.

Die Problematik bei der Verwendung der Durchlauferhitzer für Spülautomaten liegt in den hohen Leistungsansprüchen. Während der Milchgewinnung auftretende Leistungsspitzen werden oft durch Spülautomaten mit Durchlauferhitzer hervorgerufen. Um die negativen Auswirkungen dieser Leistungsspitzen auf die tägliche Belastung zu reduzieren, können die Anforderungen an die

Leistung des Durchlauferhitzers erheblich gesenkt werden, indem mit vorgewärmtem Wasser gespült wird. Es kann sogar ganz auf einen Durchlauferhitzer verzichtet werden, wenn die zur Spülung notwendige Heißwassermenge in Speichern bereitgestellt wird.

Diese Zusammenhänge und Möglichkeiten der Leistungsverminderung lassen sich am besten mit Beispielen aufzeigen. Folgende Unterstellungen werden hierfür getroffen:

> Plexiglasrohranlage (5,5 m^2 Rohroberfläche), 20 l Hauptspülwasser, Hauptspültemperatur 50° C, Raumtemperatur 15° C und eine Hauptspülzeit von 15 min, Wassertemperatur in der Leitung 10° C und im Heißwasserspeicher 60° C.

1. <u>Spülen bei Wasserzulauftemperatur von 10° C:</u>

Hierbei wird die Wärmeenergie benötigt, die aus der Aufheizwärmeenergie (W) und einer Verlustwärmeenergie (V) resultiert. Die Aufheizwärmeenergie, die man braucht, um das Wasser von 10° C auf 50° C aufzuheizen, wird nach Formel (3)(im Kapitel 3.1.4 Heißwasserbereiter) berechnet.

Setzt man die unterstellten Werte in der Formel (3) ein, so ergibt sich eine Aufheizwärmeenergie von 0,98 kWh. Die Verlustwärmeenergie während des Spülens beträgt nach Abbildung 6 für das Beispiel ca. 0,47 kWh.

Der Durchlauferhitzer muß so bemessen sein, daß die Summe von Aufheizwärmeenergie (0,98 kWh) und der Wärmeverlustenergie (0,47 kWh) in der gewünschten Zeit ersetzt werden kann. Es ist also in diesem Fall ein Durchlauferhitzer von etwa 5,8 kW zu installieren.

2. Spülen bei Wasserzulauftemperatur von 35° C:

Hierbei reduziert sich die erforderliche Aufheizwärmeenergie auf 0,37 kWh, weil sich die Temperaturdifferenz des aufzuheizenden Wassers von 40 K auf 15 K reduziert. Die Verlustwärmeenergie bleibt aber gleich wie oben. Bei dem Fall muß also eine Wärmeenergie von 0,84 kWh in 15 min erzeugt werden, was einen Durchlauferhitzer von ca. 3,4 kW notwendig macht.

3. Spülen bei Wasserzulauftemperatur von 50° C (ohne Durchlauferhitzer):

Da während der Spülung keine zwischenzeitliche Rückerwärmung durchgeführt wird, müssen in diesem Fall genügende Warmwassermengen vorhanden sein, zu deren Bereitung entsprechende Aufheiz- und Verlustwärme benötigt wird (Heißwasserspeicher). In diesem Fall wird mit einer Hauptspülwassermenge von etwa 30 l (50° C) kalkuliert, also einer 50 %igen Erhöhung des Warmwasserbedarfes bei der Spülung.

Die Situation ist bei Cr-Ni-Rohranlagen ähnlich, wobei infolge der höheren Wärmeverluste gegenüber Plexiglasrohren stärkere Durchlauferhitzer benötigt werden. So ist z. B. für Spülen bei 10° C Wasserzulauf nach den obengenannten Unterstellungen ein Durchlauferhitzer von 7,0 kW zu installieren. Bei vorgewärmtem Wasser von 35° C sollte jedoch ein Durchlauferhitzer von 4,6 kW genügen. Verzichtet man auf einen Durchlauferhitzer, so beträgt die erforderliche Warmwassermenge ca. 35 l (50° C) je Hauptspülvorgang. Sie liegt hier etwa 75 % höher als bei der Spülung mit Durchlauferhitzer.

Eine nochmalige Reduzierung des Leistungsanspruchs von Durchlauferhitzern ist theoretisch möglich, wenn die Hauptspülzeit verlängert wird. Eine Verdoppelung der Hauptspülzeit (30 Minuten) führt z. B. zu einer 35 %igen Leistungsverminderung. Infolge der doppelten Wärmeverluste steigt aber der Elektroenergieverbrauch um denselben Prozentansatz an. Sofern hygienische An-

forderungen dies erlauben, sollten daher diese Möglichkeiten der Leistungssenkung durch längere Laufzeit der Spülanlage genutzt werden.

Nach der obengenannten Methodik ist in der Tabelle 7 der elektrische Leistungsbedarf und Energieverbrauch beim Spülen für die Kuhbestände und unterschiedliches Rohrmaterial zusammengestellt (Abb. 7).

Hierbei wurde auf die genannten Beispiele und Verfahrensstufen zurückgegriffen (I. II. und III.). So sind z. B bei einem Bestand von 40 Kühen im Anbindestall zur Spülung der Plexiglasrohranlage bei Verfahren I (alleiniger Durchlauferhitzer; Wasserzulauftemperatur von 10° C) 8,6 kW zu installieren. Dieser hohe Leistungsanspruch kann mit dem Übergang auf Verfahren II (vorgewärmtes Wasser und Durchlauferhitzer; Wasserzulauftemperatur von 35° C) um 43 % auf 4,9 kW gesenkt werden.

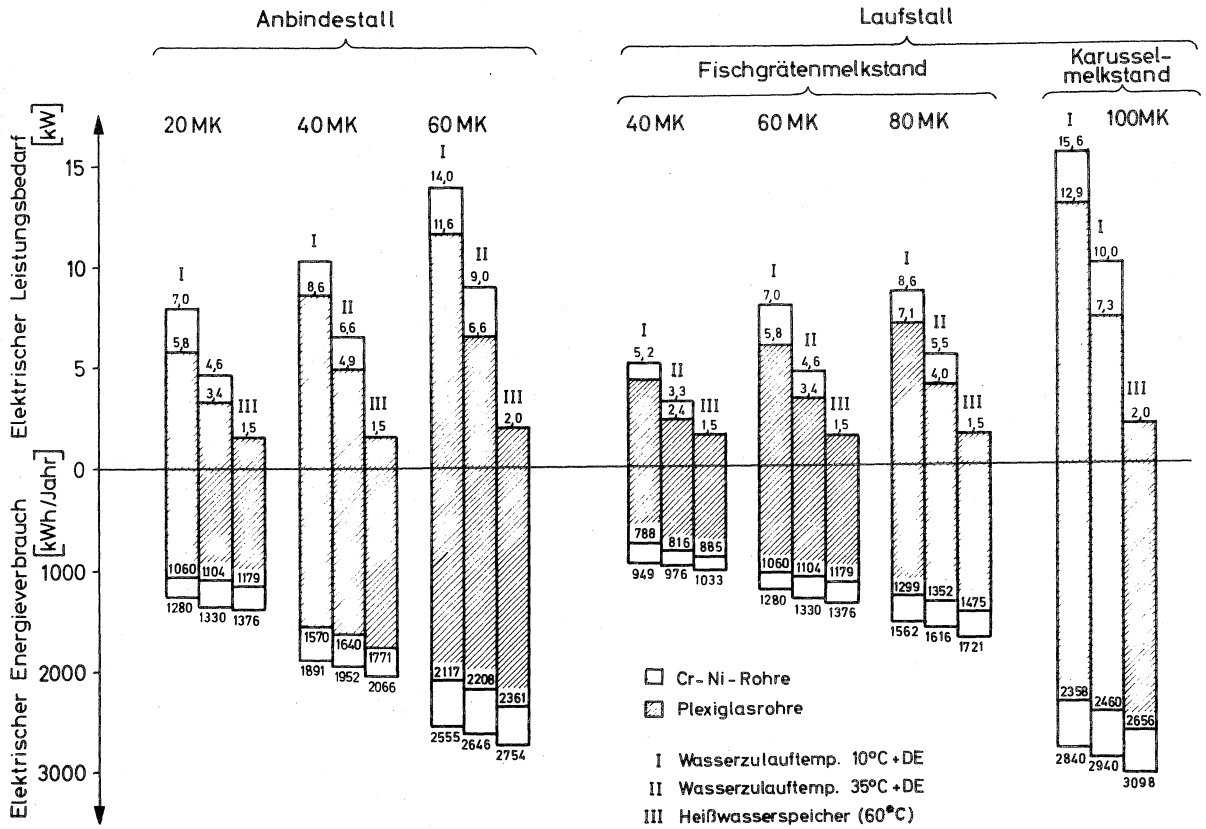


Abb. 7: Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch von Spülautomaten (MK=Milchkühe, Ø Raumtemperatur 15° C, Hauptspülzeit 15 min mit 50° C)

Tabelle 7: Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch von Spülautomaten
(Ø Raumtemperatur 15°C Hauptspülzeit 15 min , Hauptspültemperatur 50°C)

Bestandsgröße			Rohr-oberfläche	PLEXIGLASROHRE						CR - NI - ROHRE					
				Elektrischer Leistungsbedarf			Elektrischer Energieverbrauch			Elektrischer Leistungsbedarf			Elektrischer Energieverbrauch		
		Kühe	m^2	kW			kWh/Jahr			kW			kWh/Jahr		
				(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Anbindestall		20	5,5	5,8	3,4	1,5	1060	1104	1179	7,0	4,6	1,5	1280	1330	1376
		40	8,0	8,6	4,9	1,5	1570	1640	1771	10,4	6,6	1,5	1891	1952	2066
		60	11,0	11,6	6,6	2,0	2117	2208	2361	14,0	9,0	2,0	2555	2646	2754
Lauf-stall	Fischgräten-melkstand	40	4,0	4,3	2,4	1,5	788	816	885	5,2	3,3	1,5	949	976	1033
		60	5,5	5,8	3,4	1,5	1060	1104	1179	7,0	4,6	1,5	1280	1330	1376
		80	6,5	7,1	4,0	1,5	1299	1352	1475	8,6	5,5	1,5	1562	1616	1721
	Karussell-melkstand	100	12,0	12,9	7,3	2,0	2358	2460	2656	15,6	10,0	2,0	2840	2940	3098

(1) Wasserzulauftemperatur 10°C, Spülautomat mit Durchlauferhitzer.

(2) Wasserzulauftemperatur 35°C, Spülautomat mit Durchlauferhitzer und Heißwasserspeicher. Hierbei wird die Hälfte von der zur Hauptspülung verwendeten Wassermenge aus dem vorhandenen Speicher entnommen. Dazugehörige Energiemengen sind bei den Verbrauchswerten jeweils mitberücksichtigt.

(3) Heißwasserspeicher ohne Durchlauferhitzer (60°C).

Bei Cr-Ni-Rohranlagen sind wegen der höheren Wärmeverluste durch die Rohroberfläche im Vergleich zu Plexiglasrohranlagen etwa 20 % höhere Heizleistungen zu installieren. Für die Bestandsgröße von 40 Kühen ergeben sich dann bei Verfahren I 10,4 kW und bei Verfahren II 6,6 kW.

Eine weitere wesentliche Leistungssenkung wird in Verfahren III (alleiniger Heißwasserspeicher) erreicht. Hier sind für den Heißwasserspeicher lediglich 1,5 kW notwendig.

Der Elektroenergieverbrauch steigt allerdings infolge der sekundären Wärmeverluste des Speichers mit dem Übergang auf Verfahren II bzw. III an. So ergibt sich für den Bestand von 40 Kühen mit Plexiglasrohranlage ein gesamter Elektroenergieverbrauch von 1570 kWh/Jahr bei Verfahren I, von 1640 kWh/Jahr bei Verfahren II bzw. von 1771 kWh/Jahr bei Verfahren III.

In Laufställen sind bei gleicher Tierzahl aufgrund der kürzeren Rohre bzw. der kleineren Rohroberfläche im Melkstand geringe Leistungen zu installieren (Verfahren I : 4,3 kW, Verfahren II : 2,4 kW, Verfahren III : 1,5 kW). Diese, gegenüber Anbindeställen 50 % geringeren Leistungswerte, führen zu einem entsprechend niedrigeren Elektroenergieverbrauch (Werte in Tab. 7). Somit läßt sich der spezifische Stromverbrauch für Plexiglasrohranlagen mit 53 - 35 kWh/Kuh und Jahr für Anbindeställe (20 - 60 Kühe) und mit 22 - 18 kWh/Kuh und Jahr (40 - 80 Kühe) für Laufställe angeben. Für Cr-Ni-Rohranlagen ist mit 20 % höheren Werten zu rechnen.

Zusammenfassend wird deutlich, daß besonders bei großen Beständen die Möglichkeit der Leistungssenkung durch die angesprochenen verfahrenstechnischen Änderungen notwendig ist, um die hohen Leistungsansprüche des Druchlauferhitzers zu reduzieren und die während der Milchgewinnung auftretenden Leistungsspitzen abzubauen. Bei einem Bestand mit 100 Kühen (Karussellmelkstand mit Plexiglasrohranlage) ist beispielsweise die Leistung des Durchlauferhitzers von 12,9 kW um 43 % auf 7,3 kW und weiter um 84 % auf 2,0 kW zu senken. Da zwischen den Verfahrensstufen keine großen Unterschiede hinsichtlich des Elektroenergieverbrauches bestehen, sollte in der Praxis mehr auf die kontinuierlich und mit geringerer Leistung arbeitenden Heißwasserspeicher zurückgegriffen werden.

3.1.6 Milchkühlung

Dem elektrischen Leistungsbedarf und Energieverbrauch kommt nicht nur in den Bereichen Melken und Reinigung der Melkanlage, sondern auch bei der Milchkühlung besondere Bedeutung zu. Denn die Kühlung der Milch auf dem Erzeugerbetrieb ist notwendig, um die Qualität der mit einer Temperatur von 36° C keimarm gewonnenen Milch bis zu ihrer Anlieferung an den Verarbeitungsbetrieb zu erhalten. Je nach Abholrhythmus muß die Milch während des Melkens auf diejenige Temperatur gebracht werden, bei der das Bakterienwachstum optimal reduziert ist. Die Keime in der Milch vermehren

sich je nach der Temperatur unterschiedlich (Abb. 8). Besonders wichtig ist der Temperaturverlauf während der ersten 48 Stunden. Bei einer Milchtemperatur von 15° C erhöht sich z. B. der Anfangskeimgehalt von 10.000 auf 10.000.000 Keime pro cm^3, während sich die Keime bei Tiefkühlung auf 4° C kaum vermehren. Um die Keimzahl von 100.000 je cm^3 nicht zu überschreiten, sollte die Milch bei täglicher Abholung abends auf 4° C und morgens auf 8° C gekühlt werden (74).

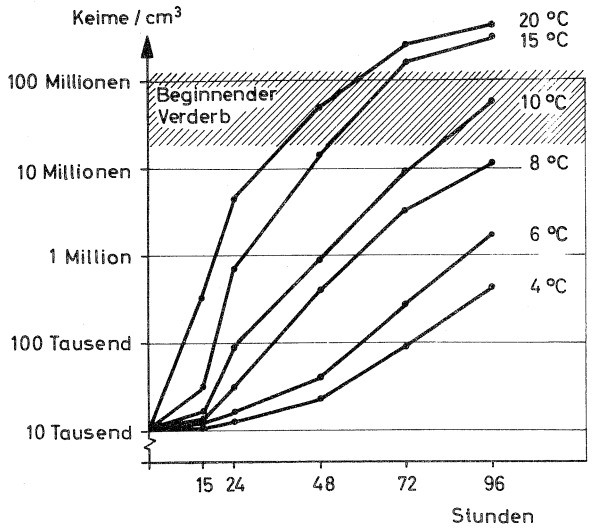


Abb. 8: Keimvermehrung in der Rohmilch bei verschiedenen Temperaturen (111)

Die Kühlverfahren können in drei Gruppen eingeteilt werden:

a) Wasserkühlung (natürliche Kälte)
b) Direktkühlverfahren ohne Kälteträger
c) Indirektkühlverfahren mit Kälteträger (Eiswasser).

Die Bedeutung der Wasserkühlung ist wegen des hohen Wasserverbrauches, des hohen Arbeitsaufwandes und der begrenzten Kühlmöglichkeit in landwirtschaftlichen Betrieben rückläufig (121), während sich die nach dem Direktverdampfungsprinzip arbeitende Kühlung mit den verschiedensten Kombinationen zunehmend verbreitet. Heute werden überwiegend luftgekühlte Kältemaschinen ver-

wendet, die nach dem Kompressionsprinzip arbeiten. Hierbei bewegt sich das Kältemittel in einem geschlossenen Kreislauf (Abb. 9). Verdampfen und Verflüssigen ist die Grundlage der künstlichen Kälteerzeugung. Der Verdichter saugt Kältemittel vom Verdampfer durch die Saugleitung, das Verdichtergehäuse und das Saugventil zum Zylinder, wo die Verdichtung stattfindet. Verdampfer und Verdichtergehäuse gehören also zur Niederdruckseite des Systems. Nach der Verdichtung wird das Gas durch Druckventil und Druckrohr zum Verflüssiger geleitet. Im Verflüssiger erfolgt eine Wärmeabgabe, und das Kältemittel kondensiert. Das flüssige Kältemittel wird durch ein passendes Kapillarrohr oder einen Sammelbehälter und ein Expansionsventil zum Verdampfer geleitet, wo der Druckabfall (Expansion) stattfindet. Beim Eintritt des Kältemittels in den Verdampfer wird dieses einem niedrigeren Druck ausgesetzt, der durch die Saugleitung des Verdichters erzeugt wird. Das Kältemittel verdampft, indem Wärme aus der Umgebung aufgenommen wird und die Temperatur am Verdampfer sinkt.

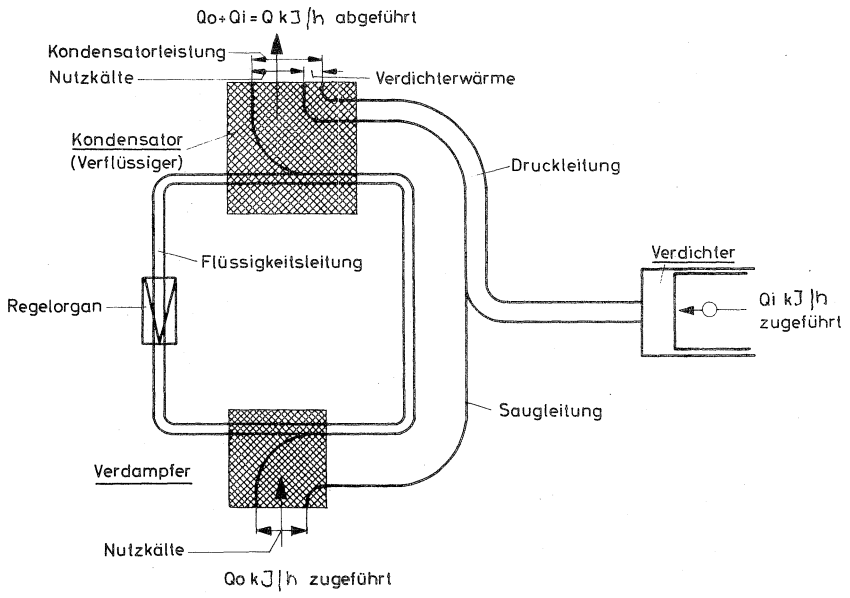


Abb. 9: Kältekreislauf einer Kompressionsanlage (159)

Für den Wirkungsgrad bzw. die Kälteleistung einer Kältemaschine ist die Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur des Kühlmittels maßgebend. Diese Temperaturen beeinflussen die Zustandsänderung des Kühlmittels und bestimmen damit das innere Verhalten der Kälteanlage. Hohe Verdampfungs- und niedrige Verflüssigungstemperaturen führen zu gutem Effekt. In Abb. 10 wurde der Zusammenhang zwischen Verdampfungstemperatur (Kühlmittel Frigen 12) und Kälteleistung (kJ/h) sowie der Leistungsaufnahme (kW) eines luftgekühlten Kältesatzes dargestellt (Raumtemperatur 20° C). In Punkt A entsprechen die Kälteleistung und die Leistungsaufnahme bei -15° C Verdampfungstemperatur den 100 %igen Nennleistungen.

Im Bereich höherer Verdampfungstemperaturen zwischen +5 und -5° C liegt die Kälteleistung um 60 - 80 % höher, während eine um 10 - 35 % höhere elektrische Leistung beansprucht wird (59). Mit abnehmender Verdampfungstemperatur sinkt die Kälteleistung im Verhältnis zur elektrischen Leistungsaufnahme stark ab und hat einen schlechten Wirkungsgrad zur Folge. Daher wird die effektive Kälteleistung (kJ/kWh) ungünstiger. Aus diesem Zusammenhang ist zu erkennen, daß die Direktkühlanlagen durchnittlich einen günstigeren Wirkungsgrad aufweisen als die Indirektanlagen, da der Kühlvorgang meist bei höheren Temperaturen abläuft als bei indirekten Anlagen. Diese arbeiten mit Eiswasser als Kälteträger bei Verdampfungstemperaturen von -5 bis -7° C.

Der elektrische Leistungsbedarf bzw. die Leistung der Kältesätze wird von der zu kühlenden Milchmenge, der Zeit, in der die Milch gekühlt werden soll, der angestrebten Kühltemperatur und den in der Kühlzeit auftretenden Kälteverlusten bestimmt.

Bei der Direktkühlung kommt der Kühlkörper (Verdampfer) des Kälteaggregates direkt mit der Milch in Berührung. Deshalb muß das Kälteaggregat so bemessen sein, daß die aus der Milch anfallende Wärmemenge innerhalb der vorgeschriebenen Kühlzeit abgeführt werden kann.

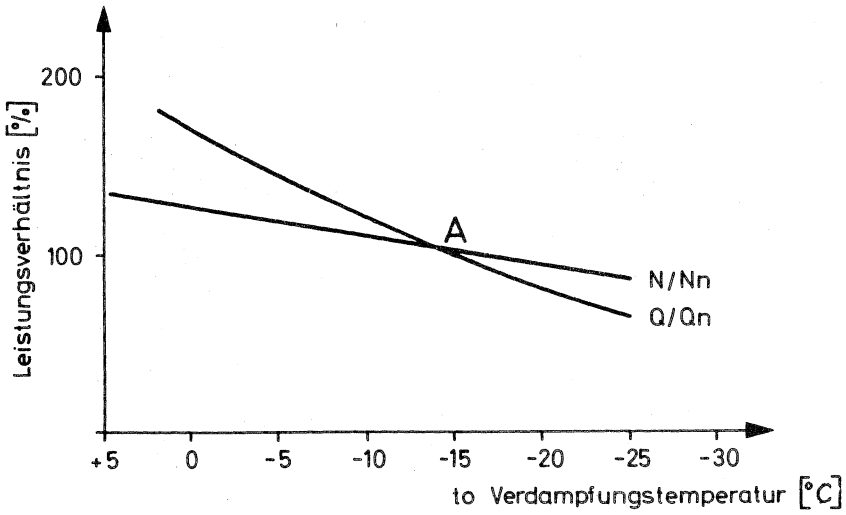


Abb. 10: Kälteleistung Q (kJ/h) und die Leistungsaufnahme N (kW) eines luftgekühlten Kältesatzes
A = Nennleistung Q_n und N_n bei to = -15° C und t_{Raum} = 20° C (59)

Werden die kältetechnischen Eigenschaften des Kältemittels Frigen 12 (CF_2 Cl_2) zugrunde gelegt, das bei landwirtschaftlichen Anlagen meistens verwendet wird, so kann der elektrische Leistungsbedarf der Direktkühlanlage mit der folgenden Formel errechnet werden (59):

(10) $$N = \frac{Qt}{Kt \cdot \eta_e}$$

Es bedeuten: N : elektrischer Leistungsbedarf in kW

Qt : Wärmemenge, die der Milch in der vorgeschriebenen Zeit abzuziehen ist, in kJ/h.

Kt : theoretisch spezifische Kälteleistung des Kühlmittels, die von der Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur abhängig ist. In kJ/kWh.

η_e : effektiver Wirkungsgrad der Anlage. Als Mittelwert kann im allgemeinen mit 0,75 gerechnet werden.

Um eine gleichzeitig anfallende Milchmenge von 100 l von 34° C auf 8° C herabzukühlen, müssen etwa 10920 kJ abgezogen werden. Bei Einhaltung der vorgeschriebenen Zeit von 2 Stunden (145) beträgt die abzuführende Wärmemenge (Qt) etwa 5460 kJ/h. Es wird für das Kältemittel Frigen 12 bei -15° C Verdampfungstemperatur und +30° C Verflüssigungstemperatur mit einer mittleren theoretisch spezifischen Kälteleistung (Kt) von 16950 kJ/kWh gerechnet (59, 69).

Setzt man diese Werte in die Formel (10) ein, so ergibt sich ein Leistungsbedarf von 0,43 kW/100 l Milch. Dazu sollte ein Sicherheitszuschlag von 15 % gemacht werden, um in der Praxis vorkommende ungünstige Fälle zu vermeiden. Somit liegt der Leistungsbedarf der Direktkühleinrichtungen im Mittel bei 0,5 kW/100 l gleichzeitig anfallender Milchmenge.

Bei indirekter Milchkühlung kann im Gegensatz zur direkten Milchkühlung mit der Kältespeicherung über das Eis die elektrische Leistung der Kältemaschine durchschnittlich um 40 % niedriger ausgelegt werden (98). Der Eisvorrat muß aber in der Zeit bis zur folgenden Kühlung wieder ergänzt werden.

Als Kostenfaktor spielt der Elektroenergieverbrauch der Milchkühlung eine größere Rolle als der Leistungsanspruch. Der elektrische Energieverbrauch bei Milchkühlanlagen richtet sich nach der Wärmemenge, die der Milch zu entziehen ist, den Kälteverlusten, die wiederum durch Umgebungstemperatur, Bauart, Wärmedämmung und Auslastung der Anlage bestimmt werden. In Abb. 11 ist der Energieverbrauch von Direktkühlanlagen nach eigenen Messungen und vorliegenden Meßergebnissen (29, 34, 71, 139, 151) in Abhängigkeit der wichtigsten Faktoren - Raumtemperatur und Auslastung der Anlage - dargestellt (eintägige Abholung der Milch). Ausgegangen wird hierbei von einem spezifischen Elektroenergieverbrauch in Höhe von 1,34 kWh/100 l Milch bei 10° C Raumtemperatur und 100 % Auslastung. Dieser wird im folgenden als Basiswert (100 %) zugrunde gelegt.

Der Elektroenergieverbrauch steigt mit höherer Raumtemperatur an. Bei 20° C Raumtemperatur ist er beispielsweise um 57 % höher als der Ausgangswert.

Während sich bei 10° C Raumtemperatur die schlechtere Auslastung der Anlage nur wenig bemerkbar macht - bei 50 %iger Auslastung steigt der Energieverbrauch auf 112 % an - kann der Elektroenergieverbrauch bei 50 %iger Auslastung und 20° C Raumtemperatur um 128 % steigen. Die Ursache hierfür ist, daß bei sinkender Auslastung der Anlage die Kälteverluste steigen und die Nutzkälteleistung, bezogen auf den Behälterinhalt, etwa proportional sinkt. Diese in Abb. 11 gezeigten Werte sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

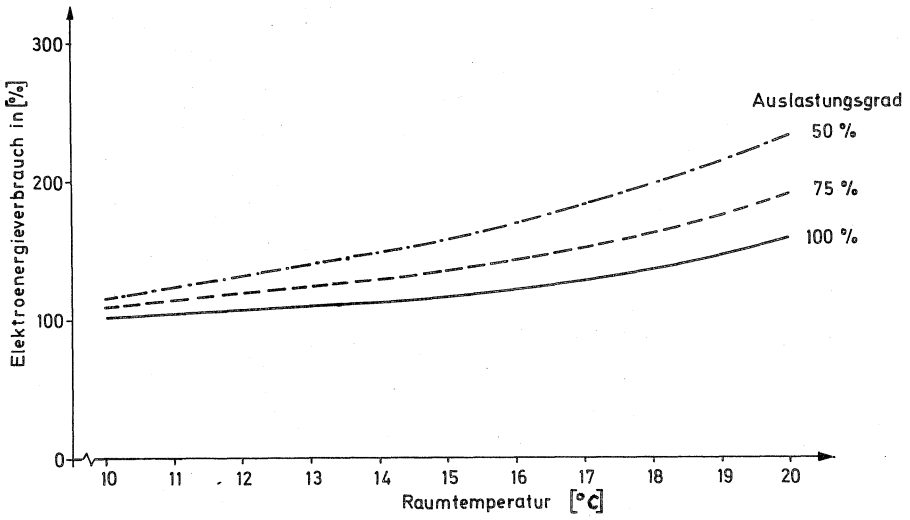


Abb. 11: Elektroenergieverbrauch bei der Milchkühlung (Direktkühlung)

Hieraus ist zu schließen, daß größere Energieeinsparungen in der Praxis möglich sind, wenn die Behältergröße richtig dimensioniert ist und Abwärme des Kälteaggregates nach außen abgeleitet wird, um die Temperatur in der Milchkammer niedrig zu halten.

Bei Indirektkühlanlagen sind die Verhältnisse ähnlich. Hier liegt aber der spezifische Elektroenergieverbrauch im allgemeinen 25 - 50 % höher als bei Direktanlagen (29, 31, 34, 85, 103, 151), weil

Tabelle 8: Änderung des Elektroenergieverbrauches mit der Raumtemperatur (in %)

Die Raumtemperatur von 10° C und 100 % Auslastung entspricht dem spezifischen Elektroenergieverbrauch 1,34 kWh/100 l Milch = 100 %		Raumtemperatur		
		10° C	15° C	20° C
	100 %	100	113	157
Auslastungsgrad der	75 %	110	150	183
Milchkühlanlage	50 %	112	160	228

durch die Verwendung eines Kälteträgers (Wasser) bei 2-fachem Wärmeübergang höhere Verluste auftreten.

Abschließend wurde in Tabelle 9 der elektrische Leistungsbedarf und der elektrische Energieverbrauch der Direktkühlanlagen für bestimmte Bestandsgrößen der Milchviehhaltung nach den vorher behandelten Grundlagen ermittelt. Dabei sind je nach Bestandsgröße die höchste anfallende Gemelksmenge und die notwendige Behältergröße für tägliche bzw. zweitägige Abholung der Milch nach KTL-Unterlagen (139) festgelegt.

Es wurde im allgemeinen eine durchschnittliche Milchleistung von 5.000 l je Kuh und Jahr unterstellt. Für den Elektroenergieverbrauch ist weiterhin im Milchraum eine durchschnittliche Temperatur von 15° C unterstellt, obwohl jahreszeitlich und je nach Anordnung des Milchraumes große Unterschiede auftreten.

Da der elektrische Leistungsbedarf nach der Höhe der gleichzeitig anfallenden Milchmenge ausgelegt wird, ergibt sich beispielsweise für einen Bestand von 20 Kühen bei einer gleichzeitig anfallenden Gemelksmenge von 200 l ein Leistungsbedarf von 1,0 kW. Bei der täglichen Abholung der Milch beträgt der Elektroenergie-

verbrauch ca. 76 kWh/Kuh und Jahr (100 % Auslastung der Anlage). Ein zweitägiger Abholrhythmus führt bei gleichbleibendem Leistungsbedarf zu einem um 15 % höheren Stromverbrauch (87 kWh/Kuh und Jahr).
Nach gleicher Methodik errechnen sich für die großen Bestände (40 - 80 Kühe) die in der Tabelle 9 angegebenen Leistungswerte von 2 - 4 kW. Hier treten die durch den Abholrhythmus hervorgerufenen Unterschiede des Elektroenergieverbrauches stärker in den Vordergrund. Wesentlich bedeutungsvoller sind die in der Abb. 11 dargestellten Einflüsse von Raumtemperatur und Auslastung der Kühlanlage. Beispielsweise ergibt sich bei einem Bestand von 80 Kühen mit einer 100 %igen Auslastung des Behälters ein jährlicher Stromverbrauch von 6080 kWh (Ø Raumtemperatur 15° C). Liegt die Auslastung bei 50 % mit einer mittleren Raumtemperatur von 20° C, so ist ein um 128 % höherer Stromverbrauch zu erwarten (13862 kWh/Jahr).
Aus diesen Angaben geht hervor, daß die Leistungsansprüche der Milchkühlanlagen - wie bereits angedeutet - weniger im Vordergrund stehen als der Elektroenergieverbrauch. Hier kann durch die richtige Dimensionierung des Kühlbehälters ein wesentlicher Einfluß auf die Kosten des Elektroenergieverbrauches gegeben werden. Weiterhin ist zu beachten, daß die Abluft des Kälteaggregates aus der Milchkammer geleitet wird, um den negativen Einfluß der Raumtemperatur zu vermeiden.

Bei indirekten Milchkühlanlagen muß der Vorteil darin gesehen werden, daß die Leistungsanforderung um 40 % geringer ist als bei direkten Milchkühlanlagen und die Hauptbelastung außerhalb der Melkzeiten auftritt, allerdings aufgrund des zweifachen Wärmeüberganges mit 25 - 50 % höhere Elektroenergieverbrauch.

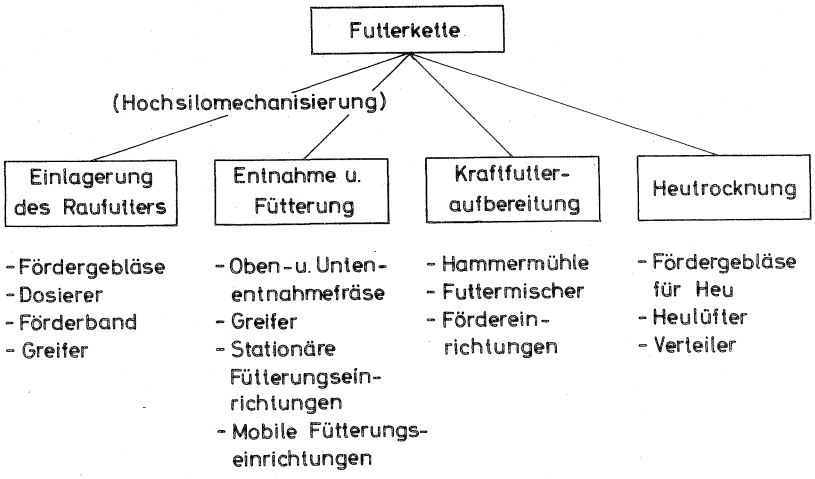
Tabelle 9: Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch bei Direktmilchkühlung

Bestandsgröße	Jahresmilchmenge (Ø 5000 l/Kuh)	Höchstgemelk	Behältergröße		Elektrischer Leistungsbedarf	Elektrischer Energieverbrauch (100 % Auslastung, Ø 15°C Raumtemperatur)	
			Tägliche Abholung	2-tägige Abholung		Tägliche Abholung	2-tägige Abholung
Kühe	Liter/Jahr	Liter	Liter	Liter	kW	kWh/Jahr	kWh/Jahr
20	100.000	200	400	800	1,0	1520	1748
40	200.000	400	800	1600	2,0	3040	3496
60	300.000	600	1200	2400	3,0	4560	5244
80	400.000	800	1600	3600	4,0	6080	6992

3.2 Futterkette

Für die Milchviehhaltung sind neben den bisher beschriebenen Geräten zur Milchgewinnung die Verfahren der Futterkette mit den zugehörigen Maschinen und Geräten aufgrund der hohen Leistungsansprüche elektrizitätswirtschaftlich von großer Bedeutung. Diese Bereiche werden im folgenden zusammenfassend behandelt, wobei im wesentlichen auf die gleichzeitig durch VON HEYL erarbeiteten Daten zurückgegriffen wird.

Eine Auswahl der hinsichtlich des Elektrizitätseinsatzes hervortretenden Teilbereiche der Futterkette ist in Übersicht 3 systematisch zusammengestellt.



Übersicht 3

Die Hochsilomechanisierung mit den Einlagerungs- und Entnahmegeräten sowie die mechanischen Fütterungseinrichtungen stehen hierbei im Vordergrund. Außerdem nimmt neben den Geräten zur Kraftfutteraufbereitung in vielen Betrieben die Heutrocknung eine wichtige Stellung ein. Weitere, in der Praxis verbreitete und der Futterkette zuzuordnende Verfahren (Flachsilomechanisierung, hofeigene Getreideaufbereitung) können dagegen an dieser Stelle unberücksichtigt bleiben.

3.2.1 Futtereinlagerung (Hochsilos)

Zur Futtereinlagerung in Hochsilos sind verschiedene Fördergeräte in Abhängigkeit vom Ernteverfahren geeignet. In der Kurzgutkette können Fördergebläse und Höhenförderer, in der Langgutkette dagegen vornehmlich Greiferanlagen eingesetzt werden. Eine Zwischenstellung nimmt die gebrochene Langgutkette ein. Hierbei wird das Langgut mit Standhäckslern zerkleinert und in das Hochsilo gefördert. Außerdem kommt - wie noch gezeigt wird - dem Dosiergerät beim verfahrenstechnischen Ablauf der Futtereinlagerung besondere Bedeutung zu.

Nachfolgend wird vor allem der Leistungsbedarf der einzelnen Geräte der Futterkette untersucht, da hier besonders hohe Leistungsansprüche auftreten. Dem Ziel der Arbeit zufolge muß dann nach Möglichkeiten der Leistungssenkung gesucht werden. Dagegen tritt der Elektroenergieverbrauch wegen der kurzen Einsatzdauer der Geräte in den Hintergrund.

3.2.1.1 Fördergebläse und Gebläsehäcksler

Als Fördergebläse dienen in der Praxis vornehmlich Wurfgebläse mit wesentlicher pneumatischer Unterstützung, da eine alleinige Wurfförderung von Halmgut nur bei geringen Förderhöhen möglich ist (117).

Der Leistungsbedarf des Fördergebläses hängt von der Bauart des Gebläses ab. Hierbei sind vor allem die Ausbildung der Schaufeln und ihre Umfangsgeschwindigkeit, der Rohrdurchmesser sowie daraus resultierend der Luftvolumenstrom und die Luftgeschwindigkeit in der Förderleitung von Bedeutung. Weitere wesentliche Einflußgrößen sind Durchsatz und die Beschaffenheit (Schwebegeschwindigkeit, Trockenmassegehalt) des Fördergutes. Der Trockenmassegehalt spielt je nach Bauart des Gebläses eine unterschiedliche Rolle.

Die in der Literatur vorliegenden Leistungsdaten von Fördergebläsen resultieren jeweils aus bestimmten Einsatzbedingungen, welche nicht immer für deutsche Verhältnisse zutreffen. Daher führ-

te SCHURIG (92) an ausgewählten Gebläsen mit Wiesengras und Silomais neuerliche Messungen durch. Die Ergebnisse wurden durch VON HEYL ergänzt und zusammengestellt. Die in die Untersuchung einbezogenen Gebläse entsprechen dem neueren Stand der Technik und zeichnen sich durch hohe Umfangsgeschwindigkeit der Schaufeln (34 - 45 m/s) und hohe Luftgeschwindigkeit (Rohrdurchmesser 230 bis 310 mm) von 25 bis 35 m/s aus.

Aus den Meßergebnissen werden hier nur diejenigen Leistungsdaten angegeben, die für die Verfahrensbeispiele der Betriebsmodelle (Kap. 4) herangezogen werden (Tab. 10).

Tabelle 10: Elektrischer Leistungsbedarf von Fördergebläsen (13 m Förderhöhe, 220/310 mm Rohrdurchmesser, 540 l/min)

Fördergut	Leistungsbedarf	Förderleistung	spezifischer Leistungsbedarf
	kW	t/h	kW/(t/h)
Anwelkgut (30 % TM)	25 15	35 (max) 20	0,71 0,75
Y = 0,65X+1,06 (r= 0,97*** n=37)	12 8	15 10	0,77 0,80
Silomais (30 % TM)	35 25	85 (max) 50	0,41 0,50
Y = 0,43X+2,49 (r= 0,95*** n=28)	18 15	35 25	0,51 0,60
Heu (gehäckselt 65 - 71 % TM Förderhöhe 5 m)	15 8	8 5	1,87 1,60

Die Werte von Tabelle 10 gelten für 13 m Förderhöhe bei Anwelkgut (30 % TM) und Silomais (30 % TM). Bei der Förderung von Anwelkgut konnten maximal 35 t/h mit einem Leistungsbedarf in Höhe von 25 kW durchgesetzt werden. Bei Silomais sind aufgrund der spezifischen Beschaffenheit des Fördergutes 85 t/h gefördert worden. Hierbei trat ein Leistungsbedarf von 35 kW auf.

Dementsprechend beträgt der spezifische Leistungsbedarf bei der Förderung von Silomais 0,41 - 0,60 kW/(t/h), von Anwelkgut 0,71 bis 0,80 kW/(t/h).

Weiterhin sind in der Tabelle 10 Leistungsdaten für die Heuförderung eingetragen. Hierzu werden meistens Gebläse mit großem Rohrdurchmesser (400 - 450 mm) und hoher Luftförderung verwendet. Dadurch tritt ein charakteristisch hoher Leistungsbedarf auf. Mit 15 kW konnten lediglich 8 t/h gefördert werden (1,87 kW/t/h). Die sich aus dem höheren Leistungsbedarf der pneumatischen Fördergeräte ergebende Problematik wird in einem weiteren Kapitel, nämlich beim Vergleich der Verfahren zur Gärfuttereinlagerung (Kap. 3.2.1.5), verdeutlicht.

Tabelle 11: Elektrischer Leistungsbedarf (kW) und Förderleistung (t/h) von Gebläsehäcksler

Fördergut	Leistungsbedarf	Förderleistung	spezifischer Leistungsbedarf
	kW	t/h	kW/(t/h)
Heu (85 % TM)	15	8 (max)	1,88
	10	5	2,00
Grüngut (20-23 % TM)	20	20 (max)	1,00
	16	15	1,07
	11	10	1,10

Gebläsehäcksler fördern nach Angaben von HONIG (34) bei Grüngut maximal 15 t/h mit einem Leistungsbedarf von 16 kW, bei Heu maximal 5 t/h mit einem Leistungsbedarf von 10 kW (Schnittlänge 12 cm). Diese Werte wurden jedoch in neuerlichen, in Weihenstephan durchgeführten Messungen übertroffen. Nach diesen Ergebnissen sind bei Grüngut (20 - 23 % TM) 20 t/h und bei Heu (85 % TM) 8 t/h zu fördern, ohne daß sich der spezifische Leistungsbedarf ändert (Tab. 11).

3.2.1.2 Höhenförderer

Höhenförderer eignen sich zwar zur Befüllung von Hochsilos, sie haben allerdings den Nachteil des hohen Platzbedarfes, der beschränkten Förderhöhe, sowie des hohen Kapitalaufwandes. Die Vorteile sind im geringen Leistungsbedarf und in der besonderen Eignung zur Förderung schwerer Güter zu sehen (27).

Bei Höhenförderern ist zwischen zwei Prinzipien zu unterscheiden: Den Kettenförderern und den Förderbändern. Bei den Kettenförderern ist die Art des Fördergutes bzw. dessen Reibungsbeiwert für die Leistungsaufnahme von Bedeutung (34), während bei Förderbändern mit endlosem Band der Neigungswinkel beeinflussend wirkt. In der Tabelle 12 sind nach SCHURIG (92) und Firmenangaben (159) die Leistungswerte eines Kettenförderers und eines Förderbandes bei Förderhöhen von 5, 10 und 14 m zusammengestellt.

Tabelle 12: Elektrischer Leistungsbedarf (kW) und Förderleistung (t/h) von Höhenförderern in Abhängigkeit von der Förderhöhe (Silomais, 25 % TM)

Förderhöhe	Leistungsbedarf	Förderleistung	spezifischer Leistungsbedarf
m	kW	t/h	kW/(t/h)
5 (Kettenförderer)	3,0 2,0 1,0	40 20 10	0,08 0,10 0,10
10 (Kettenförderer)	4,0 2,5 1,5	40 20 10	0,10 0,13 0,15
14 (Förderband)	4,0 3,0 2,0	27 20 10	0,15 0,15 0,20

Bei einer Kettengeschwindigkeit von 0,25 m/s und einer Förderhöhe von 5 m werden 40 t/h Silomais gefördert. Der spezifische Leistungsbedarf beträgt dabei 0,08 kW/(t/h). Bei 10 m Förderhöhe und einem maximalen Durchsatz von 40 t/h steigt der Leistungsbedarf auf 0,10 - 0,13 kW/(t/h). Mit einem Förderband wurden bei 14 m Förderhöhe maximal 27 t/h Silomais (25 % TM) gefördert. Der Leistungsbedarf liegt dann bei 0,14 kW/(t/h).

Bei der Verwendung von Höhenförderern ist, wie die Werte in Tabelle 12 zeigen, mit wesentlich geringeren Leistungsansprüchen zu rechnen. Bei einer maximalen Förderleistung von 40 t/h treten lediglich 3 - 4 kW auf, wodurch gegenüber den pneumatischen Fördergeräten ein wesentlicher Vorteil gegeben ist. Auch diese Geräte sind daher in die vergleichende Gegenüberstellung der Verfahren zur Futtereinlagerung einbezogen.

3.2.1.3 Dosiereinrichtungen

Die Dosiergeräte können den bisher beschriebenen Fördergeräten zugeordnet werden und führen bei der Hochsiloeinlagerung zu folgenden verfahrenstechnischen Vorteilen: In der Langgutkette kann nach der Entleerung des Ladewagens eine gleichmäßige Beschickung ohne Handarbeit erreicht werden. Darüber hinaus ermöglichen diese Geräte in der Kurzgutkette bei Schnellentleerung der Transportfahrzeuge eine kontinuierliche Einlagerung.

Die Dosiergeräte arbeiten mit schräg nach oben führender Kratzkette, wobei die Mengenregulierung durch die unterschiedliche Vorschubgeschwindigkeit und zusätzliche Abstreifvorrichtungen, Rechenketten oder Dosierwalzen erfolgt. In der Praxis sind zwei wesentliche Bauarten verbreitet:

1. Bewegliche Dosiergeräte, welche automatisch in einer halbkreisförmigen Bewegung das auf den Boden entleerte Halmgut aufnehmen. Diese Geräte werden in der gebrochenen Langgutkette in Verbindung mit Gebläsehäcksler verwendet.
2. Stationäre Dosiereinrichtungen, welche in Verbindung mit Dosiertischen das Häckselgut aufnehmen.

Der Leistungsbedarf der Kratzketten mit Abstreifvorrichtungen ist gering. Nach Firmenangaben (159) sind E-Motoren mit 2,2 - 4,0 kW Nennleistung vorgesehen (Tab. 13).

Die stationären Dosiertische werden in der Regel mit 2,2 kW-Motoren angetrieben, wobei sie nach Messungen VON HEYL'S lediglich zu 50 bis 60 % ihrer Nennleistung ausgelastet sind.

Höhere Leistungsansprüche treten bei Dosierwalzen auf. Nach WIENEKE (117) kann bei langem Halmgut und einem Durchsatz von 15 t/h ein maximaler Leistungsbdarf von 16,5 kW auftreten. Bei Kurzgut ist für die Dosierwalzen eine Antriebsleistung von 5,5 kW ausreichend (maximale Durchsatzleistung: 25 t/h, Tab. 13).

Tabelle 13: Elektrischer Leistungsbedarf von Dosiergeräten

		Leistungsbedarf kW	Förderleistung t/h	spez. Leistungsb. kW/(t/h)
Dosiertisch mit Rechenkette		4,0	10 - 25	0,20 - 0,16
Dosierwalzen	Kurzgut	5,5	10 - 25	0,55 - 0,22
	Langgut	16,5	15 (max)	1,1

Trotz des zusätzlichen Leistungsbedarfes für ihren eigenen Antrieb führen die Dosiergeräte jedoch in der Kurzgutkette zu wensentlichen Leistungssenkungen der gesamten Einlagerungsverfahren. Durch die gleichmäßige Zuführung des Fördergutes werden hohe Leistungsspitzen bei Fördergebläsen verhindert. Außerdem können, wie in dem Kapitel 3.2.1.5 erläutert wird, die Leistungsansprüche des Fördergebläses bis zu 50 % gesenkt werden, da ein kontinuierlicher Einlagerungsvorgang ermöglicht wird. Dies ist besonders bei den schlagkräftigen Verfahren und hohen Einlagerungsmengen von Bedeutung.

3.2.1.4 Greifer und Laufkrananlagen

Aufgrund der universellen Einsatzmöglichkeiten als Einlagerungs-, Entnahme- und Transporteinrichtung bei der Heu- und Silagewirtschaft haben die Laufkrananlagen in Verbindung mit der Futterbergehalle vor allem in Grünlandgebieten an Bedeutung gewonnen (97). Funktionssicherheit, einfache Bedienung, geringe Rüstzeiten und geringer Leistungsbedarf der Laufkrananlagen stellen weitere Vorteile dar, wobei sich allerdings die begrenzte Förderleistung sowie die Abhängigkeit von baulichen Voraussetzungen nachteilig auswirken. Abb. 12 zeigt ein Beispiel für die Anordnung von Futterhalle und Stallgebäude.

Die Einlagerungs- bzw. Entnahmeleistungen der Krananlagen sind von der Fahrgeschwindigkeit des Kranes, der Hubgeschwindigkeit der Zangen, der Zangenfüllung (Dauer der einzelnen Arbeitstakte) sowie von der Geschicklichkeit der Bedienungsperson abhängig (46). Bei der Einlagerung von Grassilage (33 % TM) ist bei 10 m Förderweg eine Leistung von ca. 7,5 t in der Stunde erreichbar, bei routinierter Bedienung sogar bis 9,0 t/h. Bei Heu mit 80 % TM und Förderwegen zwischen 10 und 20 m liegt die Einlagerungsleistung zwischen 4 und 6 t/h (Tab. 14).

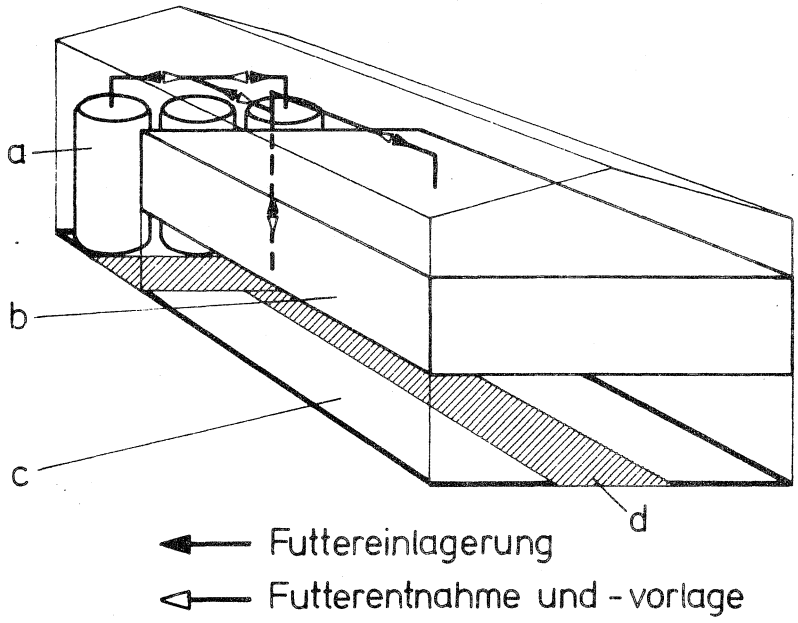


Abb. 12: Beispiel zur Anordnung von Futterhalle und Stallgebäude für Laufkrananlagen (nach BLÜMEL et al. 4) a = Gärfuttersilo, b = Heulager, c = Stall, d = Transportweg

Tabelle 14: Elektrischer Leistungsbedarf von Krananlagen Gärfuttereinlagerung

Futterart	inst. Leistung	Förderleistung	spezifischer Leistungsbedarf
	kW	t/h*	kW/(t/h) *
Anwelkgut	2,7	9	0,16
Heu	2,7	6	0,25

*Bei der Entnahme liegen die Werte etwa 30 % höher

Bei der Entnahme aus Hochsilos sind, je nach Hubgeschwindigkeit und Förderlänge, Entnahmeleistungen bis zu 14 t/h möglich. Die installierte Leistung beträgt etwa 2,7 kW (für manche Bauarten mit hydraulisch betriebener Zange zusätzlich 3 kW für die Hydraulikpumpe).

Weihenstephaner Messungen haben gezeigt, daß bei der Einlagerung etwa durchschnittlich 1 kW aufgenommen wird, wobei die Leistungsaufnahme bei der Entnahme, bedingt durch höhere Zangenfüllgewichte, 30 % höher liegt. Der Elektroenergieverbrauch ist demnach mit 0,37 - 0,57 kWh/t anzugeben (Einlagern und Entnahme).

3.2.1.5 Vergleichende Zusammenstellung der Geräte zur Futtereinlagerung

Die Geräte zur Futtereinlagerung müssen nun hinsichtlich des elektrischen Leistungsbedarfes und Energieverbrauches einer vergleichenden Betrachtung unterzogen werden. Dies erfolgt anhand von Beispielen. Dazu werden Bestandsgrößen mit 25, 40 und 60 Kühen herangezogen.

SCHÖN (88) errechnete die für unterschiedliche Bestandsgrößen der Milchviehhaltung erforderlichen Bergeleistungen bei der Ernte von Anwelksilage. Nach Berücksichtigung der in Abb. 13 ge-

nannten Unterstellung ist beispielsweise bei einem Bestand von 25 Kühen eine Bergeleistung in Höhe von 3,7 t/h, bei 40 Kühen von 6 t/h und bei 60 Kühen von 9 t/h erforderlich.

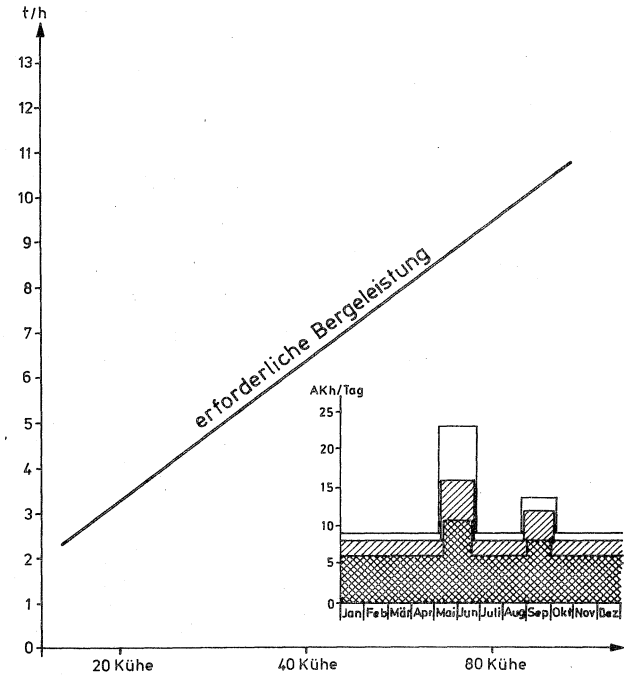


Abb. 13: Erforderliche Schlagkraft bei der Bergung von Anwelksilage - 6 x 2 Tagesperioden, 6 h/Tag, 30 kg/Kuh und Tag mit 33 %, 200 Tage Winterfütterung (nach SCHÖN, 88)

Für die Auswahl der Einlagerungsgeräte ist die erreichbare Förderleistung maßgebend. Um die notwendige Förderleistung zu errechnen, wurden folgende Unterstellungen getroffen (88):

1000	m	Feldentfernung
300	m	Schlaglänge
12	km/h	Transportgeschwindigkeit
12	t/ha	Ertrag

Das Arbeitsverfahren mit Langgut (1 AK, mit Ladewagen) hat eine Bergeleistung von 3,7 t/h (Tab. 15). Die benötigte Einlagerungsleistung in Höhe von 7,0 t/h ist mit Greiferanlagen zu erreichen. In diesem Fall liegt der Leistungsbedarf mit 1,0 kW wesent-

lich niedriger als beim Einsatz eines Gebläsehäckslers in Verbindung mit Dosierer (14,0 kW). Diesen Verfahren ist ein Bestand mit 25 Kühen zuzuordnen. Daraus resultiert ein Elektroenergieverbrauch von 27 kWh bei Greifern und von 318 kWh bei Gebläsehäckslern einschließlich Dosierer (Tab. 15).

In der Kurzgutkette (1 AK mit gezogenem Häckselladewagen) beträgt die Bergeleistung 4,2 t/h. Hierzu muß aufgrund der kurzen Abladezeit ein Fördergebläse 24 t in der Stunde leisten. Daher steigt der elektrische Leistungsbedarf auf 17 kW (installierte Motorleistung: 15 kW) an.

Einer Bestandsgröße mit 40 Kühen wird im Beispiel der Tab. 15 das 2 AK-Verfahren (2 Automatikwagen, Häckselkette) mit einer Bergeleistung von 9 t/h zugeordnet. Die benötigte Förderleistung ist bei diesem absätzigen Verfahren aufgrund der langen Abladezeiten niedriger (18 t/h). Hierbei kann ein Gebläse (Leistungsbedarf; 12 kW) oder ein Höhenförderer mit wesentlich niedrigerem Leistungsanspruch (4 kW) eingesetzt werden.

Die Alternative Gebläse mit Dosierer ist in der Tabelle 15 hierbei nicht berücksichtigt, da trotz geringerer Gebläseleistung (8 kW, bei einer Förderleistung 9 t/h) keine wesentliche Leistungssenkung erreicht wird. Dagegen führt der Einsatz eines Dosiergerätes beim Umhängeverfahren mit 3 AK (Bestandsgröße 60 Kühe) zu hohen Leistungseinsparungen am Fördergebläse. Bei reibungslosem Ablauf des Verfahrens ist die Förderleistung mit der Bergeleistung gleichzusetzen, so daß für Gebläse mit Dosiertisch lediglich 12 kW benötigt werden. Andernfalls muß das Fördergebläse (ohne Dosierer) 30 t in der Stunde fördern (Leistungsbedarf; 23 kW).
Hinsichtlich des Leistungsbedarfes ist wiederum der Höhenförderer in Verbindung mit einem Dosiertisch als beste Lösung zu beurteilen. In diesem Fall werden lediglich 8 kW beansprucht.

Tabelle 15: Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch zur Gärfuttereinlagerung in der Milchviehhaltung in Abhängigkeit von der Bestandsgröße und der Einlagerungsverfahren (Anwelkgut; 33 % TM, 12 t/ha)

Bestandsgröße		25 Kühe			40 Kühe		60 Kühe		
Ernteverfahren		1 AK, 1 Häckselladewagen			2 AK, 2 Automatikwagen		3 AK, 3 Aut.-Wag. (Umhängevrf)		
		Langgut LW		Kurzgut gez.HLW	Kurzgut		Kurzgut		
Bergeleistung	t/h	3,7		4,2	9,0		11,0		
Förderleistung	t/h	7,0		24,0	18,0		30,0	11,0	
Einlagerungsverfahren		Gebläse-häcksler +Dosierer	Greifer	Gebläse	Gebläse	Höhenförderer	Gebläse	Gebläse+ Dosierer	Höhenförderer + Dosierer
Elektr. Leistungsbedarf	kW	14,0	1,0	17,0	12,0	4,0	23,0	12,0	8,0
Jährlicher Elektro-Energieverbrauch	kWh	318	27	113	180	60	192	438	272
Einsatzdauer	h	23	23	7	15	15	13	34	34

In der Praxis kann die Auswahl der Fördergeräte auch nach anderen Gesichtspunkten erfolgen, nach baulichen und räumlichen Verhältnissen, der Bedienbarkeit und den Investitionskosten. Die in der Tabelle 15 dargestellten Verfahrensbeispiele zeigen jedoch, daß bei der Hochsiloeinlagerung ein großer Spielraum für Leistungseinsparungen gegeben ist.

Der hohe Leistungsbedarf der Verfahren mit Fördergebläse ist um 50 % zu reduzieren, indem man durch Dosiertische einen kontinuierlichen Einlagerungsvorgang herbeiführt. Eine weitere wesentliche Alternative besteht in der Verwendung von Höhenförderern. Falls bei kurzen Abladezeiten die momentane Förderleistung nicht ausreichend ist, können auch hier in Verbindung mit Dosiertischen bei geringeren Leistungsansprüchen höchste Verfahrensleistungen erzielt werden.

Diese Möglichkeiten der Leistungssenkungen durch die Auswahl des Einlagerungsverfahrens werden bei der Zusammenstellung der Betriebsmodelle erneut aufgegriffen, so daß dann die elektrizitätswirtschaftlichen Auswirkungen verdeutlicht werden.

3.2.2 Futterentnahme- und Fütterungseinrichtungen

3.2.2.1 Siloentnahmefräsen

Ein wichtiges Glied in der vollmechanisierten Arbeitskette der Silowirtschaft stellen die Silofräsen dar. Man unterscheidet zwischen Oben- und Untenentnahmefräsen. Letztere arbeiten mit einem langsam umlaufenden Fräsarm, welcher an der Unterseite des Futterstockes das Futter abträgt. Die Silage wird entweder durch eine zentrale Öffnung nach unten ausgeworfen oder durch eine Futterkette zur Seite gefördert. Diese Fräsen werden in gasdichten Metallsilos mit speziell gebautem Sockel eingesetzt. Durch die Zugehörigkeit zu diesen aufwendigen und großen Silobehältern sowie die Störanfälligkeit gegenüber bestimmten Futterarten (keine Möglichkeit zur Handentnahme) fand diese Fräsenbauart in der Bundesrepublik weniger Eingang in die Praxis (27).

Die Obenentnahmefräsen hängen an einem Seil im Silo und werden durch seitliche Rollen an der Silowand geführt. Schnecken oder Kettenbänder fräsen das Futter ab, ein Wurfgebläse fördert das Gut durch Auswurfluken nach außen. Über das Halteseil wird eine Durchsatzregelung über das Fräsmoment oder die Stromaufnahme erreicht, so daß eine gleichmäßige und nahezu verstopfungsfreie Futterentnahme möglich ist (117). Der Leistungsbedarf von Obenentnahmefräsen hängt stark von deren Förderleistung ab, wobei für die Förderleistung vor allem die Schnittlänge der Silage und der Trockenmassegehalt entscheidend sind. Eine nur geringe direkte Abhängigkeit besteht zwischen der Förderleistung und dem Raumgewicht sowie der Drehzahl des Gebläses (7, 106).

Wie Messungen von WEIDINGER u. a. (106) zeigen, tritt bei der Leistungsaufnahme von Entnahmefräsen, bedingt durch ihre unterschiedliche Bauart (Schneckenfräse, Kettenfräse) sowie durch die Eigenschaften des Fördergutes, eine große Streubreite auf. Diese Meßwerte sind in der Tabelle 16 zusammengefaßt, wobei zur Angabe des Zerkleinerungsgrades der Anwelksilage folgende Defi-

nitionen zugrunde gelegt sind (106):

Zerkleinerungsgrad "gut": weniger als 15 % Gewichtsanteil in der Siebfraktion > 25 mm.

Zerkleinerungsgrad "schlecht": mehr als 25 % Gewichtanteil in der Siebfraktion > 25 mm.

Tabelle 16: Der elektrische Leistungsbedarf und Energieverbrauch von Siloentnahmefräsen in unterschiedlichen Bestandsgrößen der Milchviehhaltung (Anwelksilage, 200 Stalltage, 30 kg Silage/Kuh und Tag)

	Zerkleinerungsgrad und TM %	Förderleistung	Elektrischer Leistungsbedarf		Bestandsgröße (Kühe)			Spezifischer Elektroenergieverbrauch
			gesamt	spezifisch	40	60	80	
		t/h	kW	kW/(t/h)	kWh/Jahr	kWh/Jahr	kWh/Jahr	kWh/Kuh u.Jahr
Obenfräse	"gut", 30-40%	5,0 (max)	11	2,2	528	792	1056	13,2
		2,5	8	3,2	768	1152	1536	19,2
	"schlecht", 25-30%	2,0	11	5,5	1320	1980	2640	33,0
		1,0	8	8,0	1920	2880	3840	48,0
Untenfräse	"gut", 30-40 %	2,5 (max)	11	4,4	1056	1584	2112	26,4
		1,0	8	8,0	1920	2880	3840	48,0

Bei der Entnahme von Anwelksilage sind nur bei gutem Zerkleinerungsgrad Entnahmeleistungen bis zu 5 t/h (mit Obenfräsen) möglich, wobei 2,2 kW (t/h) benötigt werden (Tab. 16). Bei "schlechtem" Zerkleinerungsgrad steigt der Energieaufwand auf 4,4 kW/(t/h) (max. 44 t/h).

Der Leistungsbedarf wurde in der Tabelle 16 jeweils mit 11 bzw. 8 kW angegeben. Dies entspricht dem Bereich der Nennleistungen der zur Zeit auf dem Markt befindlichen Fräsenbauarten. Wesentliche Leistungssenkungen sind hierbei nicht möglich, da sonst die Funktionssicherheit bei der Entnahme von Anwelksilage nicht gewährleistet ist. In jedem Fall muß auf eine "gute" Zerkleinerung bei der Gewinnung der Anwelksilage geachtet werden, weil andernfalls aufgrund der geringen Entnahmeleistungen die Laufzeit und dementsprechend der jährliche Elektroenergieverbrauch

bis zu 100 % höher ist.

Der Elektroenergieverbrauch liegt nach Tabelle 15 beispielsweise bei "gutem" Zerkleinerungsgrad für 80 Kühe zwischen 1056 kWh/Jahr (13,2 kWh/Kuh und Jahr, Leistungsbedarf: 11 kW) und 1526 kWh/Jahr (19,2 kWh/Kuh und Jahr, Leistungsbedarf: 8 kW), bei "schlechtem" Zerkleinerungsgrad dagegen zwischen 2640 kWh/Jahr (38,0 kWh/Kuh und Jahr) und 3840 kWh/Jahr (48,0 kWh/Kuh und Jahr).

Der Elektroenergieaufwand der Untenentnahmefräse liegt bei "guten" Einsatzbedingungen 50 - 70 % höher. Das ist darauf zurückzuführen, daß bei gleichem Leistungsbedarf 30 - 50 % der vergleichbaren Futtermenge ausgetragen werden (117).

Aus elektrizitätswirtschaftlicher Sicht ist der Einsatz der Siloentnahmefräsen aufgrund der hohen Leistungsanprüche ungünstig. Wie bereits erwähnt,ist jedoch keine wesentliche Leistungssenkung möglich, da die Praxis eine schnelle und sichere Entnahme des Gärfutters fordert.

3.2.2.2 Mechanische Futtervorlage

Weitere Mechanisierungsglieder der Hochsilomechanisierung sind die Fütterungseinrichtungen. Hierzu eignen sich sowohl stationäre Verteilanlagen als auch mobile Fütterungsgeräte.

Die stationären Anlagen sind in der Praxis wenig verbreitet, da sie nur in spezialisierten größeren Beständen (> 40 Kühe) sinnvoll eingesetzt werden können (108). WEIDINGER (107) untersuchte die Funktion dieser stationären Fütterungseinrichtungen, welche als Schnecken-, Schubstangen- oder als Kettenförderer ausgebildet sein können. Außerdem sind Hängebahnförderer oder Förderbandverteiler einzusetzen. Die elektrischen Leistungswerte unterscheiden sich bei diesen Geräten je nach Förderleistung in Abhängigkeit von den Konstruktionsmerkmalen. Tabelle 17 enthält die Ergebnisse der vorgenannten Untersuchung, ohne daß auf weitere

mehr qualitative Aussagen wie Funktionssicherheit und Verteilgenauigkeit näher eingegangen wird. Hierbei sind neben der erreichbaren Förderleistung bei Gras- und Maissilage (kg/min) die gemessenen durchschnittlichen spezifischen Leistungswerte (kW/m) angegeben. Daraus wurden die Bedarfswerte für bestimmte Tierzahlen und die dazugehörige erforderliche Nennleistung der Motoren errechnet, wobei insbesondere bei Förderschnecken auf Grund der Anfälligkeit bei ungleichmäßiger Zuführung höhere Nennleistungen zu wählen sind.

Die Errechnung der erforderlichen Förderlänge basiert bei Anbindeställen auf einer Krippenlänge von 1,1 m je Kuh (zweireihige Aufstallung) bei Laufställen 0,8 m je Kuh (beiderseitiger Zugang zur Futterkrippe).

Tabelle 17: Mechanische Futterverteileinrichtungen (nach WEIDINGER, 107)

Bauart	max. Förderleistung kg/min		Leistungsaufnahme (durchschnittl.) kW/m	Leistungsbedarf (kW) bei 40 60 80 Kühen (einschl. 5 m Förderweg)			Erforderliche inst. Leistung kW
	Gras	Mais					
Laufställe [1]							
Schnecken	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
Anbindeställe [2]				(einschl. 10 m Förderweg)			
Hängebahnförderer [3]	110	250	0,10	1,1	1,4	1,7	1,5 - 2,2
Förderbandverteiler	100	200	0,10	2,2	2,8	3,4	2,2 - 4,0

[1] 0,8 m Krippelänge/Kuh (beidseitiger Zugang)
[2] 1,1 m Krippelänge/Kuh
[3] Zuführung des Futters von der Stallmitte

Für Schneckenförderer sind in Beständen mit 40 - 80 Kühen hohe Leistungen von 5,5 - 7,5 kW zu installieren. Als günstigste der stationären Fütterungsanlagen zeichnet sich der Hängebahnförderer mit installierten Leistungen in Höhe von 1,5 - 2,2 kW ab,

da die Zuführung des Futters von der Stallmitte her erfolgt (kurzer Förderweg).

Der Elektroenergieverbrauch errechnet sich je nach Futterration aus der Förderleistung der Anlage und dem gesamten elektrischen Leistungsbedarf. Bei einem Bestand von 40 Kühen ergibt sich beispielsweise für Schneckenförderer ein jährlicher Elektroenergieverbrauch in Höhe von 252 kWh (Grassilage, 200 Stalltage, 30 kg Silage pro Kuh und Tag). Dieser Wert liegt bei Hängebahnförderern mit 44 kWh/Jahr (1,1 kWh/Kuh und Jahr) wiederum am niedrigsten, da sie mit geringem Leistungsbedarf (1,1 kW) fast die doppelte Silagemenge fördern (110 kg Grassilage/min). Außerdem sind die Hängebahnförderer auch wegen der Funktionssicherheit sehr vorteilhaft.

Fütterungswagen (mobile Fütterungsgeräte) erlauben eine gute Anpassung an vorhandene Gebäude. Sie sind als Anhängergeräte für Schlepper (5 - 10 m^3 Fassungsvermögen) vor allem bei großen Rinderbeständen geeignet. Die mit Elektroenergie betriebenen Fütterungswagen weisen ein Fassungsvermögen zwischen 2,5 und 5 m^3 auf, wobei die Stromversorgung über Schleppkabel, Schleifschienen oder Batterieantrieb möglich ist. Diese Geräte sind für die hier ausgewählten Bestandsgrößen der Milchviehhaltung (bis zu 80 Kühen) geeignet, da sie die für eine Mahlzeit benötigte Futtermenge fassen (15 kg Silage/Kuh und Mahlzeit, 250 kg/m^3 Silage). Der Wageninhalt wird mit einem Kratzboden zu den Verteilerwalzen bewegt und über ein Querförderband ausgebracht. Dies ist vor allem bei der gleichzeitigen Zuteilung von Grundfutter und Kraftfutterkomponenten von Bedeutung.

Die Nennleistung der Antriebsmotoren ist sehr gering. Beim netzgebundenen Fahrzeug sind 1,0 kW für Antrieb und 1,5 kW für Verteilung vorgesehen. Bei größeren Fahrzeugen (5 m^3) erfordern die Verteilhaspeln 2,0 kW. Die Batteriefahrzeuge sind mit 0,6 bzw. 1,0 kW Gleichstrommotoren für den Antrieb und 1,2 kW für die Verteilung ausgestattet.

Die durchschnittliche Leistungsaufnahme lag bei den Messungen VON HEYL'S mit Silage (Befüllung mit Obenentnahmefräse) bei 0,6 - 0,7 kW (Wageninhalt 5 m^3). Sie kann aber bei Frontladerbefüllung 60 % höher liegen (107).

Der gesamte Elektroenergieverbrauch errechnet sich aus der durchschnittlichen Leistungsaufnahme und dem Zeitbedarf für den Fütterungsvorgang (Tab. 18). Er beträgt bei batteriegetriebenen Fütterungswagen das 1,5 bis 1,9-fache netzgebundener Fütterungswagen. Ursache hierfür ist der ungünstige Wirkungsgrad der Bleiakkumulatoren (η: 0,7 - 0,8) und des Batterieladegerätes (η: 0,7 - 0,9)

Tabelle 18: Elektroenergieverbrauch mobiler Fütterungswagen (Anbindestall, ganzjährige Stallhaltung, 2-mal Füttern/Tag, 10 m Entfernung zum Silo)

	Bestandsgröße (Kühe)		
	40	60	80
Netzgebundenes Fahrzeug (kWh/Jahr)	35	45	56
Batteriefahrzeug (kWh/Jahr)	60	76	95

Aus der Sicht des Leistungs- und Energiebedarfes ergeben sich zwischen netzgebundenem und batteriebetriebenem Fahrzeug keine wesentlichen Unterschiede. Die Batteriefahrzeuge sind jedoch günstig zu beurteilen, da die Leistungsansprüche durch das Batterieladegerät in den Schwachlastzeiten auftreten.

Die mobilen Fütterungsgeräte zeichnen sich durch niedrige Leistungsansprüche gegenüber den stationären Fütterungsgeräten und eine gute Anpassungsmöglichkeit auch an unterschiedliche Gebäu-

de aus. Außerdem können sie in kleinen Beständen bei unterschiedlichen Futterrationen sinnvoll eigesetzt werden.

3.2.3 Kraftfutteraufbereitung

Die hofeigene Kraftfutteraufbereitung spielt in kleineren Milchviehbetrieben eine untergeordnete Rolle; mit wachsenden Bestandsgrößen sowie mit der Spezialisierung der Betriebe gewinnt aber somit auch der Leistungsbedarf eine gewisse Bedeutung. Die dazugehörigen technischen Einrichtungen (Schrotmühle, Futtermischer, Fördergeräte) werden daher nachstehend kurz behandelt.

Schrotmühlen

Nach Art und Wirkungsweise der Arbeitswerkzeuge lassen sich die Schrotmühlen in Stein-, Metallscheiben-, Walzen- und Hammermühlen einteilen. Heute werden in landwirtschaftlichen Betrieben überwiegend Schlag- oder Hammermühlen verwendet (34, 64, 76, 111, 127). Die Hammermühlen sind vielseitig verwendbar und weisen daneben folgende Vorteile auf (113): Gezielter Feinheitsgrad, Unempfindlichkeit gegen Fremdkörper, geringer Verschleiß und geringe Störanfälligkeit bei feuchtem Gut. Weiterhin ist die Betriebssicherheit teil- und vollautomatisierter Anlagen durch Hammermühlen am besten gewährleistet (104, 113). Aus den genannten Gründen konzentrierte sich die Untersuchung auf Hammermühlen.

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 bis 6000 Umdrehungen/min) und sind beweglich aufgehängt. Die Zerkleinerung der Körner wird solange fortgesetzt, bis die Schrotteilchen durch ein Sieb bestimmter Lochung passieren können.

Der elektrische Leistungsbedarf ist von der Durchsatzleistung der Hammermühle abhängig, die wiederum durch die Getreideart,

den Feuchtegehalt sowie die zu erzielende Schrotfeinheit (Sieblochung) bestimmt wird. Um brauchbare Werte über den Leistungsbedarf der Hammermühlen zu erhalten, mußten die DLG-Prüfungen (153) ausgewertet werden.

Die Tabelle 19 gibt den Leistungsbedarf und den Schrotdurchsatz DLG-geprüfter Hammermühlen in Abhängigkeit von der Art des zu zerkleinernden Gutes und der verwendeten Sieblochung (2; 3 und 5 mm) wieder. Die Auswahl der Getreidearten beschränkt sich auf Gerste und Hafer, da diese vorwiegend für Milchvieh-Kraftfuttermischungen verwendet werden. Die Werte weisen nach Art und Hektolitergewicht des Körnergutes signifikante Unterschiede auf. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen, wurde jeweils auf die elektrischen Leistungswerte 5, 10 bzw. 15 kW zurückgegriffen. So können beispielsweise bei Gerste mit 5 kW-Leistung bei 5 mm Sieblochung 6 dt/h (0,83 kW(dt/h)), bei 3 mm Sieblochung 4 dt/h (1,25 kW/(dt/h)) und bei 2 mm Sieblochung 3 dt/h (1,67 kW/(dt/h)) zerkleinert werden. Zur Schrotung von Hafer liegen die spezifischen Leistungswerte aufgrund des niedrigen Hektolitergewichtes etwa um 38 % höher als bei Gerste (bei 5 mm Sieblochung: 1,25 kW/(dt/h), bei 3 mm Sieblochung: 2,0 kW/(dt/h) und bei 2 mm Sieblochung: 2,9 kW/(dt/h)). Weiterhin erfordern größere Durchsatzmengen im jeweiligen Schrotfeinheitsgrad hohe elektrische Leistungen. Eine Verdoppelung des Durchsatzes führt bei Hafer zu dreifachem, bei Gerste zu einem doppeltem Leistungsbedarf. Diese Werte stimmen mit den Angaben von WENNER (113) überein.

Der Elektroenergieverbrauch läßt sich nach der jeweiligen Mahldauer der einzelnen Komponenten bestimmen, indem man die für die unterschiedlichen Getreidemischungen erforderlichen Leistungsdaten aus der Tabelle 19 herleitet. Darauf aufbauend wird in der Tabelle 20 der Elektroenergieverbrauch der Mischfutteraufbereitung für verschiedene Bestandsgrößen errechnet. Dabei wurde unterstellt:

Tabelle 19: Elektrischer Leistungsbedarf von Hammermühlen in Abhängigkeit von der Getreideart und Schrotfeinheit (nach DLG-Prüfberichten, 153)

Getreideart	Elektr. Leistungs-bedarf	Sieblochung und Durchsatz I 5 mm	II 3 mm	III 2 mm
	kW	dt/h	dt/h	dt/h
Hafer 49,1-56,0 kg/hl 14,0-14,2 % H_2O (n=15; r_I=0,75; r_{II}=0,74; r_{III}=0,80)	5	4,0	2,6	1,7
	10	6,0	4,0	2,5
	15	8,0	5,0	3,0
Gerste 58,5-67,0 kg/hl 14,0-15,2 % H_2O (n=15; r_I= 0,88; r_{II}=0,95; r_{III} = 0,86)	5	6,0	4,0	3,0
	10	10,0	7,0	4,0
	15	16,0	10,0	5,0

Kraftfuttermenge 13 dt/Kuh und Jahr bei Ø 5.000 kg Milchleistung, Futterkomponenten DLG Standard IV + Getreide im Verhältnis von 1 : 2 (Getreide = 50 % Hafer + 50 % Gerste), Sieblochung 3 mm.

Weiterhin werden wegen der benötigten geringen Durchsatzmengen Hammermühlen mit 5 kW Leistungsbedarf eingesetzt, so daß sich ein konstanter spezifischer Elektroenergieverbrauch von 13 kWh/Kuh und Jahr (Betriebe mit Nachzucht) ergibt. Die Einsatzdauer der Hammermühle steigt linear mit größerem Bestand an, nämlich von 2,0 - 2,6 h/Woche (40 Kühe) auf 3,9 - 5,1 h/Woche (80 Kühe).

In der Milchviehhaltung ist die hofeigene Kraftfutteraufbereitung elektrizitätswirtschaftlich ungünstig, da auch die geringen Mühlenleistungen nur kurzfristig in Anspruch genommen werden. Die Kraftfutteraufbereitung ist jedoch ein verschiebbarer Arbeitsvorgang, so daß die Möglichkeit besteht, das Schroten da-

Tabelle 20: Elektroenergieverbrauch der Kraftfutteraufbereitung mit Hammermühlen

		Bestandsgröße (Kühe)					
		40		60		80	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Kraftfuttermenge (dt/Jahr)		520	680	780	1020	1040	1360
Hafer/Gerste : 1/1 (dt/Jahr)		312	408	468	612	624	816
Hafer/Gerste : 1/1 (dt/Woche)		6,0	7,8	9,0	11,8	12,0	15,7
Laufzeit der Mühle (h/Woche)	Hafer bei 2,5 dt/h	1,2	1,6	1,8	2,4	2,4	3,1
	Gerste bei 4,0 dt/h	0,8	1,0	1,1	1,5	1,5	2,0
Elektrischer Leistungsbedarf (kW)		5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Elektroenergieverbr. (kWh/Jahr)		520	676	754	1014	1014	1326

(1) ohne Nachzucht
(2) mit Nachzucht

hingehend zu verlagern, daß eine gemeinsame Laufzeit mit anderen Geräten und somit die Belastungsspitzen vermieden werden. Daher sollten in der Praxis die nächtliche Schrotaufbereitung oder das Verriegeln durchgeführt werden. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen werden an den Modellen (Kap. 4) beschrieben.

Bei der Herstellung hofeigenen Kraftfutters ist neben der Zerkleinerung der Getreideanteile eine Beimischung von Zusatzkomponenten notwendig. Hierbei werden separate Futtermischer verwendet. Man unterscheidet zwischen kontinuierlichen und absätzigen Verfahren der Kraftfutteraufbereitung, wobei letztere in der Milchviehhaltung aufgrund der geringen Schrotmengen vornehmlich eingesetzt werden.

Bei absätzigen Verfahren wird jeweils das Fassungsvermögen des Mischbehälters verarbeitet und anschließend zwischengelagert. Die zylindrischen Behälter sind mit einer senkrechten zentralen Schnecke versehen, welche das Futter nach oben befördert. Nach der Bauart der Mischeinrichtung ist zwischen Freimischern und Zwangsmischern (ummantelte Schnecke) zu unterscheiden. Bei

letzterem wird durch die Zwangsführung des Gutes eine bessere Mischung in kürzerer Zeit erreicht (76, 111), während bei grobstückigem Gut Freimischer Vorteile haben können. Das Marktangebot umfaßt Mischer mit 300 - 2.000 kg Fassungsvermögen, wobei Antriebsmotoren zwischen 2,2 und 5,5 kW installiert sind (153). Eine Auswertung der DLG-geprüften Mischer ergab keine direkte Abhängigkeit zwischen Mischergröße und Motorenstärke bzw. Leistungsaufnahme der Mischer. Der zur erforderlichen Mischgenauigkeit angegebene Zeitbedarf, der den Elektroenergieverbrauch bestimmt, schwankt zwischen 7 und 20 Minuten (113, 153). Danach liegt der Elektroenergieverbrauch des Mischers zwischen 0,08 und 0,14 kWh/dt (34).

Weitere Speichereinrichtungen, welche bei der Getreidelagerung und Kraftfutteraufbereitung zum Einsatz gelangen, sind die Geräte zur Förderung von Getreide und Futterkomponenten. Speziell in der Milchviehhaltung ist jedoch eine hohe Mechanisierung des Futterspeichers weniger verbreitet als beispielsweise in der Schweinehaltung oder in Getreidebaubetrieben. Daher wurden sie an dieser Stelle nach Angaben VON HEYL'S, der die Bedarfswerte für Schweinemastbetriebe errechnete, in einer Auswahl kurz zusammengefaßt (Tab. 21).

Tabelle 21: 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

Beim Einsatz von Elevatoren, Förderschnecken oder Rohrkettenförderern werden wesentlich geringere elektrische Leistungsanprüche gestellt werden als bei Verwendung von Körnergebläsen. Außerdem erreichen mechanische Fördergeräte höhere Durchsatzleistungen, so daß diese in der Praxis zu bevorzugen sind. In den Modellen (Kap. 4) wird ein Körnergebläse eingesetzt, da die universelle Einsatzmöglichkeit (Anpassung an Gebäude, Saug-Druck Betrieb, längere Förderwege) in diesem Fall vorteilhaft ist.

3.2.4 Mechanisierung der Belüftungstrocknung von Heu

In vielen Grünlandgebieten hat die Heubelüftung große Bedeutung, da mit der Unterdachbelüftungstrocknung gegenüber der herkömmlichen Bodenheugewinnung folgende Vorteile zu erreichen sind: Weitgehendes Ausschalten des Wetterrisikos, Verminderung der Feldverluste und Einsparung von Arbeitskräften. Dagegen wirft die Mechanisierung der Belüftungstrocknung von Heu mit Belüftungsgebläsen hinsichtlich des elektrischen Energieeinsatzes außerordentlich große Probleme auf, weil aufgrund der hohen Gleichzeitigkeit beim Einschalten der Gebläse innerhalb der Ortsnetze hohe Belastungsspitzen entstehen.

Für die Heubelüftungsanlagen kommen in der Praxis nur Axialventilatoren in Frage (95). Der Leistungsbedarf der Belüftungsgebläse ist abhängig vom Luftvolumenstrom, dem Gesamtdruck sowie dem Wirkungsgrad der Gebläse und der Antriebsmotoren. Um Kalkulationsdaten zur Dimensionierung der Belüftungsanlagen zu erhalten, wurden alle DLG-Prüfberichte (154) ausgewertet (Abb. 14), wobei typische Druckbereiche 2,5; 4,0 und 6,0 mbar ausgewählt sind. In diesen Werten sind jeweils die Wirkungsgrade enthalten. Danach kann bei Kenntnis der erforderlichen Luftmenge sowie der Druckverhältnisse der Leistungsbedarf für den jeweiligen Betrieb ermittelt werden.

Die richtige Dimensionierung eines Belüftungsgebläses ist jedoch von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, welche durch die je-

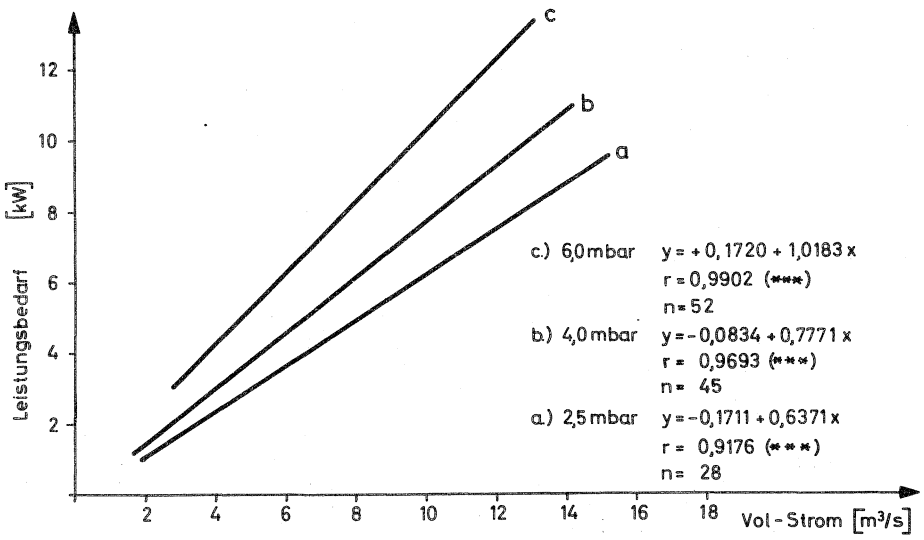


Abb. 14: Leistungsaufnahme der Heulüfter in Abhängigkeit von Volumenstrom (m^3/s) und Gesamtdruck (mbar)

weiligen Verhältnisse des praktischen Betriebes bestimmt werden. Die erforderliche Luftmenge ist bedingt durch:

a) die zu trocknende Heumenge
b) den Wassergehalt des Heues
c) das Wasseraufnahmevermögen der Luft
d) die verfügbare Trocknungszeit.

Der benötigte Gesamtdruck richtet sich nach dem Raumgewicht des Heues, der Schütthöhe, der Druckverluste in den Luftkanälen und der Luftgeschwindigkeit (4, 18, 95, 96).

Um Grenzwerte zu erfassen, ist in der Tabelle 22 der elektrische Leistungsbedarf und der Energieverbrauch von Heulüftern für ausgewählte Bestandsgrößen der Milchviehhaltung zusammengestellt. Dabei wurde die Heuration mit 12 kg Heu/Kuh und Tag (ausschließliche Grundfütterung von Heu) und 5 kg Heu/Kuh und Tag (als Beifütterung) variiert. Da bei Kaltbelüftung der erforderliche Leistungsbedarf der Gebläse wesentlich von den klimatischen Bedingungen abhängt, sind weiterhin nach FELDMANN (18)

eine ungünstige Zone mit 80 wöchentlichen Belüftungsstunden bei durchschnittlich 70 % Luftfeuchte und eine günstige Zone mit 125 wochentlichen Belüftungsstunden unterstellt.

Tabelle 22: Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch von Heulüftern in der Milchviehaltung (200 Tage Winterfütterung, 5 kg und 12 kg Heu/GV und Tag)

	Belüftungs-klimazone I =80h/Woche II=125h/Woche Ø 70 % Luft-feuchte	Heuration ...kg/GV und Tag	Bestandsgröße (Kühe)							
			20		40		60		80	
			kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr	kW	kWh/Jahr
Kaltbelüftung 1) (1,0g H_2O/m^3 Luft)	I	12	10,8	3456	21,6	6912	32,4	10378	43,2	13824
		5	4,4	1408	8,8	2816	13,2	4224	17,6	5632
	II	12	6,8	3400	13,6	6800	20,4	10200	27,2	11600
		5	3,0	1500	6,0	3000	9,0	4500	12,0	6000
Luftanwärmung: 1) +5°C (2,0g H_2O/m^3 Luft)	I	12	5,2	1766	10,4	3328	15,6	4992	20,8	6656
		5	2,2	704	4,4	1408	6,6	2112	8,8	2816
	II	12	3,4	1700	6,8	3400	10,2	4500	13,6	6800
		5	1,6	800	3,2	1600	4,8	2400	6,4	3200
Warmlufttrockner 2) Anwärmung: + 40°C	I und II	12	2,0	640	4,0	1280	6,0	1920	8,0	2560
		5	0,8	256	1,6	512	2,4	768	3,2	1024

1) Anfangsfeuchte 40 %, Endfeuchte 20 %. 1. Schnitt: 50 % Gesamtertrag, 2x 1 Woche
2) Anfangsfeuchte 55 %, Endfeuchte 20 %. 1. Schnitt: 50 % Gesamtertrag, 4 Chargen; max. 40 h

Bei der Kaltbelüftung ist mit einer Wasseraufnahme von 1 g pro m^3 Luft zu kalkulieren (Anfangs- und Endfeuchte des Gutes: U_1 = 40 % und U_2 = 20 %). Da für den ersten Schnitt in den dargestellten Beispielen zwei Wochen zur Verfügung stehen (50 % des Gesamtertrages), werden beispielsweise bei einem Bestand von 40 Kühen mit alleiniger Heufütterung (12 kg Kuh/Tag) in der ungünstigen Klimazone (I) Lüfterleistungen von 21,6 kW (540 W/Kuh) benötigt. In der günstigen Klimazone (II) ergeben sich dagegen um 40 % geringere Lüfterleistungen, da mit längerer Laufzeit kalkuliert wird (13,6 kW, 340 W/Kuh). Die gleiche Relation tritt auch bei der Ration mit 5 kg/Kuh auf. Hier sinkt der Leistungsbedarf für 40 Kühe von 8,8 kW (Klimazone I) auf 6,0 kW (Klimazone II).

Wesentliche Leistungssenkungen bei den Heulüftern sind durch Vorwärmung der Zuluft möglich, da das Wasseraufnahmevermögen der Luft erhöht wird. Eine Anwärmung der Zuluft um 5° C führt zu einer 50 %igen Verringerung der Lüfterleistungen. Bei alleiniger Heufütterung im Bestand mit 40 Kühen werden daher in der Klimazone I 10,4 kW (260 W/Kuh) und in der Klimazone II 6,8 kW (170 W/Kuh) benötigt.

Eine weitere Alternative ist in dem Einsatz von Warmluftsatztrocknungsanlagen gegeben, wobei eine weitgehende Unabhängigkeit von klimatischen Verhältnissen bei höherer Einlagerungsfeuchte des Heues eintritt. Durch die starke Erwärmung der Zuluft ist ein schneller Trocknungsvorgang unabhängig von der Außenluft zu erzielen. Bei der Anwärmung der Zuluft um 40° C beträgt die Lüfterleistung für einen Bestand mit 40 Kühen (12 kg Heu/Kuh) 4,0 kW (100 W/Kuh) bei einer 40 stündigen Trocknung einer Charge (Tab. 22).

Die hier beschriebenen Verfahrensbeispiele stellen lediglich die Grenzbereiche dar. In der Praxis sind vielfältige Variationen und Zwischenlösungen möglich. Die zur Heutrocknung eingesetzten Belüftungsgebläse führen besonders bei Kaltbelüftung zu hohen elektrischen Leistungsansprüchen. Hierbei sind die Möglichkeiten zur Leistungssenkung durch Anwärmung der Trocknungsluft mit anderen Energieträgern auszunutzen, da aufgrund der klimatischen Abhängigkeiten keine Verriegelung oder Verschiebung möglich ist, um Belastungsspitzen zu vermeiden. Es muß darauf hingewiesen werden, daß trotz ihrer Kosten die Verwendung anderer Energieträger (Heizöl) für Wärmezwecke zu wesentlichen Vorteilen führt.

3.3 Mistkette

Zur Mechanisierung der Mistkette sind die Arbeitsbereiche, Förderung aus dem Stall, Lagerung und Ausbringung zu zählen. Bei Festmistverfahren werden vorwiegend mechanische Entmistungsanlagen eingesetzt. Zur Lagerung und Ausbringung sind hierbei zusätzlich Greiferanlagen einzusetzen. Bei Flüssigmistverfahren

liegt der Schwerpunkt bei der Lagerung, Behandlung und Ausbringung des Flüssigmistes.

Im folgenden werden zunächst die mechanischen Entmistungsanlagen dargestellt, während in einem weiteren Kapitel (Kap. 3.3.2) die elektrisch bedeutungsvollen Arbeitsvorgänge der Flüssigmistverfahren behandelt werden.

3.3.1 Mechanische Entmistungsanlagen

Mechanische Entmistungsanlagen sind als Schubstangenanlagen, Kettenförderer und Seilzuggeräte verbreitet und werden vorwiegend in Anbindeställen eingesetzt. Flachschieberanlagen können außerdem auch in Laufställen verwendet werden.

Bei Schubstangenanlagen (geradlinige Förderung) ist für jede Förderachse ein Antriebsaggregat von 1,5 kW vorgesehen (159). Daher ergibt sich für zweireihige Anbindeställe eine installierte Leistung von 3,0 kW.

Nach Messungen VON HEYL'S ist mit einem mittleren Leistungsbedarf von 0,9 kW zu rechnen. Übereinstimmend mit DLG-Prüfberichten ist von einer Entmistungsdauer 0,4 min/m auszugehen, so daß mit einem Elektroenergieverbrauch von 0,007 kWh/Kuh pro Vorgang kalkuliert wird (Tab. 23), also für einen Bestand mit 40 Kühen ein jährlicher Elektroenergieverbrauch in Höhe von 204 kWh (5 kWh/Kuh und Jahr).

Die Angaben über Kettenförderer stammen aus DLG-Prüfberichten, wobei für die untersuchten Anlagen (18,5 bzw. 45 m Kotganglänge) 1,5 bzw. 2,2 kW installiert waren. Bei den Messungen trat eine mittlere Leistungsaufnahme mit 1,3 bzw 1,7 kW und ein Zeitbedarf von 0,3 bis 0,4 min/m Kotgang auf (einschließlich Förderung bis zur Dungstätte). Daraus ergibt sich ein mittlerer Elektroenergieverbrauch in Höhe von 0,01 kWh/Kuh und Vorgang. So kann mit einem gesamten Stromverbrauch von 292 kWh/Jahr bei einem Bestand mit 40 Kühen (7,3 kWh/Kuh und Jahr) gerechnet werden(Tab. 23).

Bei Seilzugentmistung sind unabhängig von den Förderlängen in der Praxis 1,5 kW installiert, da jeweils das Fassungsvermögen des Schiebers gefördert wird. Messungen VON HEYL'S zeigten, daß eine mittlere Leistungsaufnahme zwischen 0,9 und 1,3 kW auftritt. In Übereinstimmung mit den DLG-Prüfberichten sind in Tab. 23 0,0015 kWh/Kuh für jeden Entmistungsvorgang angegeben.

Flachschieberanlagen werden vorwiegend in Laufställen eingesetzt. Da eine direkte Abhängigkeit zwischen dem Leistungsbedarf und der Förderlänge, bzw. der Breite des Schiebers nicht gegeben ist, werden in der Praxis vorwiegend 0,55 kW installiert. Unabhängig von der zu fördernden Mistmenge tritt eine mittlere Leistungsaufnahme von 60 % der installierten Leistung auf. Da in der Praxis die Laufzeit mit der unterschiedlichen Geschwindigkeit des Schiebers variiert (2,3 - 4,3 m/min) und da in Laufställen je nach Raumaufteilung unterschiedliche Kotganglängen vorherrschen, ist in Tab. 23 eine mittlere Richtzahl von 0,0015 kWh/Kuh und Vorgang angegeben. Bei täglich zwei Entmistungsvorgängen errechnen sich nach dieser Richtzahl 1,1 kWh/Kuh und Jahr (20 - 80 Kühe).

Mobile Stalldungschiebelader eignen sich mit ihren geringen Abmessungen besonders in Altgebäuden. KRINNER (47) untersuchte die Leistungsansprüche eines elektrisch betriebenen Gerätes (Batterieantrieb) und ermittelte einen Elektroenergieverbrauch von 0,02 kWh/Kuh und Entmistungsvorgang (Tab. 23). Dieser ist im Vergleich zu bisher beschriebenen Geräten sehr viel höher (einschließlich Wirkungsgrad des Ladegerätes). Dies fällt aber nicht nachteilig ins Gewicht, da Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch in Schwachlastzeiten auftreten (vergl. Kap. 3.2.2 mobiler Fütterungswagen).

Tabelle 23: Elektroenergieverbrauch mechanischer Entmistungsanlagen in der Milchviehhaltung (kWh/Jahr)

	Entm. tägl.	kWh/GV pro Vorgang	Bestandsgröße Kühe) 20	40	60	80
			kWh/Jahr			
Faltschieber (0,55 kW)*	2	0,0015	22	44	66	88
	3	0,0015	33	66	99	131
Kettenförderer (2,2kW)*	2	0,0100	146	292	438	584
Schubstange (1,5kW/Mistgang) *	2	0,0070	102	204	306	408
Seilzug (1,5 kW)*	2	0,0015	22	44	65	88
Mobiler Dungschieber	2	0,0200	292	584	876	1168

Einstreumenge: 2-3 kg Stroh/Tier und Tag
Frischmist: 40 kg/Kuh und Tag
1 Milchkuh = 1,0 GV
*installierte Motorenleistung

3.3.2 Flüssigmistförderung und -behandlung

Mit der Entwicklung von strohlosen Haltungsformen erlangt das Flüssigmistverfahren zunehmende Verbreitung. Die Flüssigmistverfahren beinhalten Lagerung (Hochbehälter in Verbindung mit Vorgrube oder Tiefbehälter-Einkammersystem), Mischen sowie die Ausbringung des Mistes. Falls elektrisch angetrieben, sind die Flüssigmistpumpen der Thematik der vorliegenden Arbeit entsprechend von zentraler Bedeutung. Sie werden zur Förderung des Mistes (Umpumpen von Vorgrube in Hauptbehälter bzw. Füllen des Tankwagens) sowie zum Mischen der Vorgrube und des Hauptbehälters eingesetzt. Da sich der Flüssigmist während der Lagerung entmischt und sich eine Schwimmschicht und eine Sinkschicht von den flüssigeren Bestandteilen trennt, ist ein intensives Mischen des Flüssigmistes vor der Entnahme und Ausbringung notwendig.

Nur in speziellen Fällen (Tiefbehälter mit maximalen 300 m^3 Fassungsvermögen) kann ein zapfwellengetriebener Pumpentankwagen die beschriebenen Arbeitsvorgänge der Flüssigmistpumpe übernehmen. Wesentlich verbreiteter in der Praxis sind die Flüssigmistpumpen, und zwar in zwei wesentlichen Bauarten, der Kreiseltauchpumpe und der Exzenterschneckenpumpe. Wegen der hohen Empfindlichkeit gegen Trockenlauf und Fremdkörper sowie eines engen Leistungsbereiches läßt sich die Exzenterschneckenpumpe nur bei kleineren Behältern einsetzen. Im folgenden konzentrieren sich die Ausführungen auf Kreiseltauchpumpen.

Die benötigte Leistung ist hierbei abhängig von der Mistmenge, der Förderstrecke, der Konsistenz des Mistes, der Lagerzeit sowie von der Behältergröße. Die letztgenannten Einflußfaktoren (Konsistenz, Lagerzeit und Behältergröße) bestimmen im wesentlichen die Einsatzmöglichkeit der Flüssigmistpumpe. Sie sind in der Praxis stark von der einzelbetrieblichen Situation abhängig, so daß es nicht möglich ist,allgemeingültige Abhängigkeiten anzugeben. Die jeweilige Flüssigmistpumpe ist nur dann geeignet, falls der Arbeitsvorgang "Mischen" wirkungsvoll durchgeführt werden kann.

Erfahrungswerte in Praxisbetrieben führen zu den Angaben in Tab. 24. Aus der Behältergröße (300 bzw. 500 m^3 Fassungsvermögen) und der unterschiedlichen Lagerzeit (100 bzw. 150 Tage) resultieren die genannten Bestandsgrößen von 40 und 100 GV (50 l Flüssigmist pro GV und Tag). Es wurden in Anlehnung an die Definition von LANGENEGGER (51) zwei typische Konsistenzbereiche GK = 5 bzw. GK = 20 angegeben, wobei GK = für Flüssigmist aus Staukanälen mit geringem Wasserzusatz und GK = 20 für Flüssigmist aus Fließkanälen ohne Wasserzusatz gelten.

Bei dünnflüssigem Mist beanspruchen die zu verwendenden Pumpen maximal 15 kW (maximaler Durchsatz beim Mischen der Vorgrube 3,5 m^3/min). Beim Arbeitsvorgang des Homogenisierens von Gülle im Hauptbehälter ist dagegen die Leistungsaufnahme des Pumpenmotors

geringer (12 kW). Von diesem Arbeitsvorgang hängt aber die Einsatzmöglichkeit der Flüssigmistpumpe ,wie bereits erwähnt, ab.

Der Gesamt-Elektroenergieverbrauch läßt sich nach der Einsatzdauer während aller Arbeitsvorgänge einschließlich Befüllen des Tankwagens errechnen. Er beträgt zwischen 302 - 465 kWh/Jahr (5 - 6 kWh/GV und Jahr).

Wesentlich höhere Leistungsansprüche treten bei dickflüssigem Mist (GK = 20) auf. In Tab. 24 wurde davon ausgegangen, daß 100 Tage eingelagert werden kann. Ansonsten ist das Homogenisieren mit der Pumpe nicht mehr durchführbar. In einem Behälter mit 300 m^3 Fassungsvermögen (für 60 GV) wird eine Leistung von maximal 25 kW beansprucht, bei einer Behältergröße von 500 m^3 (100 GV) sogar 40 kW.

Der jährliche Elektroenergieverbrauch beträgt in diesem Fall 483 - 1002 kWh (8,0 - 11,0 kWh/GV und Jahr).

Die hier genannten hohen Pumpenleistungen werden jedoch nur maximal 30 h jährlich beansprucht. Die Einsatzmöglichkeit ist aus elektrizitätswirtschaftlicher Sicht außerordentlich ungünstig. Daher müssen die Möglichkeiten der Leistungssenkung in der Praxis ausgenutzt werden, welche sich in zwei Bereichen anbieten. Für den kurzfristig zu erfolgenden Mischvorgang kann ein schleppergetriebenes Rührwerk eingesetzt werden, so daß zur Förderung des Flüssigmistes eine leistungsschwächere Pumpe genügt. In diesem Fall ist dann eine Pumpen-Antriebsleistung von 10 kW ausreichend (2,0 m^3/min). Hierdurch werden also 35 %ige Leistungseinsparungen wirksam. Weitergehende Leistungssenkungen bei Rindergülle sind aufgrund der Verstopfungsgefahr der kleineren Pumpenbauarten nicht möglich.

Eine weitere wesentliche Möglichkeit, die Leistungsansprüche von Pumpen zu senken, besteht in der Oberflächenbelüftung. Die Oberflächenbelüftungs-Kreisel wurden entwickelt, um die bei der Lagerung und Ausbringung auftretenden Gerüche zu verringern. Dabei

wird der Flüssigmist durch den aeroben Abbau wesentlich pump- und fließfähiger; die Bildung von Schwimmdecken im Behälter wird verhindert. Nach dieser Behandlung sind geringere Pumpenleistungen ausreichend, so daß von den in der Tabelle 24 angegebenen Leistungswerten ausgehend mit erheblichen Leistungseinsparungen zu rechnen ist. Diese Möglichkeiten der Leistungssenkung sollten daher in der Praxis im stärkerem Maße Eingang finden.

Tabelle 24: Leistungsbedarf und Elektroenergieverbrauch von Kreiseltauchpumpen in unterschiedlichen Bestandsgrößen (Güllekonsistenz = 5 bzw. 20)

Bestandsgröße	GV	40	60	66	100
Lagerzeit	Tage	150	100	150	100
Behältergröße Hauptbeh.	m^3	300	300	500	500
Vorgrube	m^3	60	60	80	80
Güllekonsistenz = 5					
Leistungsbedarf der Pumpe	kW	15	15	15	15
Homogenisieren Hauptbehälter	h	1,5	1	3	2
Leistungsaufnahme	kW	12	12	12	12
Durchsatz	m^3/min	3,5	3,5	3,5	3,5
Jährl.Ges.-Verbrauch	kWh	215	302	340	465
Ben.-Dauer der Pumpe	h	14	20	22	31
Jährlicher spez. E.-Verbrauch	kWh/GV	5,4	5,0	5,2	4,6
Güllekonsistenz = 20					
Leistungsbedarf der Pumpe	kW		25		40
Homogenisieren Hauptbehälter	h		1		2
Leistungsaufnahme	kW		20		33
Durchsatz	m^3/min		4		6
Jährlicher Ges.-Verbrauch	kWh		483		1002
Ben.-Dauer der Pumpe	h		19		28
Jährlicher spez. E.-Verbrauch	kWh/GV		8,0		11,0

3.4 Stallklimatisierung

Die Tierleistung hängt etwa zu 30 - 40 % von ererbten Faktoren und zu 60 - 70 % von Umweltfaktoren ab (39, 129). Dabei beeinflußt das Stallklima als wichtiger Umweltfaktor die Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Tier und Mensch. Unter dem Begriff Stallklima ist das Zusammenwirken der Klimaelemente Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung, Strahlung, Luftzusammensetzung, Luftdruck, Elektrizität und Radioaktivität zu verstehen. Von den einzelnen angeführten Klimafaktoren sind es Temperatur, Luftfeuchte und -bewegung, sowie die chemische Zusammensetzung der Luft, die die Vorgänge im tierischen Organismus am stärksten beeinflussen. Für Rinder ist bei einer relativen Luftfeuchte von 60 - 80 % der Temperaturbereich zwischen 0 und 20° C optimal (111, 143). Liegen relative Luftfeuchtigkeit und Stalltemperatur außerhalb des optimalen Bereichs, so führt das bei Kühen zum Rückgang der Milchproduktion bis zu 30 % (54).

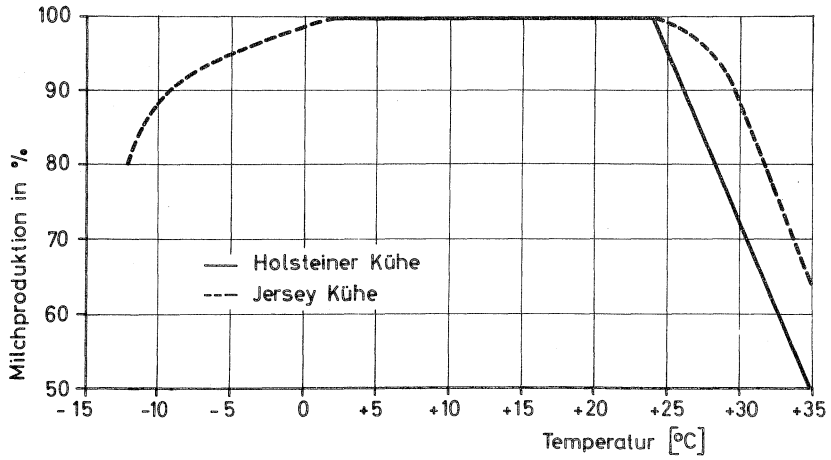


Abb. 15: Milchleistung von Kühen in Abhängigkeit von der Stalltemperatur (nach COMBERG, 13)

3.4.1 Stallüftung

Eine wichtige Voraussetzung zur Stallklimatisierung wird in erster Linie durch die Stallüftung erfüllt. Die Lüftung hat die Aufgabe, im Winter den im Stall anfallenden Wasserdampf und die schädlichen Gase, im Sommer zusätzlich die im Stall anfallende Wärme abzuführen und die erforderlichen Luftmengen zugfrei zuzuführen. Besondere Bedeutung kommt der Lüftung in den Sommermonaten zu, da im Sommer zu hohe Stalltemperaturen entstehen. Wichtig ist aber auch, daß der Wärmehaushalt im Winter ausgeglichen ist, daß also die Wärmeproduktion der Tiere ausreicht, um die Wärmeverluste durch die raumumschließenden Bauteile und den Wärmebedarf für die erforderliche Lüftung zu ersetzen. Da bei üblicher Wärmedämmung (durchschnittlicher k-Wert für die raumumschließenden Bauteile 0,6 - 0,8 $W/m^2 \cdot K$) in Milchviehställen die Wärmebilanz ausgeglichen ist, kann man im Milchviehstall ohne Heizung auskommen (10, 61, 81, 126).

Je nachdem, welche Kräfte den Luftaustausch bewirken oder in welchem Energiezustand sich Ab- und Zuluft befinden, unterscheidet man zwischen freien Lüftungssystemen und Zwangslüftungssystemen. Zur erstgenannten Gruppe gehören die Fensterlüftungs- und Schachtlüftungsanlagen. Die Luftbewegung (Luftförderleistung) hängt hierbei von klimatischen Einflüssen ab. Der Luftaustausch erfolgt nämlich bei der freien Lüftung durch Dichteunterschiede der Stall- und Außenluft über Fenster und Schächte. Die freie Lüftung steht in umgekehrtem Verhältnis zur erforderlichen Lüftung, d. h. im Winter wird der höchste Luftumsatz erzielt, obwohl er am geringsten sein sollte. Demgegenüber funtioniert sie im Sommer fast nicht, weil der Temperaturunterschied zwischen Stalluft und Außenluft klein ist.

Wegen der begrenzten Leistungs- und Funktionsfähigkeit der freien Lüftung sind bei intensiver Tierhaltung Zwangslüftungsanlagen notwendig, welche unabhängig von der Witterung in allen Stallungen verwendet werden können. Zwangslüftungssysteme durch Ven-

tilatoren sind, je nach Druckänderung im Stall gegenüber der Außenluft, in drei Gruppen zu unterteilen:

1. Unterdrucksystem
2. Überdrucksystem
3. Gleichdrucksystem

Beim Unterdrucksystem wird die Stalluft durch Ventilatoren aus dem Stall gesaugt. Dadurch entsteht im Stall ein geringer Unterdruck. Die Abluft befindet sich beim Verlassen des Stalles im höchsten Energiestand, die Zuluft dagegen ist energiearm.

Beim Überdrucksystem drücken die Ventilatoren die Luft direkt oder über einen Kanal mit Verteileröffnungen in den Stall. Die Luft hat ihren höchsten Energiestand, bevor sie in den Stall eintritt. Im Stall entsteht ein geringer Überdruck. Die Abluft strömt dabei aufgrund des Überdruckes durch Abluftöffnungen ins Freie.

Beim Gleichdrucksystem übernehmen Ventilatoren den Transport von Zu- und Abluft. Im Stall herrscht etwa der gleiche Luftdruck wie außen. Die Leistung der Gleichdrucklüftungsanlage muß so ausgelegt werden, daß die Luftfördermenge sowohl der Zuluft- als auch der Abluftventilatoren gleich ist und jeweils der Gesamtluftmenge entspricht.

In der Stallüftung (Zwangslüftung) sind bei geringem Druck hohe Luftmengen durchzusetzen. Dazu eignen sich vorwiegend Axialventilatoren (als Dauerläufer). Nur bei höheren Drücken (längere Luftführungskanäle) verwendet man seltener auch Radialventilatoren, deren Luftförderleistung bei steigendem Druck weniger abfällt. Im Folgenden werden wegen der überwiegenden Bedeutung Axialventilatoren behandelt.

Die elektrische Leistung der Ventilatoren muß so ausgelegt werden, daß die Lüftungsanlage unter Berücksichtigung des gesamten Strömungswiderstandes mit Sicherheit die Sommerluftraten (höchste

notwendige Luftmenge) fördert. Da bei den großen Luftmengen in Lüftungsanlagen ein Gesamtwiderstand von 0,5 mbar und mehr auftritt (126), müssen die Ventilatoren dementsprechend ausgewählt werden. Diese Auswahl erfolgt anhand der Ventilatorenkennlinie, welche den Zusammenhang zwischen dem Volumenstrom des Ventilators und der statischen Druckdifferenz bei den verschiedenen Drehzahlen darstellt. Nach Auswertung von 27 DLG-Prüfberichten (152) ist der elektrische Leistungsgedarf von Axialventilatoren in Abhängigkeit von der geförderten Luftmenge bei einer statischen Druckdifferenz von 0,5 mbar mit der folgenden Gleichung zu ermitteln:

$$(12) \qquad Y = 0{,}04 + 0{,}21 \cdot X \; (r = 0{,}92^{***}, \; n = 27)$$

Es bedeuten:

Y : die Leistungsaufnahme in kW
X : der Volumenstrom in m^3/s

Diese zur Dimensionierung von Lüftungsanlagen benötigte Beziehung ist in Abb 16 dargestellt.

Der Gesamtleistungsbedarf der Lüftung läßt sich demnach festlegen, wenn der erforderliche Volumenstrom für den Stall bekannt ist.

Die in den einzelnen Jahreszeiten notwendigen Luftraten können nach den in der DIN 18910 (143) angegebenen Werten für einzelne Tierarten und Tiergewichte genau errechnet werden. Tabelle 25 gibt die Luftraten für Rinder wieder. Es ist zu beachten, daß es sich bei den in der Tabelle 25 angegebenen Werten um Mindestluftraten handelt. Zur Bemessung der Mindestluftraten im Sommer gelten die Sommertemperaturzonen $<26^{\circ}$ C und $\geq 26^{\circ}$ C. Hierbei sind die Temperaturwerte arithmetische Mittel aus der mittleren Jahreshöchsttemperatur und der langjährigen Julimitteltemperatur. Danach liegen etwa 15 % der Bundesrepublik Deutschland in der Sommertemperaturzone $\geq 26^{\circ}$ C.

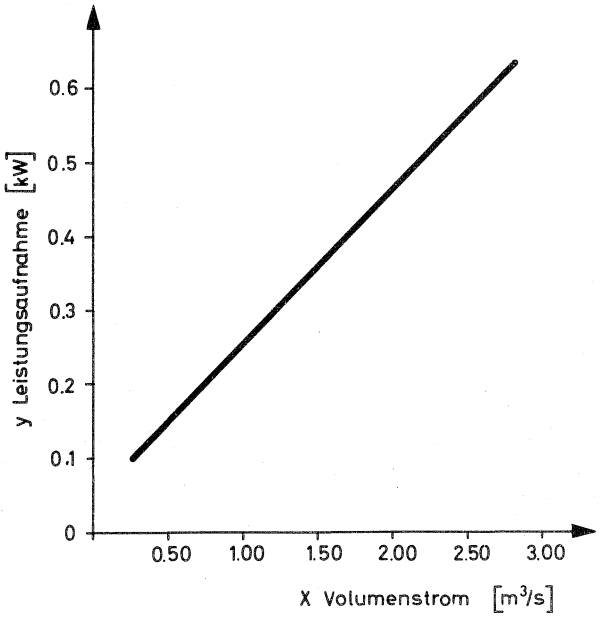


Abb. 16: Leistungsaufnahme und Volumenstrom von Stalllüftern (Axialventilatoren) bei einer statischen Druckdifferenz von 0,5 mbar (nach DLG-Prüfberichten, 152)

Tab. 25: Mindestluftraten (pro GV m^3/h) im Sommer (nach DIN 18910,143)

Tiergewicht (kg)	Rinder	
	Sommertemperaturzone ≧26°C (ti-ta=3K)	Sommertemperaturzone < 26°C (ti-ta=4K)
60	542	400
100	470	350
150	430	323
200	408	305
300	372	278
400	344	258
500	319	239
600	295	222
800	250	188

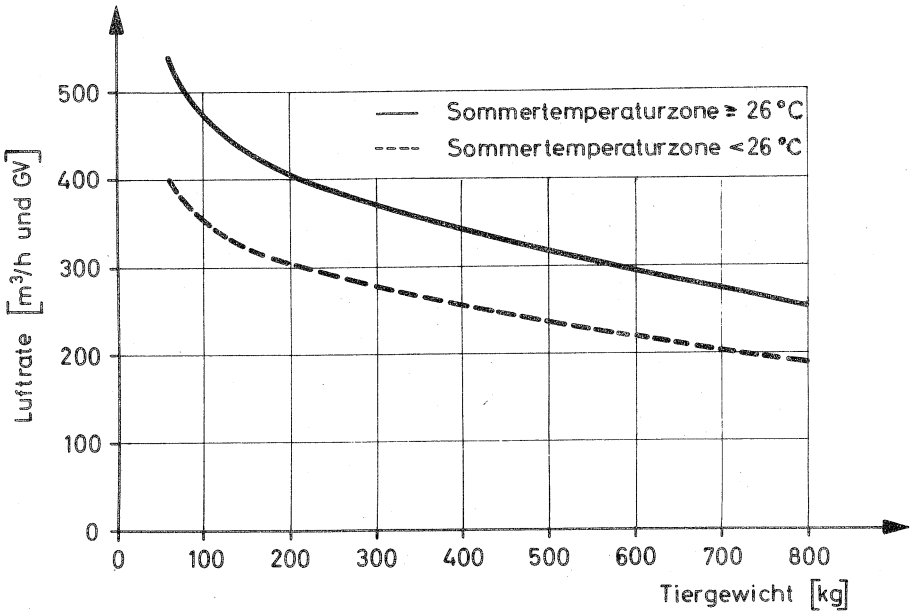


Abb. 17: Mindestluftraten im Sommer für Rinder (nach DIN 18910 (143))

Wie aus Abbildung 17 hervorgeht, sind die Luftraten in Gebieten der Sommertemperaturzone $\geq 26^{\circ}$ C höher als in Sommertemperaturzonen mit $<26^{\circ}$ C. Außerdem steigen sie mit kleinerwerdendem Tiergewicht an. Das ist darauf zurückzuführen, daß kleine Tiere, bezogen auf ihre Körperoberfläche, mehr Wärme abgeben als Tiere mit hohem Gewicht.

Die maximalen Luftraten müssen im Sommer, bedingt durch die kleiner werdende Temperaturdifferenz zwischen Stall- und Außenluft, zunehmen. Aufgrund langjähriger Untersuchungen und Erfahrungen wird für Rindviehställe bei der Sommertemperaturzone $\geq 26^{\circ}$ C eine Temperaturdifferenz von 3 K und bei der Sommertemperturzone $<26^{\circ}$ C von 4 K angegeben (87, 118, 143).

Wie bereits angedeutet, sind die Ventilatoren nach der maximalen Luftrate im Sommer auszulegen. Da jedoch die Anforderungen an die Lüftung der Ställe in verschiedenen Jahreszeiten sehr unterschiedlich sind, muß die Förderleistung der Ventilatoren entspre-

chend den jahreszeitlich verschiedenen Luftraten vermindert werden. So ist z. B. für Rindvieh die Luftrate im Winter 5 - 8 mal niedriger als im Sommer (111, 118).Dies erfordert die Anpassung der Luftförderleistungen, also eine Regelbarkeit. Im wesentlichen sind folgende Arten der Regelung bzw. Steuerung zu unterscheiden, wobei als Regelgröße hauptsächlich die Temperatur verwendet wird.

1. Aussetzregelung: Hierbei ist ein Teil der in Vollastbetrieb laufenden Ventilatoren ein- und ausgeschaltet. Diese Gruppenschaltung gewährleistet keine gleichmäßige Raumdurchspülung, weil sich der Volumenstrom und die Druckdifferenzen sprungweise ändern.

2. Intervall- oder Impulsschaltung: Die Laufzeit der Ventilatoren wird von Hand oder automatisch durch einen Impulsschalter dem jeweiligen Lüftungsbedarf angepaßt. Die Ventilatoren arbeiten mit Vollast, und die Zuluftöffnungen bleiben unverändert. Da die Stalltemperatur mit plötzlich sinkender Außentemperatur nicht unter einen Sollwert sinken darf, muß eine Minimaltemperaturbegrenzung vorgesehen werden.

3. Drosselregelung: Eine stufenlose Regelung des Volumenstromes kann erzielt werden, indem die Zuluftöffnungen geändert werden; denn je kleiner die Zuluftöffnungen werden, desto geringere Luftdurchsätze ergeben sich.

4. Drehzahlregelung: Hierbei erfolgt die Luftmengenregulierung durch Veränderung der Ventilatorendrehzahl. Die Drehzahlsteuerung der Lüfter kann sowohl in Stufen als auch stufenlos vorgenommen werden.

a) Stufenweise: Drehzahländerung durch Transformatoren, die sowohl von Hand (Drehzahlschalter) als auch halbautomatisch bedient werden können.

b) Stufenlos: Drehzahländerung manuell durch einen Drehzahlregler oder automatisch durch einen Transformator.

Eine moderne vollautomatische stufenlose Drehzahländerung geschieht elektronisch (Phasenanschnittssteuerung) über einen hochempfindlichen Temperaturfühler.

Die vollautomatische Drehzahlsteuerung mit elektronischen Reglern ist relativ neu und in der Wirkung wenig bekannt. Aus diesem Grunde wurden mit auf dem Markt befindlichen Reglern Versuche durchgeführt. Diese Versuche sollten Aufschluß darüber geben, inwieweit die Ventilatordrehzahl und damit der Luftdurchsatz temperaturabhängig gesteuert werden kann, um so zu einer konstanten Stalltemperatur zu kommen. Gleichzeitig konnte jeweils die Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von Drehzahlen festgestellt werden.

Um genaue Werte für die Empfindlichkeit der Temperaturfühler zu erzielen, wurde die Temperatur mit Hilfe eines Wasserbades simuliert. Mit der Änderung der Wassertemperatur wurde die Ventilatordrehzahl jeder Temperaturstufe festgehalten. Die Schaltgenauigkeit der untersuchten Regler schwankte beträchtlich. Ein Reglerfabrikat (Abb. 18) schaltet die Ventilatoren bei Überschreitung des Soll-Wertes um Zehntelgrade bereits auf die volle Drehzahl und bewirkt dadurch nur eine Ein- und Ausregelung (Intervallschaltung), welche nach ihrer Wirkungsweise ungünstig zu beurteilen ist. Ein einziges Reglerfabrikat schaltet im Temperaturbereich von 3 K zufriedenstellend (Abb. 19). Das bedeutet, daß der Regler bei Überschreitung der vorgewählten Stalltemperatur die Ventilatordrehzahl erhöht und die volle Drehzahl erst dann erreicht wird, wenn die Ist-Temperatur den Soll-Wert um 3° K überschreitet.

Als Minimum sollte jedoch 1/3 der Drehzahlen nicht unterschritten werden, da infolge der zu stark nachlassenden Fördermenge der Luftdurchsatz nicht mehr ausreicht (Erstickungsgefahr).

Für die Bemessung der Lüftungsanlagen sind die Luftraten im Sommer und der maximale Stallbesatz maßgebend. Durch Multiplikation der in der Tab. 25 angegebenen spezifischen Luftraten mit der An-

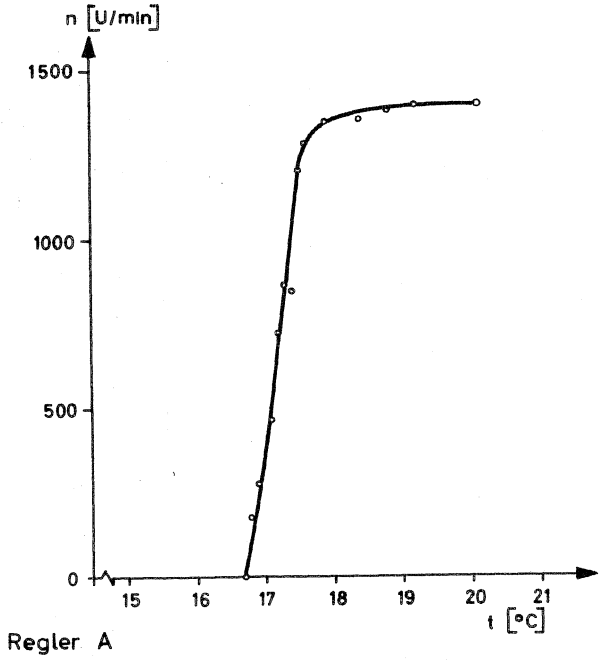


Abb. 18: Ventilatorendrehzahl in Abhängigkeit von der Raumtemperatur bei elektronischen Drehzahlreglern, Regler A

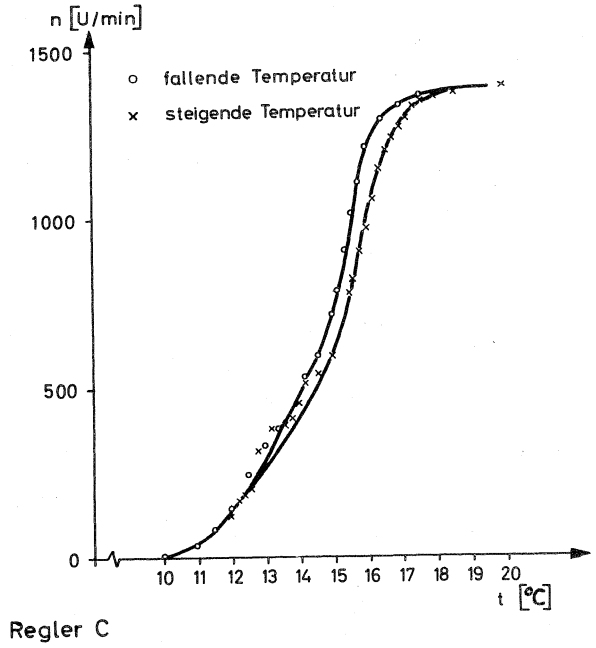


Abb. 19: Ventilatorendrehzahl in Abhängigkeit von der Raumtemperatur bei elektronischen Drehzahlreglern, Regler C

zahl der Tiere oder der GV der einzelnen Tiergruppen ergeben sich die Gesamtluftmengen für den Sommer. Die so errechnete Gesamtluftrate muß der maximalen Luftleistung der Ventilatoren entsprechen. Nach Abb. 16 kann der elektrische Leistungsbedarf somit für beliebige Bestandsgrößen ermittelt werden. Hierbei spielt die Feststellung der Ventilatorenzahl eine gewisse Rolle, da eine einwandfreie Raumströmung und eine gleichmäßige Luftverteilung von der Anzahl und vom Abstand der Ventilatoren abhängt. Zur Anpassung an die Ventilatorengröße kann der maximale Abstand zwischen den Ventilatoren mit der folgenden Gleichung angegeben werden (105):

(12) $$A = \sqrt{\frac{D}{56,5}}$$

Es sind: A = Abstand der Ventilatoren in m
D = Luftrate in m^3/h

Nach der beschriebenen Methodik sind in Tab. 26 neben dem Elektroenergieverbrauch auch der Leistungsbedarf der Stallüfter für die in der Rinderhaltung überwiegenden Unterdrucklüftungssysteme zusammengestellt. Dabei wurden die Bestandsgröße, die Sommertemperaturzone und die Haltungsform variiert. Beispielsweise brauchen 20 Kühe ohne Nachzucht bei ganzjähriger Stallhaltung in der Sommertemperaturzone $<26^{o}$ C eine maximale Luftmenge von 4.780 m^3/h (Tab. 26). Dafür werden bei einer Stallänge von 24 m in einem Abstand von ca. 10 m 2 Ventilatoren je 0,18 kW Leistung benötigt, d. h. die Gesamtleistung der Lüftung beträgt 0,36 kW.

Bei 20 Kühen mit Nachzucht beträgt die maximale Luftrate 7.452 m^3/h. Es sind in diesem Fall 3 Ventilatoren mit je 0,19 kW, also insgesamt 0,56 kW zu installieren. Der Elektroenergieverbrauch errechnet sich aus der Laufzeit der Stallüfter und der Leistungsaufnahme. In den Beispielen der Tabelle 26 wurde für die Regelung von Luftmengen die Drehzahlregelung unterstellt (Ventilatoren als Dauerläufer).

Tabelle 26: Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch der Stallüftung in der Milchviehhaltung (Unterdrucklüftungssystem, Drehzahlsteuerung)

Bestandsgröße			Sommertemperaturzone < 26 °C					Sommertemperaturzone ≥ 26 °C				
			Luftrate im Sommer	Anzahl der Ventilatoren	Elektrischer Leistungsbedarf	Elektrischer Energieverbrauch		Luftrate im Sommer	Anzahl der Ventilatoren	Elektrischer Leistungsbedarf	Elektrischer Energieverbrauch	
Kühe		GV	m^3/h	Stück	kW	kWh/Jahr (1)	kWh/Jahr (2)	m^3/h	Stück	kW	kWh/Jahr (1)	kWh/Jahr (2)
20	ohne Nachzucht	20,0	4780	2	0,36	2128	1025	6380	3	0,50	2957	1424
	mit Nachzucht	29,6	7452	3	0,56	3310	1594	9946	3	0,71	4198	2021
40	ohne Nachzucht	40,0	9560	4	0,73	4316	2078	12760	5	0,96	5676	2733
	mit Nachzucht	59,2	14904	6	1,12	6622	3188	19892	6	1,42	8397	4043
60	ohne Nachzucht	60,0	14340	6	1,10	6505	3132	19140	7	1,42	8397	4043
	mit Nachzucht	88,8	22350	8	1,68	9934	4783	29838	8	2,08	12299	5922
80	ohne Nachzucht	80,0	19120	8	1,46	8633	4157	25520	8	1,83	10821	5210
	mit Nachzucht	118,4	29808	10	2,20	13009	6263	39784	10	2,75	16261	7829

(1) Ganzjährige Stallhaltung

(2) Weidegang 5 Monate (im Sommer)

Die Leistungsaufnahme der Stallüfter bei Änderung der Drehzahl wurde stichprobenartig untersucht. Abb. 20 zeigt als typisches Beispiel diese Zusammenhänge (Axiallüfter). Es ist zu erkennen, daß mit sinkender Drehzahl die Leistungsaufnahme annähernd linear zurückgeht. Bei halber Drehzahl verringert sich die Leistungsaufnahme um 40 %, bei 1/3 der Drehzahlen um 50 %. Danach kann für diese Drehzahlregelung der jährliche Gesamtelektroenergieverbrauch der Stallüftung ermittelt werden, wenn man davon ausgeht, daß die Ventilatoren im Sommer mit voller Drehzahl, in der Übergangszeit mit halber Drehzahl und im Winter mit 1/3 der Drehzahl laufen.

Bei einem Bestand von 20 Milchkühen (ohne Nachzucht) und ganzjähriger Stallhaltung ergibt sich z. B. in einem Gebiet mit Sommertemperaturzone <26° C ein Elektroenergieverbrauch von 2.128 kWh/Jahr. Dieser Wert erhöht sich in Gebieten mit Sommertemperaturzone ≥26° C etwa um 30 %. Bei einem fünfmomatigen Sommerweidegang liegen die Energieverbrauchswerte etwa 48 % niedriger als bei der ganzjährigen Stallhaltung. Entsprechende Werte errechnen

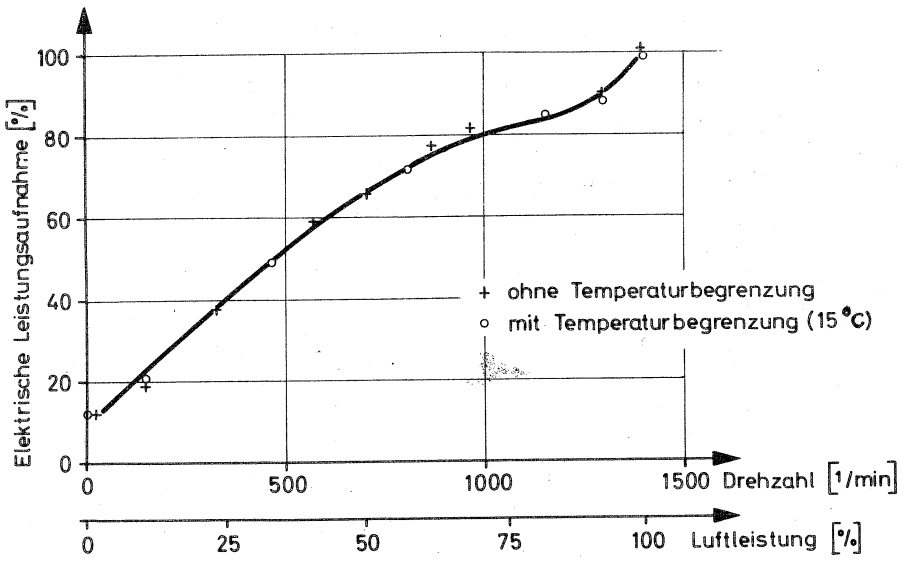


Abb. 20: Prozentuale Änderung der Leistungsaufnahme mit der Drehzahl des Axialventilators

sich für die Bestände mit 40, 60 bzw. 80 Kühen (4.316; 6.505 bzw. 8.633 kWh/Jahr). Bei Betrieben mit Nachzucht liegen die Verbrauchswerte wegen der größeren Tierzahl höher. Für einen Bestand von 20 Kühen mit Nachzucht (19,6 GV) und ganzjähriger Stallhaltung beträgt der Elektroenergieverbrauch 3.310 kWh/Jahr (Sommertemperaturzone <26° C). In dem Fall ist der Stromverbrauch um 55 % über dem vergleichbaren Wert für Betriebe ohne Nachzucht.

Weiterhin gelten diese Werte (Tab. 26) nur unter optimalen Voraussetzungen. Die Ventilatoren müssen nämlich nach ihren Kennlinien so ausgewählt werden, daß die Leistungsaufnahme im Betriebspunkt optimal liegt. Abb. 21 zeigt, daß zwei Axialventilatoren im Betriebspunkt (0,5 mbar) zwar dieselbe Luftmenge fördern, daß der Ventilator Nr. I aber gegenüber dem Ventilator II eine um etwa 100 % höhere Leistung aufnimmt. Werden die Ventilatoren also überdimensioniert, so kann der Elektroenergieverbrauch weit über dem Tabellenwert liegen.

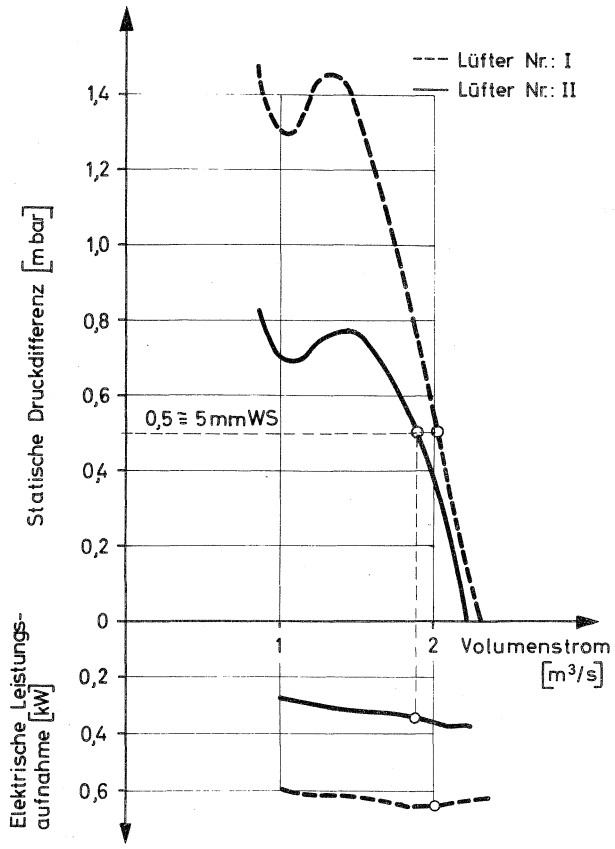


Abb. 21: Kennlinien von zwei Stallüftern - Axialventilatoren - (152)

Im Vergleich zu den angegebenen Werten der Tab. 26 steigt der Elektroenergieverbrauch der Stallüftung aufgrund der höheren Strömungswiderstände in luftführenden Kanälen im Durchschnitt um 13 % (ZEISIG, 119). Bei Gleichdrucklüftungsanlagen muß mit einem um 100 % höheren Wert kalkuliert werden, da in diesem Fall die doppelte Anzahl der Ventilatoren zu installieren ist.

Zusammenfassend wurde in Tabelle 27 der spezifische Elektroenergieverbrauch der Stallüftung wiedergegeben. Diese Werte gelten für Milchviehhaltung ohne Nachzucht. Bei der ganzjährigen Stallhaltung und einer Sommertemperaturzone <26° C beträgt der spezifische Elektroenergieverbrauch 107 kWh/Kuh und Jahr für Unterdrucklüftungssysteme und 121 kWh/Kuh und Jahr für Überdrucklüf-

tungssysteme. Aufgrund der doppelten Ventilatorenzahl liegt dieser Wert für Gleichdrucklüftungssysteme bei 214 kWh/Kuh und Jahr. In Gebieten mit Sommertemperaturzone $\geq 26^{\circ}$ C steigt der Elektroenergieverbrauch bei Unterdrucklüftungssystemen auf 140 kWh/Kuh und Jahr, bei Überdrucklüftungssystemen auf 158 kWh/Kuh und Jahr und bei Gleichdrucklüftungssystemen auf 316 kWh/Kuh und Jahr an, da infolge der kleineren Temperaturdifferenz zwischen Stall- und Außenluft höhere Luftdurchsätze benötigt werden. Der Elektroenergieverbrauch ist im allgemeinen in Betrieben mit Sommerweidegang (5 Monate) um 50 % niedriger als ohne Weidegang. Bei den Milchviehbetrieben mit Nachzucht liegt auch der spezifische Elektroenergieverbrauch um 55 % über dem Wert der Betriebe ohne Nachzucht. Wie bereits erwähnt erklärt sich dies aus den für das Jungvieh erforderlichen höheren Luftraten (vergl. Abb. 17).

Bei der Stallüftung sind sowohl hinsichtlich der installierten Leistung als auch des Stromverbrauches Einsparungen möglich. Wie bereits erwähnt, muß vor allem auf die richtige Dimensionierung der Ventilatoren geachtet werden. Die dargestellten Unterschiede bei den Lüftungssystemen verdeutlichen, daß im Interesse der Stromkosten das Unterdrucksystem in der Praxis vorteilhaft ist.

Tabelle 27: Spezifischer Elektroenergieverbrauch der Stallüftung in der Milchviehhaltung
(Ø kWh/Kuh und Jahr, ohne Nachzucht)

	Unterdrucklüftungssystem		Überdrucklüftungssystem		Gleichdrucklüftungssystem	
Sommertemperaturzone	< 26°C	≥ 26°C	< 26°C	≥ 26°C	< 26°C	≥ 26°C
ganzjährige Stallhaltung	107	140	121	158	214	316
Sommerweidegang (5 Monate)	51	68	58	77	102	136

3.4.2 Melkstandheizung und -lüftung

Da der Melkstand nur kurzfristig benutzt wird, reicht die Wärmeabgabe der Kühe im Winterhalbjahr nicht aus, um den Melkstandraum trocken und warm zu halten und dem Melker ein angenehmes Klima zu gewährleisten. Daher muß der Melkstand beheizt werden. Darüberhinaus ist eine Lüftung notwendig, um die während des Melkens anfallende große Wasserdampfmenge (von den Kühen abgegeben und durch Verdampfen des zu Reinigungszwecken verwendeten Wassers) abzuführen. Denn die feuchte Luft beeinträchtigt Funktion und Lebensdauer der technischen Einrichtungen des Melkstandes und die Leistungsfähigkeit und Gesundheit des Melkers.

Die Raumtemperatur während der Melkzeit richtet sich nach den Ansprüchen des arbeitenden Menschen und liegt zwischen 10 und 15° C bei einer relativen Luftfeuchte von 70 % (2, 49). Außerhalb der Melkzeiten sollte die Temperatur zwischen 5 und 10° C liegen und die relative Luftfeuchte nicht über 80 % steigen.

Die Melkstandheizung kann als lokale Heizung gezielt in der Melkgrube erfolgen. Dabei bieten sich vor allem für den Neubau die Bodenheizung oder die Rippenrohrheizung an.

Die elektrische Fußbodenheizung läßt sich als Direktheizung oder als Speicherheizung ausführen. Bei der Speicherheizung wird während der tariflichen Schwachlastzeiten aufgeladen. Bei der Direktheizung dagegen läßt sich verbilligter Schwachlaststrom nur wenig nutzen. Aus physiologischen Gründen sollte die Oberflächentemperatur des Fußbodens nicht über 26 - 28° C ansteigen (38, 53).

Die Wärmeleistung der Fußbodenheizung ergibt sich durch die Beziehung (38):

(13) $$Q/A = \alpha \cdot (t_{obf} - t_{ra})$$

Darin sind: Q/A : die Wärmeleistung je m^2 in kJ

α : die Wärmeübergangszahl in $kJ/m^2 \cdot h \cdot K$

t_{obf} : die Temperatur der Fußbodenoberfläche in ^{o} C und

t_{ra} : die Raumtemperatur ^{o} C

Ohne die Oberflächentemperatur von $t_{obf} = 28^{o}$ C zu überschreiten, kann die Fußbodenheizung nur rund 750 $kJ/m^2 \cdot h \cdot K$ abgeben ($\alpha = 40\ kJ/m^2 \cdot h \cdot K$ und $t_{ra} = 10^{o}$ C). Dies entspricht einer elektrischen Leistung von etwa 210 W/m^2. Um schneller anzuheizen, erhöht man in der Praxis die installierte Leistung. Je m^2 Melkgrube sollten jedoch nicht mehr als etwa 350 W verlegt werden (123). Da sich für die Melkgrube maximal eine Fläche von 7 - 9 m^2 (2 x 3 FMG bzw. 2 x 5 FMG) ergibt, sind 2,5 - 3,2 kW zu installieren (Tab. 28).

Für die Rippenrohrheizung kann eine spezifische Heizleistung von ca. 0,04 kW/m^3 Melkstandraum bei einer Wintertemperaturzone -12° C und ca 0,05 kW/m^3 Melkstandraum bei der Wintertemperaturzone -16° C ausreichen (159).

Tabelle 28 faßt den elektrischen Leistungsbedarf für die Melkstandheizung zusammen. Hier werden wegen der überwiegenden Bedeutung Fischgrätenmelkstände berechnet, wobei der Flächenbedarf bzw. der Raumbedarf nach AVA-Bauplanungsunterlagen (133) unterstellt wurde.

Die Steuerung der Heizung erfolgt entweder manuell oder automatisch über Thermostat und Schaltuhr. Letztere ist erforderlich, wenn nicht ständig geheizt wird. Hierbei sollten dann die Rippenrohrheizkörper etwa eine halbe Stunde und die Bodenheizung etwa 2 Stunden vor Melkbeginn eingeschaltet werden. Bei dieser Betriebsweise errechnet sich unabhängig von der Bestandsgröße für das Winterhalbjahr in der Wintertemperaturzone -10° C ein Elektroenergieverbrauch von 800 - 1.200 kWh. Bei ganztägigem Heizen (Raumtemperatur zwischen den Melkzeiten bei 5 bis 10° C) ergibt sich im Winterhalbjahr in der Wintertemperaturzone -10° C

Tabelle 28: Elektrischer Leistungsbedarf der Melkstandheizung (kW) (FMG = Fischgrätenmelkstand)

	Melkstand		Wintertemperaturzone			
			- 10°		- 16°	
	Grundfläche m^2	Raum m^3	Fußbodenheizung	Rippenrohrheizung	Fußbodenheizung	Rippenrohrheizung
2x3 FMG	35	88	2,5	3,5	3,7	4,4
2x4 FMG	40	100	2,8	4,0	4,2	5,0
2x5 FMG	45	113	3,2	4,5	4,7	5,6

ein Elektroenergieverbrauch von 2.000 - 3.000 kWh (123).

Für die Lüftung des Melkstandes genügt im allgemeinen eine Luftrate von 500- 1.000 m^3 in der Stunde. Dafür wird ein Axialventilator mit einem Luftdurchsatz von 0,14 - 0,28 m^3/s gegen einen Druck von 0,5 mbar ausgewählt, der nach Abb. 16 (Kapitel 3.4.1 "Stallüftung") einen elektrischen Leistungsbedarf von 70 - 100 Watt aufweist. Unterstellt man eine durchschnittliche Laufzeit (jährlich) von 2 Stunden am Tag, so ergibt sich ein Gesamtelektroenergieverbrauch der Melkstandlüftung von 50 bis 70 kWh im Jahr.

3.4.3. Beleuchtung

Zur guten Klimatisierung der Ställe gehört auch die Beleuchtung mit künstlichem Licht (143), da oft Arbeitsbereiche der Menschen und Freßplätze der Tiere nicht ausreichend durch Tageslicht beleuchtet werden. Untersuchungen haben ergeben (124), daß eine optimale Beleuchtungsstärke bei den arbeitenden Personen gerin-

gere Ermüdung, höhere Arbeitsleistung sowie bessere Arbeitsqualität bewirkt. Ferner wird bei Tieren die Futteraufnahme und somit die Leistungsfähigkeit erhöht. Die Beleuchtung muß daher so bemessen sein, daß ein reibungsloser und sicherer Arbeitsablauf möglich ist. Zur Ordnung und Kennzeichnung der lichttechnischen Begriffe dient das folgende System von Grundgrössen:

Lichtstrom (Ø) ist die durch das Auge fotometrisch bewertete Strahlungsleistung (Einheit: Lumen, lm). Der Lichtstrom kennzeichnet die Leistungsfähigkeit von Lichtquellen und dient zur Berechnung des Wirkungsgrades von Lichtquellen und Leuchten.

Lichtausbeute ist der Quotient des abgegebenen Lichtstromes zur zugeführten elektrischen Leistung und hat die Dimension Lumen/Watt.

Beleuchtungsstärke ist die Lichtstromdichte auf einer vom Lichtstrom getroffenen, also beleuchteten Fläche. Ihre Einheit ist das Lux (lx), wobei der Lichtstrom in Lumen und die Fläche in Quadratmeter eingesetzt wird. Die Beleuchtungsstärke bildet die Grundlage der Beleuchtungsberechnung und -planung.

Die künstliche Beleuchtung soll günstige Sehverhältnisse schaffen. Es gibt allgemeingültige Kennzeichen für eine gute Beleuchtung, wie ausreichende Beleuchtungsstärke, genügende Schattigkeit, Gleichmäßigkeit, Blendungsfreiheit und geeignete Lichtfarbe. Die Beleuchtungsstärke steht an erster Stelle, weil sie die Grundbedingung dafür ist, daß das Auge die Dinge seiner Umwelt wahrnimmt; denn erst durch die Beleuchtung erhalten die Gegenstände die erforderliche Leuchtdichte. Aufgabe der Beleuchtung ist es somit, auf den Gegenständen eine Leuchtdichte hervorzurufen, soweit sie nicht selbstleuchtend sind.

Es ist kaum möglich, ohne Hilfsmittel subjektiv festzustellen, wie hoch die Beleuchtungsstärke an einem bestimmten Platz ist. Hierzu werden heute objektiv messende Geräte mit Sperrschicht-

Fotoelementen benutzt. Für die je nach Art der Sehaufgabe in Betracht kommenden Beleuchtungsstärken in der Milchviehhaltung werden in DIN 18910 (143) empfohlene Werte angegeben (Tab. 29).

Tabelle 29: Beleuchtungsbedarf (nach DIN 18910, 143).

Raumart	Hauptbeleuchtungszone	Beleuchtungsstärke in Lux (=lm/m^2)	Spezifischer Lichtleistungsbedarf in (W/m^2)	
			Glühlampen (0,07 W/lm)	Leuchtstofflampen [1] (0,02 W/lm)
Milchvieh-Anbindestall	Melkgang	120	21,0	6,0
	Futtergang	30	5,3	1,5
	Mistgang	60	10,5	3,0
Milchvieh-Laufstall	Futtergang	30	5,3	1,5
Warteraum für Kühe		30	5,3	1,5
Melkstand	Melkgang	250	43,8	12,5
Milchraum	Arbeitszone	120	21,0	6,0
Futteraufbereitungsraum		60	10,5	3,0

[1] mit Vorschaltgerät

Für die Beleuchtung im landwirtschaftlichen Betrieb kommen Wolfram-Glühlampen und Gas- oder Metalldampfentladungslampen in Frage. In Folgendem werden daher Glühlampen und Niederspannungs-Leuchtstofflampen behandelt:

Glühlampen: Bei der Glühlampe wird ein wendelförmiger Leuchtkörper auf Glühtemperaturen zwischen 2.500 und 3.000 C^{o} durch Joulesche Wärme erhitzt und eine Lichtausbeute zwischen 8 und 20 Lumen/Watt erreicht. Die Glühlampe ist universell in jeder Lage und bei jeder Außentemperatur verwendbar. Ihre Lichtausbeute und Lebensdauer (im Mittel 1.000 Stunden) hängt aber stark von der Leistungsaufnahme und damit von der Spannung ab. Wie sich ständige Über- und Unterspannungen auf Lichtleistung und Lebensdauer auswirken, zeigt Abbildung 20 (128). Regelmäßige Spannungsschwankungen von +5 % setzen z. B. die Lebensdauer etwa um 30 % herab.

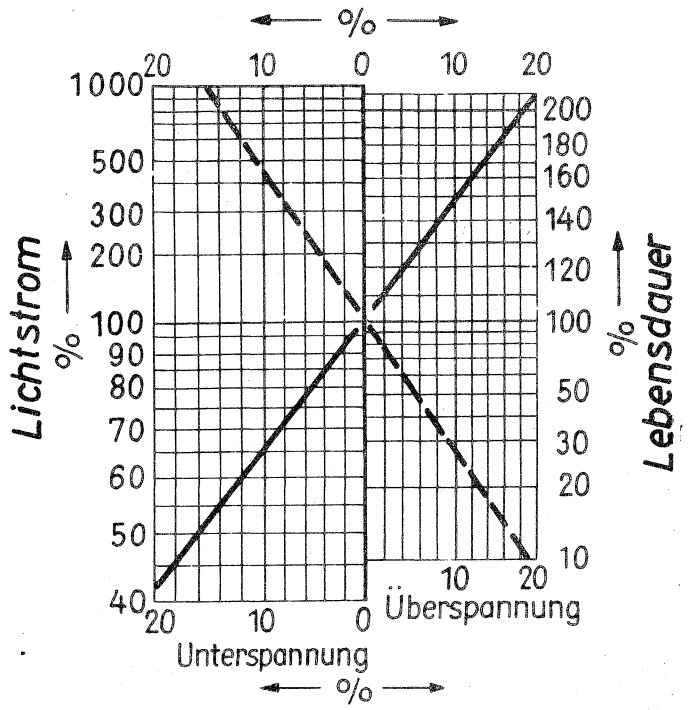


Abb. 22: Abhängigkeit der mittleren Lebensdauer und des Lichtstromes von der Spannung bei Glühlampen (128)
———— Lichtstrom ---------- Lebensdauer

Leuchtstofflampen (Niederspannung): Die Hg-Niederdruckentladung emmitiert einen besonders hohen Anteil an unsichtbarer UV-Strahlung, die über geeignete Leuchtstoffe in sichtbares Licht umgewandelt wird. Die Leuchtstofflampe besteht aus einem Glasrohr, das an beiden Enden mit einem Zweistiftsockel versehen ist. An jeder Seite befindet sich in der Röhre eine mit den Sokkelstiften verbundene Elektrode, die vorgeheizt werden muß. Auf der Innenseite des Glasrohres ist der Leuchtstoff als weißliche Schicht aufgebracht. Die Röhre enthält neben Argonfüllung als Trägergas eine geringe Menge Quecksilber, z. T. in Dampfform. Fließt elektrischer Strom durch die Röhre, so spielen sich atomare Vorgänge ab, die zur Lichterzeugung führen. Mit glühenden Elektroden können die Leuchtstofflampen durch Wechselstrom-Niederspannung betrieben werden, wobei zur Einleitung der Entla-

dung eine besondere Schaltung benötigt wird. Für die Allgemein- und Arbeitsplatzbeleuchtung in Wirtschaftsräumen und in Betriebsstätten sind die Lichtfarben "Universalweiß" und"Weiß de Luxe" besonders geeignet. Die Lichtausbeute der Leuchtstofflampen beträgt rund das Dreifache gegenüber Glühlampen gleicher Wattzahl und ermöglicht damit z. B. bei gleichem Beleuchtungsniveau einen wesentlich niedrigeren Leistungsbedarf.

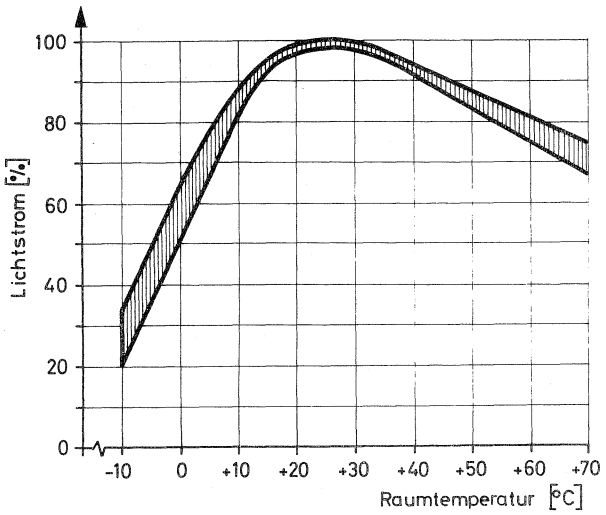


Abb. 23: Temperaturabhängigkeit des Lichtstromes von Leuchtstofflampen (128)

Der Lichtstrom der Leuchtstofflampen zeigt jedoch eine gewisse Temperaturabhängigkeit (Abb. 23). Bei sinkender Raumtemperatur wird nämlich der Lichtstrom herabgesetzt. Daher sollen die Lampen geschützt und möglichst in geschlossenen Leuchten verwendet werden. Die mittlere Lebensdauer beträgt unter normalen Betriebsbedingungen etwa 7.500 Stunden. Normale Betriebsbedingungen sind: Konstante Spannungs- und Frequenzverhältnisse, richtige Installation , Verwendung zugelassener Vorschaltgeräte sowie im Mittel ein dreistündiger Schaltrhythmus. Von Spannungsschwankungen ist die Leuchtstofflampe weniger abhängig als die Glühlampe (Abb. 24). Kleine Schwankungen von etwa 5 % beeinflussen die Lichtleistung der Lampe nur unerheblich und ihre Lebensdauer fast nicht.

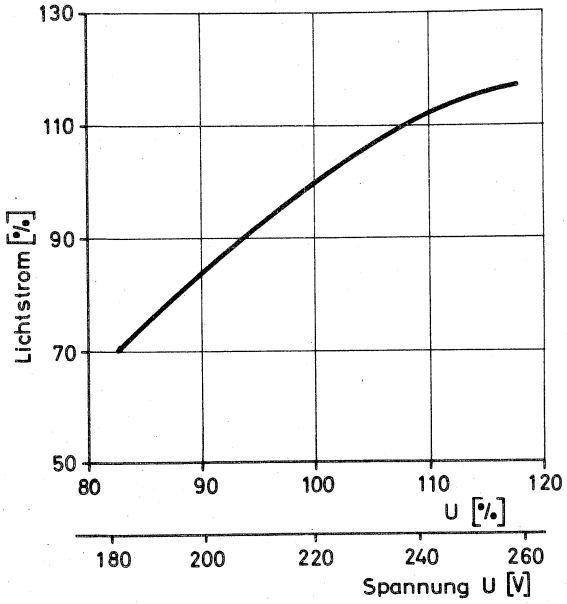


Abb. 24: Änderung des Lichtstromes der Leuchtstofflampe mit der Spannung

Aus vielfältigen Vorteilen, wie z. B. höhere Lichtausbeute und Lebensdauer, niedriger Leistungsbedarf und Energieverbrauch usw., ist in der Landwirtschaft den Leuchtstofflampen der Vorzug zu geben, sofern keine speziellen Anforderungen an die Lichtstromsteuerung gestellt werden.

Die Beleuchtung muß bei Innenbeleuchtungsanlagen nach der Wirkungsgradformel berechnet werden. Der Beleuchtungswirkungsgrad eines Raumes ist abhängig von der Lichtverteilung der Leuchten, von deren Anordnung, insbesondere Aufhängehöhe, von den geometrischen Verhältnissen des Raumes und von den Reflexionseigenschaften seiner Auskleidung und Ausstattung. Zwischen dem von den Lampen erzeugten Lichtstrom (Ø in lm) und der mittleren Beleuchtungsstärke (E in lx) besteht die Beziehung:

(14) $$\varnothing = \frac{E \cdot F}{\eta}$$

Hierin bedeuten: F : die beleuchtete Boden-oder Arbeitsfläche in m^2
η : den Beluchtungswirkungsgrad.

Der Beleuchtungswirkungsgrad liegt je nach Raumindex und Reflektionsgrad der Wände und der Decke zwischen 0,72 und 0,19 (128), wobei in landwirtschaftlichen Betriebsstätten mit einem durchnittlichen Beleuchtungswirkungsgrad von 0,45 zu rechnen ist. Außerdem wird bei der Berechnung einheitlich für alle Leuchten ein Verminderungsfaktor (v) von 0,8 berücksichtigt.

Um den spezifischen Lichtleistungsbedarf in der Milchviehhaltung (in Watt/Großvieheinheit) zu ermitteln, ist bei Kühen ein mittlerer Flächenbedarf aller beleuchteten Arbeitszonen von 6 - 7 m^2/GV unterstellt (130, 135) und den in der Tabelle 29 angegebenen Beleuchtungsstärken zugrunde gelegt. Aus den einzelnen beleuchteten Arbeitszonen resultierend ergibt sich dann der spezifische Lichtleistungsbedarf für Glühlampen von 61 - 74 Watt pro GV oder für Leuchtstofflampen (mit Vorschaltgerät) von 25 - 31 Watt/GV. Da Leuchtstofflampen ein Vorschaltgerät benötigen, liegt der Leistungsbedarf etwa 25 % höher als der für die Lampen ermittelte Wert.

Der elektrische Energieverbrauch der Beleuchtung hängt von der Beleuchtungszeit ab. Bei einer mittleren Beleuchtungszeit von 3 Stunden am Tag (jahreszeitlich) ergibt sich für Leuchtstofflampen z. B. ein Energieverbrauch von 38 kWh/GV und Jahr, wobei dieser Wert für Glühlampen etwa um das Dreifache höher liegen kann.

Wegen den obengenannten Vorteilen werden für die Beleuchtungszwecke in den Betriebsmodellen die Leuchtstofflampen eingesetzt.

4. Betriebsmodelle mit ihren elektrizitätswirtschaftlichen Kenndaten

In Kapitel 3 wurden die einzelnen Elektroenergieverbraucher der Milchviehhaltung analysiert und ihr Leistungs- und Energiebedarf mit wesentlichen Einflußgrößen ermittelt. Um den Einsatz dieser Verbraucher in Verbindung mit ganzen Produktionsverfahren zu erläutern, werden die ermittelten Daten zu Betriebsmodellen zusammengestellt. An diesen Modellen kann der unterschiedliche Elektrizitätseinsatz in beliebiger Variation simuliert werden, wobei Aussagen über die installierte Leistung und den Elektroenergieverbrauch in Abhängigkeit von der Bestandsgröße und der Mechanisierungsstufe getroffen werden.

Zur elektrizitätswirtschaftlichen Beurteilung dieser Betriebe werden Kenngrößen herangezogen, diese sind wie folgt definiert (134):

Höchstlast (Pmax) in kW

Als Höchstlast bezeichnet man die höchste in einer bestimmten Zeitspanne (Tag, Monat, Jahr) auftretende Belastung, die meistens über eine kurze Zeitspanne ermittelt wird, z. B. eine 1/4 Stunde. In den Betriebsmodellen steht die Jahreshöchstlast im Vordergrund.

Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast (Tm) in h

Sie stellt den Quotient aus dem jährlichen Stromverbrauch und der auftretenden Jahreshöchstlast dar. Die Benutzungsdauer charakterisiert den wirtschaftlichen Elektroenergieeinsatz. Je höher sie ist, desto besser werden die Leistungsansprüche ausgenutzt.

Verbrauchsfaktor (vi) in %

Dieser wird mit dem Quotient aus der Höchstlast in einer Zeit-

spanne (hier ein Jahr) und der gesamten installierten Leistung ausgedrückt. Je höher der Verbrauchsfaktor ist, desto stärker wird die installierte Leistung beansprucht. Mit höheren Verbrauchsfaktoren und gleichzeitig höherer Benutzungsdauer treten daher elektrizitätswirtschaftlich optimale Verhältnisse auf. Wie bisherige Praxisbetriebsmessungen ergeben haben (40, 67, 82), liegt die Benutzungsdauer der Milchviehbetriebe sehr viel niedriger als in anderen tierischen Produktionszweigen. Daher erscheint es besonders angebracht, für diesen Bereich nach Verbesserungsmöglichkeiten zu suchen, welche z. B. durch eine zeitliche Verlagerung zu einem sinnvollen Elektrizitätseinsatz in der Milchviehhaltung führen (Kap. 5).

Die Betriebsmodelle basieren im allgemeinen auf folgenden Unterstellungen:

1 Kuh = 1 GV
1 Kuh einschließlich Nachzucht = 1,48 GV
Milchleistung = 5.000 l Milch/Kuh und Jahr
Sommertemperaturzone <26° C
Wintertemperaturzone -16° C
Heubelüftungsstunden 80 h/Woche
Unterdruck-Stallüftung,
Leuchtstofflampen,
Direktmilchkühlung, tägliche Abholung,
wärmeisolierter Heißwasserspeicher,
Melkanlage mit Cr-Ni-Rohren
200 Winterfuttertage

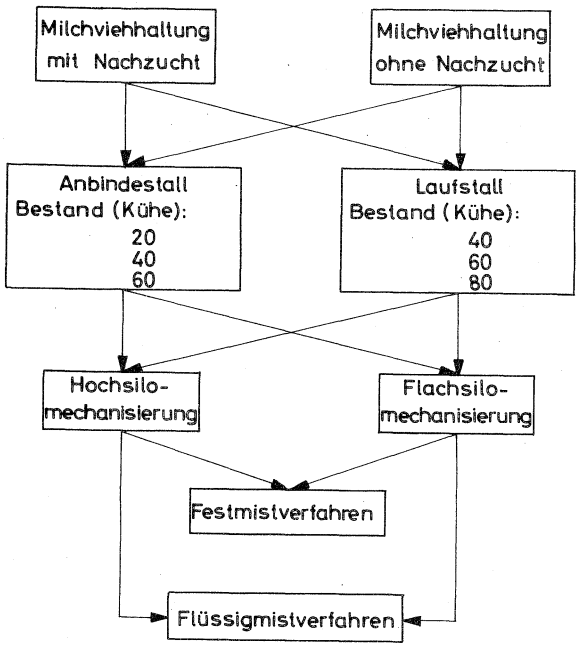
Hinsichtlich der Futterration wurden die in der Tabelle 30 zusammengestellten Futtermengen für Futterration A und B unterstellt.

Die Zusammenstellung der Betriebsmodelle erfolgt nach wichtigen Mechanisierungsmerkmalen. Ausgehend von Milchviehhaltung mit Nachzucht und Milchviehhaltung ohne Nachzucht wurde in Anbindeställe bzw. Laufställe, Hochsilomechanisierung bzw. Flachsilo-

mechanisierung und Festmist- bzw. Flüssigmistverfahren variiert (Übersicht 4).

Tabelle 30: Futterrationen der Betriebsmodelle (t/Kuh und Jahr)

	Futterration A Modelle I und II			Futterration B Modelle III	
	Silage	Heu	Kraftfutter	Heu	Kraftfutter
Ohne Nachzucht	6,0	0,7	1,3	2,0	1,3
Mit Nachzucht	9,0	1,0	1,7	2,4	1,7



Übersicht 4

Innerhalb dieser Variationen sind, um die in der Praxis auftretenden Grenzbereiche zu charakterisieren, grundsätzlich folgende elektrizitätswirtschaftlich bedeutungsvolle Mechanisierungsmerkmale berücksichtigt:

Modellgruppe I beinhaltet intensiven Elektrizitätseinsatz:

Hochsilomechanisierung: Futtereinlagerung mit Fördergebläse, Futterentnahme mit Untenentnahmefräse (Förderleistung 2,5 t/h)
Flüssigmistverfahren: Leistungsstarke Flüssigmistpumpe (dickflüssiger Rindermist, GK = 20)
Hofeigene Kraftfutteraufbereitung: Hammermühle, Futtermischer und Körnergebläse
Spülautomat für die Melkanlage: Durchlauferhitzer (bei 10° C Wasserzulauftemperatur)

Weiterhin sind angenommen: Schlechte Arbeitserledigung beim Melken, 75 % Auslastung der Milchkühlwanne, Kaltbelüftung von Heu, ganzjährige Stallhaltung und Rippenrohrheizung im Melkstand (Laufställe).

In Modellgruppe II werden elektroenergiesparende Verbraucher eingesetzt und die für einzelne Geräte zutreffende Verbesserungsmöglichkeiten berücksichtigt.

Hochsilomechanisierung: Futtereinlagerung mit Höhenförderer oder Greifer, Futterentnahme mit Obenentnahmefräse (5,0 t/h).
Flüssigmistverfahren: Konsistenzabbau des Flüssigmistes, leistungsschwächere Flüssigmistpumpe (GK = 5),
Kraftfutterzukauf,
Spülautomat für die Melkanlage: Mit Heißwasserspeicher (60° C).

Hierbei wurden gegenüber Modellgruppe II weitere Verbesserungen wie folgt vorgesehen: Gute Arbeitserledigung beim Melken, 100 % Auslastung der Milchkühlwanne, 5 Monate Weidegang im Sommer und Fußbodenheizung im Melkstand (Laufställe).

In Modellgruppe III wurde eine weitere Alternative, das Produktionsverfahren mit alleiniger Heufütterung erarbeitet (12 kg Heu/Kuh und Tag). Neben unterschiedlichen Verfahren der Heubelüftung (Kaltbelüftung bzw. Warmluftsatztrockner) werden die Grenzwerte mit Flüssigmistverfahren und Gebläsehäcksler (hoher Leistungsbedarf Stufe A) bzw. Festmistverfahren und Greifereinlagerung (niedriger Leistungsbedarf Stufe B) berücksichtigt.

4.1 Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch

Den vorgeschlagenen Variationen zufolge werden in den unterschiedlichen Bestandsgrößen der Milchviehhaltung die Betriebsmodelle zusammengestellt. Aus den Anschlußwerten der einzelnen Verbraucher ergibt sich die installierte Leistung des zutreffenden Verfahrens. Der Elektroenergieverbrauch resultiert - wie in Kap. 3 ausführlich behandelt - aus der Leistungsaufnahme und der Einsatzdauer der einzelnen Verbraucher.

Während im folgenden Kapitel nur die wesentlichen Beispiele herausgegriffen werden, um elektrizitätswirtschaftliche Folgerungen zu verdeutlichen, sind alle Werte in den Tabellen 1 bis 6 im Anhang vollständig beigefügt.

4.1.1 Milchviehhaltung mit Nachzucht

Die unterschiedlichen Stallsysteme - Anbindestall bzw. Laufstallführen aufgrund der beschriebenen einzelnen Abhängigkeiten bei Vakuumpumpe, Spülautomat, Melkstandheizung u. a. zu speziell zutreffenden Elektroenergiekenndaten.

In Anbindeställen sind bei Hochsilomechanisierung mit Flüssigmistverfahren höchste Leistungen zu installieren (Modelle I, Tabelle 1 im Anhang).

20 Kühe : 69,1 kW (3,5 kW/Kuh)
40 Kühe : 99,5 kW (2,5 kW/Kuh)
60 Kühe :120,9 kW (2,0 kW/Kuh)

Die spezifischen Werte der installierten Leistung in Anbindeställen sind in Abb. 25 dargestellt. Sie zeigen, daß mit größeren Beständen eine Degression der installierten Leistung eintritt.

Bei Festmistverfahren (Hochsilomechanisierung, Modelle I) sind 20 % geringere Werte zu installieren, da der Anschlußwert der Flüssigmistpumpen entfällt.

20 Kühe : 55,6 kW (2,8 kW/Kuh)
40 Kühe : 79,0 kW (2,0 kW/Kuh)
60 Kühe : 104,9 kW (1,7 kW/Kuh)

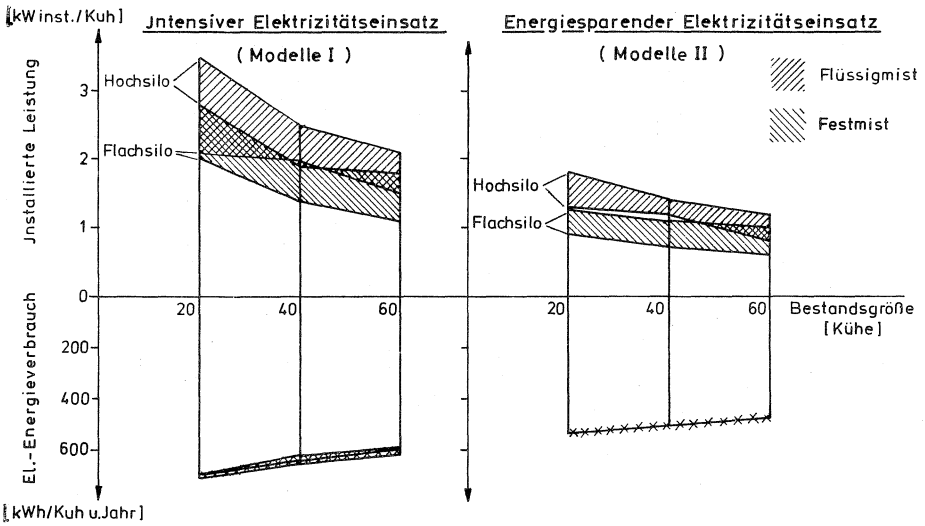


Abb. 25: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch in der Milchviehhaltung mit Nachzucht - Anbindeställe -

Wesentlich geringere installierte Leistungen treten bei Flachsilomechanisierung (Modell I) auf. Bei Flüssigmistverfahren sind folgende Werte zu installieren:

20 Kühe : 42,2 kW (2,1 kW/Kuh)
40 Kühe : 77,0 kW (1,9 kW/Kuh)
60 Kühe : 87,0 kW (1,5 kW/Kuh)

Bei Festmistverfahren ist, da die Flüssigmistpumpe entfällt, die Situation wesentlich günstiger.

20 Kühe : 40,6 kW (2,0 kW/Kuh)
40 Kühe : 56,1 kW (1,4 kW/Kuh)
60 Kühe : 67,0 kW (1,1 kW/Kuh)

Während sich bei den installierten Leistungen in den Modellen I große Unterschiede ergeben, schwankt der Elektroenergieverbrauch nur in geringem Ausmaß. Hierbei lassen sich folgende Bereiche angeben:

für 20 Kühe zwischen 14434 und 13665 kWh/Jahr
für 40 Kühe zwischen 26786 und 24924 kWh/Jahr
für 60 Kühe zwischen 38363 und 35177 kWh/Jahr

Allerdings ist auch hier eine geringe Degression festzustellen, nämlich 722 - 680 kWh/Kuh bei 20 Kühen, 670 - 623 kWh/Kuh bei 40 Kühen und 639 - 586 kWh/Kuh bei 60 Kühen (Abb. 25).

Wesentliche Verbesserungen ergeben sich mit dem Einsatz energiesparender Verfahren bei den Betriebsmodellen II. Bei Hochsilomechanisierung (Höhenförderer oder Greifer, Obenentnahmefräse) mit Flüssigmistverfahren (leistungsschwächere Pumpe) sind 33,5 kW bei 20 Kühen (1,8 kW/Kuh), 57,6 kW bei 40 Kühen (1,4 kW/Kuh) und 69,4 kW bei 60 Kühen (1,2 kW/Kuh) zu installieren (Tab. 1, Anhang). Besonders niedrig liegen die installierten Leistungen bei Flachsilomechanisierung und Festmistverfahren, welche die erreichbare Untergrenze darstellen (Tab. 2, Anhang). Sie betragen 17,4 kW bei 20 Kühen (0,9 kW/Kuh), 28,7 kW bei 40 Kühen (0,7 kW/Kuh) und 36,5 bei 60 Kühen (0,6 kW/Kuh).

Der Elektroenergieverbrauch der Modelle II geht gegenüber dem intensiven Elektrizitätseinsatz (Modelle I) durchschnittlich um 22 % zurück (Abb. 25). Es errechnen sich folgende spezifischen Werte:

571 - 533 kWh/Kuh und Jahr bei 20 Kühen
514 - 488 kWh/Kuh und Jahr bei 40 Kühen
490 - 459 kWh/Kuh und Jahr bei 60 Kühen

Somit sind in den Modellen II durch den Einsatz der energiesparenden Verfahren wesentliche Verbesserungen gegeben. Der Elektroenergieverbrauch sinkt zwar aufgrund der auf Seite 109 genannten Unterstellungen gegenüber den Betriebsmodellen II, durch die Senkung der installierten Leistung um 48 % wird jedoch eine bessere Ausnutzung der installierten Leistung erreicht, welche elektrizitätswirtschaftlich außerordentlich günstig ist.

Diese für Anbindeställe zutreffenden Werte unterscheiden sich gegenüber den Laufstallsystemen im geringem Maße. Allerdings wurde bei Laufställen auch die Bestandsgröße mit 80 Kühen untersucht, da große Bestände für Laufställe in der Praxis eher zutreffen.

Aufgrund der kürzeren Rohrleitungen zur Spülung der Melkanlage werden niedrigere Leistungen installiert, dies hebt sich jedoch durch die Leistung der Melkstandheizung auf. Somit sind ebenso wie bei Anbindeställen für den intensiven Elektroenergieeinsatz (Modelle I) mit 102,4 kW bei 40 Kühen (2,6 kW/Kuh) bis zu 156,8 kW bei 80 Kühen (2,0 kW/Kuh) bei Hochsilomechanisierung mit Flüssigmistverfahren (Tab. 3, Anhang, vergl. Abb. 26) zu installieren.

Auch bei Flachsilomechanisierung mit Festmistverfahren treten bei Laufställen um 45 % geringere Werte gegenüber Hochsilomechanisierung mit Flüssigmistverfahren auf (56,5 kW bei 40 Kühen und 78,9 kW bei 80 Kühen).

In den Modellen mit Laufstallsystemen zeigt sich (Abb. 26), daß mit zunehmender Bestandsgröße bis zu 80 Kühen keine weitere Degression hinsichtlich der installierten Leistung eintritt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß mit dem Übergang von 60 auf

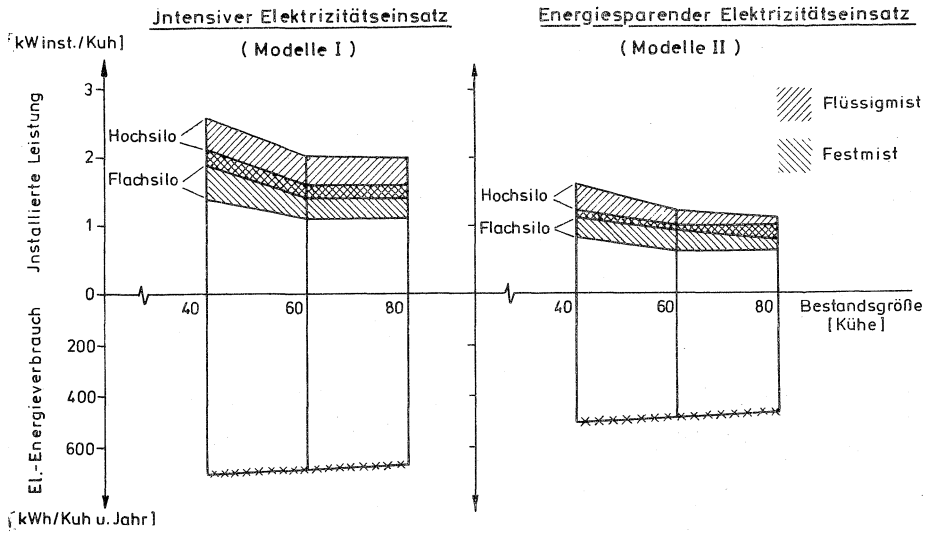


Abb. 26: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch in der Milchviehhaltung mit Nachzucht - Laufställe -

80 Kühe bei Heißwasserbereiter, Fördergebläse und Flüssigmistpumpe große elektrische Leistungen zu installieren sind. Besonders in großen Beständen ist daher der intensive Elektrizitätseinsatz, wie an Beispielen der Modelle I geschildert wird, unvorteilhaft.

Ebenso wie in Anbindeställen schwankt der Elektroenergieverbrauch trotz großer Unterschiede der installierten Leistung nur wenig. So beträgt der spezifische Elektroenergieverbrauch für die Modelle I 711 - 657 kWh/Kuh und Jahr bei 40 Kühen, 685 - 631 kWh/Kuh und Jahr bei 60 Kühen und 686 - 625 kWh/Kuh und Jahr bei 80 Kühen (Tab. 3 und 4, Anhang). Auch bei zunehmender Bestandsgröße bleiben diese Werte konstant.

Durch die energiesparenden Mechanisierungsverfahren, wie sie in den Beispielen der Modelle II auch für Laufställe dargestellt sind (vergl. Tab. 3 und 4, Anhang bzw. Abb. 26), werden deutliche Verbesserungen der installierten Leistung möglich, wobei sich diese Werte von Anbindeställen geringfügig unterscheiden (Hochsilomechanisierung mit Flüssigmistverfahren; zwischen 1,6 - 1,1

kW/Kuh und Flachsilomechanisierung mit Festmistverfahren; 0,8 - 0,6 kW/Kuh). Auch hier geht der Elektroenergieverbrauch um 20 % bis 22 % zurück.

Wie bereits angedeutet, ist den Modellen I und II (Silagefütterung, Hochsilo- bzw. Flachsilomechanisierung, intensiver bzw. energiesparender Elektrizitätseinsatz) eine weitere Alternative gegenübergestellt. In der Modellgruppe III sind die Betriebe mit alleiniger Heufütterung zusammengefaßt, welche beispielsweise für Allgäuer Hartkäsereigebiete zutreffen. Um Extremwerte hinsichtlich der installierten Leistung und des Elektroenergieverbrauches zu erfassen, wurde hierbei zur Heutrocknung mit Kaltbelüftung und Warmluftsatztrockner (vergl. Kap. 3,2,4) variiert. In Abb. 27 wird zusätzlich zwischen Flüssigmistverfahren einschließlich Gebläsehäcksler (Stufe A) und Festmistverfahren mit Greiferanlagen zur Heueinlagerung (Stufe B) unterschieden. Während die absoluten Einzelwerte in Tab. 7 und 8 im Anhang angegeben sind, faßt Abb. 27 die spezifischen Daten für Anbindeställe und Laufställe zusammen.

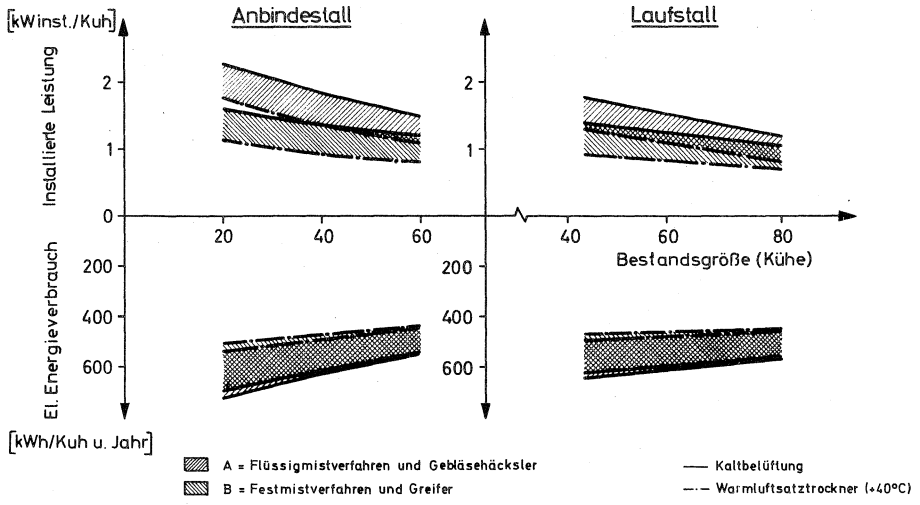


Abb. 27: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch in der Milchviehhaltung mit Nachzucht - alleinige Heufütterung, Modelle III

In Anbindeställen sind folgende Leistungen zu installieren, wobei für Kaltbelüftung und Stufe A höchste Ansprüche auftreten:

20 Kühe 45,6 kW (2,3 kW/Kuh)
40 Kühe 71,4 kW (1,8 kW/Kuh)
60 Kühe 92,6 kW (1,5 kW/Kuh).

Obwohl bereits bei den Festmistverfahren (mit Greiferanlagen, Stufe B) deutliche Leistungssenkungen eintreten (31,7 kW bei 20 Kühen, 53,1 kW bei 40 Kühen und 73,4 kW bei 60 Kühen), verringern sich die Leistungsansprüche nochmals durch den Übergang auf die Warmlufttrocknung. Dies wirkt sich vor allem in den Bestandsgrößen mit 40 bzw. 60 Kühen aus. Unter Berücksichtigung der Stufe B sind zu installieren:

20 Kühe 22,9 kW (1,1 kW/Kuh)
40 Kühe 35,5 kW (0,9 kW/Kuh)
60 Kühe 47,0 kW (0,8 kW/Kuh).

Hinsichtlich des Elektroenergieverbrauches entstehen durch die Differenzierung zwischen Stufe A und B geringe Unterschiede. Große Einsparungen resultieren jedoch aus dem Übergang zu anderen Energieträgern bei der Heutrocknung. Bei Kaltbelüftung wurden 680 kWh/Kuh (20 Kühe) bis 586 kWh/Kuh (60 Kühe) verbraucht. Bei Warmluftsatztrocknung sind dies um 23 % weniger, also 539 kWh/Kuh und Jahr (20 Kühe) bis 446 kWh/Kuh und Jahr (60 Kühe).

Wesentliche Vorteile ergeben sich also durch die geringere installierte Leistung, die Elektroenergieeinsparung und durch das dennoch auftretende bessere Verhältnis zwischen der installierten Leistung und dem Elektroenergieverbrauch, besonders, wenn auf Festmistverfahren und Greiferanlagen zurückgegriffen wird.

Bereits an den Modellen I und II wurde deutlich, daß zwischen Anbinde- und Laufstallsystemen keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der installierten Leistung und des Elektroenergieverbrauches auftreten. Das trifft grundsätzlich auch für die Mo-

delle III zu, wobei allerdings die Werte für große Milchviehbestände in Laufställen dargestellt werden sollen.

Eine Degression der spezifischen installierten Leistung tritt lediglich bei der Flüssigmistpumpe und beim Gebläsehäcksler auf (1,8 kW/Kuh bei 40 Kühen; 1,5 kW/Kuh bei 60 Kühen und 1,2 kW/Kuh bei 80 Kühen), während die Senkung der spezifischen Leistungsansprüche bei Festmistverfahren und Greifer nur gering ist (1,3 kW/Kuh, 1,2 kW/Kuh bei 60 Kühen und 1,1 kW/Kuh bei 80 Kühen).

Dies wirkt sich noch deutlicher bei den jährlichen Elektroenergieverbrauchswerten aus; bei Kaltbelüftung werden zwischen 626 und 634 kWh/Kuh und Jahr bei 40 Kühen, 590 und 599 kWh/Kuh und Jahr bei 60 Kühen und 582 und 587 kWh/Kuh und Jahr bei 80 Kühen verbraucht. Bei Warmluftsatztrocknung sind dies nahezu konstant zwischen 442 und 485 kWh/Kuh und Jahr (40 bis 80 Kühe).

Ein Vergleich der Modelle III (alleinige Heufütterung) mit den Modellen der Silomechanisierung (I und II) zeigt, daß lediglich bei Hochsilomechanisierung der Modelle I höhere Ansprüche auftreten (3,0 kW/Kuh), während die Flachsilomechanisierung besonders beim Einsatz leistungssparender Verfahren (Modelle II) elektrizitätswirtschaftlich günstiger zu beurteilen ist als das Verfahren mit Heufütterung (1,0 kW/Kuh). Um diese niedrigen Leistungsansprüche zu erreichen, muß die Warmluftsatztrocknung bei der Konservierung des Heus insbesondere bei großen Milchviehbeständen in der Praxis verstärkt zum Einsatz gelangen (0,7 - 0,8 kW/Kuh).

4.1.2 Milchviehhaltung ohne Nachzucht

Die bisher beschriebenen Modelle der Milchviehhaltung beschränkten sich ausschließlich auf Produktionsformen mit Nachzucht, wobei auf eine Milchkuh 1,48 GV entfallen. Die folgenden Modelle befassen sich bei gleichen Variablen und Unterstellungen mit Milchviehbeständen ohne Nachzucht. Die Zusammenstellung der Modelle zeigt bereits (Tabelle 5 und 6 im Anhang), daß die meisten Elektroenergieverbraucher lediglich von der Anzahl der Milchkühe abhängig sind, daß sich also hinsichtlich der installierten Leistungen keine Unterschiede bei den Geräten der Milchgewinnung und -behandlung ergeben.

Bei Heißwasserbereitern, Kraftfutteraufbereitungsanlagen sowie bei den Geräten der Mistkette und der Futterkette sind zwar die gleichen installierten Leistungen unterstellt, der Elektroenergieverbrauch ist jedoch geringer. Bei Stallüftung, Beleuchtung und Heubelüftung, also bei Bereichen, in denen die Leistungsansprüche ohnehin weniger Bedeutung haben, sind installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch rückläufig. Somit weichen die installierten Leistungen in den Modellen mit intensivem Elektroenergieeinsatz (Modelle I) nur geringfügig ab. In Anbindeställen mit Hochsilomechanisierung und Flüssigmistverfahren sind bei 20 Kühen 3,4 kW/Kuh, bei 40 Kühen 2,5 kW/Kuh und bei 60 Kühen 2,0 kW/Kuh zu installieren (Abb. 28). Bei Festmistverfahren beträgt die installierte Leistung analog 2,8 kW/Kuh (20 Kühe), 2,0 kW/Kuh (40 Kühe) und 1,7 kW/Kuh (60 Kühe).

Die untere Grenze in den Modellen I ergibt sich bei Flachsilomechanisierung mit Festmistverfahren (2,0 kW/Kuh bis 1,1 kW/Kuh bei 20 bis 60 Kühen). Der Elektroenergieverbrauch dieser Modellgruppe I ist aufgrund der geringen Anzahl der Tiere um 17 % geringer als in den Beständen mit Nachzucht (600 bis 574 kWh/Kuh und Jahr bei 20 Kühen, 558 bis 527 kWh/Kuh und Jahr bei 40 Kühen und 524 bis 490 kWh/Kuh und Jahr bei 60 Kühen).
Der Einsatz energiesparender Arbeitsverfahren (Höhenförderer, Spülautomaten mit Heißwasserspeicher, Sommerweidegang) in der

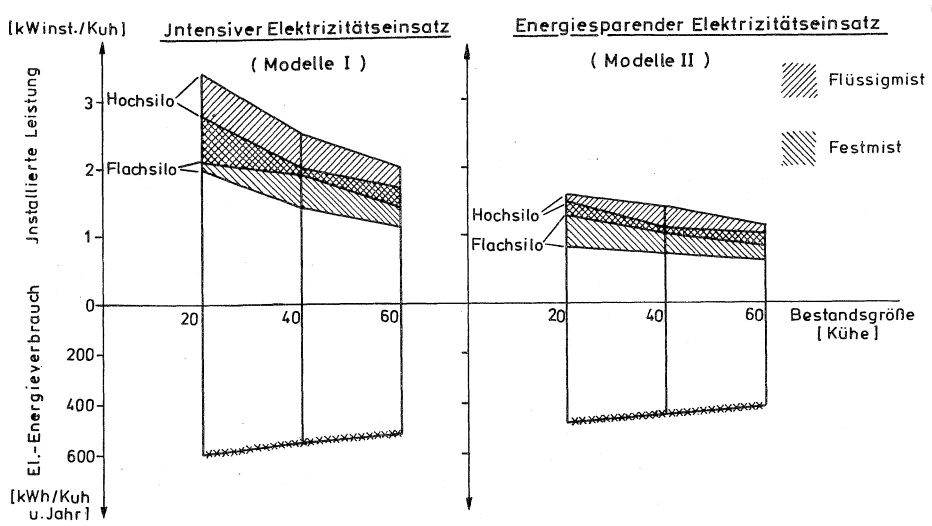


Abb. 28 Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch in der Milchviehhaltung ohne Nachzucht - Anbindeställe -

Modellgruppe II führt auch hier zu um 48 % geringeren installierten Leistungen. Diese Werte weichen aber nicht von denjenigen der Modelle mit Nachzucht ab (1,6 kW/Kuh bis 1,1 kW/ Kuh bei 20 bzw. 60 Kühen, Hochsilomechanisierung mit Flüssigmistverfahren). Bei Flachsilomechanisierung und Festmistverfahren sind nur 16,9 kW (bei 20 Kühen, 0,8 kW/Kuh) bis 35,0 kW (bei 60 Kühen, 0,6 kW/Kuh) zu installieren. Gegenüber den Modellen I ist also eine 55 %ige Einsparung wirksam (Abb. 28). Auch in diesem Falle wird die installierte Leistung sehr viel besser ausgelastet, da der Elektroenergieverbrauch 469 kWh/Kuh und Jahr (20 Kühe) bis 397 kWh/Kuh und Jahr (60 Kühe) beträgt, also nur um 17 % zurückgeht.

Neben dem Vergleich innerhalb der Modelle I und II der Milchviehhaltung ohne Nachzucht muß jedoch der geringere Elektroenergieverbrauch gegenüber der Milchviehhaltung mit Nachzucht allgemein zu einem schlechteren Verhältnis zwischen der installierten Leistung und dem Elektroenergieverbrauch führen, da den gleichen Leistungsansprüchen ein 12 - 17 %iger Rückgang des Verbrauchs gegenübersteht. Dies wirkt sich besonders in

den Modellen I bei den hohen installierten Leistungen aus. Vor allem in Betrieben ohne Nachzucht wird daher mit dem Übergang auf leistungssparende Verfahren eine deutliche Verbesserung der elektrizitätswirtschaftlichen Situation sichtbar.

Um den Überblick zu vervollständigen, sind die Werte ebenso für die Milchviehhaltung in Laufställen angegeben (Tab. 6 Anhang und Abb. 29). In den Modellen I beträgt die Spanne bei den installierten Leistungen 2,5 kW/Kuh (40 Kühe), 1,9 kW/Kuh (80 Kühe) bis 1,4 kW/Kuh (40 Kühe) und 1,0 kW/Kuh (80 Kühe). In den Modellen II ergeben sich 1,5 - 1,0 kW/Kuh (40 - 80 Kühe) bzw. 0,8 - 0,7 kW/Kuh (40 - 80 Kühe).

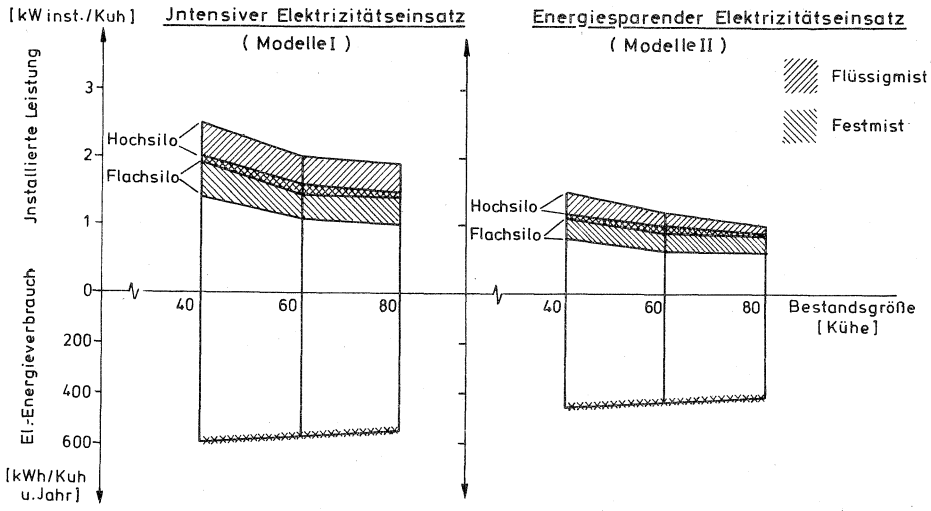


Abb. 29: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch in der Milchviehhaltung ohne Nachzucht - Laufställe -

Somit werden sowohl im Vergleich zu Anbindeställen der Milchviehhaltung ohne Nachzucht als auch im Vergleich zu den Modellen Milchviehhaltung mit Nachzucht nahezu gleiche Leistungen installiert. In den großen Beständen mit 80 Kühen zeigt sich nur in den Modellen I mit intensivem Elektrizitätseinsatz eine Degression, während diese bei energiesparendem Elektrizitätseinsatz kaum bemerkbar ist.

Wie bereits festgestellt wurde, ist in den Milchviehbetrieben ohne Nachzucht aufgrund des geringen Elektroenergieverbrauches (592 bis 532 kWh/Kuh und Jahr - Modelle I und 457 bis 417 kWh/ Kuh und Jahr - Modelle II , besonders bei leistungsaufwendigen Verfahren mit schlechteren elektrizitätswirtschaftlichen Verhältnissen zu rechnen als in allen Modellen der Michviehhaltung mit Nachzucht.

4.2 Die Jahreshöchstlast und ihre Benutzungsdauer

Neben der Darstellung der installierten Leistung und des Elektroenergieverbrauches ist die Kenntnis weiterer Daten über die Jahreshöchstlast, die Benutzungsdauer und den Verbrauchsfaktor, deren Definition einleitend (Kap. 4) erklärt wurde, von großer Bedeutung. Diese Kennwerte charakterisieren die Wirtschaftlichkeit des Elektrizitätseinsatzes. Sie werden häufig von den Elektrizitätsversorgungsunternehmen als Bewertungsmaßstab zugrunde gelegt.

Da Milchviehbetriebe mit der relativ niedrigen Benutzungsdauer als ungünstig anzusehen sind, werden folgende zwei Verbesserungsmöglichkeiten untersucht:

1. Die zeitliche Verlagerung von denjenigen Arbeitsvorgängen, welche Belastungsspitzen hervorrufen. Dies kann durch Verriegelung oder automatischen Lastabwurf erfolgen.

2. Zuordnung energie- und leistungssparender Verfahren und Geräte zu den jeweiligen Produktionsbereichen.

Die Jahreshöchstlast der Modellbetriebe kann anhand der theoretisch simulierten Belastungsverhältnisse ermittelt werden. Daher soll zunächst der typische Belastungsverlauf an einem Betriebsmodell mit unterschiedlichen Mechanisierungsformen dargestellt werden. Hierbei ist die Laufzeit von den gleichzeitig eingeschalteten einzelnen Verbrauchern mit ihrer mittleren Leistungsaufnahme berücksichtigt.

Der theoretische Aufbau des Belastungsverlaufes wird am Beispiel einer Produktionseinheit mit 60 Milchkühen einschließlich Nachzucht (Laufstall) gezeigt (Abb. 30). Die zusammenhängenden Arbeitsvorgänge bilden während der Melkzeit (Melken, Milchkühlung, Spülen der Melkanlage) einschließlich der Stallüftung die tägliche Grundlast (Abb. 30, linke Seite, Wintertag), wobei auch die Heißwasserbereitung zeitlich festgelegt ist. Im Sommer (Abb. 30, rechte Seite) tritt die Grundlast zeitweise in Verbindung mit der Heubelüftung auf, da diese aufgrund der klimatischen Abhängigkeit zeitlich nicht verschoben werden kann. Die übrigen Verbraucher (Abb. 30, unterbrochene Linie, Fördergebläse, Siloentnahmefräse, Kraftfutteraufbereitung, Flüssigmistbehandlung) sind beliebig zu variieren, so daß sich je nach Überlagerung unterschiedliche Belastungswerte und Werte für die Benutzungsdauer ergeben. Im Beispiel der Abbildung 30 entsteht bei optimaler Verlagerung das Maximum im Sommer während der Flüssigmistbehandlung (Pmax: 39 kW und Tm: 1070 h mit vi = 33 %). Bei einer vollständigen Überlagerung aller Verbraucher (Fördergebläse, Hammermühle und Flüssigmistpumpe während der Melkzeit) errechnet sich ein theoretisches Jahresmaximum in Höhe von 76 kW Tm = 549 h, vi = 54 %).

Nach dieser Methodik werden im folgenden für die Milchvieh-Modelle die obere und untere Grenze bzw. die bestmögliche Stufe der Jahreshöchstlast und die Benutzungsdauer ermittelt und diskutiert. Diese Werte erfassen die mögliche Streuung der Kenndaten und sind in den Abbildungen 31, 32 und 33 für die Milchviehhaltung mit Nachzucht dargestellt. Hierbei wirken sich die Mechanisierungsstufen in den Modellgruppen I,II bzw. III auf die Benutzungsdauer jeweils in unterschiedlichem Umfang aus. In diesen Abbildungen bezeichnen jeweils die geschlossenen Linien die Überlagerung aller gleichzeitig laufenden Verbraucher und die unterbrochenen Linien die Verriegelung aller Verbraucher (ohne Stallüftung und Beleuchtung). Neben diesen theoretisch ermittelten Grenzwerten können natürlich in der Praxis außerordentlich vielfältige Zwischenwerte auftreten. In welchem Bereich sich die in der Praxis gemessenen Verhältnisse bewegen, zeigt schließlich

der Vergleich in Kapitel 6.

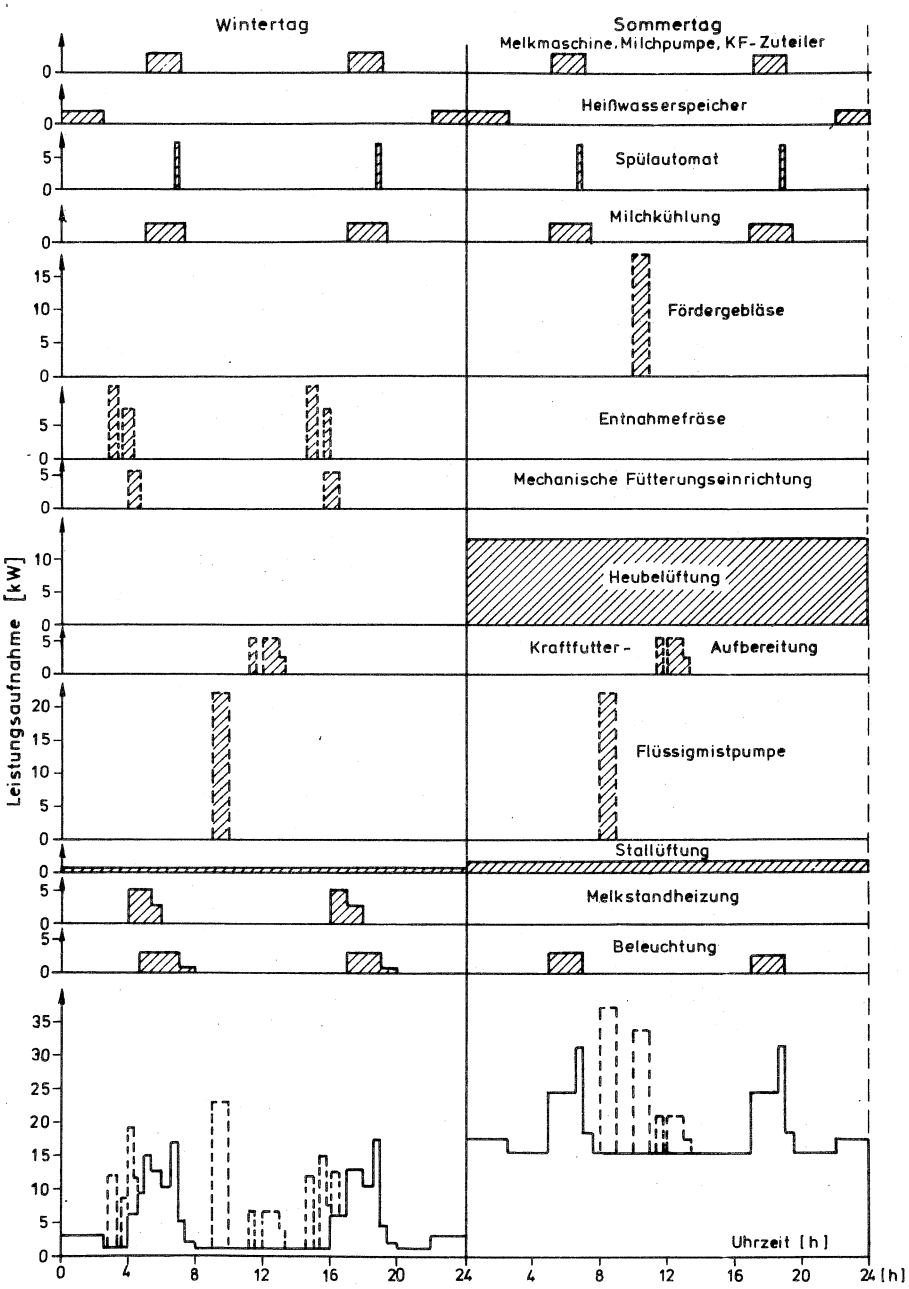


Abb. 30: Beispiel des max. täglichen Belastungsverlaufes
Betriebsmodell: 60 Milchkühe mit Nachzucht
- Laufstall -

4.2.1 Milchviehhaltung mit Nachzucht

Wie im vorhergehenden Kapitel 4.1.1 werden zunächst die Anbindeställe behandelt. Die entsprechenden Grenzwerte der Jahreshöchstlast und der Benutzungsdauer sind in Abb. 31 dargestellt. Im allgemeinen steigt die Jahreshöchstlast sowohl bei Überlagerung als auch bei Verriegelung der Verbraucher mit zunehmender Bestandesgröße an.

In Betrieben mit Hochsilomechanisierung (Modellgruppe I) ergeben sich bei Überlagerung aller Verbraucher folgende Grenzwerte der Jahreshöchstlast (Pmax) und der Benutzungsdauer (Tm):

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	50,0 - 35,0	289 - 410
40 Kühe	67,5 - 46,5	397 - 569
60 Kühe	77,0 - 55,0	498 - 697

Hierbei erreichen die Betriebe mit Flüssigmistverfahren die obere Grenze der Jahreshöchstlast. In Betrieben mit Festmistverfahren liegt diese Grenze um den jeweiligen Leistungsbedarf der Flüssigmistpumpe (unterer Wert) höher. Auch bei der Flachsilomechanisierung fällt dieser durch die Flüssigmistpumpe hervorgerufene Unterschied ins Gewicht. In diesem Fall betragen die Werte der Jahreshöchstlast und ihrer Benutzungsdauer in den Beständen mit

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühen	35,0 - 28,5	393 - 479
40 Kühen	60,0 - 39,0	424 - 639
60 Kühen	71,0 - 50,0	509 - 703

Die Benutzungsdauer in der Modellgruppe I ist bei Flüssigmistverfahren mit 289-509 h sehr niedrig. Auch bei Festmistverfahren in Verbindung mit Flachsilos treten mit 479 - 703 h Benutzungsdauer sehr ungünstige elektrizitätswirtschaftliche Bedingungen auf.

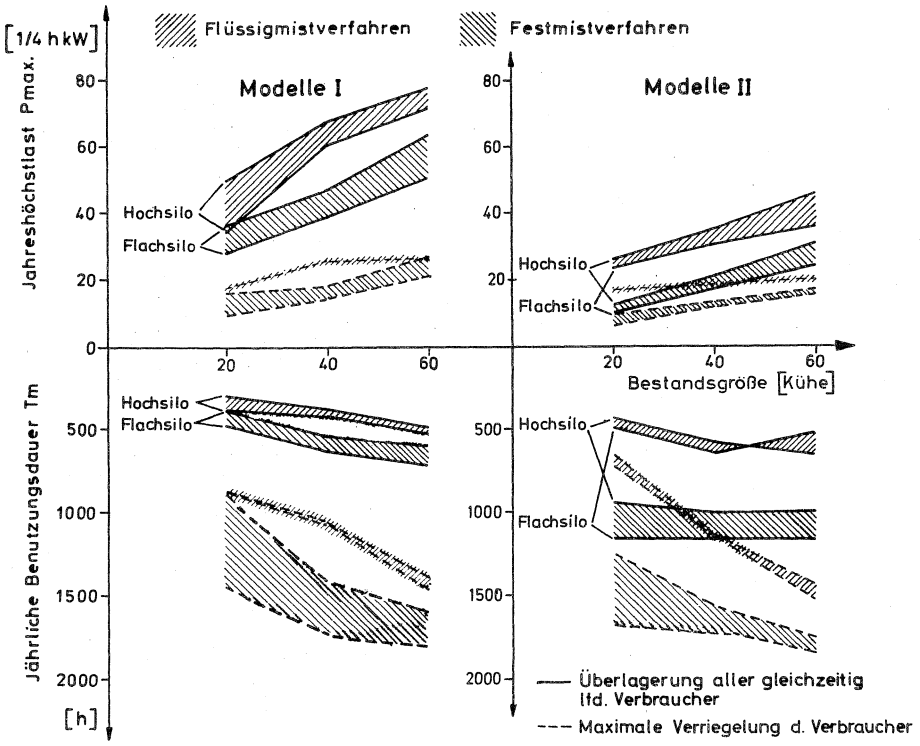


Abb. 31: Jahreshöchstlast und ihre Benutzungsdauer in den Milchviehbetrieben mit Nachzucht - Anbindeställe-

Ohne auf Verriegelungsmaßnahmen zurückzugreifen, ist eine Steigerung der Benutzungsdauer durch den Einsatz leistungssparender Verbraucher (z. B. Spülautomat mit Heißwasserspeicher, Höhenförderer oder Greiferanlagen, leistungsschwächere Flüssigmistpumpe) und durch die anderen, für die Modellgruppe II zutreffenden Maßnahmen möglich. Folgende Werte der Jahreshöchstlast und ihrer Benutzungsdauer sind als obere Grenze in den Betrieben mit Hochsilomechanisierung anzugeben:

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	26,0 - 13,0	416 - 868
40 Kühe	34,5 - 21,5	547 - 955
60 Kühe	45,5 - 30,5	643 - 974

In Betrieben mit Flachsilomechanisierung errechnen sich:

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	23,0 - 9,0	496 - 1184
40 Kühe	30,0 - 16,5	659 - 1188
60 Kühe	35,5 - 21,5	791 - 1281

Wiederum gelten die oberen Werte der Jahreshöchstlast und die unteren Werte der Benutzungsdauer für Flüssigmistverfahren.

Die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast ist auch in der Modellgruppe II nur bei Flüssigmistverfahren mit 416 - 791 h (20 - 60 Kühe) als noch ungünstig zu bezeichnen. Bei Festmistverfahren in Verbindung mit Flachsilos tritt eine entscheidende Verbesserung mit 1184 - 1281 h (20 - 60 Kühe) ein. Hier werden günstige elektrizitätswirtschaftliche Verhältnisse erreicht.

Eine weitere Steigerung der Benutzungsdauer durch die Senkung der Jahreshöchstlast ist durch Verriegelungsmaßnahmen möglich. Zur Verriegelung von Verbrauchseinrichtungen sind folgende technische Lösungen gegeben:

1. Verriegelung von Verbrauchseinrichtungen durch Umschalter
   Hier wird durch einen Hebelumschalter der gleichzeitige Betrieb von zwei oder mehr Verbrauchseinrichtungen verhindert. Der Einbau erfolgt im Hauptstromkreis zwischen Absicherung und Verbrauchseinrichtung. Die Um- oder Wahlschalter können auch mit Sterndreieckschalter für größere Motorenleistungen ausgerüstet werden.

2. Verriegelung von Verbrauchseinrichtungen durch Schützsteuerung
   Hierbei können die vorhandenen Installationen weitgehend be-

stehen bleiben. In die Zuführung zu den Verbrauchseinrichtungen werden Schütze mit Befehls-Taster eingebaut und zwischen diesen beiden ein Steuerstromkreis verlegt. Während die 1. Lösung im wesentlichen für Anlagen mit geringer Benutzungsdauer zu empfehlen ist, können mit dieser technischen Lösung auch häufig laufende Verbraucher ein- und ausgeschaltet werden.

3. Verriegelung von Verbrauchseinrichtungen mit Vorrangschalter
   Es gibt eine Reihe von Arbeitsvorgängen, die zeitlich relativ kurz sind und die gegenüber einem anderen Gerät Vorrang haben sollten. Hierzu sind Strom- oder Leistungsrelais, Schütze und Steuerleitungen notwendig. Bei Motoren, die infolge eines hohen Leistungsbedars nicht direkt geschaltet werden können, sind zusätzlich Schütz-Sterndreieckschalter erforderlich.

Diese beschriebenen technischen Einrichtungen haben einen unterschiedlichen Installationsaufwand und können nach räumlicher Anordnung oder je nach Einschalthäufigkeit der Geräte sinnvoll zugeordnet werden. Bei häufiger Laufzeit sind automatische Schaltungen mit Wiederanlauf des zweitrangigen Verbrauchers wünschenswert.

Am Beispiel der Modelle wird die theoretische untere Grenzwerte der Jahreshöchtlast mit der maximalen Verriegelung der Verbraucher erreicht (Abb. 31, 32, unterbrochene Linie) und somit die niedrigste Belastungssituation bzw. die höchste Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast ausgewiesen. Die Jahreshöchstlast wird dann jeweils durch den stärksten Verbraucher (z. B. Flüssigmistpumpe, Fördergebläse oder Heulüfter) in Verbindung mit Stallüftung gebildet.

So errechnen sich die Jahreshöchstlast und ihre Benutzungsdauer in Betrieben mit Hochsilomechanisierung für die Modellgruppe I:

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	16,5 - 16,0	877 - 897
40 Kühe	25,0 - 18,0	1071 - 1470
60 Kühe	26,0 - 25,0	1474 - 1534

wobei entscheidende Verbesserungen mit der hohen Benutzungsdauer auftreten. Bei Flüssigmistverfahren wird mit 877 - 1474 h (20 - 60 Kühe) eine 190 %ige und bei Festmistverfahren mit 897 - 1534 h eine 130 %ige Steigerung gegenüber den unverriegelten Modellen erreicht.

In Betrieben mit Flachsilomechanisierung (Flüssigmistverfahren bzw. Festmistverfahren) liegen die Kennwerte folgendermaßen:

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	16,5 - 9,5	834 - 1438
40 Kühe	24,5 - 14,0	1038 - 1780
60 Kühe	26,0 - 19,0	1389 - 1851

Durch die Verriegelungsmaßnahmen werden bei der Flachsilomechanisierung die Benutzungsdauer gegenüber den unverriegelten Modellen I durchschnittlich um 140 % erhöht. Während bei Flüssigmistverfahren mit 834 - 1389 h gegenüber Hochsilomechanisierung keine wesentlichen Unterschiede auftreten, werden bei Flachsilomechanisierung und Festmistverfahren mit 1438 - 1851 h gegenüber der Hochsilomechanisierung günstigere Werte erreicht.

Aus diesen Werten wird deutlich, daß die Unterschiede in der Mechanisierung der Futterkette lediglich bei Festmistverfahren auftreten, während bei Flüssigmistverfahren die leistungsstärkere Flüssigmistpumpe die Belastungssituation der Betriebe bestimmt.

Innerhalb der Modellgruppe II sind durch Verriegelungsmaßnahmen erhebliche Senkungen der Jahreshöchstlast und somit eine höhere Benutzungsdauer erreichbar (Abb. 31 rechte Seite). Für die Modelle II ergeben sich die folgenden Werte für die Jahreshöchstlast und Benutzungsdauer.

Hochsilomechanisierung:	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	16,5 - 9,5	655 - 1190
40 Kühe	18,0 - 14,0	1145 - 1468
60 Kühe	19,5 - 17,0	1501 - 1747

Flachsilomechanisierung:	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	16,5 - 6,0	692 - 1776
40 Kühe	17,5 - 11,5	1129 - 1700
60 Kühe	19,5 - 15,0	1441 - 1836

Die Benutzungsdauer liegt beispielsweise bei Festmistverfahren (Hochsilomechanisierung) zwischen 1190 und 1747 h(20 - 60 Kühe), während ohne Verriegelungsmaßnahmen 868 - 974 h erreicht werden.

Ähnliche Steigerungen treten bei Flachsilomechanisierung ein. Ein Vergleich gegenüber der Modellgruppe I zeigt jedoch, daß trotz des Einsatzes energiesparender Elektroenergieverbraucher nur geringe Vorteile bewirkt werden.

Aufgrund des geringen Elektroenergieverbrauches in Modellgruppe II ist die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast auf beiden Seiten sehr ähnlich, beispielsweise bei Flachsilomechanisierung und Flüssigmistverfahren mit 692 - 1441 h in Modellgruppe II gegenüber 834 - 1389 in Modellgruppe I (20 - 60 Kühe). Wie diese Werte beweisen, bewirken die Verriegelungsmaßnahmen in Modellgruppe II, besonders in kleinen Bestandsgrößen, keine weitere Steigerung der Benutzungsdauer gegenüber der Modellgruppe I. Es kann daher gefolgert werden, daß beim Einsatz energiesparender Verfahren die aufgeführten Verriegelungsmaßnahmen unvorteilhaft sind.

Bei Milchviehaltung in Laufstallsystemen resultieren keine grundsätzlich anderen Werte der Jahreshächstlast und der Benutzungsdauer (Abb. 32). An diesen Modellen soll wiederum lediglich die Tendenz bei großen Beständen (80 Kühe)verdeutlicht werden.

Nach gleicher Methodik wie oben lassen sich die Kenndaten zur jeweiligen Modellgruppe wie folgt angeben:

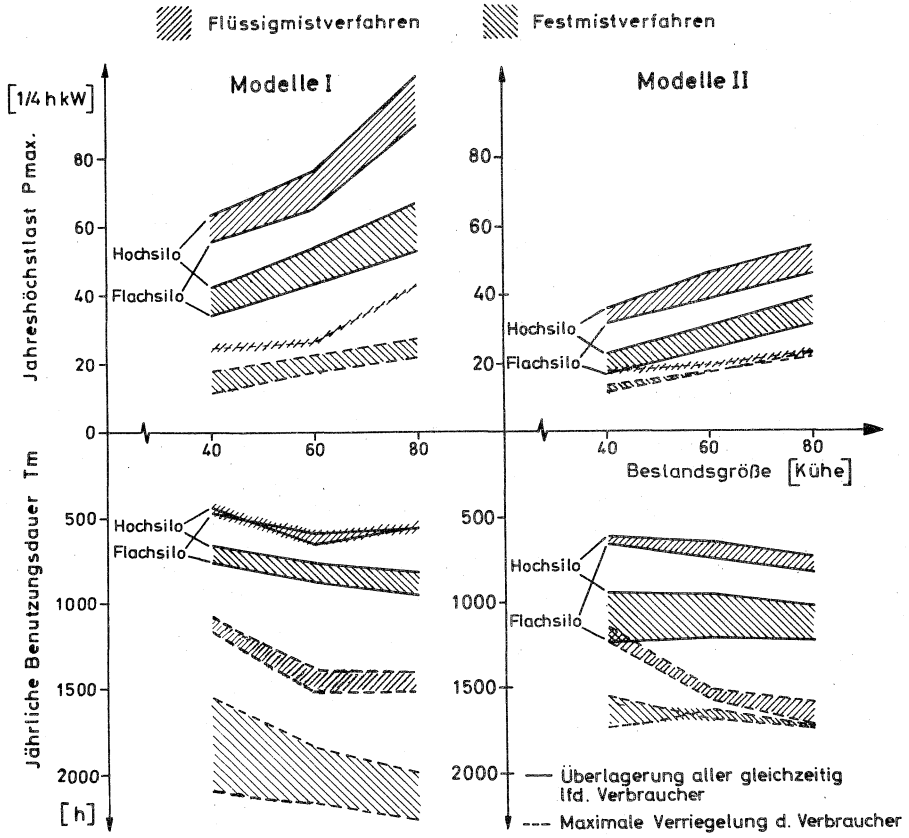


Abb. 32: Jahreshöchstlast und ihre Benutzungsdauer in den Milchviehbetrieben mit Nachzucht - Laufställe -

Betriebe mit Hochsilomechanisierung (Modelle I, maximale Überlagerung der Verbraucher)

	Flüssigmistverfahren		Festmistverfahren	
	Pmax (kW)	Tm (h)	Pmax (kW)	Tm (h)
40 Kühe	63,5	448	42,5	658
60 Kühe	76,0	549	54,0	759
80 Kühe	104,0	527	67,0	819

Aufgrund der kleineren Durchlauferhitzer zur Spülung der Melkanlage liegt hierbei die Benutzungsdauer lediglich um 10 % höher als in Anbindeställen.

In den Modellen mit Flachsilomechanisierung ist die Benutzungsdauer gegenüber der Hochsilomechanisierung durchschnittlich 10 % höher. So liegen die Werte für Flachsilomechanisierung in den Modellgruppen I bei maximaler Überlagerung der Verbraucher in folgenden Größenordnungen:

	Flüssigmistverfahren		Festmistverfahren	
	Pmax (kW)	Tm (h)	Pmax (kW)	Tm (h)
40 Kühe	56,0	478	34,0	773
60 Kühe	65,0	594	43,0	880
80 Kühe	89,5	559	52,5	953

Die Steigerung der Benutzungsdauer bei Hochsilomechanisierung mit Flüssigmistverfahren zu Flachsilomechanisierung mit Festmistverfahren setzt sich mit Übergang auf die Modelle II fort. Allerdings kann, wie bereits erwähnt, die Benutzungsdauer aufgrund des gleichzeitigen Räckganges des Elektroenergieverbrauches nicht übermäßig steigen. Die Jahreshöchstlast und ihre Benutzungsdauer betragen in der Modellgruppe II bei maximaler Überlagerung der Verbraucher für die Betriebe mit Hochsilomechanisierung

	Flüssigmistverfahren		Festmistverfahren	
	Pmax (kW)	Tm (h)	Pmax (kW)	Tm (h)
40 Kühe	35,5	603	22,5	942
60 Kühe	46,0	654	31,0	959
80 Kühe	54,0	731	39,0	1027

und für die Betriebe mit Flachsilomechanisierung

	Flüssigmistverfahren		Festmistverfahren	
	Pmax (kW)	Tm (h)	Pmax (kW)	Tm (h)
40 Kühe	31,5	651	16,5	1229
60 Kühe	38,0	754	23,5	1204
80 Kühe	46,0	817	31,0	1230

Ebenso wie in den Modellen der Anbindeställe steigt die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast mit zunehmender Bestandsgröße trotz höherer Belastungen an. Dies gilt grundsätzlich für Modelle ohne Verriegelungsmaßnahmen in Verbindung mit Hochsilomechanisierung. Die hohen Leistungsansprüche der Flüssigmistpumpe bei dickflüssigerem Rindermist führen zu einer Verschlechterung der Benutzungsdauer.

Ebenso wie in Anbindeställen kann die Benutzungsdauer durch eine Senkung der Jahreshöchstlast (Verriegelungsmaßnahmen) verbessert werden. So liegen die Grenzwerte der Benutzungsdauer bei der Verriegelung aller großen Verbraucher in den Modellgruppen I und II wie folgt (Abb. 32, unterbrochene Linien):

	Flüssigmistverfahren		Festmistverfahren	
	Pmax (kW)	Tm (h)	Pmax (kW)	Tm (h)
	I - II	I - II	I - II	I - II
40 Kühe	24,5 - 17,5	1162 - 1224	18,0 - 13,5	1554 - 1569
60 Kühe	30,0 - 19,0	1390 - 1583	25,0 - 17,5	1600 - 1699
80 Kühe	40,0 - 23,0	1370 - 1716	27,5 - 23,0	1995 - 1742

In Betrieben mit Flachsilomechanisierung

	Flüssigmistverfahren		Festmistverfahren	
	Pmax (kW)	Tm (h)	Pmax (kW)	Tm (h)
	I - II	I - II	I - II	I - II
40 Kühe	25,0 - 18,0	1071 - 1139	12,5 - 12,5	2102 - 1621
60 Kühe	30,0 - 19,0	1286 - 1507	17,5 - 17,5	2163 - 1617
80 Kühe	40,0 - 23,5	1250 - 1598	22,0 - 22,0	2275 - 1734

Die durch Verriegelung erreichten Grenzwerte innerhalb der Modellgruppe II liegen zwar mit denen in Modellgruppe I in vergleichbarer Höhe, aber es ist, wie bereits bei Anbindestallmodellen deutlich wurde, die dadurch erreichte Steigerung der Benutzungsdauer gegenüber der Stiegerung beim Übergang von intensivem Energieeinsatz (Modell I) zu leistungssparenden Verfahren (Modelle II) relativ

gering. Daher sollte die Verbesserung der Benutzungsdauer vor allem durch den Einsatz leistungssparender Verbraucher versucht werden, soweit die Verriegelungsmaßnahmen keine Kostenvorteile mit sich bringt.

Die Jahreshöchstlast und die Benutzungsdauer der Milchviehbetriebe mit alleiniger Heufütterung wird vor allem durch das Verfahren der Heukonservierung bestimmt, wobei zwischen Anbinde- und Laufstallsystemen keine wesentliche Unterschiede auftreten. Daher wurde hierbei hinsichtlich der Heubelüftung zwischen Kaltbelüftung (entspricht intensivem Elektrizitätseinsatz) und Warmluftsatztrocknung (entspricht dem leistungs- bzw. energiesparenden Verfahren) variiert.

Um die Extremwerte zu erfassen, werden die gesamten Konservierungsverfahren jeweils mit Flüssigmistverfahren und Gebläsehäcksler bzw. mit Festmistverfahren und Greiferanlagen kombiniert. Hierbei stellt die Kaltbelüftung in Verbindung mit Flüssigmistverfahren und Gebläsehäcksler die obere Grenze dar. In diesem Fall betragen Jahreshöchstlast (Pmax) und Benutzungsdauer (Tm) für Anbindeställe (Abb. 33, linke Seite):

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	41	332
40 Kühe	54	472
60 Kühe	73	482

Mit dem Übergang auf das Verfahren mit Warmluftsatztrocknung erhöht sich die Benutzungsdauer wenig, da zwar eine elektrische Leistungsverminderung durch andere Energieträger (Heizöl) zu einer 30 % niedrigeren Jahreshöchstlast führt, der Elektroenergieverbrauch geht jedoch gleichzeitig um 23 % zurück. Hierbei errechnen sich folgende Kennwerte:

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	32	339
40 Kühe	36	525
60 Kühe	46	581

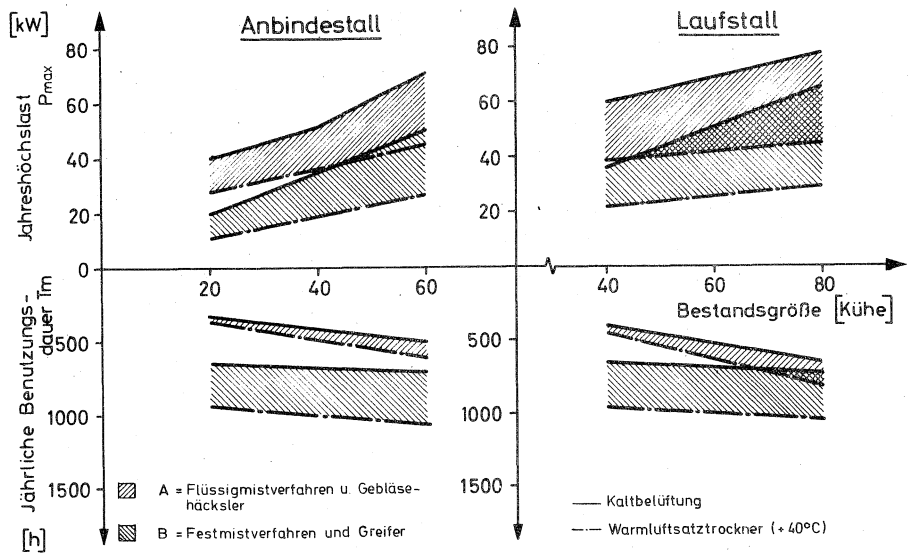


Abb. 33: Jahreshöchstlast und ihre Benutzungsdauer in Milchviehbetrieben mit alleiniger Heufütterung (Modelle III)

Infolge des Wegfalls der Flüssigmistpumpe und des Gebläsehäckslers (leistungsaufwendige Verbraucher) liegt die Benutzungsdauer in Betrieben mit Festmistverfahren und Greiferanlagen (leistungsschwächere Verbraucher) wesentlich höher, da bei fast gleichbleibendem Elektroenergieverbrauch die Jahreshöchstlast um 10 % verringert wird:

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	20	640
40 Kühe	36	678
60 Kühe	51	686

Eine wesentliche Verbesserung der Benutzungsdauer kann in Verbindung mit Festmistverfahren und Greiferanlagen durch den Übergang von Kaltbefüftung auf Warmluftsatztrocknung erreicht werden, da die hohe Grundlast der Kaltbelüftungsgebläse entfällt. Hierbei errechnen sich folgende Kennwerte:

	Pmax (kW)	Tm (h)
20 Kühe	11	907
40 Kühe	18	1044
60 Kühe	25	1062

Bei Heufütterung ist hinsichtlich der Jahreshöchstlast und ihrer Benutzungsdauer kaum ein Unterschied zwischen Laufstall- und Anbindestallsystemen festzustellen (Abb. 33, rechte Seite). Mit steigender Bestandsgröße setzt sich die Degression allerding in geringem Maße fort.

Für Laufstallbetriebe mit Flüssigmistverfahren und Gebläsehäcksler ergeben sich folgende Einzelwerte (vergl. Tab. 8, Anhang)

	Kaltbelüftung		Warmluftsatztrocknung	
	Pmax (kW)	Tm (h)	Pmax (kW)	Tm (h)
40 Kühe	60	423	40	493
60 Kühe	67	537	41	670
80 Kühe	77	610	42	850

Betriebe mit Festmistverfahren und Greiferanlagen weisen dagegen wie bereits erwähnt eine höhere Benutzungsdauer auf. Hierzu errechnen sich folgende Werte:

	Kaltbelüftung		Warmluftsatztrocknung	
	Pmax (kW)	Tm (h)	Pmax (kW)	Tm (h)
40 Kühe	38	659	20	970
60 Kühe	52	681	26	1057
80 Kühe	68	686	33	1071

Zusammenfassend ist festzustellen, daß eine Erhöhung der Benutzungsdauer in Betrieben mit alleiniger Heufütterung nur dann erreicht wird, wenn der Leistungsanspruch von Heulüftern der Kaltbelüftungsanlagen umgangen wird. Dies ist, wie in Kapitel 3.2.4 behandelt, mit Anwärmung der Trocknungsluft erreichbar.

4.2.2 Milchviehhaltung ohne Nachzucht

Im Kapitel 4.1.2 ist die installierte Leistung und der Elektroenergieverbrauch der Milchviehhaltung ohne Nachzucht angegeben. Wie in Kapitel 4.1.2 näher ausgeführt ändert sich die installierte Leistung bei den Modellen ohne Nachzucht gegenüber den Modellen mit Nachzucht nur geringfügig (Stallüftung, Beleuchtung). Dies wirkt sich beim Belastungsverlauf nicht aus, so daß der durch die geringere Anzahl der Tiere hervorgerufene niedrigere jährliche Elektroenergieverbrauch zu Einbußen der Jahresbenutzungsdauer (durchschnittlich 15 %) führt.

Beispielsweise beträgt der jährliche Elektroenergieverbrauch 11996 kWh (600 kWh/Kuh und Jahr) in der Modellgruppe I mit 20 Kühen (Anbindestall) bei Hochsilomechanisierung und Flüssigmistverfahren. Bei maximaler Überlagerung der Verbraucher (Pmax = 49,5 kW) tritt eine Benutzungsdauer in Höhe von 242 h auf. Trotz gleicher Mechanisierung und annähernd gleichem Belastungsmaximum (Pmax = 50,0 kW) ergibt sich bei den Modellen mit Nachzucht eine höhere Benutzungsdauer von 289 h. Bei maximaler Verriegelung ist die Benutzungsdauer mit 750 h um 15 % ungünstiger als bei den Modellen mit Nachzucht (877 h).

Da die Differenz in der Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast in sämtlichen Modellen nahezu konstant ist, wurde auf eine separate Darstellung der in den Tabellen 5 und 6 im Anhang aufgeführten Werte an dieser Stelle verzichtet. Die bereits angedeuteten elektrizitätswirtschaftlichen Folgerungen treffen jedoch für die Milchviehbetriebe ohne Nachzucht in besonderem Maße zu. Bei intensivem Elektrizitätseinsatz, hier wiederum besonders in den niedrigen Bestandsgrößen, muß auf eine zeitliche Verlagerung der Elektroenergieverbraucher mit hohen Leistungsansprüchen Wert gelegt werden, um auch für hochmechanisierte Produktionsverfahren sinnvolle Einsatzmöglichkeiten der Elektroenergie zu schaffen.

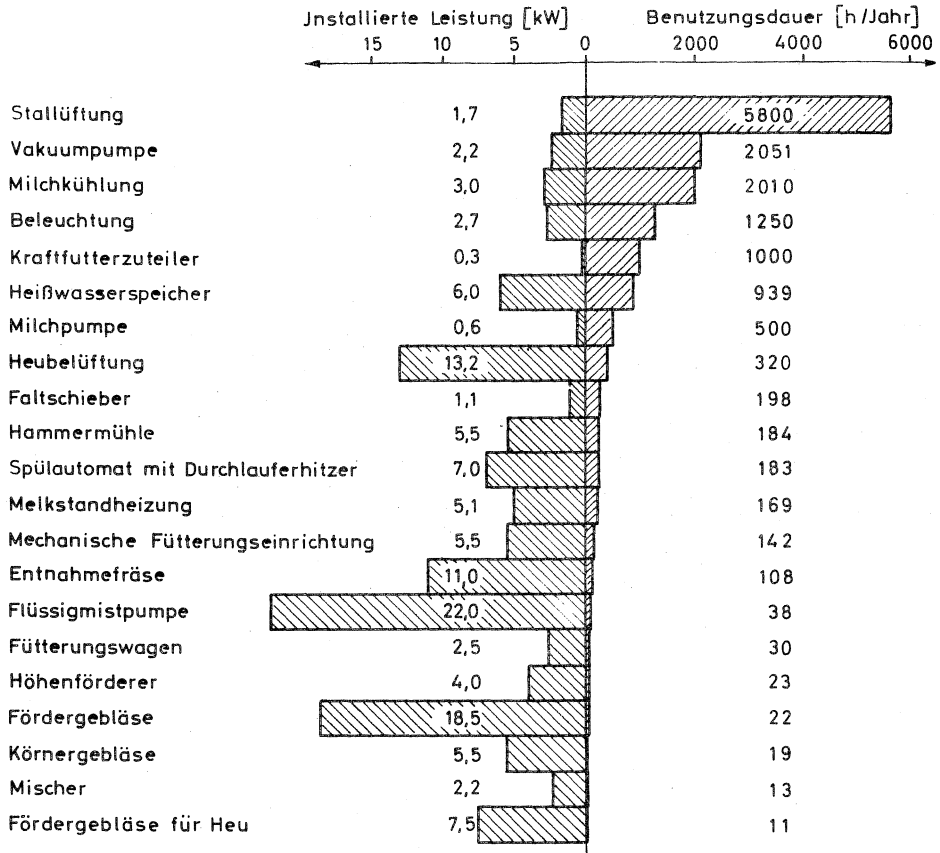
5. Möglichkeiten zur Verbesserung der Benutzungsdauer in der Milchviehhaltung und energiewirtschaftliche Folgen

Im vorhergehenden Kapitel 4.2 wurde an den Modellen der Milchviehhaltung die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen erörtert, welche zur Verbesserung des Elektrizitätseinsatzes führen. Die dargestellten Modelle können jedoch lediglich theoretische Grenzwerte aufzeigen, während in der Praxis sehr unterschiedliche Einflüsse zum Tragen kommen. Im folgenden wird daher eine Zusammenstellung der bereits erwähnten Möglichkeiten zur Verbesserung der Benutzungsdauer gegeben, nämlich:

1. Die geeignete Zuordnung der Verbraucher zum jeweiligen Arbeitsverfahren.
2. Die zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsverfahren.

Die Produktionsabläufe in den Milchviehbetrieben sind - durch biologische Prozesse verursacht - schlecht unterbrechbar bzw. verschiebbar (z. B. Melken, Milchkühlung, Heubelüftung u. ä.). Um die Ansatzpunkte zur Verbesserung der Belastungsverhältnisse zu verdeutlichen, werden die Einzelgeräte mit ihrer Benutzungsdauer für ein typisches Beispiel der Milchviehhaltung dargestellt (Abb. 34).

Von den einzelnen Verbrauchern sind lediglich Stallüfter, Milchkühlung, Vakuumpumpen, Warmwasserspeicher und Beleuchtung mit mehr als 1.000 Std. jährlich gut ausgenutzt. Die übrigen Einrichtungen liegen wesentlich schlechter, wobei vor allem Geräte mit hohem Leistungsanspruch wie Fördergebläse, Flüssigmistpumpe, Entnahmefräse, Schrotmühle, Heubelüftung und Spülautomat mit Durchlauferhitzer ins Gewicht fallen, welche bei hohen Leistungsansprüchen eine ungünstige Benutzungsdauer aufweisen. In Abb. 34 (Tabelle unten) wurde außerdem der prozentuale Anteil der installierten Leistung und des Elektroenergieverbrauches der einzelnen Verbraucher bei unterschiedlicher Mechanisierungform aufgeführt. So beanspruchen im allgemeinen die Klimatisierung und die Geräte der



	Hochsilo-Mechanisierung				Flachsilo-Mechanisierung			
	Flüssigmistverfahren				Festmistverfahren			
	kWh	%	kW	%	kWh	%	kW	%
Klimatisierung	14 168	35	9,5	9	14 168	37	9,5	15
Milchgewinnung	18 056	45	19,1	18	18 056	48	19,1	31
Futterkette	7040	18	54,0	52	5534	15	32,0	52
Mistkette	844	2	22,0	21	99		1,1	2
	40 108	100	104,6	100	37 857	100	61,7	100

Abb. 34: Aufgliederung der installierten Leistung und Benutzungsdauer der einzelnen Geräte für Betriebe mit 60 Kühen und Nachzucht - Laufstall -

Milchgewinnung 80 - 85 % des jährl. Elektroenergieverbrauches, nehmen aber nur 27 - 46 % der gesamten installierten Leistung ein. Die Geräte der Futterkette und Mistkette benötigen dagegen nur 15 - 20 % des jährl. Energieverbrauches, während sie 54 - 73 % der gesamten installierten Leistung in Anspruch nehmen. Daher

sollte zur Verbesserung der Gesamt-Benutzungsdauer eines Betriebes zunächst bei denjenigen Verbrauchern eingegriffen werden, welche mit hoher Leistungsanforderung nur kurzfristig zum Einsatz gelangen.

5.1 Optimale Zuordnung der Verbraucher

Zur Verbesserung der Jahresbenutzungsdauer ist also die geeignete Auswahl und die optimale Zuordnung der energiesparenden Verbraucher anzustreben. Wie bei der Abhandlung der einzelnen Energieverbraucher in der Milchviehhaltung in Kap. 3 gezeigt wurde, sind bei einigen Arbeitsgruppen energiesparende Verbraucher mit Erfolg einsetzbar. Zusammenfassend ergeben sich folgende Möglichkeiten:

Futtereinlagerung (vergl. Kap. 3.2.1)

Anstatt der leistungsstärkeren Fördergebläse können Höhenförderer verwendet werden, sofern nicht die Höhe der Silos eine Begrenzung mit sich bringt. Außerdem sind die Einlagerungsleistungen auf das gesamte Ernteverfahren abzustimmen. Zur Einlagerung des Heus kommt als energiesparender Verbraucher anstelle des Gebläsehäckslers die Greiferanlage in Frage. Trotz dieser hinsichtlich des Leistungsbedarfes im allgemeinen eindeutigen Vorzüglichkeit der mechanischen Förderung müssen hier die Nachteile höherer Investition sowie der Abhängigkeit von baulichen Gegebenheiten genannt werden.

Flüssigmistpumpe (vergl. Kap. 3.3.2)

Anstatt leistungsstarker Flüssigmistpumpen können leistungsschwächere Pumpen verwendet werden, wenn die Konsistenz des Flüssigmistes abgebaut wird.

Entnahmefräse (vergl. Kap. 3.2.2.1)

Die Oben- und Untenentnahmefräsen beanspruchen die gleiche Lei-

stung. Der Vorteil von Obenentnahmefräsen liegt darin, daß sie bei gleichen Anschlußwerten im Vergleich zu Untenentnahmefräsen eine fast doppelt so große Entnahmeleistung ermöglichen. Außerdem sind sie von Silo zu Silo umsetzbar, während Untenentnahmefräsen fest installiert sind.

Schrotmühle (vergl. Kap. 3.2.3)

Hierbei stellen trotz hoher Kraftfuttermengen die Leistungsansprüche der Geräte zur Kraftfutteraufbereitung kein Problem dar, da in Milchviehbetrieben - wie in der Praxis oft der Fall - auf die betriebseigene Kraftfutteraufbereitung verzichtet werden kann (Kraftfutterzukauf, fahrbare Schrotanlagen).

Heubelüftung (vergl. Kap. 3.2.4)

Bei den Belüftungsgebläsen resultiert die benötigte Lüfterleistung aus klimatischen und betrieblichen Voraussetzungen. Eine Möglichkeit der Leistungssenkung besteht in der Luftanwärmung, da besonders in größeren Beständen und bei den großen Heurationen sowie ungünstigen klimatischen Lagen hohe Anschlußwerte benötigt werden. Beispielsweise kann beim Einsatz von 5° C vorgewärmter Luft die Lüfterleistung um 50 % reduziert werden, sofern man die durch die klimatischen Verhältnisse möglichen Einsatzstunden voll ausnutzt. Mit der Warmluftsatztrocknung sind weitere erhebliche elektrische Leistungseinsparungen möglich.

Spülautomat (vergl. Kap. 3.1.5)

Der Einsatz der in der Praxis meist in Verbindung mit Spülautomaten verwendeten Durchlauferhitzer ist problematisch, da die Leistungsaufnahme üblicherweise in die während der Melkzeit auftretende Belastungsspitze fällt. Zunächst läßt sich der Leistungsbedarf des Durchlauferhitzers durch die Verwendung von Plexiglasrohren anstelle von Chromnickelrohren um etwa 20 % senken. Eine zusätzliche Verringerung des Leistungsanspruches ergibt sich der Einsatz von vorgewärmtem Wasser. Eine weitere Verringerung

des Leistungsbedarfes ist erzielbar, wenn die Spülanlage mit einem Heißwasserspeicher gekoppelt und auf den Durchlauferhitzer gänzlich verzichtet wird.

Melkstand-Heizung (vergl. Kap. 3.4.2)

Da die Besonderheit bei der Melkstandheizung in der nur kurzfristigen Einsatzdauer liegt, ist die Fußbodenheizung mit Wärmespeicherung vorteilhaft. Dadurch kann die Leistungsspitze während der Melkzeit (im Winter) abgebaut werden.

5.2 Zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsverfahren

Die zeitliche Verlagerung ist entweder durch die Verschiebung in Schwachlastzeiten oder durch die Verriegelung der einzelnen Verbraucher möglich. Durch die nachfolgend behandelten Möglichkeiten der zeitlichen Verlagerung ist jedoch in den meisten Fällen ein Eingriff in den Produktionsablauf gegeben. Während hier nur allgemeine Aussagen erfolgen können, müssen in der Praxis die Möglichkeiten anhand der einzelbetrieblichen Situation geprüft werden. An dieser Stelle werden diejenigen Verbesserungsmaßnahmen zusammengestellt, deren Auswirkungen bei den Betriebsmodellen (Kap. 4) geschildert wurde.

5.2.1 Verlagerung in Schwachlastzeiten

Automatisch ablaufende Arbeitsvorgänge können durch entsprechende Steuergeräte in die vom jeweiligen EVU festgelegten Schwachlastzeiten verlegt werden. Dies betrifft vor allem die elektrische Heißwasserbereitung. Auch bei der betriebseigenen Kraftfutteraufbereitung läßt sich - sofern ein automatischer Betrieb gewährleistet ist - eine Verlagerung in Schwachlastzeiten durchführen. Dies trifft jedoch aufgrund der großen Kraftfuttermengen besonders für die Schweinemastbetriebe, weniger bei Milchviehbetrieben zu. Bei den Spülautomaten mit Durchlauferhitzer kann der Hauptspülvorgang verschoben werden, wenn eine Schwachlastzeit zwischen

den Melkzeiten auszunutzen ist. Als weitere in Schwachlastzeiten verschiebbare Geräte sind die Batterieladegeräte zu nennen (mobile Entmistungsgeräte, Fütterungswagen).

5.2.2 Verriegelung mit und ohne Vorrangschaltung

Die Verriegelung dient zur Verhinderung des Zusammenlaufens von einzelnen Verbrauchern oder Verbrauchergruppen, die aus produktionstechnischen Sicht nicht unbedingt gleichzeitig laufen müssen. Die verschiedenen technischen Möglichkeiten wurden bereits im Kapitel 4.2.1 genannt. Die nachfolgende Zusammenstellung enthält die aus den bisherigen Arbeiten abzuleitenden allgemeinen Vorschläge:

Fördergebläse:

Mit Vorrang zu verriegeln gegen Hammermühle (automatische Wiedereinschaltung)
Mit Vorrang zu verriegeln gegen Heubelüftung (automatische Wiedereinschaltung)
Mit Vorrang zu verriegeln gegen Flüssigmistpumpe
Wahlweise zu verriegeln mit Entnahmefräse (Handschaltung)

Futterentnahmefräsen:

Mit Vorrang zu verriegeln gegen die Hammermühle (automatische Wiedereinschaltung)
Mit Vorrang zu verriegeln gegen die Heubelüftung (automatische Wiedereinschaltung)
Mit Vorrang zu verriegeln gegen Flüssigmistpumpe
Wahlweise zu verriegeln gegen das Fördergebläse

Flüssigmistpumpe:

Vorrangig zu verriegeln gegen Heubelüftung (nur bei günstigen Klimabedingungen)
Wahlweise zu verriegeln gegen die Hammermühle (automatisches

Wiedereinschalten)
Nachrangig zu verriegeln gegen Fördergebläse
Nachrangig zu verriegeln gegen Entnahmefräse

Hammermühle:

Wahlweise zu verriegeln gegen Flüssigmistpumpe
Nachrangig zu verriegeln gegen Fördergebläse
Nachrangig zu verriegeln gegen Entnahmefräse
Wahlweise zu verriegeln gegen die Heubelüftung (nur in günstigen Klimazonen)

Heubelüftung:

Sie kann in den meisten Fällen nur kurzfristig gegenüber anderen Verbrauchern verriegelt werden.

Milchgewinnung: (als gesamtes Arbeitsverfahren)

Verriegelung mit Vorrang gegen Hammermühle
Verriegelung mit Vorrang gegen Entnahmefräse
Verriegelung mit Vorrang gegen Melkstandheizung

Die Folgerungen aus den Verlagerungs- und Verriegelungsmaßnahmen sind aus der Streubreite der jeweils in den Modellen mit den Grenzwerten agegebenen Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast (Kap. 4.2) ersichtlich. In den gezeigten theoretischen Fällen ist die untere Grenze der Jahreshöchtlast in der Praxis nur erreichbar, wenn lediglich der größte Motor mit der Stallüftung und Beleuchtung läuft. Da die Ausschaltung der Heulüfter während der Trocknungsperiode aufgrund unsicherer Witterungsverhältnisse nicht sinnvoll erscheint, ist die beste Benutzungsdauer in der Praxis bei der Überlagerung der größten Verbrauchern (z. B. Fördergebläse, Flüssigmistpumpe usw.) mit Heubelüftung sowie Stallüftung und Beleuchtung gegeben. Auf diese Weise ergibt sich schließlich die beste erreichbare Jahreshöchstlast und ihre Benutzungsdauer bei den verschiedenen Beständen der Milchviehhaltung mit und ohne

Nachzucht und bei den unterschiedlichen Mechanisierungsformen (Tab. 9, Anhang).

Da die Verriegelungsmöglichkeit außerordentlich vielgestaltig sein kann und auf alle Bestandsgrößen übertragbar ist, werden hier am Beispiel 60 Milchkühe - Laufstall (Abb. 30) die besprochenen Möglichkeiten erläutert und ihre Auswirkungen auf die Jahreshöchstlast und Benutzungsdauer schrittweise eingeführt.

A. Unverriegelt:

Die Jahreshöchstlast mit 76 kW setzt sich durch Überlagerung der folgenden Geräte während der Milchgewinnung im Sommer zusammen aus: Vakuumpumpe, Milchpumpe, Kraftfutterzuteiler, Spülautomat, Milchkühlung, Fördergebläse, Heubelüftung, Hammermühle, Flüssigmistpumpe, Stallüftung und Beleuchtung. Danach ergibt sich eine Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast (Pmax = 76 kW) von Tm = 550 h bei einem Verbrauchsfaktor vi = 64 %.

B. Fördergebläse und Flüssigmistpumpe verriegelt:

Bei diesem Fall tritt die Jahreshöchstlast im Winter auf und zwar überlagern sich die Geräte: Vakuumpupe, Milchpumpe, Kraftfutterzuteiler, Spülautomat, Milchkühlung, Hammermühle, Flüssigmistpumpe, Stallüftung, Beleuchtung, Entnahmefräse und Melkstandheizung.

Pmax = 60,5 kW
Tm = 690 h
vi = 51 %

c) Fördergebläse, Flüssigmistpumpe und Hammermühle verriegelt:

Die Überlagerung ist wie beim Fall B, die Jahreshöchstlast kommt jedoch ohne Hammermühle zustande.

Pmax = 55 kW
Tm = 758 h
vi = 46 %

D. Fördergebläse, Flüssigmistpumpe, Hammermühle und Entnahmefräse verriegelt:

Die Überlagerung tritt hierbei ebenso wie an der Stufe A auf, die Jahreshöchstlast wird jedoch im Sommer ohne Hammermühle und Fördergebläse gebildet.

Pmax = 52 kW
Tm = 802 h
vi = 44 %

E. Fördergebläse, Flüssigmistpumpe, Hammermühle, Entnahmefräse und Spülautomat mit Durchlauferhitzer verriegelt:

(Jahrshöchstlast tritt im Sommer auf).

Pmax = 45 kW
Tm = 927 h
vi = 38 %

F. Flüssigmistpumpe, Fördergebläse, Hammermühle, Entnahmefräse und Arbeitsgruppe Milchgewinnung verriegelt:

Hierbei wird die Jahreshöchstlast von der Flüssigmistpumpe, Heubelüftung und Stallüftung sowie von der Beleuchtung im Sommer verursacht. Diese Stufe stellt die beste Lösung für die Praxis dar.

Pmax = 39 kW
Tm = 1070 h
vi = 33 %

G. Fördergebläse, Flüssigmistpumpe, Hammermühle, Entnahmefräse, Spülautomat mit Durchlauferhitzer und Heubelüftung verriegelt:

Mit dieser Stufe wird theoretisch die beste Verriegelungsmöglichkeit erreicht. Die Jahreshöchstlast kann hierbei durch die Überlagerung von der Flüssigmistpumpe (also stärkster Verbraucher), der Stallüftung und Beleuchtung außerhalb der Melkzeit im Sommer gebildet werden.

$$P_{max} = 30 \text{ kW}$$
$$T_m = 1390 \text{ h}$$
$$v_i = 25 \%$$

Die Stufe "G" stellt somit theoretisch das Minimum der Jahreshöchstlast bzw. das Maximum der Jahresbenutzungsdauer dar. Sie läßt sich in der Regel aber praktisch nicht durchführen, da die Heubelüftung nicht unterbrechbar ist.

Verriegelungsmaßnahmen bei den energiesparenden Betriebsmodellen bringen keine wesentlich höhere Jahresbenutzungsdauer mit sich. In diesen Betriebsmodellen muß daher der Vorteil darin gesehen werden, daß eine Verringerung des tariflichen Anschlußwertes möglich ist.

5.2.3 Lastabwurf

Der Lastabwurf ist eine automatische Verriegelung und kann als Maßnahme zur Leistungssenkung in denjenigen Betrieben durchgeführt werden, in denen eine tarifliche Abrechnung nach Leistungspreisen erfolgt. Hierbei werden nach Erreichen einer bestimmten festgelegten Leistungsgrenze automatisch durch elektronische Maximumwächter diejenigen Verbraucher ausgeschaltet, welche kurzfristig ohne Störung des Betriebsablaufes ausfallen können. Diese Verbrauchseinrichtungen sind automatisch wieder freigegeben, sobald die Leistungsgrenze unterschritten wird. Die festgelegte Leistungsgrenze richtet sich in den meisten Fällen nach der im

Betrieb benötigten Dauerlast. Die Auswirkungen dieser Maßnahme sind entsprechend denjenigen der in Kapitel 5.2.2 ausgeführten Verriegelungsmaßnahmen.

6. Praktische Betriebsmessungen und Vergleiche mit den Betriebsmodellen

In Kapitel 4 wurden anhand der Betriebsmodelle die elektrizitätswirtschaftlichen Kenndaten der Milchviehhaltung in Abhängigkeit von den Bestandsgrößen sowie von den Mechanisierungsformen zusammengestellt. Diese sind als Grenzwerte aufzufassen, während in der Praxis vielfältige Zwischenstufen auftreten können. Um einen Vergleich zwischen den theoretischen Modellen und der Praxis zu haben, wurden im Zeitraum von 1973 - 1975 parallel zu den Weihenstephaner Untersuchungen durch die VDEW/AEL Betriebsmessungen durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen sind die elektrische Leistung und der Elektroenergieverbrauch gemessen worden. Um eine direkte Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Betriebsmodelle zu erreichen, wurde bei diesen Messungen der landwirtschaftliche Betriebsteil separat erfaßt. Außerdem wurden die Betriebsdaten sowie der Mechanisierungsstand mit Hilfe eines Fragebogens (Anhang) ermittelt.

Von den 158 untersuchten Betrieben sind 49 Milchviehbetriebe für einen direkten Vergleich mit den Betriebsmodellen heranzuziehen. Die Bestandsgrößen variieren hierbei zwischen 18 und 80 Kühen in Anbinde- bzw. Laufställen. Zunächst wird die spezifische installierte Leistung und der spezifische Elektroenergieverbrauch gegenüber gestellt (Abb. 35). Weiterhin muß die Jahreshöchstlast und ihre Benutzungsdauer verglichen werden. Über der Bestandsgröße sind die installierte Leistung und der Elektroenergieverbrauch der gemessenen Betriebe aufgetragen. Der schraffierte Bereich stellt den Grenzwert der Modelle dar.

Es ist ersichtlich, daß die Betriebsmodelle in ihren Variationen den Bereich der installierten Leistung der Praxisbetriebe wiedergeben, wobei die typische Degression in größeren Beständen deutlich wird.

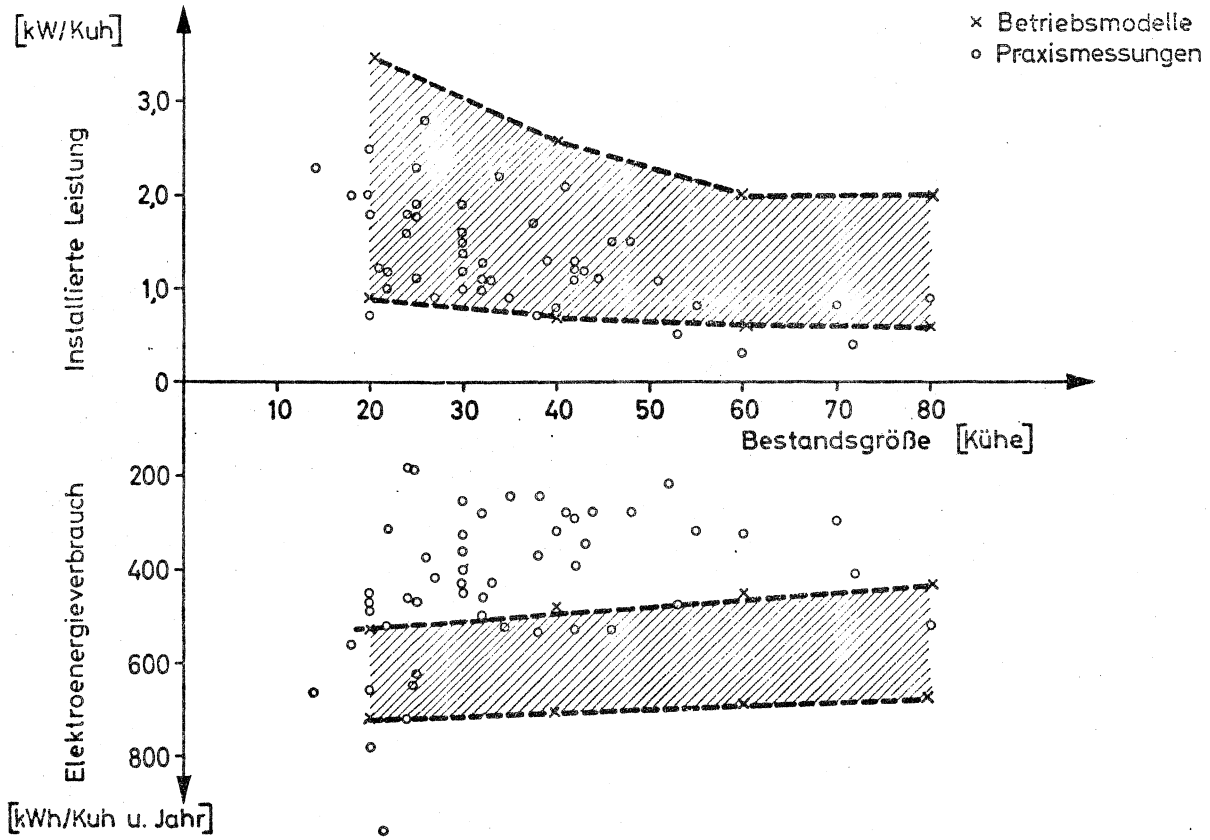


Abb. 35: Installierte Leistung und Elektroenergieverbrauch praktischer Betriebe im Vergleich mit den Betriebsmodellen

Beim jährlichen Elektroenergieverbrauch treten jedoch Abweichungen zwischen den Modellwerten und den Praxismessungen auf. Die untere Grenze der Modelle mit 541 - 452 kWh/Kuh und Jahr (energiesparender Elektrizitätseinsatz) wird in der Praxis nur in kleineren Beständen (< 40 Kühe) überschritten. Der obere Grenzwert der Modelle mit 722 - 626 kWh/Kuh und Jahr ist dagegen nur in einem Fall aufgetreten. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß in der Praxis die Stallüftung bzw. eigene Heißwasserspeicher für den Betriebsteil nur in 45 % aller Fälle eingesetzt wurden. Wie jedoch auch Messungen von PETIT (68) beweisen, ist in modernen Milchvieh-Stallsystemen mit einem mittleren Verbrauch von 500 kWh/Kuh und Jahr in steigender Tendenz bis zu 800 - 1.000 kWh/Kuh und Jahr zu rechnen. Diesen Angaben zufolge ist in Zukunft mit einem noch höheren Elektroenergieeinsatz zu rechnen, wobei diese Prognose über die Grenze der Modelle hinausgeht.

Neben der Übereinstimmung der installierten Leistung sind auch hinsichtlich der Jahreshöchstlast in den Betriebsmodellen die in der Praxis überwiegend auftretenden Verhältnisse erfaßt (Abb. 36). Hierbei ist jedoch zu erkennen, daß die Maßnahmen der Verriegelung einzelner Arbeitsvorgänge (untere Grenze der Modelle) in der Praxis nicht angewandt werden.

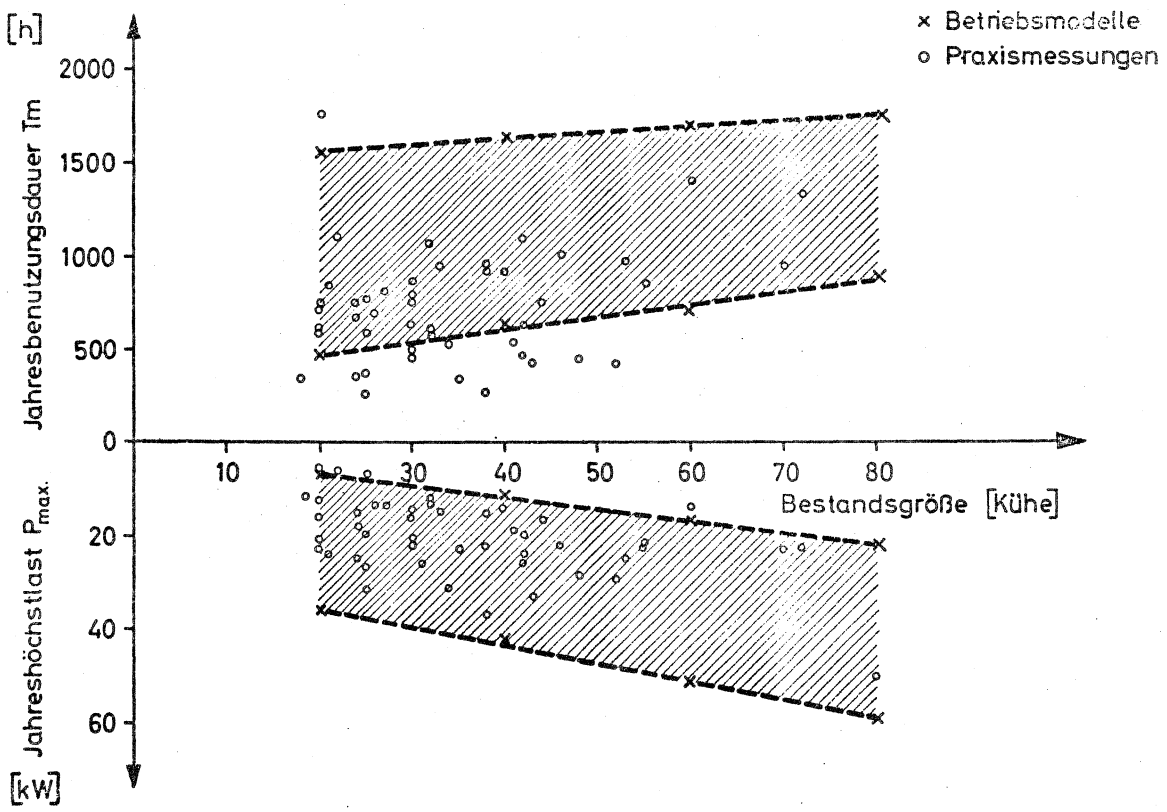


Abb. 36: Jahreshöchstlast und Jahresbenutzungsdauer praktischer Betriebe in Vergleich mit den Betriebsmodellen

Die jährliche Belastungsspitze ist in allen Fällen höher als die theoretische untere Grenze. Dies hat zur Folge, daß die maximal erzielbare Benutzungsdauer (914 - 1.470 h) nicht erreicht werden kann (Abb. 36, oberer Teil).Darüber hinaus liegen die Verhältnisse in der Praxis schlechter als die theoretischen Berechnungen erwarten lassen, da - wie bereits erwähnt - der hohe Elektroenergieverbrauch nicht zutrifft.

Der Vergleich der Modelle mit den Betriebsmessungen verdeutlicht, daß der Mechanisierungsgrad und die installierte Leistung in der

Praxis den in den Modellen dargestellten hohen Standard aufweisen. Dagegen ist jedoch durch einen geringeren jährlichen Elektroenergieverbrauch und durch unzureichende zeitliche Verlagerung einzelner Arbeitsvorgänge ein wirtschaftlicher Einsatz der Elektroenergie noch nicht erreicht. Somit müssen in der Praxis die verschiedenen Verbesserungsmöglichkeiten in größerem Maße Eingang finden, wodurch die in den Modellen errechneten Soll-Werte zu erzielen sind.

7. Zusammenfassung

Die Ausnutzung der bereitgestellten Elektroenergie ist aufgrund der ungleichmäßigen Belastungsverhältnisse in der Innenwirtschaft landwirtschaftlicher Betriebe ungünstig. Das fällt besonders bei der Milchviehhaltung ins Gewicht, weil biologisch bedingte Produktionsabläufe zu bestimmten Tages- und Jahreszeiten kurzzeitig erhebliche Leistung in Anspruch nehmen. Dadurch entsteht eine schlechte Jahresbenutzungsdauer. Aus diesem Grunde war das Ziel dieser Arbeit, die Anwendung von Elektroenergie in den milchviehhaltenden Betrieben eingehend zu klären, um eine sinnvolle und optimale Nutzung gewährleisten zu können.

Der Schwerpunkt der Arbeit lag zunächst darin, gesicherte Daten von den einzelnen zum Einsatz gelangenden Elektroenergieverbrauchern in der Milchviehhaltung hinsichtlich des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfes zu schaffen. Die gemessenen und statistisch abgesicherten Einzelwerte erlauben dann die gezielte Zusammenstellung von Betriebsmodellen in beliebiger Variation, welche einen Vergleich mit den in der Praxis durchgeführten Messungen ganzer Betriebseinheiten ermöglichen. Die einzelnen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Der elektrische Leistungsbedarf der Vakuumpumpe richtet sich nach dem Luftdurchsatz, der wiederum von der Zahl der Melkzeuge abhängt. Da sich die Leistungsaufnahme während der Melkzeit nicht ändert, wird der Elektroenergieverbrauch lediglich durch die Dauer der Melkarbeit bestimmt. Schlechte Arbeitserledigung führt bei konventionellen Melkzeugen im allgemeinen zu einem hohen Elektroenergieverbrauch. Bessere Ergebnisse bringen teilautomatisierte Melkzeuge (konstanter Verbrauch: 30 kWh/Kuh und Jahr), da schneller gemolken wird und eine schlechte Arbeitserledigung einen geringeren Einfluß ausübt.

2. Die günstigste Lösung der elektrischen Heißwasserbereitung bieten wärmeisolierte Großspeicher, da sie den täglichen Bedarf in Schwachlastzeiten aufbereiten und nahezu verlustlos bis zur Entnahme bereitstellen können.

3. Die Leistungsanforderung der Durchlauferhitzer in Spülautomaten ist von der Wassermenge, der Temperatur sowie der Spüldauer abhängig. Wegen hoher Wärmeverluste durch die Rohroberfläche weisen die Cr-Ni-Rohranlagen einen etwa 20 bis 25 % höheren Leistungsbedarf auf als die Plexiglasrohranlagen. Um Belastungsspitzen zu vermeiden, bietet es sich an, den Hauptspülvorgang in Schwachlastzeiten zu verlagern, mit vorgewärmtem Wasser zu arbeiten und dadurch den Leistungsbedarf des Durchlauferhitzers erheblich zu senken oder anstelle eines Durchlauferhitzers einen Heißwasserspeicher zu verwenden.

4. Der elektrische Leistungsbedarf bei der direkten Milchkühlung liegt mit 0,5 kW/100 l Milch um 40 % höher als bei der indirekten Milchkühlung. Bei letzterer tritt zwar die Belastung außerhalb der Melkzeit auf, allerdings mit 25 bis 50 % höherem Elektroenergieverbrauch. Bei zweitägiger Abholung der Milch ergibt sich bei beiden Systemen ein 15 % höherer Elektroenergieverbrauch als bei eintägiger Abholung. Ein größerer Einfluß auf den Elektroenergieverbrauch ist durch die richtige Dimensionierung des Kühlbehälters zu erwarten, da bei ungenügender Auslastung die spezifischen Kälteverluste wesentlich höher liegen.

5. Bei der Hochsilobefüllung mit Fördergebläsen muß das Gebläse auf die Futterart und Verfahrensleistung abgestimmt werden. Je nach Beschaffenheit der Fördergutes beträgt der spezifische Leistungsbedarf zur Förderung von Silomais 0,41 bis 0,60 kW/(t/h), von Anwelkgut 0,71 bis 0,80 kW/(t/h) und von Heu 1,00 bis 1,87 kW/(t/h).

Der Einsatz der mechanischen Fördereinrichtungen (Höhenförderer und Greiferanlagen) bewirkt eine erhebliche Leistungssenkung bei der Hochsilobefüllung (Höhenförderer 0,08 bis 0,14 kW/(t/h); Greifer 0,16 bis 0,25 kW/(t/h)).

6. Bei den Hochsiloentnahmefräsen ist der Leistungsbedarf vom Fördergut und vom Zerkleinerungsgrad abhängig. Der spezifische Elektroenergieaufwand der Untenentnahmefräsen liegt etwa 50 bis 70 % höher als bei Obenentnahmefräsen.

7. Trotz hoher Kraftfuttermengen in der Milchviehhaltung kann der Leistungsbedarf zur Kraftfutteraufbereitung in Grenzen gehalten werden, wenn mit leistungsschwächeren Hammermühlen und automatischen Schaltuhren gearbeitet wird.

8. Bei den Heubelüftungsgebläsen resultiert die benötigte Lüfterleistung aus klimatischen und betrieblichen Voraussetzungen. Leistungsbedarf und Elektroenergiebedarf können durch Anwärmung der Trocknungsluft erheblich reduziert werden. (Bei 5° C Anwärmung um 50 %)

9. Der Leistungsbedarf der Flüssigmistpumpe wird neben der technischen Ausführung wesentlich von der Konsistenz des Mistes bestimmt. Durch Konsistenzabbau des Flüssigmistes läßt sich der Leistungsbedarf der Pumpe erheblich reduzieren.

10. Stallüfter und Beleuchtung erfordern einen niedrigen Leistungsbedarf, verursachen aber einen hohen Energieverbrauch. Mit der Auswahl und richtigen Dimensionierung der Stallüfter (Unterdrucklüftung) und der Beleuchtungseinrichtungen (Leuchtsofflampen) können die Kosten des Elektroenergieverbrauches bis zu 50 % gesenkt werden.

11. An Hand der Betriebsmodelle wird deutlich, daß die zur Milchgewinnung benötigten Geräte sowie die Stallüftung nur etwa 20 bis 30 % des Gesamtleistungsbedarfes in der Milchviehhaltung beanspruchen, aber sie bilden doch die Grundlast des Belastungsverlaufes. Ihr Anteil am gesamten Elektroenergieverbrauch ist mit 70 bis 80 % sehr hoch. Diese Elektroenergieverbraucher weisen also eine hohe Ausnutzung der bereitgestellten Leistung auf. Die Elektroenergieverbraucher der Gruppe Mistkette und Futterkette zeigen im allgemeinen einen ungünstig hohen Leistungsbedarf (70 bis 80 % des Gesamtleistungsbedarfes), wobei ihr Anteil am gesamten Elektroenergieverbrauch mit 20 bis 30 % sehr niedrig ist.

12. Die Betriebe mit Hochsilomechanisierung und Flüssigmistverfahren stellen an die Leistungsbereitstellung mit 3,5 bis 2,0 kW/Kuh die höchsten Ansprüche, während Betriebe mit Flachsilomechanisierung und Festmistverfahren mit 2,1 bis 1,4 kW/Kuh an der unteren Grenze liegen (intensiver Elektrizitätseinsatz).

13. Aus der Sicht des Elektroenergieverbrauches gibt es zwischen intensivem und energiesparendem Elektrizitätseinsatz kaum Unterschiede, zumal er eine schwach absinkende Tendenz mit größer werdendem Bestand zeigt.

14. Im allgemeinen ist die Benutzungsdauer in Milchviehbetrieben schlechter als bei anderen Produktionsrichtungen. Ohne Verbesserungsmaßnahmen beträgt sie weniger als 600 h/Jahr. Erst bei energiesparendem Elektrizitätseinsatz kann sie bis 1100 h/Jahr steigen. Durch Verriegelung, Verlagerungsmaßnahmen sowie Lastabwurf kann die Benutzungsdauer der Jahreshöchstlast 2000 h erreichen, wobei die Jahreshöchstlast in Beständen von 20 bis 80 Kühen 20 bis 40 kW (Viertelstundenmaximum) beträgt. Wie der Vergleich der Betriebsmodelle mit Praxismessungen gesamter Betriebseinheiten zeigt, wird dies aber selten erreicht, weil die Möglichkeiten der Leistungssenkung in der Praxis noch wenig Eingang gefunden haben.

8. Literaturverzeichnis

(1) ARTMANN, R., ROSEGGER, S. und SCHLÜNSEN, D.: Neue Haltungsverfahren für Milchvieh Grundlagen der Landtechnik, 24 (1974). 4, S. 105 - 111

(2) BANTZER, A.: Beheizung des Melkstandes Elektrizität, 22 (1972). 5, S. 129 - 130

(3) BISCHOFF, Th., OPPELT, WENNER, H.L. und RUDE, M.: Agrartechnik 1980 - Eine Futurologie der Landwirtschaft Bauen auf dem Lande, 21 (1970). 7, S. 194 - 200

(4) BLÜMEL, K., SEGLER, G. und KOSCHATZKY, R.: Mechanisierung der Belüftungstrocknung von Heu KTBL-Schrift 160 Landwirtschaftsverlag, Hiltrup 1973

(5) BOGNER, H. und RITTER, H.C.: Tierhaltung Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 1965

(6) BORCHERT, K.L.: Grundlagen für die Berechnung und Bemessung der Wärmedämmung, Lüftung und Heizung geschlossener Ställe ALB-Schriftenreihe H. 27, 1966

(7) BOSMA, H., WEIDINGER, A. und MAIER, L.: Leistungsmessungen an Siloobenfräsen in Wageningen und Weihenstephan Rapport 218, Instituut voor Landbouwtechnik en Rationalisatie, Wageningen/ Holland 1973

(8) BOXBERGER, J., EICHHORN, H. und SEUFERT, H.: Flüssigmist; Entmistung, Lagerung, Ausbringung 2. Auflage Beton-Verlag, Düsseldorf 1972

(9) BOXBERGER, J. und SCHÖN, H.: Einrichtung und Zuordnung von Milchräumen dlz, 25 (1974). 12, S. 685 - 689

(10) BRANDT, J.: Der Bau von Warmställen Landbau, 11 (1974). 3, S. 43 - 47

(11) CERNOKLAWEK, L.: Verbrauch und Leistungsbedarf landwirtschaftlicher Betriebe an elektrischer Energie sowie deren Vorausschätzung in den verschiedenen Regionen Österreichs Vortrag anläßlich der C.I.G.R.-Tagung, Berlin 1973 Herausgegeben von HEA, Frankfurt/M. 1973

(12) CHRISTOPHERSEN, J.: Bei welcher Temperatur soll die Kühlhaltung der Milch erfolgen?
Referat am 23.11.1975 Kiel
Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte Band 17, Heft II

(13) COMBERG, G.: Anforderungen der Haustiere an das Stallklima
ALB-Berichte, Heft 24, 25
Frankfurt/M. 1965

(14) COMBERG, G.: Das Stallklima als Leistungsfaktor in der Tierhaltung
Der Tierzüchter, 17 (1965). 4, S. 81

(15) CZECH, L.: Zur Automatisierung in der Milchgewinnung
Deutsche Agrartechnik, 21 (1971). 4, S. 163 - 164

(16) DENCKER, H.: Handbuch der Landtechnik
Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1961

(17) EICHHORN, H.: Technik, Gebäude, Arbeitswirtschaft bei der Planung von Milchviehwirtschaft
ALB-Schriftenreihe, H. 26
Frankfurt/M. 1965

(18) FELDMANN, F.: Die Voraussetzung für eine erfolgreiche Heubelüftung
Landtechnik, 13 (1958). 20, S. 640 - 647

(19) FITZEN, W.: Entwicklung der Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft im Raum Niederrhein in den Jahren 1950 - 1970
Diplomarbeit, Bonn 1971

(20) FRANKE, S.: Wirtschaftliche Energieanwendung in der Landwirtschaft
Deutsche Agrartechnik, 19 (1969). 10, S. 490 - 491

(21) GEBHARDT, D.: Voraussetzungen und Erfahrungen bei der Anwendung von Impulsa-Fütterungsanlagen im Fischgrätenmelkstand
Deutsche Agrartechnik, 21 (1971). 4, S. 161 - 163

(22) GOLL, W.: Entwicklung der Elektrizitätsanwendung im Bereich der Landwirtschaft
In: Elektrowärme International, Edition A-Nr. 3, Mai 1973

(23) GOLL, W.: Entwicklung der Elektrizitätserzeugung, -verteilung und -anwendung
Vortrag; Landwirtschaftskammer Rheinland, 1971

(24) GOLL, W.: Neue allgemeine Tarife und ihre Auswirkungen auf die Landwirtschaft
Vortragsmanuskript, Speyer Mai 1974

(25) GÖTZ, A., KONOLD, O., MÜLLER, A. und SCHERER, F.: Landtechnik - Arbeitswirtschaft - Bauwesen
Band 4
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1975

(26) GRABOW, G.: Rationelle Energieanwendung im Bereich Tierproduktion
Agrartechnik, 24 (1974). 8

(27) GRIMM, K., SCHURIG, M. und WEIDINGER, A.: Die Häckselkette im modernen Futterbaubetrieb
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1969

(28) GRÖBER, H., ERK, S. und GRIGULL, U.: Wärmeübertragung
3. Auflage
Springer Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1963

(29) GUIDO, T.: Was kostet die Milchkühlung auf dem Hof?
Mitteilungen der DLG, 84 (1970). S. 240 - 242

(30) HAMMOND, L.A. u.a.: Energie für die Zukunft. Wege aus dem Engpaß
Umschau-Verlag, Frankfurt/M. 1974

(31) HANSEN, E.: Milchkühlung im Erzeugerbereich
Die Milchpraxis, 12 (1974). 4, S. 8 - 9

(32) HASSI, E.: Stromverteilung und -verbrauch in ländlichen Gebieten in Finnland
Vortrag anläßlich der C.I.G.R.-Tagung, Berlin 1973
Herausgegeben von HEA, Frankfurt/M. 1973

(33) HOCHKÖNIG, W.: Die Wirtschaftlichkeit der Elektrizitätsanwendung in der österreichischen Landwirtschaft
67. Arbeit des Österreichischen Kuratoriums für Landtechnik, Wien 1957

(34) HONIG, H.: Energiewirtschaftliche Bedarfszahlen Teil 1, KTL-Berichte über Landtechnik Nr. 73 Hellmut-Neureuter-Verlag, München 1965

(35) ISENSEE, E.: Mobile Entmistungsverfahren Der Tierzüchter, 21 (1969). 23, S. 696 - 698

(36) ISSELSTEIN, R. und GOLL, W.: Landwirtschaft und Elektrizität RWE informiert 103

(37) JUNGEHÜLSING, H.: Rentable Veredlungswirtschaft Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 1965

(38) JÜTTEMANN, H.: Elektrische Fußbodenheizung HLH.-Heizung, 22 (1971). 1, S. 28 - 32

(39) KALICH, J.: Der Einfluß des Stallklimas auf die Leistung der Tiere Bauen auf dem Lande, 21 (1970). 4, S. 98 - 103

(40) KIONKA, W. und LAYER, G.T.: Strombedarfsstruktur landwirtschaftlicher Betriebe Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München 1971

(41) KLOEPPEL, R.: Stallklima Kartei für Rationalisierung, RKL Januar-Februar 1969

(42) KOCSIS, C.: The analysis of specific energy consumption in the concentrated animal keeping farm Vortrag anläßlich der C.I.G.R.-Tagung, Berlin 1973 Herausgegeben von HEA, Frankfurt/M. 1973

(43) KRAUSE: Kleiner Kreisverkehr bei Kühen Die Milchpraxis, 11 (1973). 2, S. 23 - 24

(44) KRECK, H.J.: Elektrische Heißwasserbereitung HEA-Hefte für Elektrizitätsanwendung, VWEW, Frankfurt/M. 1968

(45) KREYSZIG, G.: Statistische Methoden und ihre Anwendungen Vandenhoeck & Ruprecht in Göttingen 1972

(46) KRINNER, L.: Untersuchungen an Laufkrananlagen In: Berichte über Aufgaben und Tätigkeit der Landtechnik Weihenstephan von 1970 - 1972 (4), Weihenstephan 1972

(47) KRINNER, L.: Unveröffentlichter Versuchsbericht über Andreas-Stalldungschieber Landtechnik Weihenstephan 1973

(48) KRÜGER, W.: Elektrischer Energieverbrauch und Leistungsbedarf in der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein Diss. Kiel 1960

(49) KUMMER, S.: Melkstandlüftung und -heizung Elektrizität, 18 (1968). 5, S. 133 - 136

(50) KÜTHE, G.: Die Elektrifizierung der Innenwirtschaft Diplomarbeit, Gießen 1959

(51) LANGENEGGER, G.: Eine Meßmethode zur Bestimmung der Pumpfähigkeit von Gülle und Flüssigmist In: Berichte über Aufgaben und Tätigkeit der Landtechnik Weihenstephan von 1968 - 1969 (3), Weihenstephan 1969

(52) LEUSCHNER, G.: Kleines Pumpenhandbuch für Chemie und Technik Verlag Chemie, Weinheim 1967

(53) LILICH, K.H.: Auslegung der elektrischen Fußboden-Speicherheizung HLH-Heizung, 22 (1971). 10, S. 324 - 329

(54) MEHLER, A. und HEINIG, W.: Bauten für die Rinderhaltung - Produktionsverfahren und bauliche Gestaltung Neumann Verlag, Radebeul 1968

(55) MÜNCHENBERG, F.: Elektrotechnik bei der Milchgewinnung Bauen auf dem Lande, 22 (1971). 6, S. 223 - 226

(56) MÜNCHENBERG, F.: Die Regelung von Stallüftungsanlagen Elektrizität, 21 (1971). 8, S. 202 - 204

(57) MÜNCHENBERG, F.: Elektrische Heizung für Melkstände Elektrizität, 18 (1968). 5, S. 137 - 139

(58) MÖLBERT, H.: Arbeitsverfahren in der Rindvieh- und Schweinehaltung BLV-Verlagsgesellschaft, München, Basel, Wien 1964

(59) NIEBERGALL, W. und SPEIDEL, J.: Grundlagen der Kälteerzeugung In: Hütte, des Ingenieurs Taschenbuch Bd. II B, 28. Aufl., Ernst & Sohn, Berlin 1960

(60) v. PAPPRITZ, C.L.: Die Wirtschaftlichkeit der Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft Landwirtschaftsverlag, Hiltrup 1961

(61) v. PAPPRITZ, C.L.: Einzelheiten über Stallklimatisierung Elektrizität, 11 (1961). 6, S. 128 - 133

(62) PARMAKOW, D.: Verbrauchsnormative für Elektroenergie in der Viehwirtschaft Internationale Zeitschrift der Landwirtschaft, 16 (1972). 6, S. 696 - 700

(63) PECHERT, H.: Tierhaltung, Stallklima und Stallbau Tierernährung, 17 (1966). 3, S. 11 - 19

(64) PENNER, D.: Tierhygiene unter Anwendung von Elektro-Heißwasserbereitern im Wirtschaftsbereich Bauen auf dem Lande, 22 (1971). 2, S. 52 - 53

(65) PETERSON, W.H.: Sanierung des Stallklimas Elektrizität, 18 (1968). 5, S. 129 - 132

(66) PETERSON, W.H-: Technische Voraussetzungen für das tiergerechte Stallklima Elektrizität, 20 (1970). 5, S. 124 - 128

(67) PETIT, K.L., BIEST, W. van d. und DEWITTE, W.: De karakterisatie van het elektrisch energieverbruik in moderne dierlijke produktieeenheden Rijksuniversiteit Gent, Fakulteit van de Landbouwetenschappen 1973

(68) PETIT, K.L., BIEST, W. van d. und LAKEN, J. van: Beiträge zur Determinierung der Stromverbrauchscharakterisik der neuen Tierzuchtanlagen Vortrag anläßlich der C.I.G.R.-Tagung, Berlin 1973 Herausgegeben von HEA, Frankfurt/M. 1973

(69) PLANCK, R.: Handbuch der Kältetechnik Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1952

(70) PREUSCHEN, G.: Energiebilanz der bäuerlichen Innenwirtschaft Landtechnik, 13 (1958). 13, S. 388 - 389

(71) QUEST, H. und ROGGE, D.: Anforderungen der Hofkühlanlagen für Milch und ihr Energieverbrauch Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 17, 1965

(72) RABOLD, K.: Neue Entwicklung auf dem Gebiet des Milchentzuges Der Tierzüchter, 26 (1974). 9, S. 392 - 396

(73) RABOLD, K., MAYNTZ, M., PAIZS, L. und LAUSER, E.: Die physikalisch-technischen Grundlagen der Milchgewinnung Die Milch-Praxis, 11 (1973). 11, S. 20 - 24

(74) RABOLD, K.: Biotechnik der Milchgewinnung Verlag T. H. Mann, Hildesheim 1974

(75) RECKNAGEL-SPRENGER: Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik Oldenburg-Verlag, München 1970

(76) RIEMANN, U.: Aufbereitung von Schrotmischungen im landwirtschaftlichen Betrieb KTL-Flugschrift Nr. 18, Hellmut-Neureuter-Verlag, München 1968

(77) RIEMANN, U. und MANNEBECK, H.: Fütterungsverfahren für Hochleistungskühe Landtechnik, 27 (1972). 23/24, S. 589 - 593

(78) RIETSCHEL-RAISS: Heiz- und Klimatechnik Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1960

(79) ROHRER, M.: Entwicklungsmöglichkeiten des Energiebedarfs in Grünlandgebieten mit der speziellen Berücksichtigung der Rauhfutter-Einlagerung und -konservierung Vortrag anläßlich der C.I.G.R.-Tagung, Berlin 1973 Herausgegeben von HEA, Frankfurt/M. 1973

(80) RÖSSNER, H.: Ergebnisse elektroenergiewirtschaftlicher Untersuchungen landwirtschaftlicher Produktionsanlagen Deutsche Agrartechnik, 19 (1969). 2, S. 76 - 79

(81) RÖSSNER, H. und FITZHUM, H.: Über die zulässige Unterbrechungsdauer von Arbeitsprozessen in landwirtschaftlichen Produktionsanlagen Agrartechnik, 23 (1973). 7, S. 313 - 316

(82) RUDE, M.: Elektrizitätswirtschaftliche Auswirkungen des Strukturwandels in der Landwirtschaft in Süddeutschland Studietag Internationale Landbouwweek, Brüssel 1970

(83) RUDE, M.: Landwirtschaft bringt Sommerlast Elektrizität, 21 (1971). 8, S. 201

(84) RUDE, M.: Elektrizitätswirtschaftliche Folgerungen und Prognosen Landtechnik, 25 (1970). 23/24, S. 737 - 742

(85) RÜHMANN, H.: Neuzeitliche Milchkühlung. Bauarten, Kapitalbedarf, Kühlkosten Der Tierzüchter, 18 (1966). 23, S. 811 - 813

(86) SACHS, L.: Statistische Auswertungsmethoden 3. Auflage Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1972

(87) SCHMIDT, C. und GROSSMANN, W.: Projektierung von Lüftungsanlagen in Rinder- und Schweineställe Deutsche Bauakademie, Inst.f.Landw. Bauten Deutsche Bauinformation, Berlin 1966

(88) SCHÖN, H. und AUERNHAMMER, H.: Die Organisation leistungsfähiger Futterketten für Anwelksilage und Silomais Berichte über die Arbeitstagung der Referenten "Landtechnik" und "Landwirtschaftliches Bauwesen" vom 3. bis 6. Okt. 1972 in Stuttgart-Hohenheim 1973

(89) SCHÖN, H., PEN, C.L. und SEMMLER, K.O.: Arbeitswirtschaftliche Beurteilung moderner Melkverfahren Mitteilungen der DLG, 87 (1972). 50, S. 1261 - 1262

(90) SCHÖN, H., PEN, C.L. und WEBER, W.: Höhere Mechanisierungsstufen der Milchviehhaltung durch weiterentwickelte Melktechnik Berichte über Jahrestagung der Landtechnik Weihenstephan, 10 - 11 Oktober 1973, Weihenstephan 1973

(91) SCHRIZS, S.: Umweltschutz und Landwirtschaft auf dem Gebiet der Lüftungstechnik
Bauen auf dem Lande, 25 (1974). 6, S. 185 - 186

(92) SCHURIG, M.: Vergleichende Untersuchungen über Technik und Arbeitswirtschaft bei der Befüllung und Entleerung von Gärfuttersilos
Berichte über Landtechnik 80, KTL-Frankfurt/M. 1964

(93) SCHULZ, E.: Schnellerer Strukturwandel der Landwirtschaft erhöht Chancen der Elektrizitätsanwendung
Elektrizität, 22 (1972). 5, S. 118

(94) SCHWEINDT, H.J.: Elektrische Heißwasserbereitung
Elektrowärme International, 31 (1973). 3, S. A 129

(95) SEGLER, G.: Gebläseauswahl für Heubelüftungsanlagen
Landtechnik, 12 (1957). 20, S. 599 - 607

(96) SEGLER, G.: Fortschritte in der Heubelüftungstechnik
Landtechnik, 13 (1958). 19, S. 590 - 594

(97) SEGLER, G.: Fortschritte in der Mechanisierung der Halmfuttererzeugung
Mitteilungen der DLG, 84 (1970). 41, S. 1306 - 1310

(98) SPOORENBERG, M. und RIJSBERGEN, C.P. van: De elektrische belastung en het elektriciteitsverbruik van melkbedrijven met 25 - 200 koeien
Overdruk uit Elektrotechniek, 52 (1974). 8, 460 (Meppel-Niederland)

(99) STEFANIAK, H.: Strömungstechnische Elementarvorgänge bei der Be- und Entlüftung von Betriebsräumen
Brauwelt, 105 (1965). 81, S. 1546 - 1553

(100) TERPLAN, G. und WIESER, H.U.: Reinigung und Desinfektion bei der Milchgewinnung
Mitteilungen der DLG, 87 (1972). 45, S. 1510 - 1514

(101) THIEM, M.: Einführung in die Technische Wärmelehre
Carl Hauser Verlag, München 1967

(102) VOGT, C.: Intensive tierische Produktion und Energiebedarf
In: Elektrizität Entwicklungsfaktor für Landwirtschaft und ländlichen Raum. KTBL-AEL-HEA Vortragstagung am 5. Juni 1973 in Osnabrück

(103) VOGT, C.: Milchkühlung und Stapelung im landwirtschaftlichen Betrieb
DLG-Merkblatt 100, 1972

(104) VOSS, H.: Schrotmühlen und Futtermischer
Landtechnik, 29 (1974). 8, S. 349 - 352

(105) v. d. WEGHE, H.: Technik der Stallklimaregelung
Der Tierzüchter, 25 (1973). 3, S. 124 - 127

(106) WEIDINGER, A. und MAIER, L.: Vollmechanische Entleerung von Gärfuttersilos mit Obenentnahmefräse in Grünlandwirtschaften
Forschungsbericht, Weihenstephan 1973

(107) WEIDINGER, A.: Technische und funktionelle Untersuchungen in ausgewählten mechanischen Fütterungsanlagen für Rinder
Diss. Weihenstephan 1967

(108) WEIDINGER, A.: Futterverteilanlagen für Rinder
DLG-Manuskript, Dezember 1973

(109) WEIGEL, R.G.: Grundzüge der Lichttechnik
Verlag W. Girardet, Essen 1952

(110) WITTIG, E.: Einführung in die Beleuchtungstechnik
Siemens AG, Berlin-München 1969

(111) WENNER, H.L. und Mitarbeiter: Landtechnik Bauwesen
BLV, München, Bern, Wien 1973

(112) WENNER, H.L.: Neue Wege in der Milchviehhaltung
Der Tierzüchter, 26 (1974). 9, S. 388 - 392

(113) WENNER, H.L.: Technische Hilfsmittel für die Futterbereitung und Fütterung
In: Handbuch der Landtechnik, VI. Parey Verlag, Berlin - Hamburg 1961

(114) WENNER, H.L. und SCHÖN, H.: Einsatz der Technik in größeren Milchviehbeständen
Landtechnik, 25 (1970). 23/24, S. 724 - 727

(115) WENNER, H.L., SCHÖN, H. und BOXBERGER, J.: Haltungsverfahren für Milchvieh Bauen auf dem Lande, 24 (1973). 2, S. 30 - 33

(116) WENNER, H.L., SCHÖN, H. und PERTZSCH, C.: Optimale Buchten und Melkzeugzahl beim Fischgrätenmelkstand Der Tierzüchter, 23 (1971). 2, S. 41 - 44

(117) WIENEKE, F.: Verfahrenstechnik der Halmfutterproduktion Göttingen 1972

(118) WOLFERMANN, H.F.: Wie werden wir das Stallklima beherrschen? Landtechnik, 25 (1970). 23/24, S. 732 - 737

(119) ZEISIG, H.D. und LANGENEGGER, G.: Persönliche Mitteilungen Weihenstephan 1973 - 1974

(120) ZIPFEL, M.: Die wirtschaftliche Stromversorgung der Landwirtschaft Energiewirtschaftlicher Verlag H. Meyer, Karlsruhe 1949

(121) Milchkühlung - warum und wie? Die Milchkühlung auf dem Bauernhof AEL Merkblatt 1/1972, Landwirtschaftsverlag, Hiltrup

(122) Heißes Wasser in der Landwirtschaft AEL Merkblatt 2/1970, Landwirtschaftsverlag, Hiltrup

(123) Klimatisierung des Melkstandes AEL Merkblatt 5/1974, Landwirtschaftsverlag, Hiltrup

(124) Elektroinstallation in der Landwirtschaft AEL Schriftenreihe, Heft 9/1974, Landwirtschaftsverlag, Hiltrup

(125) Elektrische Heißwasserbereitung in der Landwirtschaft AEL Schriftenreihe, Heft 11/1970, Landwirtschaftsverlag, Hiltrup

(126) Berechnungs- und Planungsgrundlagen für die Luftführung in Viehställen AEL Schriftenreihe, Heft 8/1974, Landwirtschaftsverlag, Hiltrup

(127) Schrot- und Mischanlagen im landwirtschaftlichen Betrieb
AEL-Schriftenreihe, Heft 7/1969, Landwirtschaftsverlag, Hiltrup

(128) AEG-Hilfsbuch, Handbuch der Elektrotechnik
10. Auflage, Vertrieb C. Bertelsmann-Verlag, Gütersloh 1967

(129) Neuzeitliche Rindviehhaltung
KTBL-Schrift 164, Frankfurt/M. 1973

(130) KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft
5. Aufl. Landwirtschaftsverlag, Hiltrup 1969

(131) RWE Bau-Handbuch - technischer Ausbau
RWE-Hauptverwaltung, Anwendungstechnik, Essen 1975

(132) Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der BRD
Verschiedene Jahrgänge
Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

(133) Bauplanung - ein Vorschlag
Herausgegeben von der AVA-Arbeitsgemeinschaft zur Verbesserung der Agrarstruktur in Hessen, Wiesbaden März 1968

(134) Begriffsbestimmung in der Energiewirtschaft
Band 1, Teil 1: Elektrizitätswirtschaftliche Grundbegriffe
4. Ausgabe, VDEW, Frankfurt/M. 1973

(135) Betriebswirtschaftliche und landtechnische Datensammlung für die Landwirtschaftsberatung in Bayern
Band II, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München 1966

(136) Elektrische und wärmetechnische Messungen
11. Auflage Hartmann und Braun AG, Frankfurt/M. 1963

(137) Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland 1973
Elektrizitätswirtschaft, 73 (1974). 21, S. 587 - 626

(138) Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte
Verschiedene Jahrgänge

(139) KTL-Kalkulationsunterlagen für Betriebswirtschaft
Band 3
Hellmut-Neureuter-Verlag, München 1968

(140) Mindestwärmedämmung von Stallbauten
ALB Musterblatt f.O.11.
Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftliches Bauwesen, Frankfurt/M., Dezember 1967

(141) DIN 28 400: Vakuumtechnik, Fachausdrücke und Begriffe
Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln, Januar 1967

(142) DIN 11 845: Melkanlagen
Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln, März 1972

(143) DIN 18 910: Klima im geschlossenen Stall
Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln, Oktober 1974

(144) DIN 43 807: Elektrische Meßinstrumente für Geräte und Schalttafeln: Bezeichnung und Anordnung der Anschlußklemmen
Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln, Oktober 1958

(145) DIN 8 968: Anforderungen an Milchkühlanlagen
Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln, März 1969

(146) DIN 42 673 Bl. 1: Oberflächengekühlte Drehstrommotoren mit Käfigläufer, Anbaumaße und Zuordnung der Leistungen
Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln, April 1964

(147) DIN 5 035: Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht
Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln, Januar 1972

(148) Europäische Motornorm
CENEL-Dokument 2 B 64, April 1970

(149) Empfehlungen für Normmotoren
IEC-Publication 34-1, 72,
5. Ausgabe, 79 und 85

(150) Arbeitsverfahren, Milchkühlweg auf dem Hofe
DLG Merkblatt 63, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Frankfurt/M. 1966

DLG-Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft-Prüfberichte:

(151) Gruppe 11 b und 11 c: Milchkühlanlagen

(152) Gruppe 9 g: Stallüfter

(153) Gruppe 9 h: Schrotmühlen

(154) Gruppe 8 g: Heulüfter

(155) Gruppe 11 a: Melkmaschinen

(156) Heißwasserbereiter
HEA-Bilderdienst aktuell,
Frankfurt/M. 1974

(157) Flugblatt als Gemeinschaftsausgabe verschiedener holländischer Beratungsstellen,
MOC Wageningen/Holland 1972

(158) VDE - 0530 Bestimmungen für elektrische Maschinen
VDE-Verlags-GmbH, Berlin

(159) Firmenunterlagen und -prospekte

9. Anhang

Tabelle 1 : Zusammenstellung der Betriebsmodelle der Milchviehhaltung mit Nachzucht und resultierende Elektroenergie - Kenndaten.

ANBINDESTALL - HOCHSILOMECHANISIERUNG

		FESTMISTVERFAHREN						FLÜSSIGMISTVERFAHREN					
BESTANDSGRÖßE (Kühe)		20		40		60		20		40		60	
BETRIEBSMODELLE		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Installierte Leistung	gesamt kW	55,6	30,0	79,0	44,1	104,9	60,4	69,1	33,5	99,5	57,6	120,9	69,4
	spez. kW/Kuh	2,8	1,5	2,0	1,1	1,7	1,0	3,5	1,8	2,5	1,4	2,0	1,2
E-Energie-verbrauch	gesamt kWh/Jahr	14348	11290	26457	20546	38363	29695	14434	10810	26786	20609	38331	29263
	spez. kWh/Kuh. J.	717	565	661	514	639	495	722	541	670	515	639	488
Maximale Überlagerung	Pmax (kW)	35,0	13,0	46,5	21,5	55,0	30,5	50,0	26,0	67,5	34,5	77,0	45,5
	Tm (h)	410	868	569	955	697	974	289	416	397	597	498	643
	v_i (%)	63	43	59	46	53	50	72	78	68	60	64	66
Minimale Überlagerung (praxisgerecht)	Pmax (kW)	20,0	13,0	26,5	16,0	39,0	22,5	21,0	21,0	33,5	26,5	39,0	32,0
	Tm (h)	717	868	998	1284	984	1320	687	515	800	778	983	914
	v_i (%)	36	43	34	36	37	37	30	63	34	46	32	46
Minimale Überlagerung (teoretisch)	Pmax (kW)	16,0	9,	18,0	14,0	25,0	17,0	16,5	16,5	25,0	18,0	26,0	19,5
	Tm (h)	897	1254	1470	1468	1620	1747	877	655	1071	1145	1474	1501
	v_i (%)	29	30	23	32	26	28	24	49	25	31	22	28

Tabelle 2 : Zusammenstellung der Betriebsmodelle der Milchviehhaltung mit Nachzucht und resultierende Elektroenergie - Kenndaten

ANBINDESTALL - FLACHSILOMECHANISIERUNG

		FESTMISTVERFAHREN						FLÜSSIGMISTVERFAHREN					
BESTANDSGRÖßE (Kühe)		20		40		60		20		40		60	
BETRIEBSMODELLE		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Installierte Leistung	gesamt kW	40,6	17,4	56,1	28,7	67,0	36,5	42,2	26,1	77,0	42,6	87,9	50,4
	spez. kW/Kuh	2,0	0,9	1,4	0,7	1,1	0,6	2,1	1,3	1,9	1,1	1,5	0,8
E-Energie-verbrauch	gesamt kWh/Jahr	13665	10655	24924	19527	35177	27553	13765	11416	25422	19759	36122	28093
	spez. kWh/Kuh. J.	683	533	623	488	586	459	688	571	636	494	602	468
Maximale Überlagerung	Pmax (kW)	28,5	9,0	39,0	16,5	50,0	21,0	35,0	23,0	60,0	30,0	71,0	35,5
	Tm (h)	479	1184	639	1183	703	1172	393	496	424	659	509	791
	v_i (%)	70	52	70	57	75	64	83	88	78	70	81	70
Minimale Überlagerung (praxisgerecht)	Pmax (kW)	13,5	7,0	16,0	11,5	22,5	19,5	21,0	21,0	33,5	26,0	39,0	32,5
	Tm (h)	1012	1522	1558	1698	1563	1413	655	571	759	760	926	865
	v_i (%)	33	40	29	40	34	53	49	76	44	61	44	64
Minimale Überlagerung (teoretisch)	Pmax (kW)	9,5	6,0	14,0	11,5	19,0	15,0	16,5	16,5	24,5	17,5	26,0	19,5
	Tm (h)	1438	1776	1780	1698	1851	1836	834	692	1038	1129	1389	1441
	v_i (%)	23	34	25	40	28	41	39	63	32	41	30	37

Tabelle 3 : Zusammenstellung der Betriebsmodelle der Milchviehhaltung mit Nachzucht und resultierende Elektroenergie - Kenndaten

LAUFSTALL - FLACHSILOMECHANISIERUNG

		FESTMISTVERFAHREN						FLÜSSIGMISTVERFAHREN					
BESTANDSGRÖSSE (Kühe)		40		60		80		40		60		80	
BETRIEBSMODELLE		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Installierte	gesamt kW	56,5	31,3	66,0	38,7	78,9	49,5	71,4	45,2	86,9	52,6	115,3	63,9
Leistung	spez. kW/Kuh	1,4	0,8	1,1	0,6	1,0	0,6	1,9	1,1	1,4	0,9	1,4	0,8
E-Energie-	gesamt kWh/Jahr	26285	20273	37854	28291	50040	38140	26781	20503	38599	28636	49997	37564
verbrauch	spez. kWh/Kuh u.J.	657	507	631	472	626	478	670	513	643	477	625	470
Maximale	Pmax (kW)	34,0	16,5	43,0	23,5	52,5	31,0	56,0	31,5	65,0	38,0	89,5	46,0
Überlagerung	Tm (h)	773	1229	880	1204	953	1230	478	651	594	754	559	817
	v_i (%)	60	53	65	61	62	56	72	70	75	72	78	72
Minimale	Pmax (kW)	16,0	16,0	22,5	17,5	30,0	22,0	33,5	26,0	39,0	32,0	59,0	38,0
Überlagerung	Tm (h)	1643	1267	1682	1617	1668	1734	812	789	990	895	847	989
(praxisgerecht)	v_i (%)	28	51	34	45	36	40	43	58	45	61	51	59
Minimale	Pmax (kW)	12,5	12,5	17,5	17,5	22,0	22,0	25,0	18,0	30,0	19,0	40,0	23,5
Überlagerung	Tm (h)	2102	1621	2163	1617	2275	1734	1071	1139	1286	1507	1250	1598
(teoretisch)	v_i (%)	22	39	27	45	26	40	32	40	35	36	35	37

Tabelle 4 : Zusammenstellung der Betriebsmodelle der Milchviehhaltung mit Nachzucht und resultierende Elektroenergie - Kenndaten

LAUFSTALL - HOCHSILOMECHANISIERUNG

		FESTMISTVERFAHREN						FLÜSSIGMISTVERFAHREN					
BESTANDSGRÖSSE (Kühe)		40		60		80		40		60		80	
BETRIEBSMODELLE		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Installierte	gesamt kW	82,0	48,8	98,5	60,2	120,4	72,0	102,4	62,7	119,4	74,1	156,8	85,4
Leistung	spez. kW/Kuh	2,1	1,2	1,6	1,0	1,5	0,9	2,6	1,6	2,0	1,2	2,0	1,1
E-Energie-	gesamt kWh/Jahr	27969	21185	40970	29731	54873	40054	28465	21415	41715	30076	54830	39478
verbrauch	spez. kWh/Kuh u.J.	699	530	683	496	686	501	711	535	695	501	685	493
Maximale	Pmax (kW)	42,5	22,5	54,0	31,0	67,0	39,0	63,5	35,5	76,0	46,0	104,0	54,0
Überlagerung	Tm (h)	658	942	759	959	819	1027	448	603	549	654	527	731
	v_i (%)	52	46	55	51	53	51	62	57	64	62	66	63
Minimale	Pmax (kW)	26,5	17,5	35,5	22,0	45,0	30,0	33,5	26,0	39,0	32,0	59,0	38,0
Überlagerung	Tm (h)	1055	1210	1154	1351	1219	1335	863	824	1070	940	929	1039
(praxisgerecht)	v_i (%)	32	36	36	37	36	39	33	41	33	43	38	44
Minimale	Pmax (kW)	18,0	13,5	25,0	17,5	27,5	23,0	24,5	17,5	30,0	19,0	40,0	23,0
Überlagerung	Tm (h)	1554	1569	1600	1699	1995	1741	1162	1224	1390	1583	1370	1716
(teoretisch)	v_i (%)	22	33	25	29	22	30	24	28	25	26	26	27

Tabelle 5 : Elektroenergie-Kenndaten der Betriebsmodelle - Milchviehhaltung ohne Nachzucht (Anbindestall)

		Bestandsgröße	MODELLE	Installierte Leistung		Elektroenergieverbrauch		Jahreshöchstlast, ihre Benutzungsdauer u. Verbrauchsfaktor Max. Überlagerung			Min. Überlagerung (praxisgerecht)			Min. Überlagerung (theoretisch)		
				Ges.	Spez.	Gesamt	Spez.	Pmax	Tm	Vi	Pmax	Tm	Vi	Pmax	Tm	Vi
		Kühe		kW	kW/Kuh	kWh/Jahr	kWh/Kuh u. Jahr	kW	h	%	kW	h	%	kW	h	%
HOCHSILOMECHANISIERUNG	FLÜSSIGMISTVERFAHREN	20	I	68,6	3,4	11996	600	49,5	242	72	20,5	585	30	16,0	750	23
			II	33,0	1,6	9475	474	25,5	372	77	20,5	462	62	16,0	592	48
		40	I	98,5	2,5	22310	558	66,5	335	68	32,5	686	33	24,0	930	24
			II	56,6	1,4	17784	445	33,5	531	59	25,5	697	45	17,0	1046	30
		60	I	119,4	2,0	31442	524	75,5	416	63	37,5	838	31	24,5	1283	21
			II	67,9	1,1	24933	416	44,0	567	65	31,5	792	46	18,0	1385	27
	FESTMISTVERFAHREN	20	I	55,1	2,8	11960	598	36,0	332	65	19,5	613	35	15,5	772	28
			II	29,5	1,5	9813	490	12,5	785	42	12,5	785	42	8,5	1154	29
		40	I	78,0	2,0	22163	554	45,5	487	58	25,5	869	33	17,0	1304	22
			II	43,1	1,1	17827	446	19,5	914	45	15,0	1188	35	12,0	1486	28
		60	I	103,4	1,7	31545	526	61,5	513	59	37,5	841	36	25,5	1237	25
			II	58,9	1,0	25509	425	29,0	880	49	21,0	1214	36	15,5	1646	26
FLACHSILOMECHANISIERUNG	FLÜSSIGMISTVERFAHREN	20	I	41,7	2,1	11533	577	34,5	334	83	20,5	563	49	16,0	721	38
			II	25,6	1,3	10090	505	22,5	448	88	20,5	492	80	16,0	631	63
		40	I	76,0	1,9	21403	535	59,0	363	78	32,5	659	43	23,5	911	31
			II	41,6	1,0	17212	430	29,0	594	70	25,0	688	60	16,5	1043	40
		60	I	86,4	1,4	30042	501	69,5	432	80	37,5	801	43	24,5	1226	28
			II	48,9	0,8	24229	404	34,0	713	70	31,0	782	63	18,0	1346	37
	FESTMISTVERFAHREN	20	I	40,1	2,0	11470	574	28,0	410	70	13,0	882	32	9,0	1274	22
			II	16,9	0,8	9379	469	8,5	1103	50	6,5	1443	38	5,5	1705	32
		40	I	55,1	1,4	21078	527	38,0	555	69	15,0	1405	27	13,0	1621	24
			II	27,7	0,7	17076	427	15,5	1102	56	10,5	1626	38	10,5	1626	38
		60	I	65,5	1,1	29371	490	48,5	606	74	21,0	1399	32	19,5	1506	30
			II	35,0	0,6	23828	397	22,0	1083	63	18,0	1324	51	13,5	1765	39

Tabelle 6 : Elektroenergie-Kenndaten der Betriebsmodelle - Milchviehhaltung ohne Nachzucht (Laufstall)

		Bestandsgröße	MODELLE	Installierte Leistung		Elektroenergieverbrauch		Jahreshöchstlast, ihre Benutzungsdauer u. Verbrauchsfaktor								
								Max. Überlagerung			Min. Überlagerung (praxisgerecht)			Min. Überlagerung (theoretisch)		
				Ges.	Spez.	Gesamt	Spez.	Pmax	Tm	vi	Pmax	Tm	vi	Pmax	Tm	vi
		Kühe		kW	kW/Kuh	kWh/Jahr	kWh/Kuh u. Jahr	kW	h	%	kW	h	%	kW	h	%
HOCHSILOMECHANISIERUNG	FLÜSSIGMISTVERFAHREN	40	I	101,9	2,5	23689	592	62,5	379	61	32,5	729	32	23,5	1008	23
			II	61,7	1,5	18280	457	34,5	530	56	25,0	731	41	16,5	1108	27
		60	I	117,9	2,0	34829	580	74,5	468	63	37,5	929	32	24,5	1422	21
			II	72,6	1,2	25747	429	44,5	579	61	30,5	844	42	17,5	1471	24
		80	I	154,9	1,9	45815	573	102,0	449	66	57,0	804	37	40,5	1131	26
			II	83,5	1,0	33874	423	52,0	651	62	36,0	941	43	21,0	1613	25
	FESTMISTVERFAHREN	40	I	81,0	2,0	23375	584	41,5	563	51	25,5	917	31	17,0	1375	21
			II	47,8	1,2	18146	454	21,5	844	45	16,5	1100	35	12,5	1452	26
		60	I	97,0	1,6	34358	573	51,5	667	53	34,0	1010	35	21,0	1636	22
			II	58,7	1,0	25546	426	29,5	647	50	20,5	1246	35	16,0	1597	27
		80	I	123,9	1,5	46223	578	65,0	746	52	43,0	1075	35	25,5	1813	21
			II	74,5	0,9	34648	433	37,0	936	50	28,0	1237	38	21,0	1650	28
FLACHSILOMECHANISIERUNG	FLÜSSIGMISTVERFAHREN	40	I	76,4	1,9	22462	562	55,0	408	72	32,5	691	42	24,0	940	31
			II	44,2	1,1	17656	441	30,5	579	69	25,0	706	57	17,0	1039	38
		60	I	85,4	1,4	32519	542	63,5	512	74	37,5	867	44	24,5	1327	29
			II	51,1	0,9	24767	413	36,5	679	71	30,5	812	59	17,5	1415	34
		80	I	113,4	1,4	42184	527	87,5	482	77	57,0	740	50	40,5	1042	36
			II	62,0	0,8	32574	407	44,0	740	71	36,0	905	58	21,5	1515	35
	FESTMISTVERFAHREN	40	I	55,5	1,4	20654	516	33,0	626	59	15,0	1377	27	10,5	1967	19
			II	30,3	0,8	17546	439	16,5	1132	51	15,0	1168	50	10,5	1671	35
		60	I	64,5	1,1	32048	534	41,5	722	64	21,0	1526	33	16,0	2003	25
			II	37,2	0,6	24566	409	22,0	1117	59	16,0	1535	43	16,0	1535	43
		80	I	82,4	1,0	45592	532	50,5	903	61	28,0	1628	34	20,0	2280	24
			II	53,0	0,7	33342	417	29,0	1150	55	20,0	1667	38	20,0	1667	38

Tabelle 7: Milchviehhaltung mit alleiniger Heufütterung, Betriebsmodell III - Anbindeställe -

		20 Kühe				40 Kühe				60 Kühe			
		A		B		A		B		A		B	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Installierte Leistung	gesamt kW	45,6	36,8	31,7	22,9	71,4	53,8	53,1	35,5	92,6	66,2	73,4	47,0
	spez.kW/Kuh	2,3	1,8	1,6	1,1	1,8	1,3	1,3	0,9	1,5	1,1	1,2	0,8
Elektroenergie-verbrauch	gesamt kWh/Jahr	13594	10778	12794	9978	24516	18884	24416	18784	35189	26731	35000	26542
	spez.kWh/Kuh u.J	680	539	640	499	613	472	610	470	586	446	584	442
Jahreshöchstlast Pmax (kW)		41	32	20	11	54	36	36	18	73	46	51	25
Jahresbenutzungsdauer Tm (h)		332	339	640	907	472	525	678	1044	482	581	686	1062
Verbrauchsfaktor vi (%)		89	87	63	49	76	69	68	52	79	70	69	53

A = Flüssigmistverfahren und Gebläsehäcksler

B = Festmistverfahren und Greifer

1 = Kaltbelüftung von Heu

2 = Warmluftsatztrockner (+ 40° C)

Tabelle 8: Milchviehhaltung mit alleiniger Heufütterung, Betriebsmodelle III - Laufställe -

		40 Kühe				60 Kühe				80 Kühe			
		A		B		A		B		A		B	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Installierte Leistung	gesamt kW	72,5	54,9	53,8	36,2	87,8	61,4	69,1	42,7	99,5	64,3	87,8	52,6
	spez.kW/Kuh	1,8	1,4	1,3	0,9	1,5	1,0	1,2	0,7	1,2	0,8	1,1	0,7
Elektroenergie-verbrauch	gesamt kWh/Jahr	25412	19720	25044	19412	35960	27502	35413	26955	46977	35707	46618	35336
	spez.kWh/Kuh u.J	634	493	626	485	599	458	590	449	587	446	582	442
Jahreshöchstlast Pmax (kW)		60	40	38	20	67	41	52	26	77	42	68	33
Jahresbenutzungsdauer Tm (h)		423	493	659	970	537	670	681	1057	610	850	686	1071
Verbrauchsfaktor vi (%)		82	73	70	57	76	67	76	60	77	65	78	63

A = Flüssigmistverfahren und Gebläsehäcksler

B = Festmistverfahren und Greifer

1 = Kaltbelüftung von Heu

2 = Warmluftsatztrockner (+ 40 °C)

Tabelle 9 : Die Jahreshöchstlast bei der bestmöglichen Verlagerung, ihre Benutzungsdauer und der Verbrauchsfaktor in der Milchviehhaltung mit Nachzucht (intensiver Elektrizitätseinsatz)

		HOCHSILOMECHANISIERUNG						FLACHSILOMECHANISIERUNG					
		Festmistverfahren			Flüssigmistverfahren			Festmistverfahren			Flüssigmistverfahren		
		(1) Pmax.	(2) Tm	(3) vi	(1) Pmax.	(2) Tm	(3) vi	(1) Pmax.	(2) Tm	(3) vi	(1) Pmax.	(2) Tm	(3) vi
Bestandsgröße	Kühe	kW	h	%	kW	h	%	kW	h	%	kW	h	%
Anbindestall	20	20,0	717	36	21,0	687	30	13,5	1012	33	21,0	655	49
	40	26,5	998	34	33,5	800	34	16,0	1558	29	33,5	759	44
	60	39,0	984	37	39,0	983	32	22,5	1563	34	39,0	926	44
Laufstall	40	26,5	1055	32	33,5	850	33	16,0	1643	28	33,5	799	43
	60	35,5	1154	36	39,0	1070	33	22,5	1682	34	39,0	990	45
	80	45,0	1219	36	59,0	929	38	30,0	1668	36	59,0	847	51

(1) Jahreshöchstlast Pmax. (2) Jahresbenutzungsdauer Tm (3) Verbrauchsfaktor vi

Technische Universität München
INSTITUT FÜR LANDTECHNIK
8050 Freising-Weihenstephan

Mehrfach verwendete Geräte
nur 1 x aufführen und
nicht erwähnte Geräte in
freie Spalten schreiben.

F r a g e b o g e n

Projekt: Elektrizitätsanwendung in der Milchviehhaltung

Betriebskenndaten

Name.....

Anschrift.....

.....Tel. .....

EVU.....

Bearbeiter.....Tel. .....

Betriebsfläche.....ha

Landwirtschaftliche Nutzfläche.....ha

Getreidebau.....ha

Hackfruchtanbau.....ha

Feldfutter.....ha

Wiesen..... .....ha

Weiden.....ha

Nachtstrom insgesamt.....kW

Einzelgeräte:.....kW

.....kW

.....kW

.....kW

Wohnhaus Gesamtanschluß.....kW

Tierbestand

Kühe.....Stück

Kalbinnen.....Stück

Jungvieh.....Stück

Zuchtbullen.....Stück

Kälber.....Stück

Stallform

Mittellangstand-Anbinde.....( )

Kurzstand-Anbinde.....( )

Fangboxenstall.....( )

Freßboxenstall.....( )

Liegeboxenstall.....( )

.....( )

Melkverfahren

Rohrmelkanlage.....( )		Melkzeuge.....Stück
		Buchtenanzahl/Melkzeuge
Tandemmelkstand.....( )		...../.....
Längsmelkstand.....( )		...../.....
Fischgrätenmelkstand.( )		...../.....
Karussellmelkstand...( )		...../.....

Elektrische Verbraucher (Mechanisierung und Anschlußwerte)

Milchgewinnung

Melkmaschine (Vakuumpumpe).....kW

Milchpumpe.....kW

Milchkühlung.....( ) direkt, ...( ) Indirekt

Milchbehälter: Fassungsvermögen.....Liter,...( )isoliert,..( )nicht is.

gesamter Anschlußwert Milchkühlung.....kW

wenn aufzuschüsseln: Kompressor.....kW

Lüfter.....kW

Rührwerk.....kW

Reinigungsautomat.....kW

Heißwasserbereiter.....Liter,.....kW, ( )isoliert, ( )nicht isol.

Kraftfutterzuteiler.....Stück Antriebsmot. x.....kW/Stück,.....kW-Ges.

Melkstandheizung und -lüftung

Ventilatoren.....Stück,.....kW/Stück, ...kW-Gesamt

Lufterhitzer.....kW

Rippenrohrheizkörper.....kW

Wärmesrtahler.....kW

Fußbodenheizung.....kW

.....kW

Entmistung

( ) Kanäle mit Gitterrosten oder Spaltenboden

( ) Seilzugentmistung.....kW

( ) Schubstangenentmistung.....kW

( ) Faltschieber.....kW

( ) Elektrisch betriebener Hofschlepper.....kW, ...Ah

( ) .....kW

Dungförderung

( ) Schrägförderer (Festmist).....kW

( ) Flüssigmistpumpe mit E-Motor.....kW

( ) Flüssigmistpumpe mit Schlepperantrieb

( ) .....

Futtereinlagerung

( ) Fördergebläse (Rohrdurchmesser.....mm), ...kW

( ) Fördergebläse (Rohrdurchmesser.....mm),.....kW

( ) Höhenförderer..... .....kW

( ) Greifer.....kW

( ) .....kW

Heubelüftung

Gebläse.....Stück x .....kW/Stück,.....kW-Gesamt

Heizaggregate für Warmluft.....kW

Verteiler (Heuturm) .....kW

Entnahmevorrichtung (Heuturm).....kW

Kraftfutteraufbereitung

Schrotmühle.....kW

Mischer.....kW

Stallüftung

( ) Unterdruck, ( ) Überdruck, ( ) Gleichdruck

Regelung: ( ) von Hand, ( ) automatisch, ( ) .....

.....Stück Ventilatoren x .....kW/Stück, ...kW-Gesamt

Heizung

Art....., ...kW

Beleuchtung (Stall, Melkstand, Milchkammer, Maschinenraum)

Leuchstofflampen .....Stück x .....kW/Stück, ...kW-Gesamt

.....Stück x .....kW/Stück, ...kW-Gesamt

Glühlampen .....Stück x .....kW/Stück, ...kW-Gesamt

.....Stück x .....kW/Stück, ...kW-Gesamt

Beleuchtung-Gesamt.....kW

Sonstige Verbraucher

Weidezaun: ( ) Batterie, ( ) Netz .....Ah bzw. .....kW

.....kW

.....kW

Notstromaggregat .....KVA

Zusatzfragebogen

1. Klimadaten

Höhenlage .....

Ø mm Niederschlagsmenge .....

Ø Jahrestemperatur °C .....

1.1 Weidegangperiode von .....bis.....

Tägliche Weidezeit von .....bis.....

Stunden .....

2. AK-Besatz

(Betriebsleiter, Frau,
Kinder, Fremd-AK usw.) .....

.....

.....

(ev. Anzahl der Stunden schätzen)

3. Futtereinlagerung

Gebläse

Fabrikat ..... Typ .....

Nennleistung des Motors (kW) .....

Rohr Ø (mm) .....

Förderhöhe (m) .....

Bergeverfahren (AK, Ladewa-
gen, Häcksler) .....

.....

Bergeleistung
(Schätzung) (dz/h) .....

Silagemenge oder Fläche

1. Schnitt: .....

2. Schnitt: .....

3. Schnitt: .....

Maissilage: .....

andere Verfahren (falls bekannt Berge- oder Einlagerungsleistung)

Greifer

Förderhöhe (m) .....

Förderweite (m) .....

Höhenförderer

Länge .....

Förderhöhe .....

4. Flüssigmistpumpe

Fabrikat .....Typ.....

Motornennleistung (kW).....

Größe des Vorbehälters (cbm).....

Größe des Hauptbehälters(cbm).....

5. Mechanische Entmistung

Fabrikat .....Typ.....

Art der Entmistungsanlage .....

Nennleistung des Motors (kW).....

Abmessen des Kotgrabens (m).....

Entmistungsvorgänge täglich .....

gesamte Förderlänge (m).....

gesamte Kettenlänge (m).....

6. Heubelüftung

jährliche Heumenge,gesamt(dt).....

belüftete Heumenge (dt).....

1. Schnitt: .....

2. Schnitt: .....

7. Futterentnahmefräse

Fabrikat .....Typ.....

Nennleistung des Motors (kW).....

tägliche Entnahmemenge (dt)

Grassilage Sommer .....

Winter .....

Maissilage Sommer .....

Winter .....

8. Kraftfutteraufbereitung

Mühle

Fabrikat .....Typ.....

Nennleistung des Motors (kW).....

Bauart (Zusatzgebläse ?) .....

Förderhöhe und Weite (m).....

Mischer

Fabrikat .....Typ.....

Fassungsvermögen (l).....

Zwangs-oder Freimischer .....

Nennleistung des Motors (kW).....

Ø Laufzeit pro Mischung .....

Angaben zur Kraftfuttermenge

Zukauf Fertigfutter (dt).....

Gesamtmenge Eigenmischung

pro Jahr (dt).....

Menge pro Kuh und Jahr

oder Angaben über Zuteilung nach Milchleistung

.....

9. Spülautomat

Fabrikat .....Typ.....

Heizanschlußwert (kW).....

Wasseranschlüsse

nur Kaltwasseranschluß

Kalt- und Warmwasseranschluß

(Warmwasserzulauftemperatur °C.....)

	Spülrohr	Milchrohr
Rohrmaterial	.....	.....
Rohrdurchmesser	30 mm Ø.....(m)	30 mm Ø.....(m)
und Länge	40 mm Ø.....(m)	40 mm Ø.....(m)

Verbrauch je Spülvorgang

gesamt .....Liter

Warmwasser .....Liter von .....° C

Kaltwasser .....Liter

Programmierte Spülzeit .....(min)

Bemerkungen .....

.....

10. Vakuumpumpe

Fabrikat .....Typ.....

Nennaufnahme des Motors (kW).....

Luftförderleistung (l/min).....

Zahl der Melkeinheiten .....

Vakuumrohrdurchmesser Ø (mm).....

und Länge (m).....

durchschnittliche Melkdauer je Melkzeit

(Stunden) .....

11. Milchkühlung (Direktkühlung)

Nennaufnahme des Kühlaggregates (kW).....

Inhaltsgröße des

Milchbehälters .....l isoliert
nicht isoliert

Milchabholrhytmus .....

Anfallende Milchmenge am Tag (Ø)

im Sommer l

im Winter l

Mittlere Raumtemperaturen in der Milchkammer

im Sommer .....°C

im Winter .....°C

Bemerkungen .....

12. Warmwasserbereiter

Fabrikat.....Typ.....

Heizanschlußwert (kW).....

Inhaltsgröße (l).....

Isolierung .....

Eingestellte Temperaturstufe .....°C

13. Melkstandheizung

Fabrikat .....Typ.....

Heizanschlußwert (kW).....

Einsatzdauer

am Tag .....(Stunden)

im Jahr .....(Stunden)

Melkstandraumgröße (cbm).....

14. Stallüftung

Lüftungssystem: Überdruck

Unterdruck

Gleichdruck

Ventilator

Fabrikat und Typ .....

Nennleistung (kW) .....

Anzahl (Stück) .....

Regelung

Fabrikat und Typ .....

Stallraumgröße (m^3).....