



Sonderdruck

Bericht über das Symposium
zum Abschluß des Sonderforschungsbereiches 141

Produktionstechniken der Rinderhaltung

Bayerisches Landwirt- schaftliches Jahrbuch

Inhaltsverzeichnis

Symposium über den Sonderforschungsbereich 141: „Produktionstechniken der Milchviehhaltung“		
<i>Wenner, H. L.</i>	Einleitung	395
<i>Zeeb, K.</i>	Angewandte Ethologie und ihre Aussagemöglichkeiten für die Milchviehhaltung	399
<i>Boxberger, J., Kempkens, K. und Kirchner, M.</i>	Verhaltensanalysen zur Optimierung von Stallsystemen – Anpassung der Laufflächenform und -zuordnung an die Fortbewegungsansprüche der Rinder –	409
<i>Schulz, H.</i>	Wärmerückgewinnung zur Stallklimaverbesserung	423
<i>Englert, G.</i>	Kennwerte für den wirtschaftlichen Wärmeschutz	433
<i>Schwarz, F. und Kirchgeßner, M.</i>	Fütterungstechnische Maßnahmen zur Optimierung der Grundfutteraufnahme	441
<i>Pirkelmann, H.</i>	Techniken zur leistungsgerechten Rinderfütterung	449
<i>Schön, H.</i>	Entwicklungstendenzen des maschinellen Milchentzuges	461
<i>Worstorff, H.</i>	Melktechnische Grundlagen und deren biotechnische Umsetzung	475
<i>Sauer, N.</i>	Betriebswirtschaftliche Perspektiven von heutigen und künftigen Bestandsgrößen	485
<i>Auernhammer, H.</i>	Kapitalbedarf, Arbeitszeitbedarf und Kosten für Systeme der Milchviehhaltung im Vergleich	495
<i>Kirchgeßner, M., Kreuzer, M., Kaufmann, Th. E. G. und Paulicks, B. R.</i>	Physiologische Anpassung von Milchkühen an Energie- oder Proteinfehlernährung	513

Symposium über den Sonderforschungsbereich 141: „Produktionstechniken der Milchviehhaltung“

Veranstaltet von
dem Institut für Landtechnik der TU München-Weihenstephan
der Bayer. Landesanstalt für Landtechnik Freising-Weihenstephan
dem Lehrstuhl für Tierernährung der TU München-Weihenstephan
dem Institut für Physiologie der Südd. Vers.- u. Forsch.-Anstalt für Milchwirtschaft
Freising-Weihenstephan

am 10./11. April 1986

Eingang des Manuskripts: 12. 8. 1986

Einleitung

Von Heinz Lothar Wenner*)

Vor 15 Jahren wurde bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter Federführung der Landtechnik Weihenstephan ein Forschungsschwerpunkt über die Techniken der Rinderhaltung beantragt und ab 1972 in die Förderung einbezogen. Dieses groß angelegte Forschungsvorhaben basierte auf der traditionellen Ausrichtung breit angelegter wissenschaftlicher Arbeiten der verschiedenen Disziplinen an der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der TU München in Weihenstephan. Diese Aktivitäten sollte der Sonderforschungsbereich „Produktionstechniken der Rinderhaltung“ zusammenfassen und verstärken, um den spezifischen Anforderungen der Landwirtschaft gerecht zu werden. Dazu war ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Grundlagen- und Anwendungsforschung notwendig sowie eine enge Verzahnung von rein maschinentechnischen, bautechnischen und landwirtschaftlich produktionstechnisch orientierten Disziplinen.

Die Beweggründe, die zur Beantragung dieses Sonderforschungsbereiches führten, waren vielgestaltig. In der Bundesrepublik Deutschland wurden 1970 in rd. 850 000 landwirtschaftlichen Betrieben Rinder gehalten; allein die Zahl der Milchviehbetriebe betrug etwa 750 000. Infolge dieser ungünstigen Strukturverhältnisse lagen ihre Einkommen trotz hoher Arbeitsbelastung und langer täglicher Arbeitszeiten am unteren Ende der unbefriedigenden Skala der landwirtschaftlichen Verdienste. Hinzu kamen wesentliche Verschlechterungen der Rahmenbedingungen durch zunehmende Auflagen im Umwelt- und Tierschutz. Eine Verbesserung der Produktionsverfahren erschien für die Vielzahl dieser Betriebe aus Gründen der Einkommenssicherung, der Landschaftserhaltung und auch der Versorgung der Bevölkerung mit hochwertigen Nahrungsmitteln dringend erforderlich.

Die Produktionstechnik dieser Betriebe hatte sich langfristig auf Erfahrungsbasis mehr oder weniger weit entwickelt, und nur in Teilbereichen lagen ausreichend

*) Sprecher des Sonderforschungsbereiches von 1973–1985

wissenschaftliche Kenntnisse über Grundlagenbeziehungen vor. Von einer optimalen Ausrichtung der Gesamtproduktion konnte nicht gesprochen werden. Sicherlich, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wurden auch schon vorher nicht nur in Weihenstephan, sondern auch in anderen Instituten der Bundesrepublik Deutschland bearbeitet, jedoch meist in punktueller Betrachtung und Ausrichtung. Daher war es die Zielvorstellung des Sonderforschungsbereiches, auf wissenschaftlicher Basis Grundlagen für die wichtigsten Bereiche der Produktionstechniken der Rinderhaltung zu schaffen, also grundlegende Zusammenhänge und Abhängigkeiten mit abgesicherten Daten zu klären, um entsprechende Fortschritte einleiten zu können. Damit sollte ein Beitrag dazu geleistet werden, die deutsche Landwirtschaft auch in Zukunft in die Lage zu versetzen, ihrer Aufgabenstellung gerecht zu werden: Bereitstellung ausreichender Mengen qualitativ hochwertiger und preisgünstiger Nahrungsmittel, Erhaltung einer im biologischen Gleichgewicht befindlichen Kulturlandschaft und Sicherung eines vergleichbaren Einkommens der in der Landwirtschaft Beschäftigten.

Als zweiter, wichtigster Grund für den Sonderforschungsbereich hatte man das enge Zusammenwirken mehrerer einschlägiger Disziplinen als dringend notwendig erkannt und beabsichtigt. Es gibt wohl kaum ein anderes Fachgebiet wie die Landtechnik, die auf die Mitwirkung vieler anderer Disziplinen und auf die Zulieferung wichtiger Grundlagenkenntnisse angewiesen ist. Beispiele hierfür aus der Rinderhaltung sind der maschinelle Milchentzug, also die Melktechnik, die ohne begleitende Forschung der Laktationsphysiologie keine optimalen Anlagen entwickeln kann; oder die Fütterungstechnik, die auf Ergebnisse der Grundlagenforschung der Ernährungsphysiologie aufbauen muß; oder die entscheidenden Fragen der Haltungstechnik, der Bautechnik und -physik, die nur gemeinsam mit der Tierphysiologie und der Ethologie zu optimalen Lösungen kommen kann; letztlich

auch der Komplex der Arbeits- und Kapitalaufwandsfragen, die in enger Beziehung zu ökonomischen Disziplinen stehen.

Diese vielfältigen Verflechtungen der Einzelkomponenten mit speziellen Aussagen fanden im Sonderforschungsbereich ihre Zusammenfassung in Projektbereichen, die ihrerseits wiederum einmünden sollten in Gesamtkonzepte optimaler Produktionssysteme. Während der Projektbereich A (Prozeßanalyse) mit allen anderen Teilprojekten des Sonderforschungsbereiches ständig intensive Verbindung hielt, ergaben sich weitere wissenschaftliche Verflechtungen vom Projektbereich F (Fütterung) zu den Problemen der Haltungsverfahren, den baulichen Anforderungen und dem Herdenmanagement, vom Projektbereich G (Melken) über die tägliche Milchmengenerfassung zur leistungsbezogenen Kraftfutterdosierung und zum Herdenmanagement, vom Projektbereich L (Haltungsverfahren) zur baulichen und technischen Ausführung aller Stalleinrichtungen sowie zur Raumkonzeption und zum Wärmehaushalt des Stalles und letztlich zum Projektbereich I-M (Betriebsgebäude und Wärmehaushalt) zu den Problemkreisen der Aufstallungsformen, der Dungbeseitigung und der Fütterung.

Zweifellos war in der inderdisziplinären Zusammenarbeit der Hauptvorteil des nach Weihenstephan gegebenen Sonderforschungsbereiches angesiedelt. Diese Zusammenarbeit wurde bewußt als Chance genutzt, zumal die Voraussetzungen dafür in München und in Weihenstephan sehr günstig waren. Die Bereitschaft aller beteiligten Wissenschaftler, sich dem gestellten Forschungsthema unterzuordnen, also eine langfristige Zusage für Mitarbeit und Festlegung der Forschungsrichtung zu geben, war vorhanden. Das bedeutete naturgemäß eine gewisse Eingrenzung der eigenständigen wissenschaftlichen Freizügigkeit. Weiterhin wurde eine möglichst gleich hohe wissenschaftliche Aktivität und auch Kreativität aller beteiligten Forscher erwartet, um eine gewisse Gleichgewichtigkeit und Gemeinsamkeit zu erhalten.

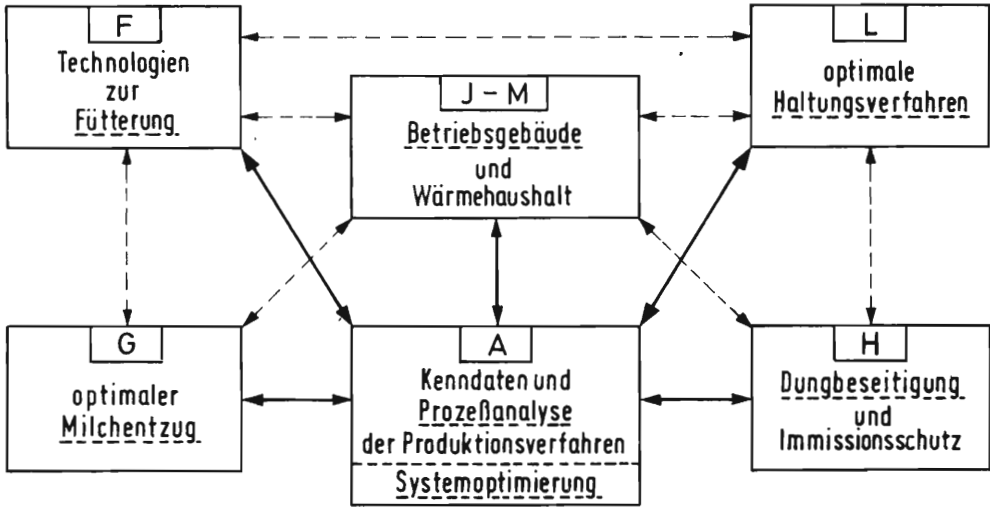


Abb. 1: Projektbereiche und ihre Vernetzung im Sonderforschungsbereich 141

Im gesamten Arbeitszeitraum wurden 100 Diplomarbeiten aus Themen des Sonderforschungsbereiches gefertigt sowie 29 Dissertationen abgeschlossen; 13 stehen noch aus; 3 Habilitationen erfolgten von Wissenschaftlern des Sonderforschungsbereiches, eine weitere steht kurz vor dem Abschluß. Insgesamt wurden etwa 600 Veröffentlichungen und in vielen Vorträgen Ergebnisse aus dem Sonderforschungsbereich vorgestellt. In Fachgesprächen einzelner Projektbereiche wurde über den Fortgang der Untersuchungen und die gewonnenen Erkenntnisse mit auswärtigen Wissenschaftlern, Fachleuten und auch mit daran interessierten Gutachtern diskutiert. Diese Fachgespräche, von denen in den 13 Jahren insgesamt 16 abgehalten wurden, haben sich außerordentlich bewährt.

Eine Fülle von Fakten und wissenschaftlichen Grundlagenkenntnissen aus den Bereichen des maschinellen Milchentzuges, der Fütterungstechnik, der Haltungsverfahren, der Bautechnik und der Arbeits- sowie Betriebswirtschaft wurde erarbeitet. Besonders wichtig ist, und das war nur durch das Instrument Sonderforschungsbereich möglich, daß die vielfältigen grundlegenden Wechselbeziehungen zwischen Technik, Nutztier und Tierhalter auf

einen beachtlichen wissenschaftlichen Erkenntnisstand angehoben wurden, so daß entsprechende Fortschritte der Produktionstechnik möglich wurden.

Natürlich sind nun nicht alle Probleme gelöst. Im Gegenteil, weitergehende Forschungsarbeiten sind dringend erforderlich: Beispielsweise Fragen der Prozeßsteuerung und Prozeßüberwachung in der Rinderhaltung mit Hilfe Mikroelektronik und EDV, die weitere Überprüfung der Bewegungsansprüche der Nutztiere für tiergerechte Haltungsverfahren, die Entwicklung einfacher Meßmethoden zur Bestimmung der Grundfutterqualitäten oder beispielsweise auch exaktere Daten über die Wärmeabgabe der Rinder in Abhängigkeit vielfältiger Einflußfaktoren. Einige dieser wichtigen Forschungsvorhaben werden in Weihenstephan weiter bearbeitet.

In einem abschließenden Symposium im April 1986 wurde zwei Tage über aktuelle Ergebnisse des Sonderforschungsbereiches berichtet und diskutiert. Dem Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gebührt großer Dank dafür, daß in diesem Heft die wichtigsten Referate dieses Symposiums veröffentlicht werden können.

Angewandte Ethologie und ihre Aussagemöglichkeiten für die Milchviehhaltung

Von Klaus Zeeb, Tierhygienisches Institut der Universität Freiburg

Bedarfsdeckungs- und Schadensvermeidungskonzept

Aufbauend auf dem erkenntnistheoretischen Ansatz von B. TSCHANZ (1985), befaßt sich der Terminologie-Ausschuß der Fachgruppe Verhaltensforschung der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e. V. mit der Darstellung und beispielhaften Belegung des Bedarfsdeckungs- und Schadensvermeidungskonzeptes. Dieses Konzept soll im Gegensatz zum Triebkonzept praktikablere Möglichkeiten für die Beurteilung der Tiergerechtigkeit von Haltungssystemen schaffen. Es sei im folgenden kurz dargestellt.

Organismen haben die Fähigkeit, sich selbst aufzubauen und sich selbst zu erhalten. Selbstaufbau und Selbsterhalt erfol-

gen gemäß eines genetischen Planes (Abb. 1) in der Weise, daß der artspezifische Typus verwirklicht wird. Der genetische Plan bedingt notwendigerweise Bedarf für Selbstaufbau und Selbsterhalt. Für die Deckung dieses Bedarfs sind Stoffe, Reize und Strukturen sowohl im Organismus wie auch Stoffe und Reize aus der Umgebung des Organismus erforderlich. Mittels Bedarfsdeckung wird der artspezifische Typus des Organismus aufgebaut resp. erhalten. Neben Selbstaufbau und Selbsterhalt sind Organismen auch befähigt, Schaden zu vermeiden. Für alle drei Lebensvorgänge ist bei tierischen Organismen Verhalten Voraussetzung (Abb. 2). Mittels Verhalten werden unter bestimmten Bedingungen Substanzen und Reize der Umgebung des Tieres zur Bedarfsdeckung ge-

Der genetische Plan (1) bedingt notwendigerweise Bedarf (2) für Selbstaufbau und Selbsterhalt. Zur Bedarfsdeckung (3) sind Stoffe, Reize und Strukturen (3') erforderlich (Bedarfsanforderung), um den Typus (4) gemäß dem genetischen Plan aufzubauen und zu erhalten.

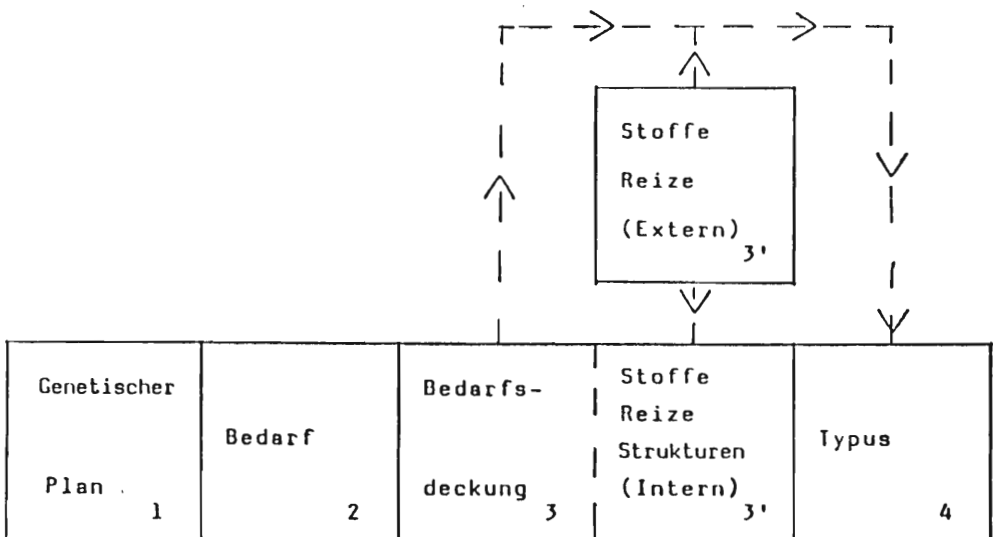


Abb. 1: Wirkungsgefüge des Bedarfsdeckungs- und Schadensvermeidungskonzeptes

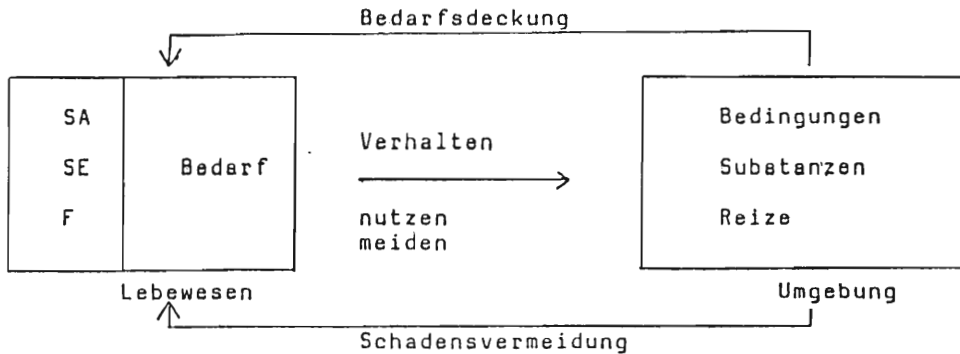


Abb. 2: Beziehungen zwischen den allgemeinen Eigenschaften von Lebewesen und ihrer Umgebung. SA = Selbstaufbau; SE = Selbsterhaltung; F = Fortpflanzung

nützt oder zwecks Schadensvermeidung gemieden.

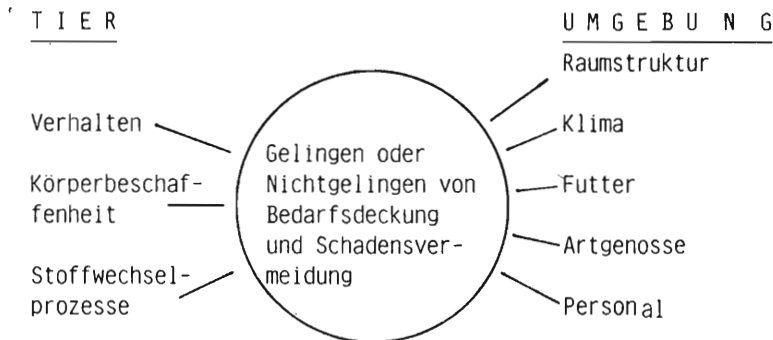
Für die Beurteilung dahingehend, ob ein Haltungssystem tiergerecht ist oder nicht, werden im Hinblick auf das Tier Merkmale des Verhaltens, der Körperbeschaffenheit und der Stoffwechselprozesse herangezogen (Abb. 3). Gelingen von Bedarfsdeckung und Schadensvermeidung als Voraussetzung für die Tiergerechtigkeit eines Haltungssystems sind nur möglich, wenn die entsprechenden Faktoren der Haltungsumgebung dies zulassen; sie sind also weitere Merkmale, welche berücksichtigt werden müssen.

Um Haltungsumgebung und Tierverhalten im Sinne eines funktionierenden Systems zu verwirklichen, ist Haltungstechnik erforderlich. Diese kann in Verfahrens-

bereiche eingeteilt werden. Die Verhaltensmerkmale können unter Funktionskreisen zusammengefaßt werden. Die Vielfalt der Verflechtungen zwischen Funktionskreisen des Verhaltens und den Verfahrensbereichen der Haltungstechnik werden auf Abb. 4 ersichtlich.

Tierverhalten und Eigenschaften der Luft

Das Erhalten einer konstanten Körpertemperatur ist bei gleich warmen Tierarten für den Organismus wichtig wegen des optimalen Ablaufs der Stoffwechselprozesse. Temperatur, Geschwindigkeit und Feuchte sind Eigenschaften der Luft, welche auf den Organismus Einfluß nehmen. Der Organismus besitzt Regelmechanismen, die eine konstante Körpertemperatur aufrechterhalten. Tab. 1 gibt Beispiele für



Merkmalsgruppen des Tieres und der Haltungsumgebung zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit eines Haltungssystems

Abb. 3: Merkmalsgruppen des Tieres und der Haltungsumgebung zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit eines Haltungssystems

einige Möglichkeiten des Tieres mittels Verhalten direkt oder mittels morphologischer Veränderungen, langfristig die Körpertemperatur optimal aufrechtzuerhalten:

Beispiele für arttypisches Rinderverhalten

Es wurden in vier Betrieben mit Rindviehhaltung über mehrere Jahre und verteilt über die Jahreszeiten insgesamt 4032 Beobachtungsstunden erfaßt (J. BÄMMERT und K. ZEEB, 1984). Trotz verschiedener Rassen (Kampfrinder in der Camargue und Deutsch-Schwarzbunte) und trotz der Unterschiede bezüglich Leistung, Futterverhältnisse und Haltungsintensität war die tägliche Ruhedauer (ohne Wiederkauen) im Mittel 6,4 Stunden lang mit einer Variabilität von 6,2–6,6 Stunden je Tag. In denselben Betrieben betrug die Freßzeit je Stunde in den vier Stunden nach Mitternacht durchweg unter 15 min/h. Diese beiden Beispiele zeigen deutlich, daß be-

Tab. 1: Reaktionen von Tieren bei Abweichung der Lufttemperatur t vom Optimalbereich t_{opt}

Verhalten	$t > t_{opt}$	$t < t_{opt}$
Aufsuchen von Bereichen mit	niederer t höherer v niederer φ	höherer t niederer v niederer φ
Atmung	verstärkt	reduziert
Bewegung	reduziert	verstärkt
Futteraufnahme	reduziert	verstärkt
Morphologische Veränderungen		
Behaarung	reduziert	verstärkt
Unterhautfettgewebe	reduziert	verstärkt
Erfolg	Kühlung	Erwärmung

v = Luftgeschwindigkeit φ = Rel. Luftfeuchte

stimmte angeborene arttypische Verhaltensmerkmale trotz Domestikation nicht durch haltungstechnische Gegebenheiten

VERHALTEN

HALTUNGSTECHNIK

Funktionskreise

Verfahrensbereiche

Ernährungsverh.

Fütterung

Ausruhverh.

Ausruhen

Lokomotionsverh.

Fortbewegung

Ausscheidungsverh.

Entmistung

Fortpflanzungsverh.

Fortpflanzung

Sozialverh.

Gruppierung

Komfortverh.

Klima

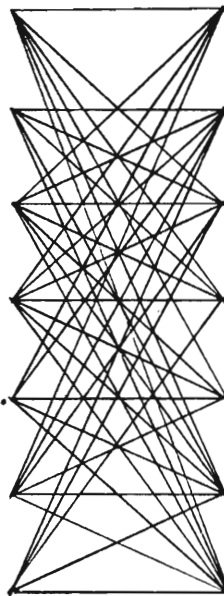


Abb. 4: Die Verflechtung von Funktionskreisen des Verhaltens mit den Verfahrensbereichen der Haltungstechnik

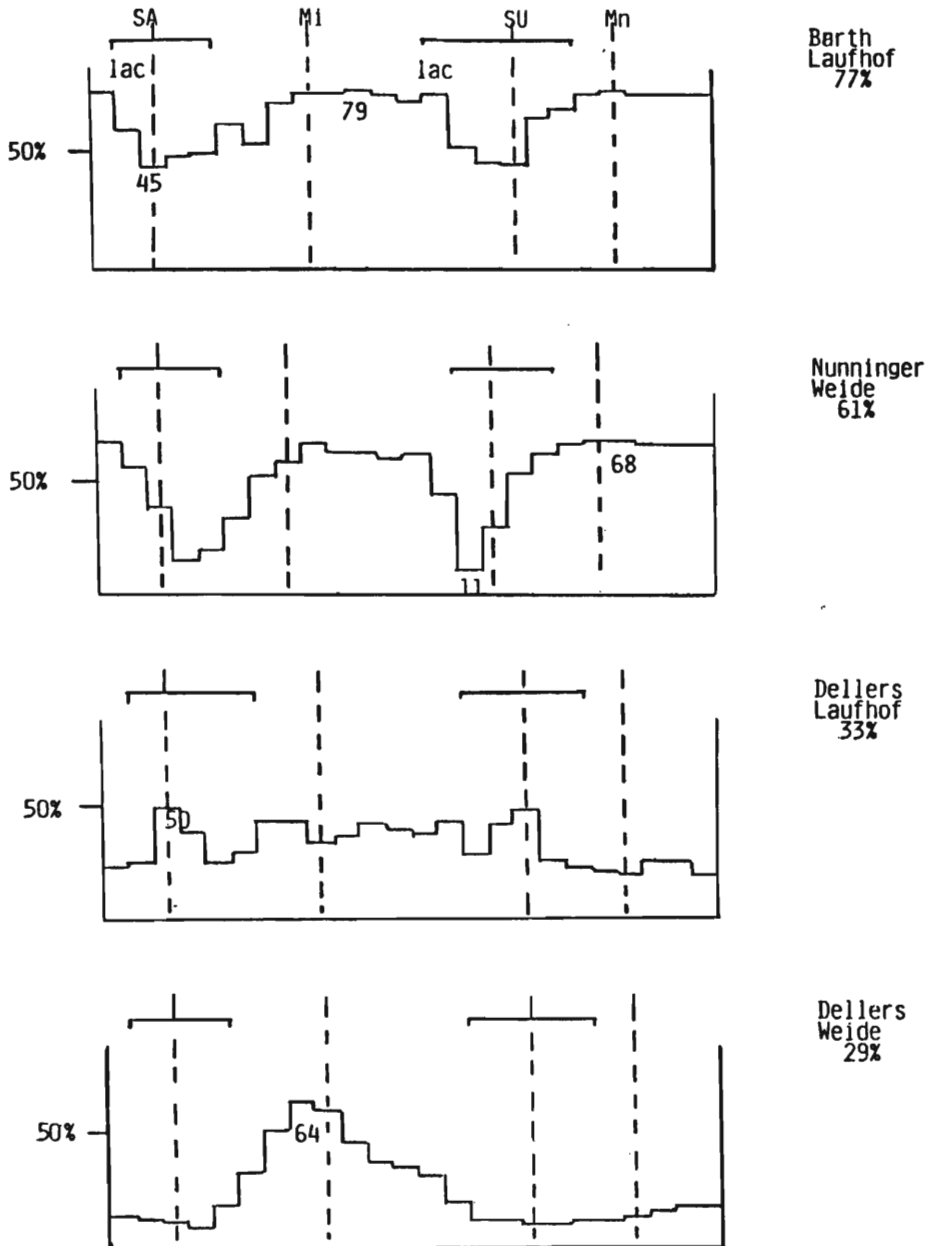


Abb. 5: Prozentuale Aufenthaltszahlen von Tieren im Freien

verändert werden und bei recht verschiedenen Rinderrassen gleichartig auftreten. Sie sind bei verfahrenstechnischen Überlegungen stets zu berücksichtigen.

Klimafaktoren und Rinderaktivität

Wenn Kühe jederzeit ungehindert den Laufhof oder die Weide betreten können, haben sie die Möglichkeit, die Klimafakto-

Tab. 2: Hierarchische Ordnung der Korrelationen der Klimafaktoren bezüglich der Rinderaktivitäten Fressen, Wiederkauen, Ruhen und Sonstiges

Camargue	Temperatur	Luftdruck	Niederschlag
Nunninger	Temperatur	rel. Feuchte	Niederschlag
Dellers	Temperatur	Windgeschw.	rel. Feuchte
Barth	Temperatur	Globalstr.	rel. Feuchte

renkonstellation aufzusuchen, die ihnen zusagt. Diesbezügliche Untersuchungen in den oben angeführten Milchviehbetrieben haben erbracht, daß sich im Mittel 66% der Tiere über den Ganzttag außerhalb des Stalles aufhalten (Abb. 5). Je ungünstiger die stallklimatischen Faktoren sind, desto mehr besteht die Tendenz, sich im Freien aufzuhalten. Im Betrieb Dellers bestanden zwei Möglichkeiten dafür, nämlich Weide und Auslauf. Die Bedeutung eines planbefestigten Laufhofs ist daraus klar zu erkennen.

In den vier Betrieben wurden die Aktivitäten Fressen, Wiederkauen, Ruhen und Sonstiges mit den dort jeweils gleichzeitig erfaßten Klimafaktoren Temperatur, rel. Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung, Luftdruck und Niederschlagsdauer korreliert. Bei der Zusammenstellung der Häufigkeit des Auftretens signifikanter Korrelationen und deren entsprechender hierarchischer Aufgliederung zeigt sich, daß die Lufttemperatur an erster Stelle steht, während die übrigen Klimafaktoren in den einzelnen Betrieben an verschiedenen Stellen stehen (Tab. 2). Anders ist das bei der hierarchischen Ordnung der aufgetretenen signifikanten Korrelationen zwischen der Anzahl von Kühen hinsichtlich ihres jeweiligen Aufenthaltes und den Klimafaktoren. In den drei diesbezüglich untersuchten Betrieben war die Rangfolge gleich, und zwar fallend von Temperatur über Windgeschwindigkeit bis zur rel. Luftfeuchte (Tab. 3). Die Darstellung der Mittelwerte der Freß-

dauer und der Lufttemperatur zeigt bei den Rindern der Camargue, daß die längsten mittleren Freßdauern je Stunde im Bereich zwischen 8° C und 12° C liegen (Abb. 6). Dasselbe Phänomen war auch in den drei Milchviehbetrieben zu beobachten. Aufgrund der Rassenverschiedenheit der untersuchten Tiere kann gesagt werden, daß hier wiederum ein rinderartspezifisches Verhalten vorliegt. Im Hinblick auf die Rinderhaltungspraxis bedeutet das: Die Einhaltung eines Klimabereiches von 8–12° C im Stall würde vor allem in der kalten Jahreszeit zu einer verbesserten Rauhfut-teraufnahme führen; erfahrungsgemäß werden in dieser Zeit vor allem von den älteren Betriebsleitern höhere Temperaturen angestrebt.

Bedeutung der Fortbewegung als Verhaltenskriterium

Mittels Fortbewegung gelangt die Milchkuh im Laufstall und auf der Weide ans Futter. Dieses Futter enthält die zwecks Bedarfsdeckung für die Ernährung erforderlichen Stoffe. Die Fortbewegung dient ferner dazu, die für Selbstaufbau und für Selbsterhaltung notwendigen endogenen Reize zu produzieren, die z. B. für den arttypischen Aufbau von Knochen, Sehnen, Bändern und Muskeln erforderlich sind, wie auch für die Produktion der Synovia in den Gelenken, damit es dort nicht zu Schäden kommt. Schließlich dient die Fortbewegung z. B. dazu, um Bereiche mit schädlichen Reizen zu verlassen, wie das Aufsuchen von Schatten bei starker

Tab. 3: Hierarchische Ordnung der Korrelationen der Klimafaktoren bezüglich der Aufenthalte von Rindern auf Laufhof oder Weide

Nunninger	Temperatur	Windgeschw.	rel. Feuchte
Dellers	Temperatur	Windgeschw.	rel. Feuchte
Barth	Temperatur	Windgeschw.	rel. Feuchte

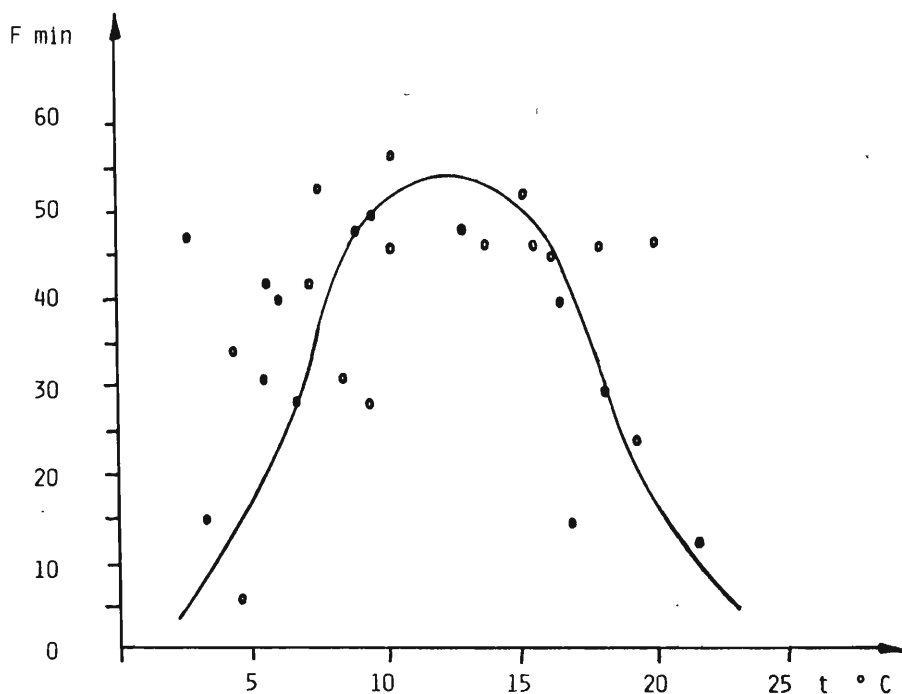


Abb. 6: Mittelwerte der Freißdauer F (min/h) und der Lufttemperatur t (°C) bei Rindern in der Camargue)

Sonnenbestrahlung zeigt. Somit kann die Fortbewegung auch zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit eines Haltungssystems herangezogen werden sowohl im Hinblick auf Eignung des Raum- und Funktionsprogrammes wie auch auf einzelne haltungstechnische Einrichtungen.

Gemäß Abb. 7 gibt es eine ganze Reihe von Faktoren, die beim Rind Fortbewegung induzieren. Man kann sie in sechs Gruppen einteilen: Disposition des Individuums, Klima, Futter, Herdengenossen, Betreuer und Raumstruktur.

Zur Methode der Fortbewegungsmessung

Die Aktivitäten Fressen, Wiederkauen, Ruhen und Sonstiges waren mit Hilfe von Rüttelrekordern erfaßt worden (ZEEB und ZIMMERMANN, 1972). Die Fortbewegung wurde mit Hilfe von telemetrisch arbeitenden Beschleunigungsgüßern gemessen (ZEEB, 1979). Die aufwendige Technik erlaubte jedoch nur, jeweils vier Tiere einer Herde gleichzeitig zu erfassen. Die Unter-

suchungen bezogen sich jeweils auf Kühe mittleren Alters, mittlerer Leistung, mittleren Laktationsstadiums und mittleren sozialen Ranges. Die Fortbewegung wurde in Lokomotionseinheiten je Stunde (LocE/h) gemessen. Bei den untersuchten „mittleren“ Kühen konnten keine Korrelationen zwischen den genannten Kriterien und der Fortbewegung gefunden werden, so daß die folgenden Aussagen bezüglich einzelner haltungstechnischer Faktoren und deren Einfluß auf die Fortbewegung für die „mittlere“ Kuh je Herde aufzufassen sind. Insgesamt wurde vermieden, brünstige Kühe in die Untersuchung einzubeziehen. In Vorversuchen konnte festgestellt werden, daß beispielsweise vier Kühe in sechs Tagen im Mittel je Stunde 103 LocE zeigten. Im Falle der Brunst einer von vier Kühen zeigten die drei Nichtbrünstigen 114 LocE und die Brünstige 336 LocE, also mehr als das Dreifache von Nichtbrünstigen. Die Nichtbrünstigen waren aber durch die Brünstige auch beeinflusst. Die Untersuchung wurde in denselben Herden

Tab. 4: Dauer der täglichen Futteraufnahme und der Fortbewegung von Kühen in Stunden

Betrieb	Futteraufnahme	Fortbewegung h/Tag	Fortbewegung m/Tag	Fütterungstechnik	Beob. period. à 6 Tage	Jahreszeit
Camargue	10,3	1,8	6072	Reine Weide	3	1 So; 2 Wi
Nunninger	8,1	0,9	2640	Füttern am Fahrsilo	11	8 So; 3 Wi
Dellers	8,4	0,9	1944	Füttern am Fahrsilo	10	5 So; 5 Wi
Barth	7,6	0,6	1080	Füttern am Futtertisch	3	1 So; 2 Wi

durchgeführt, deren Ergebnisse oben diskutiert sind.

Beeinflussung der Fortbewegung durch haltungstechnisch bedingte Faktoren

Ein wesentlicher Einflußfaktor auf die Fortbewegung ist die Futteraufnahme sowohl auf der Weide wie auch im Stall (Tab. 4). Der Tagesrhythmus der Freßaktivität in den drei Milchviehbetrieben hatte einen ähnlichen Verlauf wie die Fortbewegung (Tab. 5). Die für die Fortbewegung aufgewendeten Zeiten der Kühe, die zurückgelegten Strecken und der Anteil der Fortbewegung an der Gesamtaktivität der Kühe

wird aus Tab. 5 und 6 und Abb. 8 ersichtlich.

An anderer Stelle (K. ZEEB und J. BÄMMERT, 1984) habe ich ausführlich die Korrelationen zwischen der Fortbewegung und Lauffläche/Tier, Boxen/Tierzahl sowie der Windgeschwindigkeit dargestellt. Signifikante Korrelationen bezüglich der Lauffläche waren in den Morgenstunden nach dem Melken bezüglich der Boxenzahl in den vier Stunden nach Mitternacht gegeben. Auch die Freßplatzbreite je Tier war schwach signifikant mit der Fortbewegung korreliert.

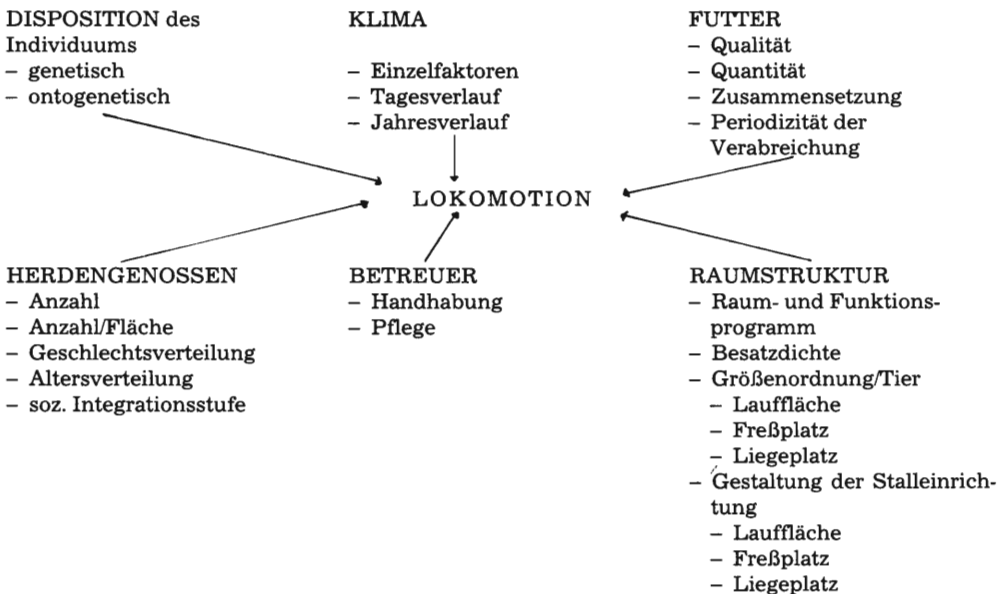
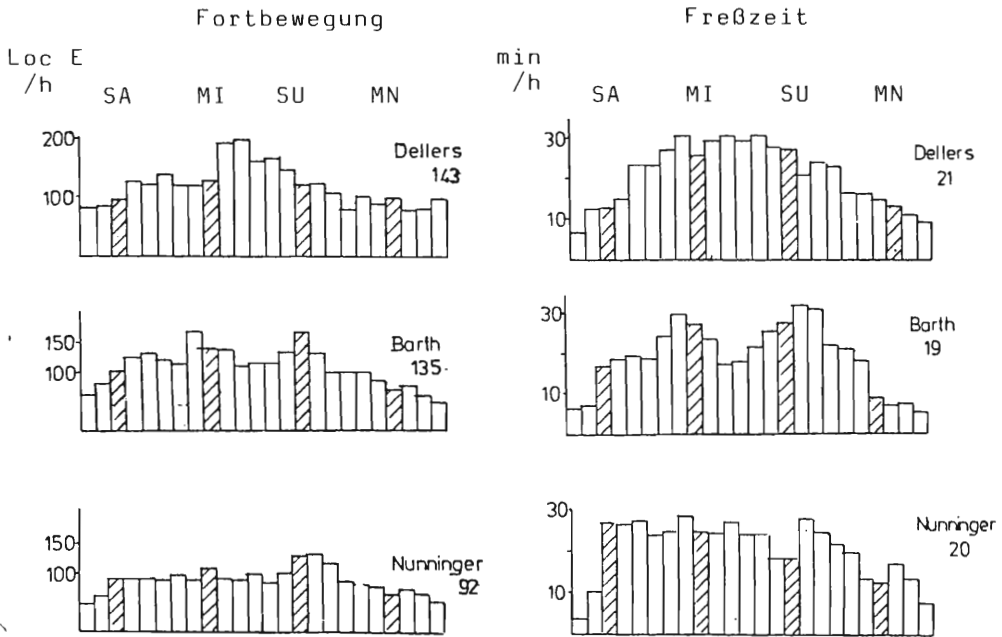


Abb. 7: Faktoren mit Einfluß auf die Fortbewegung

Tab. 5: Fortbewegung (1978–80) und Freßzeit (1972–75) gemittelt über den Sonnenstandstag



Bei einer Untersuchung in fünf Boxenlaufställen mit planbefestigter Lauffläche und fünf weiteren mit Spaltenboden war die Fortbewegung auf dem Spaltenboden sowohl in den vier Stunden nach Mitternacht wie auch von der 9. bis 12. Stunde um ca. $\frac{1}{5}$ resp. $\frac{1}{5}$ niedriger. Allerdings reichte die Zahl der Betriebe nicht aus, um eine Signifikanz der Korrelationen zu erreichen. Hingegen war der Unterschied der Fortbewegung in den Nachtstunden gegenüber denen tags in allen zehn Betrieben signifikant verschieden, d. h. nachts um fast $\frac{2}{3}$ niedriger (Abb. 9). Diese Untersuchung, die noch nicht abgeschlossen ist, zeigt, daß der Spaltenboden gegenüber dem planbefestigten eine Reduktion der Fortbewegung zur Folge hat.

In denselben zehn Betrieben variierte die Laufflächengröße je Kuh von ca. 2 bis ca. 12 m². Der Unterschied zwischen der Tages- und Nachtfortbewegung ist deutlich (Abb. 10). Es ist aber auch klar zu erkennen, daß die Fortbewegung zwischen 2 und 3 m² sehr niedrig ist. Zwischen 3 und 4,5 m² nimmt sie stark zu, um ab 4,5 m² wieder

geringer zu werden. Eine weitere Vergrößerung der Fläche bis 12 m² scheint keine Veränderung mehr zur Folge zu haben. Die Erklärung für diese Erscheinung wäre folgende: Die untersuchten Kühe benötigen zufolge der Körpermaße und des sozialbedingten Individualabstandes, wie anderenorts schon ausgeführt (ZEEB, 1985), eine Lauffläche von 3,3 m². D. h., es ist für rangniedere Kühe bei einem Laufflächenangebot zwischen 2 und 3,3 m² nicht möglich, vor ranghöheren auszuweichen. Dies ist erst ab 3,3 m² möglich, daher der Anstieg der Fortbewegung bis zu 4,5 m² infolge des stets bestehenden sozialen Drucks. Wenn aber ab dieser Größenordnung die Fortbewegung wieder abnimmt, so deswegen,

Tab. 6: Fortbewegungsaktivität von Rindern (1978–80; 3024 Beob.-Std.)

Betrieb	min/std	std/Tag	m/std	m/Tag
Camargue	4,6	1,8	253	6072
Dellers	2,4	0,9	110	2640
Barth	2,3	0,9	81	1944
Nunninger	1,5	0,6	45	1080
Ø	2,6	1,1	122	2934

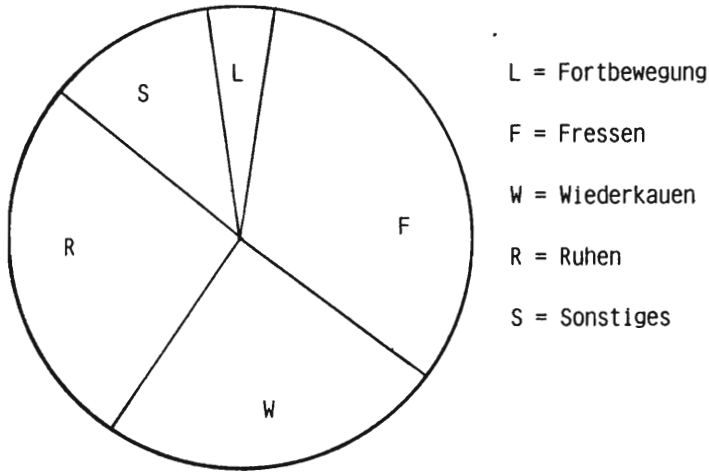


Abb. 8: Rinderaktivitäten prozentual gemittelt über 4 Betriebe (1972–1980; 7056 Beobachtungsstunden)

weil mit den größer werdenden Abständen zwischen den Kühen der soziale Druck abnimmt und demzufolge auch die Fortbewegung.

Aus diesen Beispielen ist zu erkennen, daß sowohl Verhaltensmerkmale wie auch Merkmale der Haltungstechnik für die Beurteilung der Tiergerechtigkeit von Haltungssystemen herangezogen werden können (K. ZEEB, 1985). Es ist für den Tierhalter

Tab. 7: *Mittlere Gesamtaktivität von Rindern je Tag (1972–80; 7056 Beob.-Std.)*

Betrieb	Fressen	Wieder- kauen	Ruhen	Son- stiges	Fort- bewe- gung
Camargue	9,4	4,7	6,6	1,5	1,8
Dellers	8,0	5,7	6,2	3,7	0,9
Barth	7,2	5,9	6,3	3,8	0,8
Nunninger	7,8	6,4	6,5	2,7	0,6
Ø	8,1	4,3	6,4	2,8	1,0

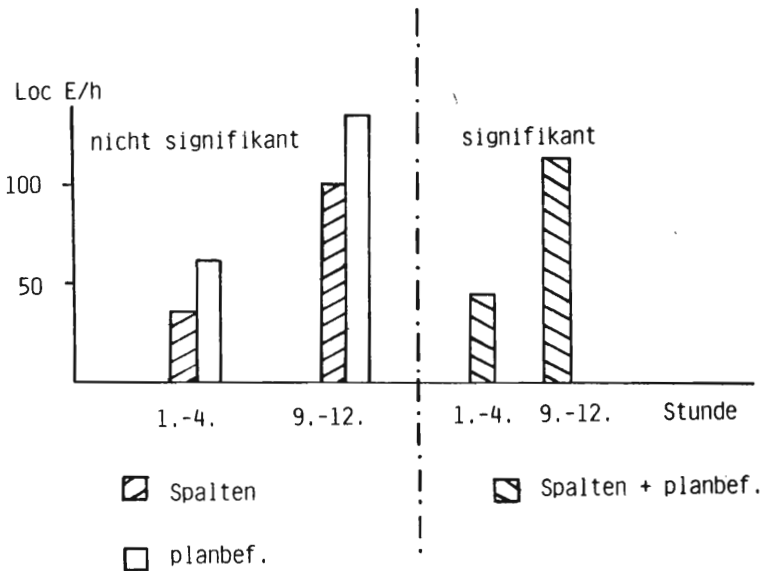


Abb. 9: Fortbewegung von Kühen auf planbefestigten und auf Spaltenböden in 10 Boxenlaufställen

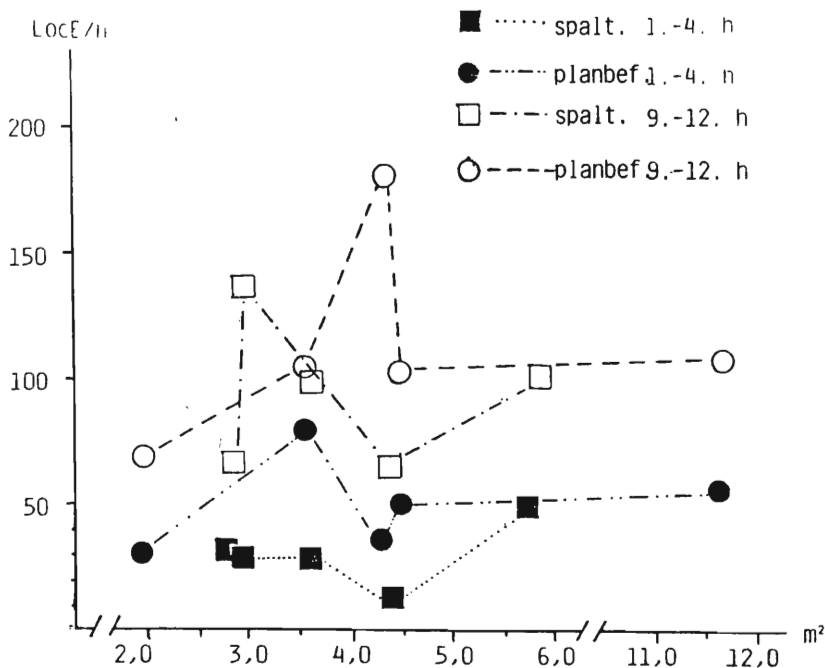


Abb. 10: Fortbewegung und Lauffläche/Kuh auf planbefestigten und Spaltenböden

Tab. 9: Vergleich der prozentualen Aktivitätsanteile zwischen Camargue und dem Mittel der 3 Milchviehbetriebe

	F	W	R	S	L
Camargue	43	20	28	9	7,7
Ø Milchviehbetr.	33	25	27	15	3,4

wichtig, zu begreifen, daß er mittels Optimierung der Haltungsbedingungen Leistungsminderung vermeiden, Tiergesundheit verbessern und das Lebensalter seiner Kühe verlängern kann.

Literaturverzeichnis

Bammert, J. und Zeeb, K., 1984: Der Einfluß klimatischer Faktoren auf die Aktivität von

Rindern im zeitlichen Bezug zum Sonnenstand. Züchtungskunde, 55, 139.

Tschanz, B., 1985: Kriterien für die Beurteilung von Haltungssystemen für landwirtschaftliche Nutztiere aus ethologischer Sicht. Tierärztliche Umschau, 40, 730.

Zeeb, K. und Zimmermann, M., 1972: Eine neue Methode der Aktivitätserfassung beim Rind. Tierärztliche Umschau, 588.

-, 1978: Klima-Wahlverhalten bei Rindern. Tierärztliche Umschau, 33, 685.

-, 1979: Automatische Datenerfassung im Komplex Lokomotion/Raumstruktur. Landbau-forschung Völknerode, 48, 36.

und Bammert, J., 1984: Lokomotion und Liegeboxenzahl bei Milch-Kühen. Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. KTBL Schrift 299, 142.

-, 1985: Zur Beurteilung von Haltungssystemen für Rinder aus ethologischer Sicht. Tierärztliche Umschau, 40, 752.

Verhaltensanalysen zur Optimierung von Stallsystemen

Anpassung der Laufflächenform und -zuordnung an die Fortbewegungsansprüche der Rinder

Von Josef Boxberger, Karl Kempkens und Monika Kirchner

1. Einführung

Laufställe bieten den Rindern den Vorteil der Fortbewegungsmöglichkeit. Die Tiere können somit ihr Bewegungsbedürfnis befriedigen, sie unterliegen aber gleichzeitig auch einem Bewegungszwang, wenn sie zum Futter oder zu den Liegeplätzen gehen. Dieser Bewegungszwang kann nicht im Sinne von Konditionierung verstanden werden, denn die Bewegung im Stall findet nahezu ausschließlich auf Rostböden statt, deren Form und Verschmutzungsgrad als Gefahr für die Klauengesundheit angesehen werden muß.

Im Rahmen des SFB haben wir Verbesserungsvorschläge für Spaltenböden erarbeitet, die sich zögernd in der Praxis einführen. Auf dieses Thema soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Ob Bedürfnis oder Zwang, für die Fortbewegung muß entsprechender Raum zur Verfügung stehen. In Milchviehlaufställen sind dafür die Laufgänge vorgesehen, deren Dimension nach Länge und Breite wegen hoher Investitionen sehr sparsam und nach Erfahrungswerten gewählt wird. In Vollspaltenbodenbuchten, wie sie für die Rindermast weit verbreitet sind, geben selbst eingeführte Standardmaße wenig Raum für die Bewegung. Da Liegen und Fortbewegung räumlich nicht getrennt sind, besteht Verletzungsgefahr. Im Liegeboxenlaufstall, das ist bekannt aus Weihenstephaner Untersuchungen, haben Tiere mit hoher Lokomotion geringere Freß- und Liegezeiten mit häufiger Verdrängung von Freß- und Liegeplätzen.

Die bislang noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen verfolgen auch das Ziel, die Frage des artspezifischen Bewegungsbedürfnisses zu klären. Vorwiegendes Ziel ist aber die Optimierung der Laufflächen-

form und -zuordnung, wobei unterstellt wird, daß für alle Tiere einer Herde oder Gruppe, also auch für die schwächeren, Bedingungen geschaffen werden, die eine Fortbewegung in einem normalen Umfang und ohne Verletzungsgefahr ermöglichen. Dazu ist erforderlich,

- die Fortbewegung von Rindern in Stallhaltung zu erfassen,
- überhöhte Fortbewegung zu quantifizieren,
- die auslösenden Faktoren einer überhöhten Fortbewegung herauszufinden
- und Vorschläge für dem Tierverhalten besser angepaßte Lauf- und Buchtenflächen zu entwickeln.

Die Lokomotion von Rindern läßt sich in unterschiedlichen Parametern darstellen (Abb. 1.1). So z. B. als Geschwindigkeit in Metern je Tag, als Aufenthaltsdauer in einzelnen Stallbereichen oder einem entsprechenden Diagramm oder als Wegstrecke z. B. in Metern je Tag.

Insbesondere für die Laufstallhaltung von Kühen messen wir der täglich zurückgelegten Wegstrecke besondere Aussagekraft bei, denn daraus ergeben sich exaktere Ergebnisse als bei der Datensortierung nach Aufenthalt in einzelnen Stallbereichen. Dies gilt mit einigen Einschränkungen auch für die Bullenmast.

Wegen des sehr unterschiedlich schnellen Ablaufes der Fortbewegung der Rinder und der Zahl der gleichzeitig zu erfassenden Tiere ist einiger versuchstechnischer Aufwand erforderlich, um quantifizierbare Aussagen zur Lokomotion zu erhalten. Auf die Registriermethode soll hier nicht näher eingegangen, jedoch der grundsätzliche Aufbau kurz erläutert werden (s. Abb. 1.2). Zwei Reihenbildkameras, die je nach Aktivität der Herde Bilder in unterschiedli-

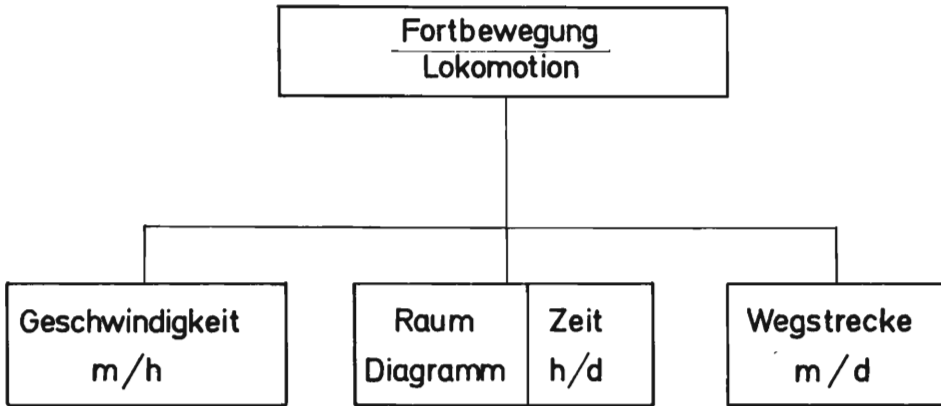


Abb. 1.1: Parameter für die Erfassung der Lokomotion

cher Frequenz festhalten, sind auf einer Beobachtungsplattform montiert und liefern den links unten dargestellten Bildausschnitt, der auf dem rechts abgebildeten Meßtblett ausgewertet wird. Die verschiedenen Standorte der Kühe werden vom Computer in x, y-Koordinaten auf dem Stallgrundriß definiert. Somit besteht die Möglichkeit, Wegstrecken der Rinder zu rekonstruieren und deren Länge zu berechnen.

Aus diesen Versuchen mit Kühen im Liegeboxenlaufstall und Mastbullen in Vollspaltenbodenbuchten sollen nun einige bisher vorliegende Ergebnisse vorgestellt werden.

2. Liegeboxenlaufstall für Kühe

Die tägliche Wegstrecke von Kühen im Liegeboxenlaufstall wird von der Stalleinrichtung (Liegeboxen, Laufgänge, Fütterungs- und Tränkeeinrichtungen), vom

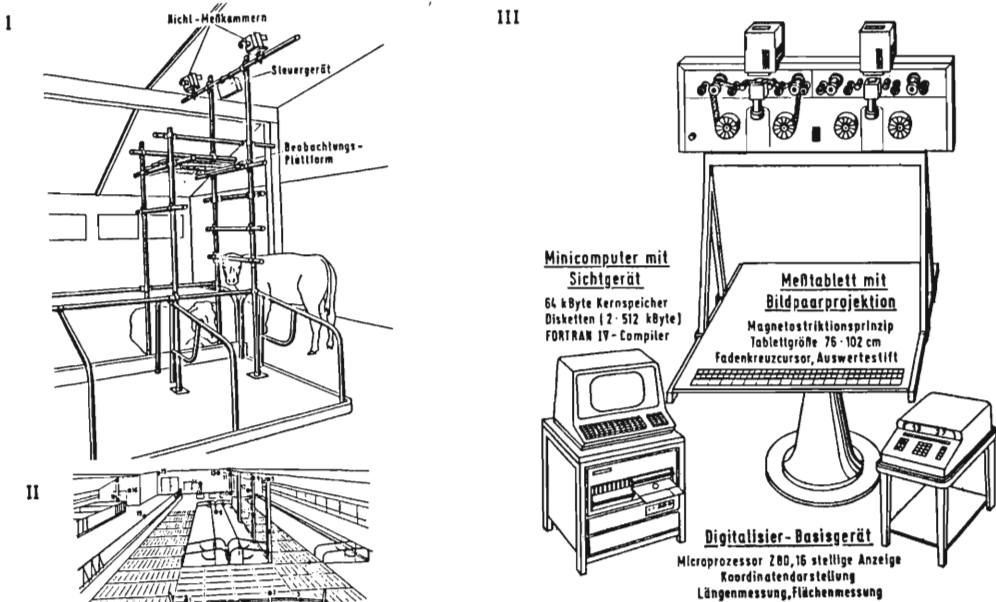


Abb. 1.2: Registrierung und Quantifizierung des Tierverhaltens im Liegeboxenlaufstall mittels Nahbereichsphotogrammetrie

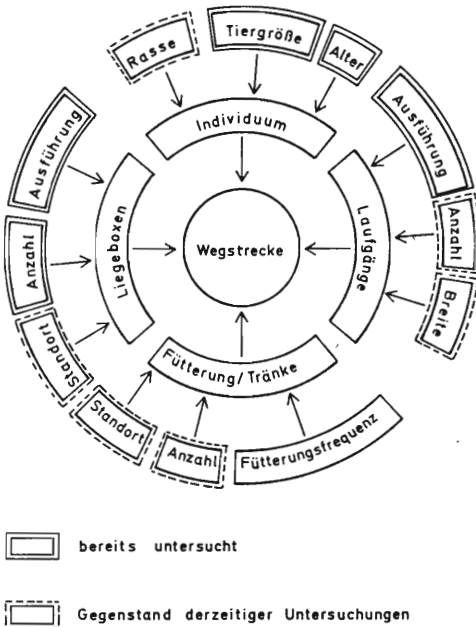


Abb. 2.1: Einflüsse auf die tägliche Wegstrecke von Kühen im Liegeboxenlaufstall

Tierbetreuer und vom Tier beeinflusst (Abb. 2.1).

Diese Einflußgruppen lassen sich, wie im äußeren Ring dargestellt, noch weiter untergliedern. Die doppelt umrandeten Felder zeigen bereits ausgewertete Einflüsse an. Die gestrichelte Markierung bedeutet, daß dieses Gebiet im derzeit laufenden Untersuchungsabschnitt bearbeitet wird. Der Faktor Individuum setzt sich aus verschiedenen Tierdaten wie z. B. die Rasse, die Tiergröße oder das Alter zusammen. Dabei ist der Begriff Tiergröße evtl. noch durch meßbare Begriffe wie Brustumfang oder Widerristhöhe zu präzisieren. Der Faktor Stall läßt sich aufgliedern in die Funktionsbereiche Liegen, Fressen/Saufen und Lokomotion. Dabei kann die Ausführung, d. h. die Qualität der Stalleinrichtung, ebenso eine Rolle spielen wie die Anzahl der Freß- und Liegeplätze und der Laufgänge.

Einen wichtigen Einfluß stellt u. U. auch der Standort der einzelnen Funktionsbereiche, d. h. ihre Zuordnung zueinander im geschlossenen Stallsystem, dar. Des weite-

ren nimmt die Fütterungsfrequenz Einfluß auf die tägliche Wegstrecke.

Im folgenden werden nun einige der bereits vorliegenden Ergebnisse erläutert.

Die Häufigkeitsanalyse der täglichen Wegstrecken von 39 Kühen (Abb. 2.2) zeigt, daß ein Großteil der Herde eine Wegstrecke von 500 bis 1000 m je Tag zurücklegt.

Herauszustellen ist jedoch die große Spannweite der Wegstrecken innerhalb der Herde. Sie reicht bei den bisherigen Versuchen von rund 200 bis 2500 Meter je Kuh und Tag, im dargestellten Versuchszeitraum bis 1250 Meter.

Die graphische Darstellung der Wegstrecken zweier „extremer“ Kühe (ca. 300 bzw. ca. 1200 m) macht nochmals den Unterschied deutlich (Abb. 2.3). Beiden Tieren ist aber gemeinsam, daß sie ein mehr oder weniger dichtes Netz von Wegelinien über den Stallgrundriß legen, d. h., daß selbst die Kuh mit niedriger Wegstrecke den gesamten Stallraum nutzt. Geht man davon aus, daß sich Rinder

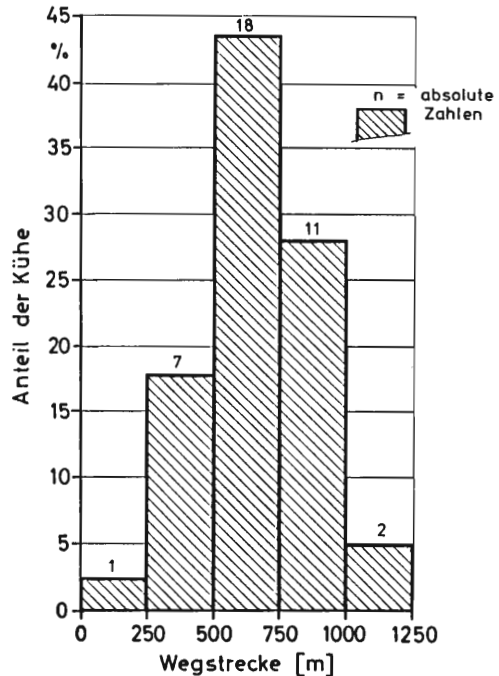
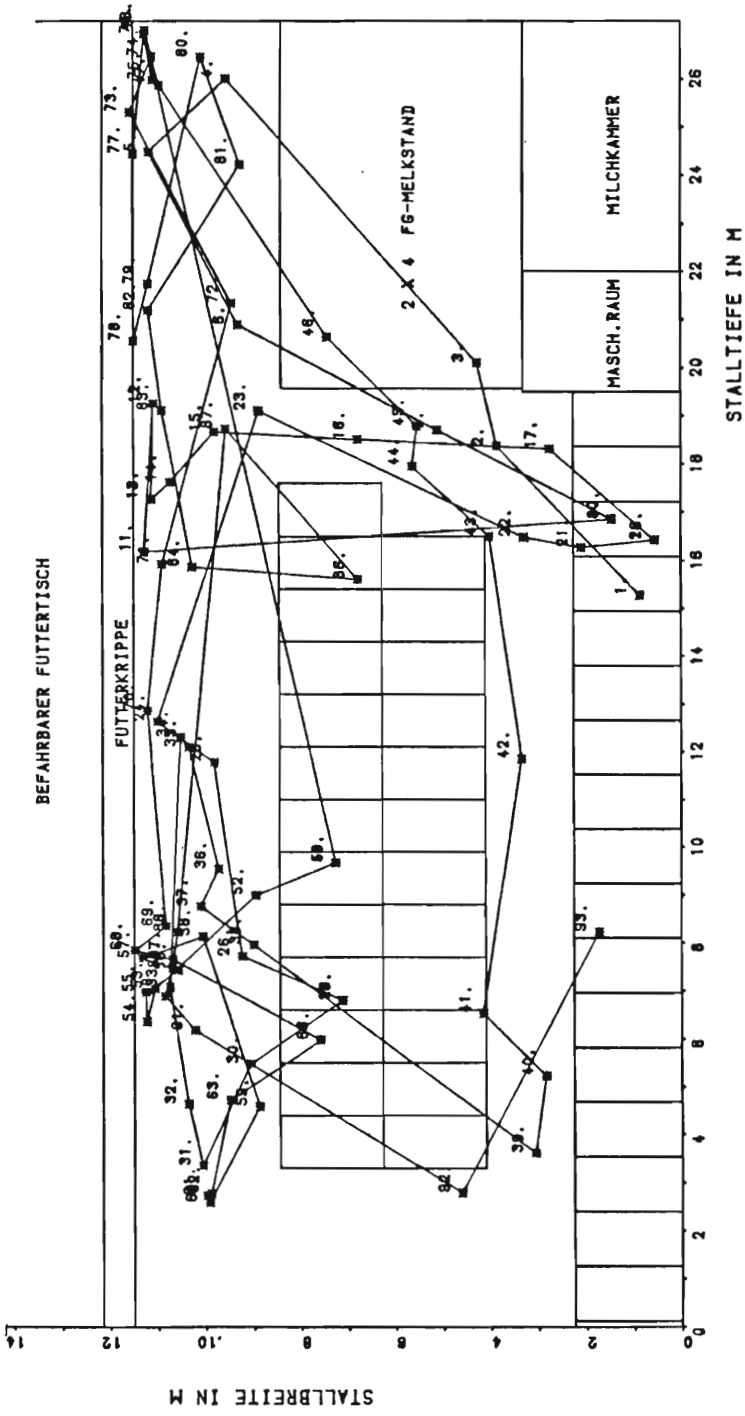
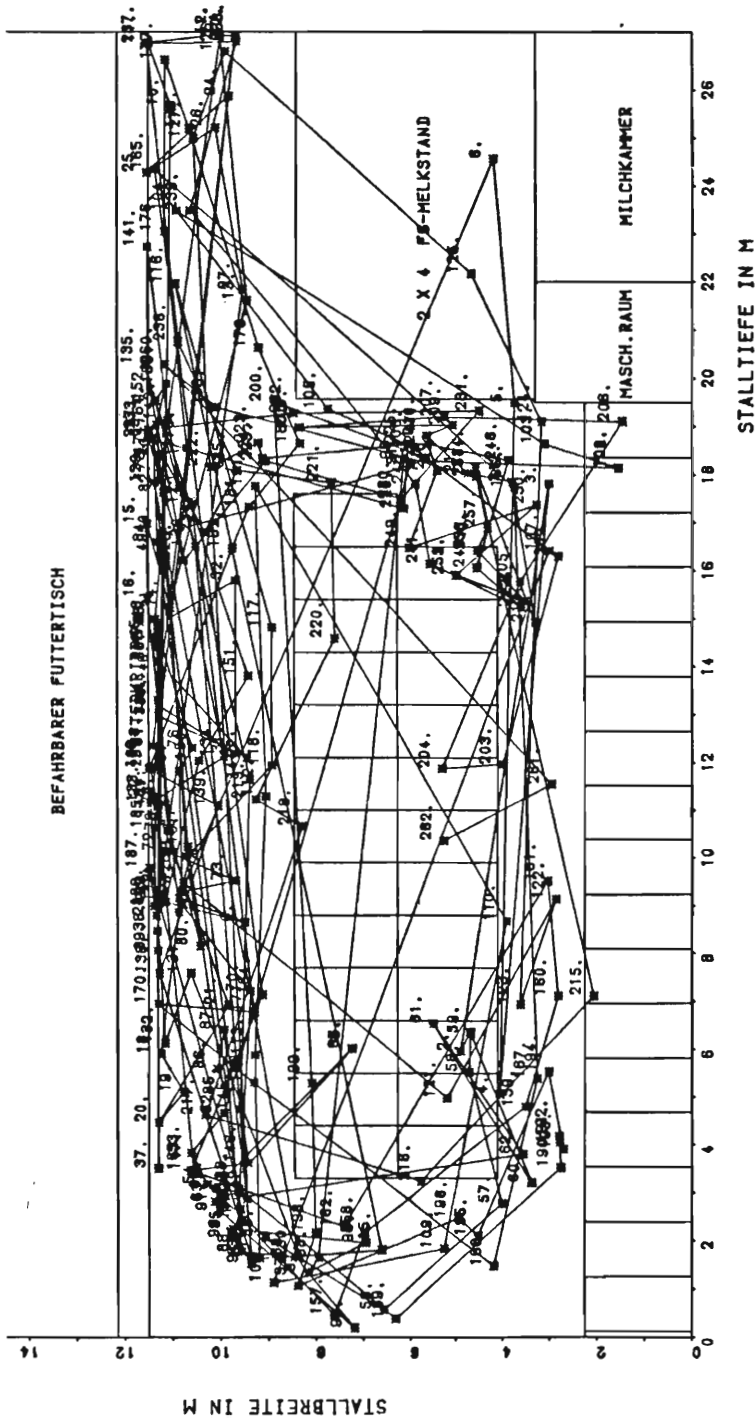


Abb. 2.2: Häufigkeitsanalyse der Wegstrecken im Liegeboxenlaufstall



Gesamtstrecke 294 Meter ; 93 Positionen

Abb. 2.3a: Tägliche Wegstrecken von zwei Kühen im Liegeboxenlaufstall



Gesamtstrecke 1166 Meter; 262 Positionen

Abb. 2.3b: Tägliche Wegstrecken von zwei Kühen im Liegeboxenlaufstall

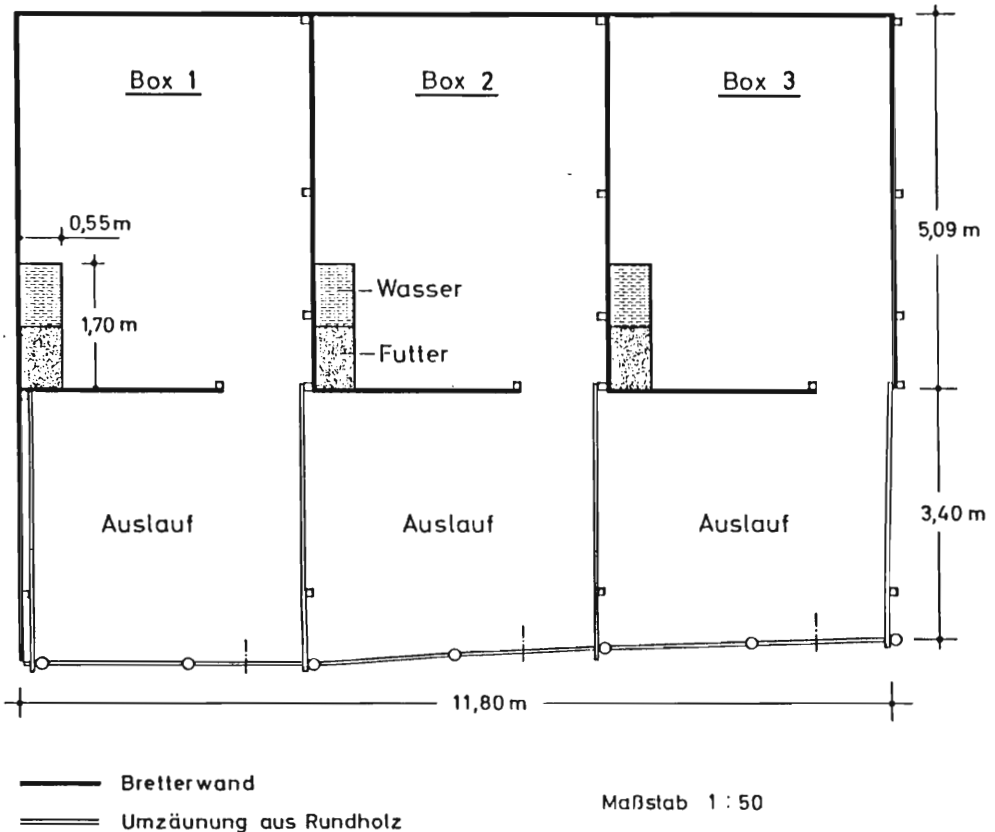


Abb. 2.4: Grundriß Einzellaufboxe

überwiegend versorgungsorientiert bewegen, dann stellt sich angesichts der hohen Wegstrecken, die das 4- bis 5fache der niedrigen Wegstrecken ausmachen, die Frage,

- ob es sich um „ruhige“ oder „weniger ruhige“ Individuen handelt oder
- ob bei den Tieren mit hoher Wegstrecke Bewegung initiiert worden ist.

Um die Ursachen für die großen individuellen Unterschiede erklären zu können, wurden schließlich drei Kühe mit unterschiedlicher täglicher Wegstrecke aus dem Versuchsstall herausgenommen und in Einzellaufboxen mit $34 \text{ m}^2/\text{Kuh}$ eingestallt (zum Vergleich: im Liegeboxenlaufstall sind es 6 bis $7 \text{ m}^2/\text{Kuh}$).

Die Einzellaufboxen gewährten den Tieren die Wahl zwischen Aufenthalt im Innenraum oder unter dem Vordach, wo auch

soziale Kontakte zu den Nachbarkühen möglich waren. Die Versorgungseinrichtungen befanden sich im Innenraum (Abb. 2.4).

Die Wegstrecken der drei Kühe in den Einzellaufboxen (schraffierte Säulen) sanken im Vergleich zum Liegeboxenlaufstall um rund 70 Prozent (Abb. 2.5). Während die Wegstrecken im Liegeboxenlaufstall noch bei rd. 500–800 m je Kuh und Tag lagen, betrug sie in den Einzellaufboxen nunmehr 100–200 m.

Der starke Rückgang der täglichen Wegstrecken, insbesondere bei Kuh Eva und Hera, legt den Schluß nahe, daß der Einfluß des Individuums doch sehr gering ist. Offensichtlich zwingt aber das Stallsystem einzelne Kühe zur Bewegung. Werden die ermittelten Wegstrecken im Liegeboxenlaufstall mit dem Freßverhalten der Kühe

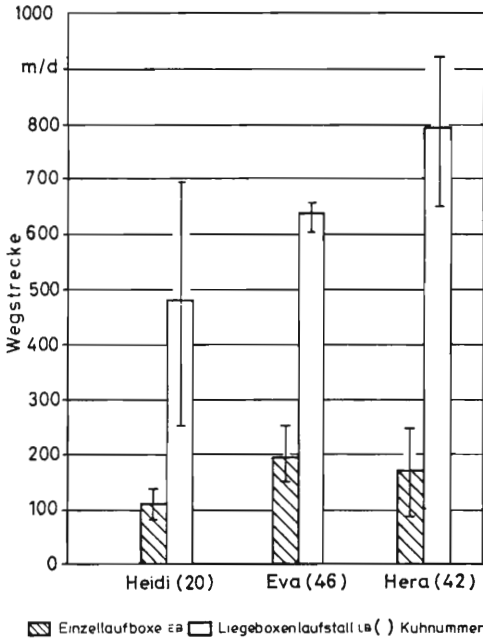


Abb. 2.5: Mittelwerte für die tägliche Wegstrecke von drei Kühen in Einzellaufboxen und Liegeboxenlaufstall

verglichen, so zeigt sich ein enger Zusammenhang zwischen dem Aufsuchen des Freßplatzes und der Wegstreckenlänge (Abb. 2.6).

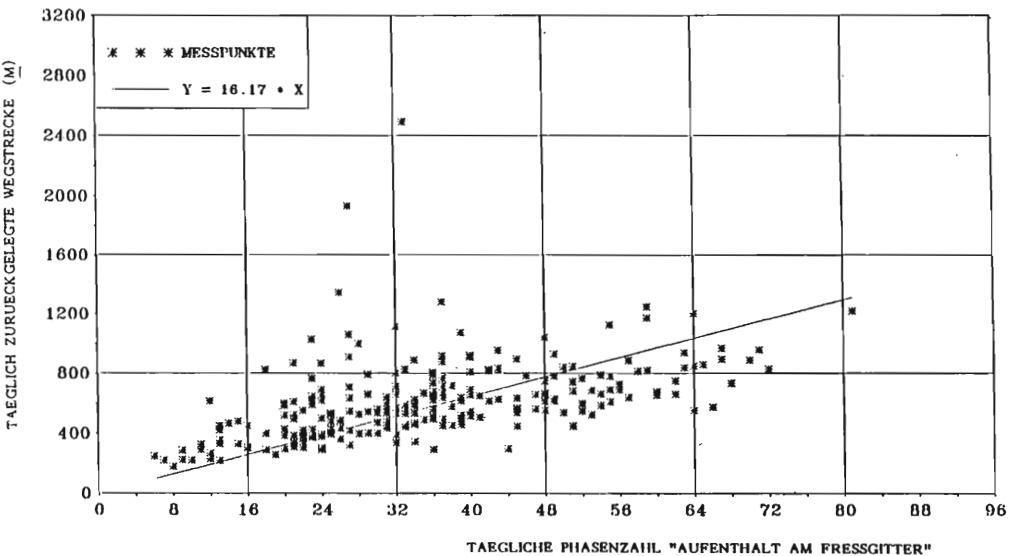


Abb. 2.6: Tägliche Wegstrecke in Abhängigkeit von der Freßphasenzahl

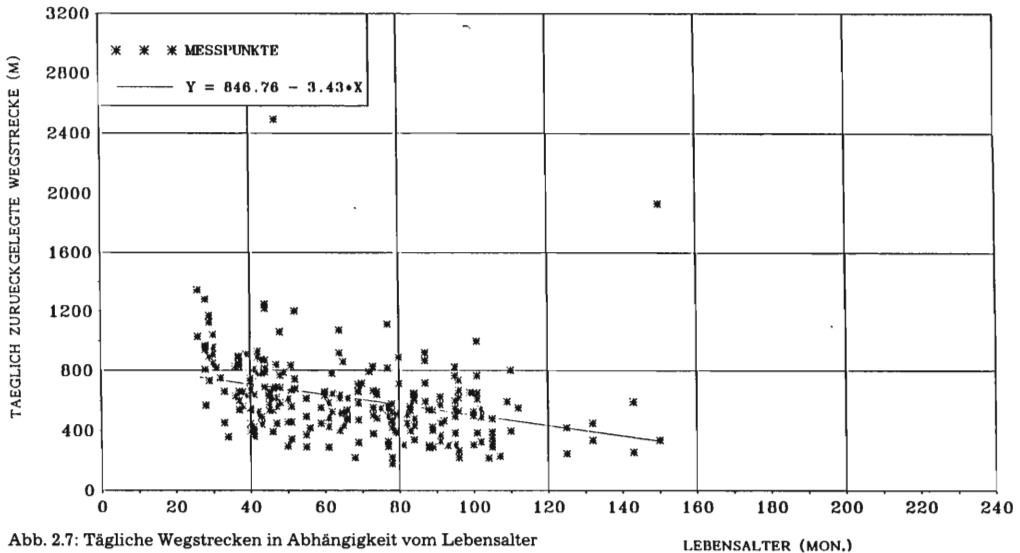
Deutlich wird sichtbar, daß Kühe mit geringer Freßphasenzahl von weniger als 20 tägliche Wegstrecken von 400 m und weniger zurücklegen und bei 60 Freßphasen und mehr die Wegstrecken 600 m und mehr betragen.

Dies ist mit Verdrängungen und anderen sozialen Problemen wie z. B. der Ausweichdistanz zu erklären. Beides hängt wiederum mit der sozialen Stellung des Individuums in der Herde zusammen (Rang, Tiergröße, Alter).

Trotz geringem Bestimmtheitsmaß deutet die Darstellung 2.7 zumindest den Zusammenhang zwischen Alter und Lokomotion an. Anscheinend werden Kühe in geringerem Alter häufiger verdrängt und müssen dann über längere Wegstrecken die Futter- und Wasserversorgung vornehmen.

An einem der Versuchstage wurde die Zahl der Liegeboxen um 20% eingeschränkt und die tägliche Wegstrecke vorher und nachher erfaßt (Abb. 2.8). Versuchstag 701 stellt den Tag mit eingeschränktem Liegeboxenangebot dar.

Wie die Abbildung 2.8 zeigt, ist die tägliche Wegstrecke der Kühe von ca. 500 auf knapp 620 m angestiegen. Das entspricht einer Steigerung von ca. 25%. Zusammen mit anderen Kriterien rechtfertigt dies die For-



derung, daß jede Kuh einen eigenen Liegeplatz haben muß.

Im Gegensatz zur Liegeboxeneinschränkung übt die Ausführung der Liegeboxen und der Laufgänge, d. h. die Qualität der Stalleinrichtung, keinen Einfluß auf die tägliche Wegstrecke aus. Der Austausch der gesamten Einrichtung des Versuchstalles brachte keine Veränderung in den Wegstrecken.

Die gezeigten Auswirkungen verschiedener Einflußfaktoren auf die Wegstrecke und auf andere Kriterien lassen darauf schließen, daß die Tiere möglichst kurze und ausreichend breite Wege zu den Versorgungseinrichtungen haben sollten. Ganglänge und Gangbreite dürften in bestimmten Grenzen eine Beziehung zueinander haben, die wir bisher noch nicht definieren können.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang den zentralen Versorgungseinrichtungen wie Kraftfutterständen und Tränken zu. Aussagen zu Zahl und Standort werden derzeit erarbeitet.

Unabhängig davon, daß diese Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind, wurde mit Hilfe des graphischen Vermessens am Computer die durchschnittliche Entfernung aller Liegeplätze zu allen Freßplätzen in Liegeboxenlaufställen ermittelt,

und das für unterschiedlichste Grundrisslösungen.

Bei einer mittleren Freßphasenzahl von 30 bis 35 je Tag, die mit diesen Werten multipliziert werden müßte, wird eine erstaunliche Übereinstimmung mit den im Versuch gemessenen täglichen Wegstrecken

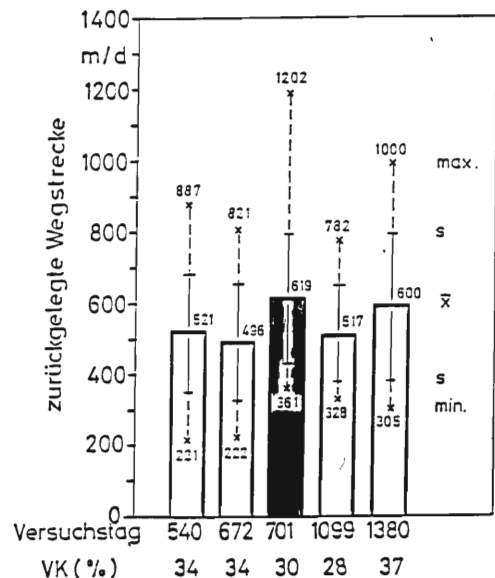
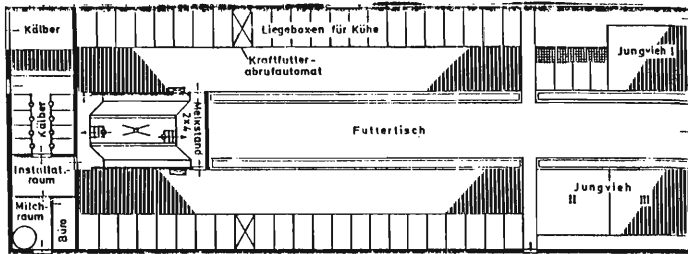


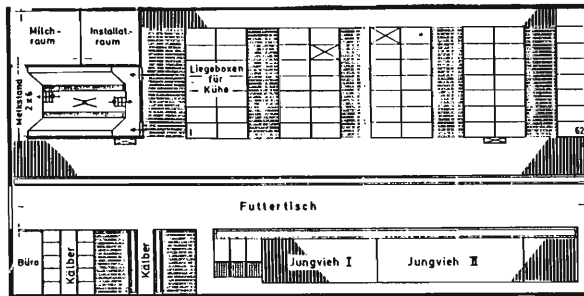
Abb. 2.8: Einfluß einer 20%igen Einschränkung der Zahl der Liegeboxen auf die mittlere tägliche Wegstrecke

Doppel-1-reihig für 40 Kühe mit Nachzucht (4-jähriger Umtrieb)



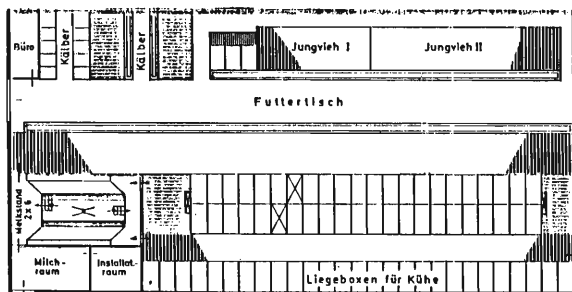
Stallfläche/ Kuh	15,40 m ²
Bewegungsfl./ Kuh	6,90 m ²
durchschn. theoretische Wegstrecke	
	9,70 m

Kammartige Aufstallung für 57 Kühe mit Nachzucht (4-jähriger Umtrieb)



Stallfläche/ Kuh	14,93 m ²
Bewegungsfläche/ Kuh	7,22 m ²
durchschnittl. theoretische Wegstrecke	
	18,30 m

3-reihig, für 64 Kühe mit Nachzucht (4-jähriger Umtrieb)

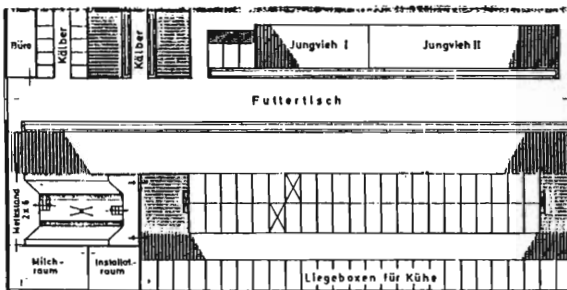


Stallfläche / Kuh	12,73 m ²
Bewegungsfläche / Kuh	6,03 m ²
durchschnittl. theoretische Wegstrecke	
	25,30 m

Abb. 2.9: Stallsystemvergleich nach durchschnittlicher theoretischer Wegstrecke

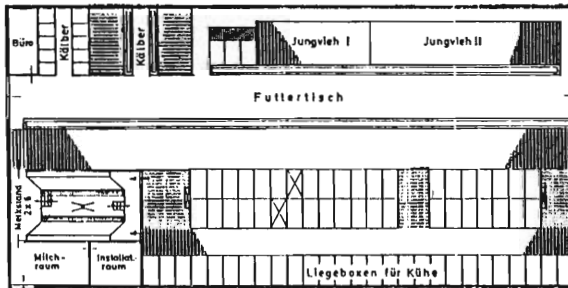
der Kühe erzielt. Nun zu den Ergebnissen aus den einzelnen Grundrissen: Untersuchungsgegenstand waren zunächst drei völlig unterschiedliche Stallsy-

steme: ein doppel-1-reihiger, ein Stall mit kammartiger Aufstallung und eine sehr häufig anzutreffende Form, der 3-reihige Liegeboxenlaufstall (Abb. 2.9).

3-reihig, für 64 Kühe mit Nachzucht (4 jähriger Umtrieb)

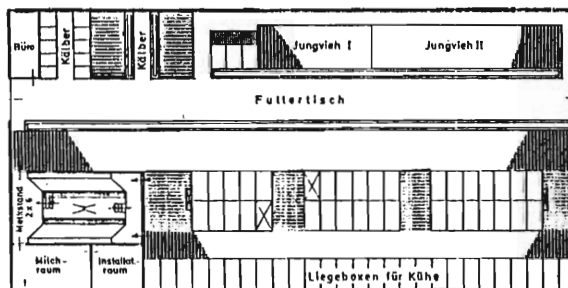
Stallfläche / Kuh	12,73 m ²
Bewegungsfläche / Kuh	6,03 m ²

durchschnittl. theoretische Wegstrecke	25,30 m
--	---------

3-reihig, für 60 Kühe mit Nachzucht (4 jähriger Umtrieb)

Stallfläche / Kuh	13,58 m ²
Bewegungsfläche / Kuh	6,44 m ²

durchschnittl. theoretische Wegstrecke	22,40 m
--	---------

3-reihig, für 56 Kühe mit Nachzucht (4 jähriger Umtrieb)

Stallfläche / Kuh	14,55 m ²
Bewegungsfläche / Kuh	6,90 m ²

durchschnittl. theoretische Wegstrecke	21,40 m
--	---------

Abb. 2.10: Theoretische Wegstrecke eines Dreireihers bei unterschiedlicher Zahl der Durchgänge

Die durchschnittlichen Entfernungen zwischen Liege- und Freßplätzen sind sehr unterschiedlich. Sie reichen von knapp 10 m im doppel-1-reihigen über rund 18 m im kammartigen bis zu 25 m im 3-reihigen Stall. D. h., im 3-reihigen Stall muß die Kuh

2,5mal soweit zum Freßplatz laufen als wie im doppel-1-reihigen.

Für den 3-reihigen Liegeboxenlaufstall haben wir außerdem die Auswirkung zusätzlicher Quergänge auf die Entfernungen zwischen Liege- und Freßplätzen unter-

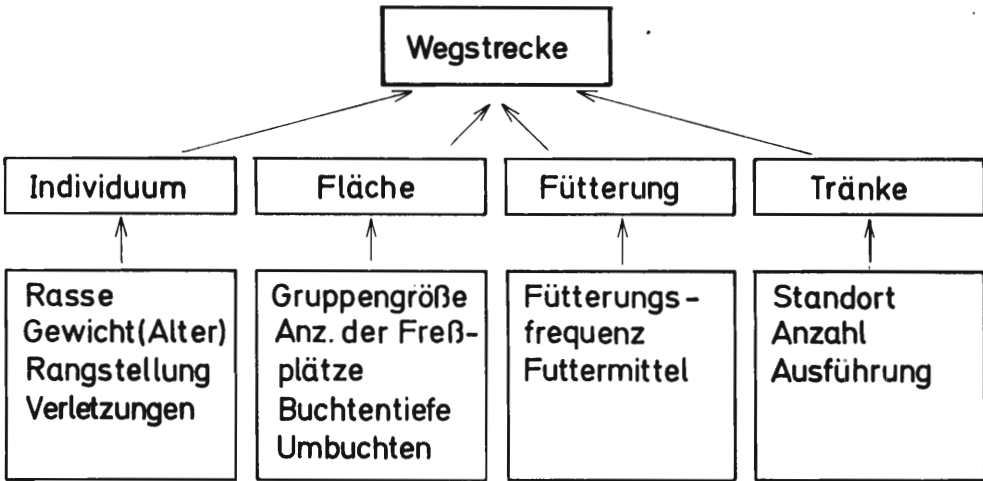


Abb. 3.1: Einflüsse auf die Lokomotion von Mastbullen.

sucht (Abb. 2.10). Durch die Erweiterung des Laufgangangebotes konnte die theoretische Wegstrecke von über 25 m beim oberen Stall ohne Stichgang auf rund 22 m bei einem Stichgang bzw. auf rd. 21 m beim unteren Stall mit zwei Stichgängen verkürzt werden.

Auf die durchschnittliche Freßphasenzahl umgerechnet, bedeutet dies eine Reduzierung der täglichen Wegstrecke einer Kuh von ca. 150 m.

3. Mastrinder in Vollspaltenbodenbuchten

Wie bei der Milchviehhaltung beruhen die Buchtenabmessungen hauptsächlich auf Erfahrungswerten. Als vor über 20 Jahren die Vollspaltenbodenbucht eingeführt wurde, waren die Maßempfehlungen noch wesentlich reichlicher, als dies derzeit der Fall ist.

Auf engem Raum aber ist die Gefahr der gegenseitigen Verletzungen erheblich höher. Daneben sind auch die täglichen Zunahmen geringer. Derzeit üblich ist ein Flächenangebot von 1,1 qm für 150 kg LG steigend bis 2,3 qm für 600 kg LG.

Der tatsächliche Flächenanspruch leitet sich aus Liegen, Fressen, Trinken und Bewegung der Tiere ab. Die Flächenansprüche für Liegen, Fressen und Trinken können relativ einfach ermittelt werden. Schwieriger dagegen ist der Anspruch der

Bewegungsfläche festzustellen, weil für die Lokomotion der Mastbullen nur die anderweitig nicht benutzten Flächen zur Verfügung stehen.

Die Lokomotion der Mastrinder wird von vier Hauptfaktoren beeinflusst, dem Tier selbst, der zur Verfügung stehenden Fläche, der Fütterung und der Tränkeeinrichtung (Abb. 3.1).

Der Einfluß des Individuums auf die täglich zurückgelegte Wegstrecke wird wiederum beeinflusst von

- der Rasse; hier liegen noch keine Untersuchungen vor,
- dem Gewicht bzw. dem Alter; im mittleren Mastabschnitt sind die Tiere am aktivsten, somit liegen hier auch die höchsten Wegstrecken vor,
- der Rangstellung; Tiere mit niedrigem Rang müssen größere Wege zurücklegen, und
- den Verletzungen; die Tiere schonen sich, und die zurückgelegten Wegstrecken werden kürzer.

Die Wirkung des Flächenangebotes auf die Wegstrecke hängt mit der Gruppengröße, der Anzahl der Freßplätze und der Buchtentiefe und dem Umbuchten zusammen. Der Einfluß der Fütterung auf die zurückgelegte Wegstrecke kann durch die Fütterungsfrequenz und durch Futtermittel gegeben sein. Die Veränderungen der Fütte-

rungshäufigkeit von 2- auf 4mal je Tag hat keine Auswirkung auf die Wegstrecken gebracht.

Die Tränke wirkt auf die zurückgelegte Wegstrecke durch den Tränkestandort, die Anzahl der Tränken und deren Ausführung.

Die Häufigkeitsanalyse in Abb. 3.2 gibt zunächst einen Überblick über die tatsächlich zurückgelegten Wegstrecken. Die untersuchten Bullen hatten Gewichte von ca. 270 bis 580 kg ($n = 99$) bei Grundflächen der Buchten von 13,8 bis 26,9 qm für je 10 Bullen.

Die niedrigsten Wegstrecken von 200–350 m/Tier und Tag konnten ca. 30% der Tiere verzeichnen, die mittleren Wegstrecken zwischen 350 und 550 m wurden mit fast 60% (58%) ermittelt, während 12% der Tiere hohe Wegstrecken mit 550 bis max. 850 m zurücklegten.

Die kürzeste tägliche Wegstrecke eines Mastbullen lag etwas über 200 m. Dies scheinen die Mindestwege zu sein, die nötig sind, um die Grundbedürfnisse zu decken. Wie beim Liegeboxenlaufstall ist auch hier eine starke Streuung der Wegstrecken zu verzeichnen.

Nun ein Beispiel zur Wirkung unterschiedlicher Tränkestandorte auf die Wegstrecken einzelner Tiere (Abb. 3.3):

a) Ist die Tränke, wie derzeit meistens üblich, vorne an der Krippe befestigt, so findet die Lokomotion hauptsächlich zwischen Krippe und Tränke statt.

b) Demgegenüber, bei der Tränke zum Treibgang hin, finden die Bewegungen auch im mittleren Bereich der Bucht statt. Dies setzt allerdings ein ausreichendes Flächenangebot voraus.

Aus den bisher vorliegenden Ergebnissen, die hier nur beispielhaft aufgezeigt werden konnten, lassen sich die Flächenansprüche von Mastbullen in Vollspaltenbodenbuchten berechnen, wobei unterstellt wird, daß für die Lokomotion wie für alle anderen Verhaltensweisen genügend Fläche in der Bucht vorhanden sein sollte.

Hierzu ein Beispiel für Bullen mit 270 kg LG (Abb. 3.4): Der Liegeflächenanspruch beträgt in diesem Gewichtsabschnitt 1,4 qm, für Bewegung 0,4 qm, für Fressen 0,6 qm und für Trinken 0,3 qm/Bulle.

Im Extrem – ohne Überlagerung der Verhaltensansprüche – müßte die Buchtenfläche 2,70 qm pro Bulle gegenüber derzeit 1,4 qm betragen. Den Endmastbullen stünden nach gleicher Berechnung ca. 4,0 qm zu.

Diese aus den Flächeansprüchen für die einzelnen Verhaltensweisen ermittelten Daten führen zu einer um ca. 90% höheren

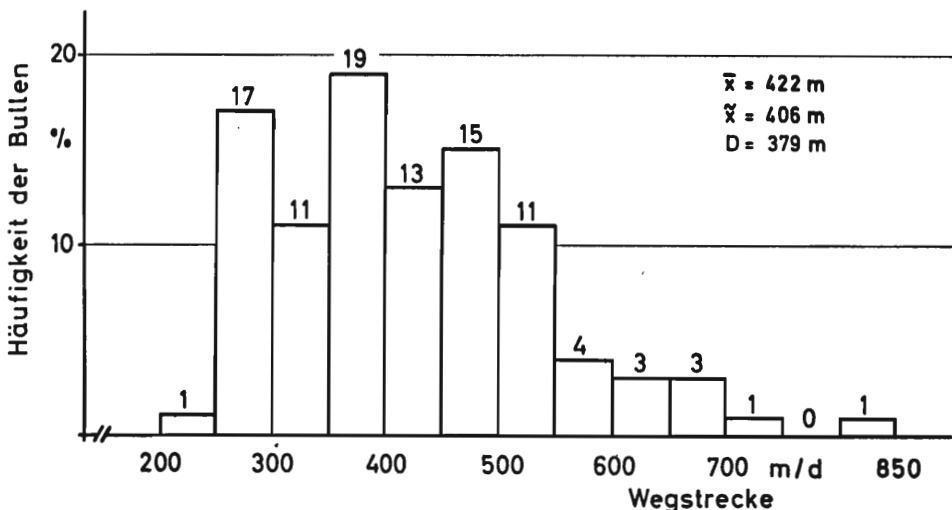
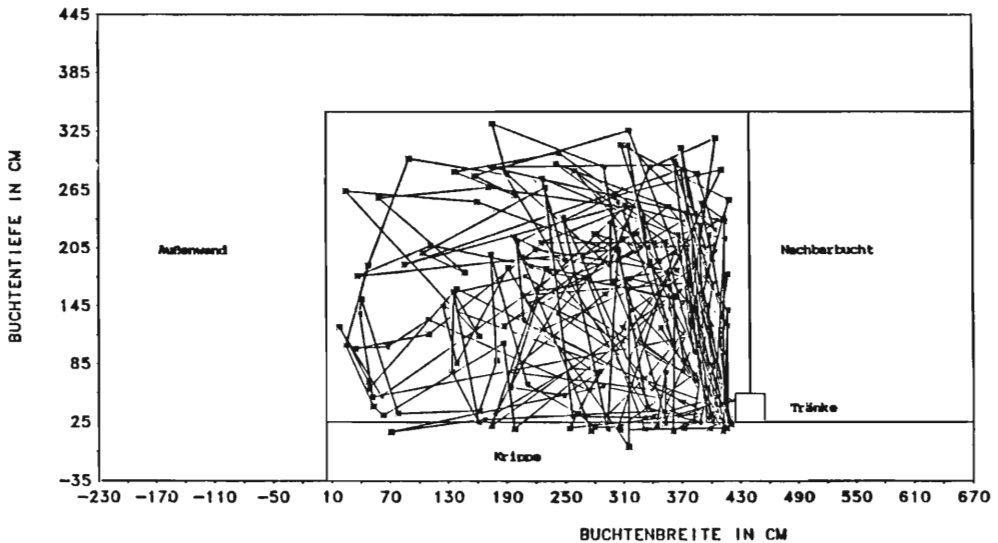


Abb. 3.2: Häufigkeitsanalyse der täglichen Wegstreckenlänge von Mastbullen in Vollspaltenbodenbuchten

a) Tränke an der Krippe

Wegstrecke 284 m/d, Bulle 10, 268 kg LG



b) Tränke zum Treibgang

Wegstrecke 527 m/d, Bulle 69, 359 kg LG

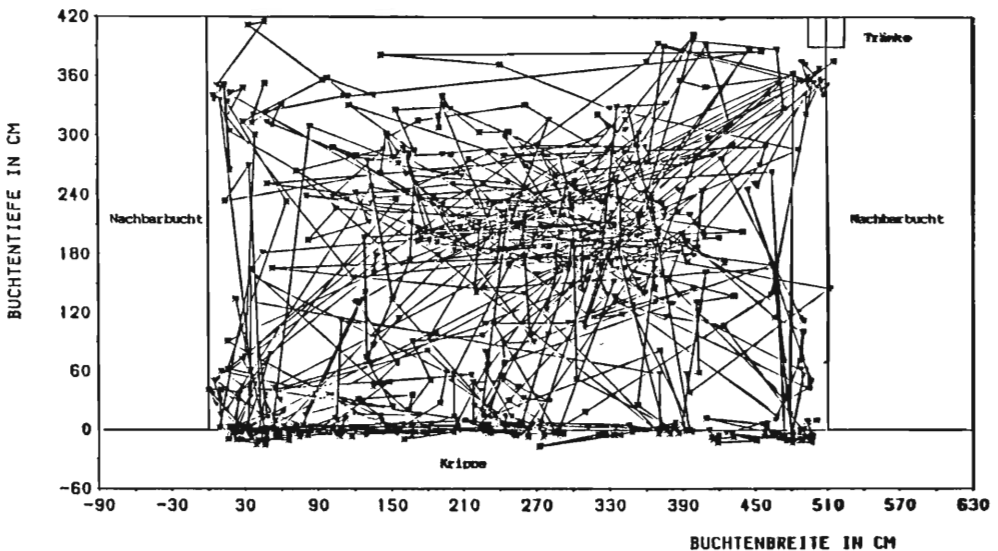


Abb. 3.3: Typische tägliche Wegstrecke eines Mastbullens bei Tränkeanordnung an der Krippe und Tränkeanordnung hinten

Buchtenfläche im Gewichtsabschnitt um 300 kg und zu einer Erhöhung von über 70% in der Endmast.

Inwieweit diese vom Verhalten abgeleiteten Maximalforderungen in einem wirtschaftlichen Rahmen zu erfüllen sind,

Verhaltensmerkmale	Flächenanspruch (270 kg LG)
Liegen	1,4 m ²
Bewegung	0,4 m ²
Fressen	0,6 m ²
Trinken	0,3 m ²
Gesamt	2,7 m²

Abb. 3.4: Tab.: Flächenansprüche für o. g. Verhaltensweisen

bleibt weiteren Berechnungen vorbehalten.

Auch wenn zukünftig empfohlene Abmessungen unterhalb den verhaltensbedingten Forderungen liegen, dann sollte klar

sein, daß es sich um einen Kompromiß handelt. Eindeutig ist, daß die derzeit verbreitete sehr dichte Belegung Einfluß auf das Verhalten nimmt.

Wärmerückgewinnung zur Stallklimaverbesserung

Von Heinz Schulz

Techniken zur Wärmerückgewinnung aus Stallabluft setzen sich zur Zeit in der Praxis immer stärker durch. Während es noch vor wenigen Jahren Hauptziel der Wärmerückgewinnung war, Heizöl und andere Energieträger einzusparen, kommen heute weitere Aspekte hinzu, wie vor allem solche der Stallklimaverbesserung, Tiergesundheit, Umweltentlastung, Schonung der Baustoffe und neuerdings sogar der Arbeitsplatzgestaltung. Deshalb wird die Wärmerückgewinnung aus Stallabluft zunehmend auch für solche Ställe interessant, die bisher nicht beheizt wurden.

Das Potential der tierischen Abfallenergie liegt in einem durchaus interessanten Bereich. Betrachtet man einmal eine Milchkuh mit 500 kg Gewicht und einer Milchleistung von 5000 kg/Jahr, so läßt sich feststellen, daß die größten Energiemengen über Körperabwärme und Biogas genutzt werden können. Relativ gering ist hingegen der Anteil der fühlbaren Abwärme in Kot, Harn und Milch. Als Faustzahl kann man damit rechnen, daß pro Milchvieh-GV eine Abwärmeleistung von 1 kW anfällt, entsprechend einer Abwärmemenge von 24 kWh/Tag. Davon kann allerdings nur ein Teil sinnvoll genutzt werden (Abb. 1).

Es gibt inzwischen verschiedene Lösungen, Stallabwärme rückzugewinnen. So kann man mit Hilfe zweischaliger oder poröser Wand- und Deckenbauteile einen Teil der Transmissionswärmeverluste zur Anwärmung von Zuluft nutzen. Mit Wärmepumpen läßt sich die niedrigtemperierte Stallabwärme auf ein für die Hausheizung brauchbares Temperaturniveau fördern. Auch Stallentfeuchtungsgeräte und Kreisverbundsysteme können unter bestimmten Voraussetzungen Hilfe leisten. Dieser Beitrag soll sich jedoch auf die Rückgewinnung von Lüftungsabwärme mit rekuperativen Luft/Luft-Wärmetauschern beschränken, da diese zur Zeit eine

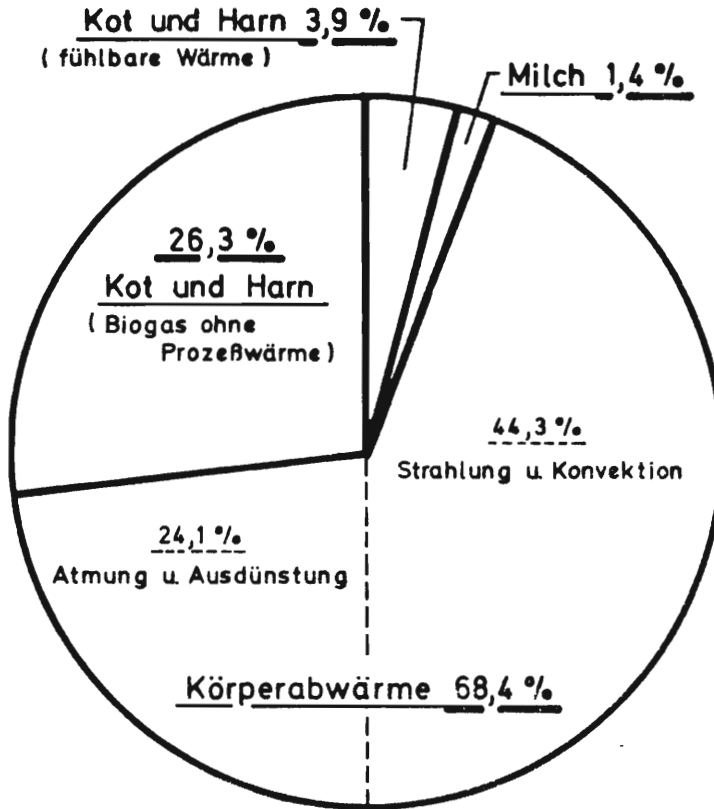
starke Bedeutung bekommen, ein sehr günstiges Preis/Leistungs-Verhältnis aufweisen und das Stallklima besonders positiv beeinflussen können. Einige tausend Anlagen sind zur Zeit schon im Einsatz.

Derartige Luft/Luft-Wärmetauscher arbeiten nach dem einfachen physikalischen Prinzip der Wärmeleitung durch gasdichte Platten, Folien oder Röhren, indem sie die warme Stallabluft abkühlen und die kalte Zuluft anwärmen. Ihr sinnvoller Einsatz stellt jedoch an Stall und Lüftung folgende Voraussetzungen:

- Es muß sich um einen geschlossenen, wärmegeprägten Stall handeln, der voll belegt ist.
- Die Lüftung muß als Zwangslüftung betrieben werden.
- Die raumumschließenden Bauteile dürfen keine große Undichtigkeiten aufweisen, damit bei Zu- und Abluft möglichst wenig Verluste auftreten.
- Zu- und Abluftstrom müssen sich mit tragbarem baulichen Aufwand an den Wärmetauschern führen lassen.
- Über oder unter der Stalldecke, notfalls auch in einem Nebenraum muß Platz für die Anbringung des Wärmetauschers vorhanden sein.
- Der Wärmetauscher muß im Sommer aus dem Zu- und Abluftstrom geschaltet werden können, um eine Verschmutzung und unnötigen Luftwiderstand zu vermeiden.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß sich diese Voraussetzungen in vielen Fällen erfüllen lassen.

Vor etwa 10 Jahren hat man zunächst versucht, Luft/Luft-Wärmetauscher aus dem Bereich der industriellen Abwärmennutzung im Stall einzusetzen, wobei bekanntlich Probleme der Korrosion, der Luftwiderstände, der Verschmutzung und der Investitionshöhe auftraten. Heute weiß man, daß für die Nutzung der Stallabwärme spezielle Wärmetauscher konstru-



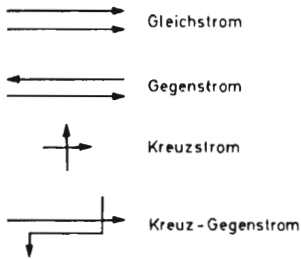
<input type="checkbox"/>	<u>Kot und Harn</u> (Biogas 1,5 m ³ / Tag)	9,4 kWh / Tag u. Kuh
<input type="checkbox"/>	<u>Körperabwärme</u>	
	Strahlung und Konvektion 15,8 kWh	} 24,4 kWh / Tag u. Kuh
	Atmung und Ausdünstung 8,6 kWh	
<input type="checkbox"/>	<u>Kot und Harn</u> (fühlbare Wärme , Δt 25°C)	1,4 kWh / Tag u. Kuh
<input type="checkbox"/>	<u>Milch</u>	0,5 kWh / Tag u. Kuh
<u>Gesamt - Abwärme</u>		<u>35,7 kWh / Tag u. Kuh</u>

Abb. 1: Abwärme einer Milchkuh im Jahresmittel (500 kg Gewicht, 5000 kg Milch/Jahr)

iert werden müssen, die beständig gegenüber der feuchten und aggressiven Atmosphäre sind, geringe Luftwiderstände haben, sich leicht reinigen lassen oder besser

selbstreinigend sind und entweder preiswert in Serie gefertigt oder im Selbstbau hergestellt werden können. Stallluft-Wärmetauscher werden im Kreuz-

1) Strömungsprinzip



2) Materialien

	Korrosion	Wärmebeständigkeit	Standfestigkeit	Gewicht
METALLE				
verzinkter Stahl	-	+	+	-
Leichtmetall	-	+	+	○
Edelstahl	+	+	+	-
GLAS				
	+	+	-	-
KUNSTSTOFFE				
Thermoplaste	+	-	-	+
GFK	+	○	+	○

3) Bauarten

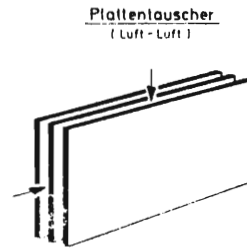
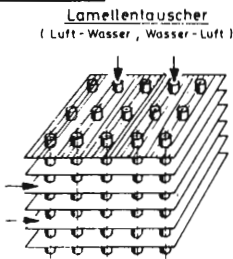


Abb. 2: Merkmale von Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung aus der Tierhaltung

strom- oder Kreuz-Gegenstromprinzip betrieben, denn das Gleichstromprinzip ist physikalisch ungünstig, und das theoretisch wirksamste Gegenstromprinzip läßt sich praktisch schwer verwirklichen. Die zur Auswahl stehenden Materialien wie Metalle, Glas und Kunststoffe haben in bezug auf Korrosion, Wärmebeständigkeit, Standfestigkeit und Gewicht spezifische Vor- und Nachteile. Heute wird vorwiegend mit thermoplastischen Kunststoffen und teilweise auch mit Edelstahl gearbeitet. Da Lamellenwärmetauscher zu schnell verstauben, verwendet man Röhren, Platten oder Folien als Tauscherflächen (Abb. 2).

Dazu einige typische Beispiele:

Glasröhrenwärmetauscher,

wie sie zunächst aus dem industriellen Bereich übernommen wurden, sind sehr kompakt und leistungsfähig, haben aber hohe Luftwiderstände, verschmutzen sehr leicht, sind schwer, bruchempfindlich und teuer. Sie konnten sich daher nicht durchsetzen.

Plattenwärmetauscher

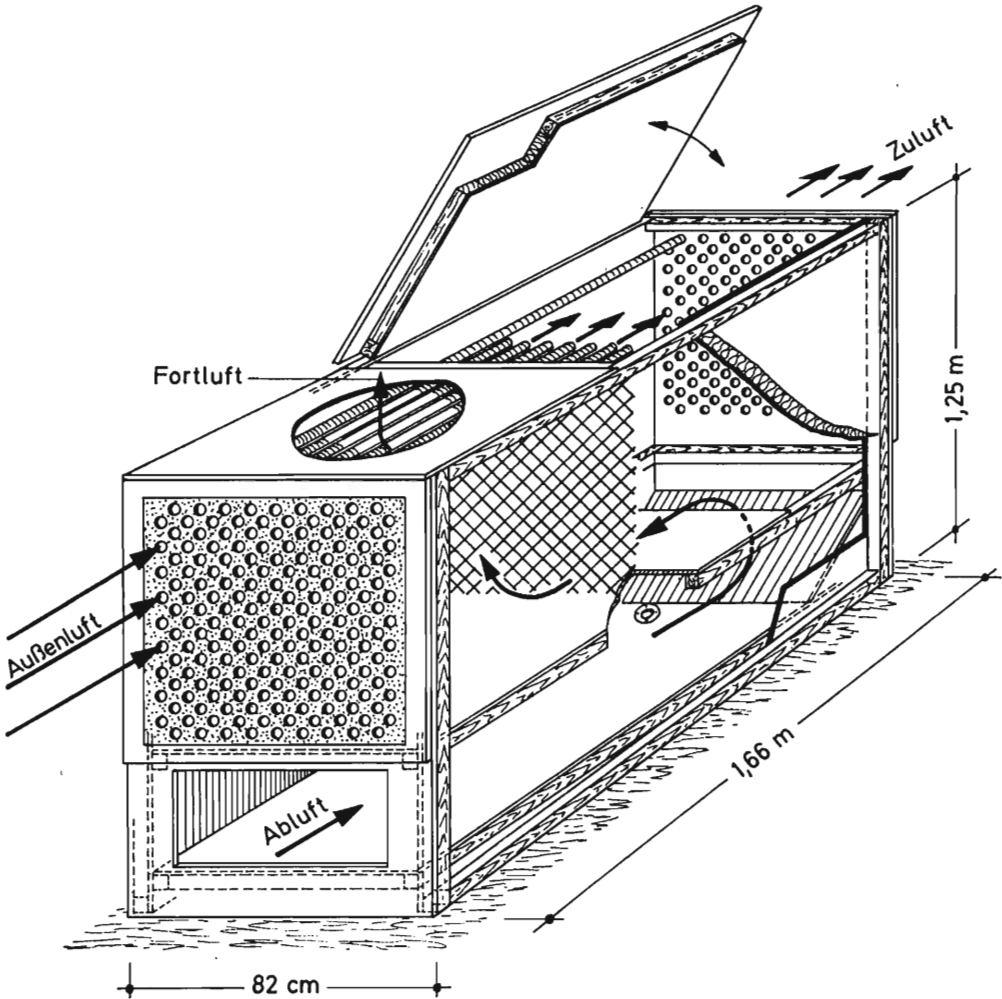
aus Edelstahl oder Kunststoff werden einbaufertig geliefert. Kunststoffplatten werden meist zur besseren Standfestigkeit und Luftverwirbelung profiliert, wobei sich auch wabenförmige Strukturen bilden lassen. Sehr wichtig ist der Abstand der Platten im Abluftstrom: wird er aus Gründen kompakter Bauweise unter ca. 25 mm gehalten, muß der Wärmetauscher häufig automatisch oder von Hand mit Wasserstrahl gereinigt werden.

Folienwärmetauscher

sind ähnlich aufgebaut wie Plattenwärmetauscher, nur müssen die Folien straff in Holz- oder Metallrahmen gespannt werden. Wichtig ist Betrieb in Gleichdruck, sonst legen sich die Folien aneinander.

Kunststoffröhrenwärmetauscher

eignen sich besonders gut zum Selbstbau. Sie werden aber auch einbaufertig oder als Bausatz geliefert. Besonders stark konnte sich der bei uns entwickelte preiswerte



PE-Wellrohr Airflex $\varnothing 39$:	180 Stück	, a = 1,65 m lang
<u>Seitenwände</u>	:	Betoplan-Platte	9 mm
<u>Stirnwände</u>	:	" "	15 mm
<u>Deckel u. Abdeckung</u>	:	" "	15 mm
<u>Zwischenböden</u>	:	" "	9 mm
<u>Holzrahmen</u>	:	Kantholz	4/4 cm
<u>Seitenwand- u. Deckelisolierung</u>	:	4 cm Hartschaum	

Abb. 3: Luft/Luft-Wärmetauscher aus PE-Wellrohr Airflex $\varnothing 39$ zum Anbau an einen Abluftkamin (Tauscherfläche 48 m²)

Rippenrohrwärmetauscher durchsetzen, insbesondere auch, weil wegen der relativ großen Rohrquerschnitte und -abstände kaum Verschmutzungsprobleme auftreten und die dünnwandigen Rippenrohre einen guten Wärmeübergang und turbu-

lente Strömungen ermöglichen. Wegen der großen Rohrabstände gibt es auch nur selten Vereisungsprobleme (Abb. 3).

Sehr wichtig bei Stallluft-Wärmetauschern ist eine Wanne, die abtropfendes Kondensat auffängt. Durch eine Kunststoffrohrlei-

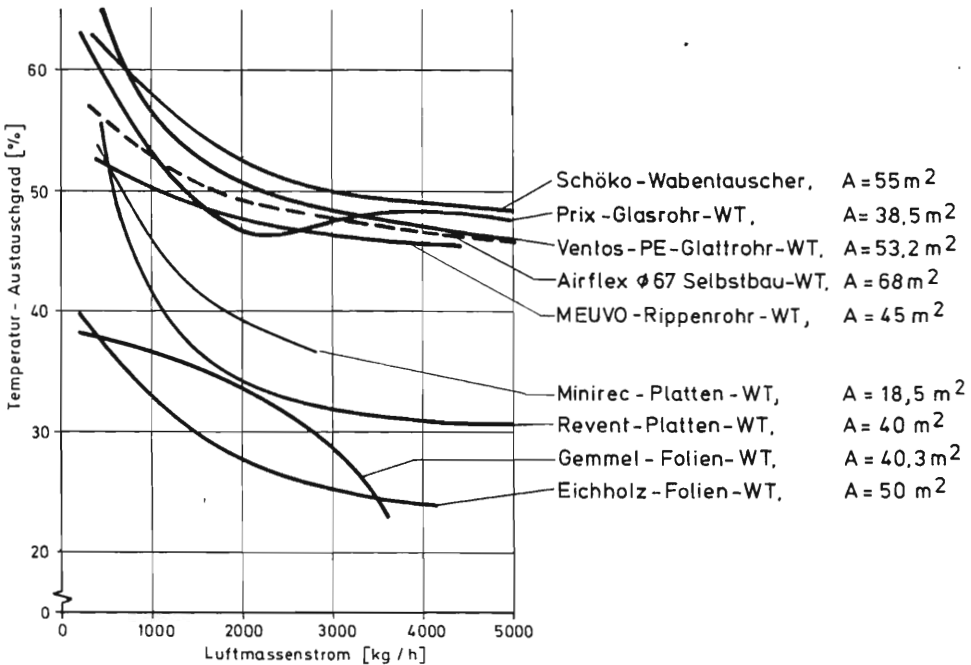


Abb. 4: Temperatur-Austauschgrad unterschiedlicher Luft/Luft-Wärmetauscher (für Luftmassenverhältnis 1:1)

tung wird dieses unter den Spaltenboden oder in die Jauchegrube geleitet. Bei mittelgroßen Wärmetauschern können 100 l/Tag und mehr anfallen.

Um typische Stallluft-Wärmetauscher in Bezug auf Leistung, Luftwiderstand und Betriebsverhalten näher untersuchen und vergleichen zu können, wurde an der Landtechnik Weihenstephan mit Unterstützung der DFG ein Prüfstand aufgebaut. Von den zahlreichen hieran erarbeiteten Ergebnissen können hier nur die wichtigsten behandelt werden. Ein guter Vergleichsmaßstab für die Leistungsfähigkeit ist der Temperaturexaustauschgrad. Man errechnet ihn bei gleich großem Zu- und Abluftstrom, indem man die Temperaturdifferenz zwischen angewärmter und kalter Zuluft durch die Temperaturdifferenz zwischen Abluft und kalter Zuluft teilt. Hat beispielsweise die Abluft eine Temperatur von 20° C und wird die kalte Zuluft von 0 auf 10° C erwärmt, so liegt der Temperaturexaustauschgrad bei 0,5, d. h. 50% der Wärme aus dem Abluftstrom wird auf den Zuluftstrom übertragen (Abb. 4).

Der Temperaturexaustauschgrad ist jedoch keine feste Größe, sondern er hängt vor allem von der Höhe des Luftmassenstromes ab. Bei geringem Luftdurchsatz hat die Wärme mehr Zeit, durch die Tauscherflächen zu dringen, wodurch der Austauschgrad größer wird als bei hohen Luftmengen.

Bei den gemessenen Wärmetauschern traten große Unterschiede im Austauschgrad (hier bezogen auf trockene Flächen) auf. Bei einem mittleren Luftmassenstrom von 3000 kg/h lagen die Folienwärmetauscher unter 30%. Dies liegt daran, daß an den glatten Folienflächen keine Luftverwirbelung erfolgt. Dennoch können Folienwärmetauscher in Gebieten mit Klimazone I und II durchaus reichen, was auch ihre starke Verbreitung in Norddeutschland erklärt. Im oberen Bereich mit Austauschgraden zwischen 40 und 50% liegen Wärmetauscher mit Rohren und profilierten Platten. Auch die Rippenrohr-Selbstbaulösung kommt auf gute Werte. Bei derart hohen Austauschgraden gelingt es heute, Ställe mit der eigenen Abwärme selbst

noch bei Außentemperaturen bis zu -15°C , kurzzeitig sogar bis zu -20°C ohne Zusatzheizung zu klimatisieren. Dies liegt auch daran, daß mit zunehmender Differenz zwischen Abluft- und Zulufttemperatur die Heizleistung des Wärmetauschers steigt. Umgekehrt sinkt sie naturgemäß, d. h. wenn die Außentemperatur in der Übergangszeit die gleiche Höhe wie die Stalltemperatur erreicht, geht die Heizleistung auf 0.

Daher hat der Wärmetauscher eine sehr praktische Selbstregelung, was auch die Tatsache erklärt, daß in einem Stall mit Luft/Luft-Wärmetauscher und guter Ventilatorregelung wesentlich gleichmäßigere Temperaturen herrschen als bei im Ein-Ausschaltbetrieb arbeitenden ölbefeuerten Lufterhitzern.

Ein weiterer, wichtiger Beurteilungsmaßstab ist der Luftwiderstand bzw. Druckverlust des Wärmetauschers. Bei Ausführungen mit sehr niedrigem Druckverlust können oft die vorhandenen Ventilatoren weitergenutzt werden. Bei hohem Druckverlust steigt auch die Ventilatorleistung. Um Dimensionierungsprobleme von vorn herein aus dem Weg zu gehen, liefern manche Hersteller die Tauscher mit eingebautem Zu- und Abluftventilator (Abb. 5).

Unsere Messungen ergaben außerordentlich große Unterschiede im Druckverlust (Abb. 6). Bei 9 typischen Systemen lag der Bereich zwischen 5 und 120 Pa (0,5 bis 12 mm WS), und zwar jeweils bezogen auf einen Luftdurchsatz von $2000\text{ m}^3/\text{h}$ und eine Tauscherfläche von 50 m^2 . Erkennbar wurde auch, daß bei manchen Tauschern große Unterschiede zwischen Abluft- und Zuluftseite bestehen. Ordnet man die Druckverluste bestimmten Temperatur-austauschgraden zu, so wird ersichtlich, daß hier eine bestimmte Abhängigkeit besteht. Die weniger leistungsfähigen Folien- und Plattentauscher mit Austauschgraden unter 40% haben niedrige Druckverluste unter 40 Pa, während die Röhren- und Plattentauscher mit mehr als 45% Austauschgrad auch hohe Druckverluste von mehr als 40 Pa aufweisen. Höhere Druckverluste verursachen naturgemäß einen höheren Stromverbrauch der Ventilatoren. Im Vergleich zu einer Wärmepumpe ist dieser jedoch relativ gering, denn mit einer kWh elektrischer Energie kann ein Wärmetauscher etwa 10 bis 20 kWh Wärme gewinnen.

Ein Hauptproblem bei der Wärmerückgewinnung aus Stallabluft ist die Verschmutzung, insbesondere bei Ställen mit hohem

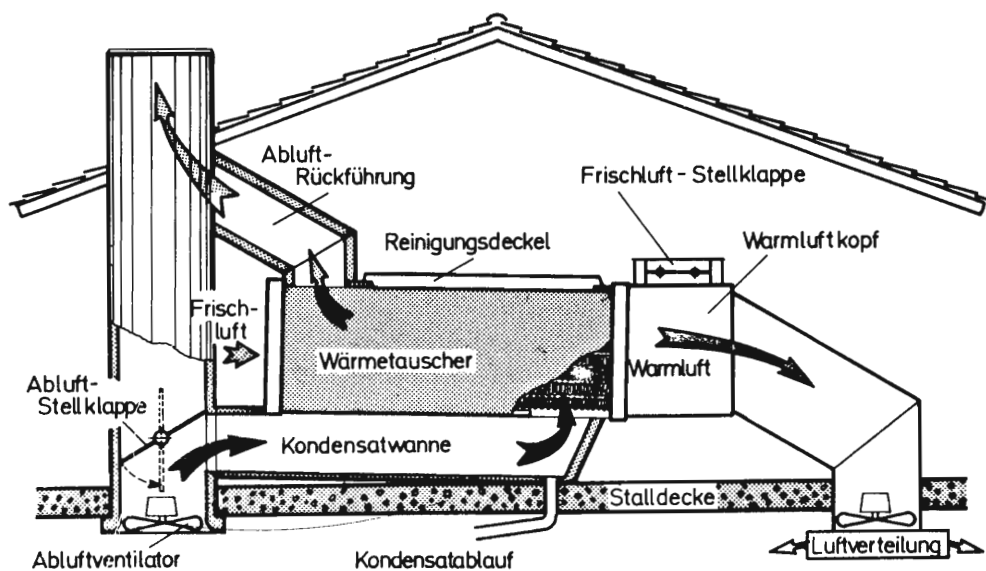


Abb. 5: Wärmetauscher mit eingebautem Zu- und Abluftventilator

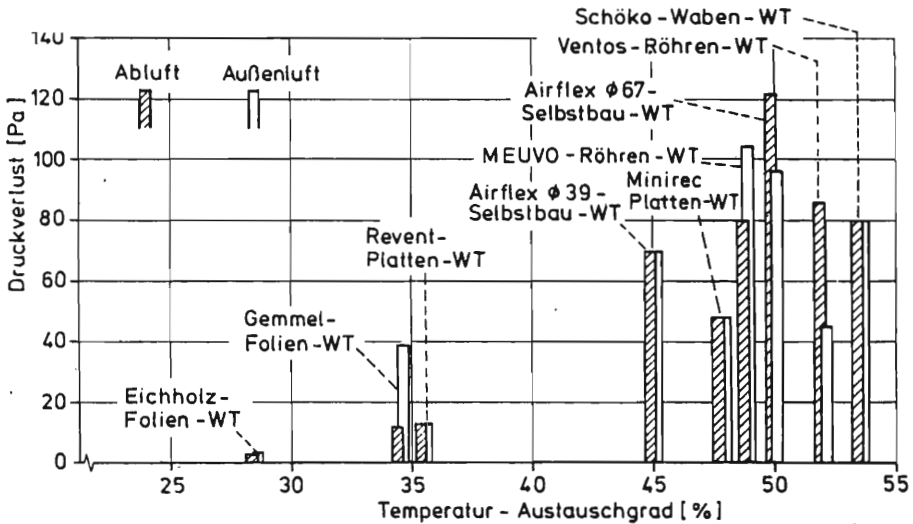


Abb. 6: Druckverlust unterschiedlicher Luft/Luft-Wärmetauscher in Abhängigkeit des Temperatur-Austauschgrades (für jeweils 2000 m³/h und eine Tauscherfläche von 50 m²)

Staubgehalt. Zwar gibt es großvolumig gebaute Tauscher, die jahrelang nicht gereinigt werden und gut funktionieren, aber andererseits auch solche mit engen Querschnitten im Abluftstrom, die nach einigen Tagen so verstaubt sind, daß keine Luft mehr hindurchgeht.

Wir haben daher versucht, die Staubbelastung auf dem Prüfstand zu simulieren. Dazu wurde Staub in einigen typischen Stallungen aus der Luft gefiltert und in unterschiedlicher Menge dem Abluftstrom des Prüfstandes zudosiert. Zuvor durchgeführte Messungen hatten ergeben, daß je nach Fütterung und Aufstallung in Schweineställen mit Staubgehalten von 2–8 mg/m³ Stallluft zu rechnen ist und in Rinderställen mit 0,5–3 mg/m³.

Trotz erheblicher Bemühungen gelang es jedoch auf dem Prüfstand nicht, einen Staubniederschlag an den Wärmetauscherflächen zu erreichen und Unterschiede zwischen verschiedenen Bauarten nachzuweisen. Dies könnte daran liegen, daß in der natürlichen Stallluft schwebender Staub andere Eigenschaften hat, als wenn man ihn herausfiltert und wieder der Luft beimischt. Vermutlich spielt hier die elektrostatische Aufladung eine Rolle.

Es wurden daher drei charakteristische Luft/Luft-Wärmetauscher in einem Bul-

lenmaststall mit einem Staubgehalt zwischen 0,22–1,43 mg/m³ eingebaut und drei Monate lang mit einem Luftmassenverhältnis von 1 : 1 betrieben, um festzustellen, ob Unterschiede in der Verschmutzung auftreten und wie diese den Temperatur-austauschgrad beeinflussen.

Dabei zeigte es sich, daß starke Schwankungen im Temperaturauschgrad auftreten, die mit dem Feuchtegehalt der Stallabluft korrelieren und durch Kondenswasserniederschlag an den Tauscherflächen zu erklären sind (Abb. 7). Außerdem ergab sich beim Platten- und Folienwärmetauscher eine Verminderung des Temperaturauschgrades von 41 bzw. 42% auf 34 bzw. 38%. Beim Zerlegen dieser Tauscher zeigten sich Staubablagerungen von ca. 0,5 mm Dicke, vor allem im Einströmbereich der Abluft. Demgegenüber konnte am Airflex-Röhrenwärmetauscher weder eine Verschmutzung noch ein Rückgang des Austauschgrades festgestellt werden. Daß die Austauschgrade bei diesen Praxismessungen etwas höher liegen als auf dem Prüfstand, ist durch den starken Kondenswasserniederschlag zu erklären. Um den Einfluß der Wärmetauscher auf das Stallklima im praktischen Einsatz festzustellen, wurden ergänzende Messungen an bestehenden Anlagen durchgeführt.

Unter anderem konnte ein 48 m² großer Rippenrohrtaucher 4 Tage lang bei Außentemperaturen zwischen -2 und -11° C in einem Maststall mit 20 GV exakt vermessen werden. Bei Temperaturentauschgraden zwischen 0,50 und 0,57 lag die Heizleistung zwischen 3 und 7 kW. Damit konnte die Stalltemperatur trotz der niedrigen Außentemperatur ohne Zusatzheizung auf 19–21° C gehalten werden. Die Luftfeuchte wurde auf Werte zwischen 68 und 87% reduziert, vorher lag sie über 90%. Dabei waren die Verhältnisse in diesem Stall eher ungünstig, weil der Wärmetaucher nur mit dem vorhandenen Ventilator im Unterdruck betrieben wurde, wobei sich wegen undichter Decke und Fenster nur etwa die halbe Außenluftmenge durch den Tauscher ziehen ließ (Abb. 8).

Auch weitere Messungen an Praxisanlagen sowie empirische Aussagen von Landwirten, die Luft/Luft-Wärmetaucher seit längerer Zeit einsetzen, bestätigen eine Herabsetzung der relativen Luftfeuchte um 10–15, in einigen Fällen sogar 20 Prozentpunkte. Vielfach wird die Wirkung des Wärmetauchers dazu ausgenutzt, höhere Winterluftstraten, als sie in der DIN 18910 „Klima in geschlossenen Ställen“ empfoh-

len wird, zu fahren. Dabei wird mit der doppelten bis 3fachen Mindestluftstrate gearbeitet, wobei sich die Schadgaskonzentration im Stall sicherlich erheblich reduzieren läßt. Hierüber sind jedoch noch nähere Untersuchungen notwendig.

Landwirte, die Luft/Luft-Wärmetaucher betreiben, weisen immer wieder darauf hin, daß mit der Verbesserung des Stallklimas auch eine bessere Gesundheit der Tiere, geringere Ausfallverluste und eine Reduzierung der Tierarztkosten bzw. des Medikamentenverbrauchs verbunden sei, oft bis auf die Hälfte der früheren Beträge. Exakte Vergleichsversuche hierzu fehlen aber noch. Ebenso ist es noch nicht untersucht worden, welche Auswirkungen die Verringerung der Luftfeuchte im Stall auf die Haltbarkeit der Baustoffe hat; mit Sicherheit sind hier jedoch positive Einflüsse gegeben. Auch die Aussagen mancher Landwirte, daß sie mit Einbau eines Wärmetauchers viel lieber im Stall arbeiten würden als früher im Dampf und Gestank, ist verständlich und erfreulich, aber natürlich schlecht wirtschaftlich zu bewerten.

Daher kann zur Zeit nur die Einsparung an Heizenergie für die Wirtschaftlichkeit des

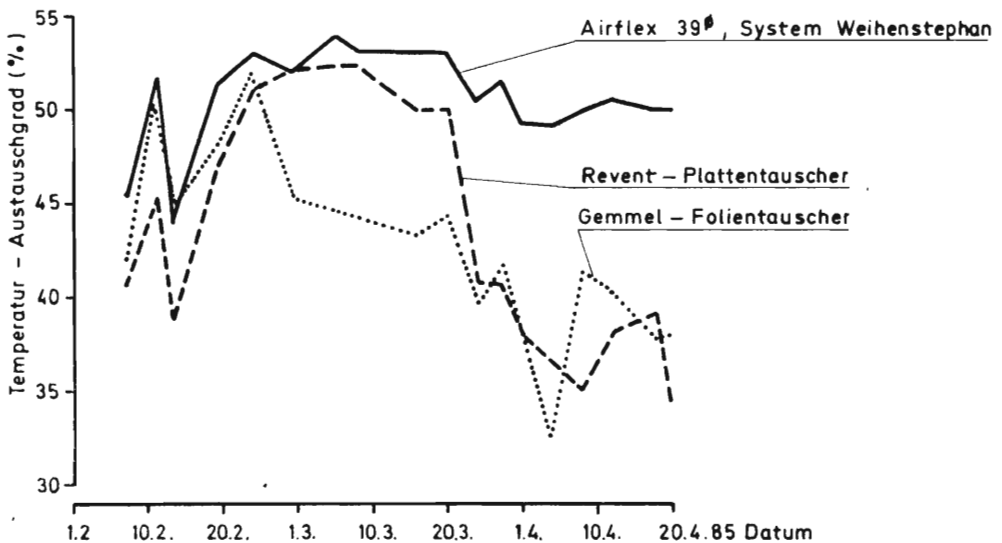


Abb. 7: Verringerung der Austauschgrade typischer Luft/Luft-Wärmetaucher durch Verstaubung bei 10wöchigem Einsatz in einem Bullenmaststall

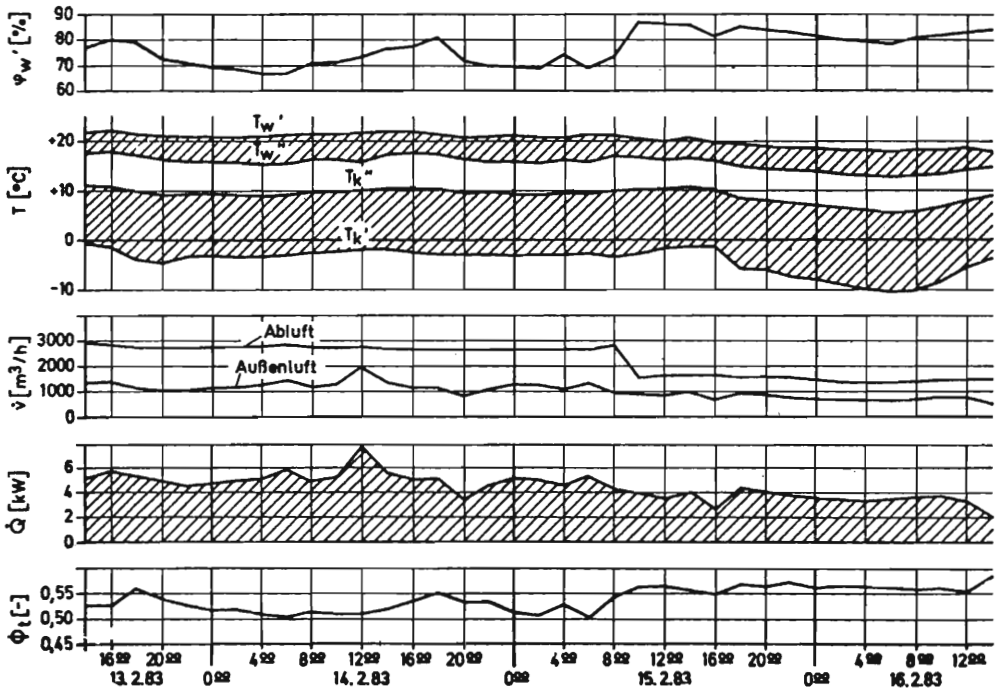


Abb. 8: Praxismessungen an einem Luft/Luft-Wärmetauscher (48 m²) (20 GV, Betrieb Dr. Binding, Grünbach)

Wärmetauschereinsatzes herangezogen werden. Hierzu hat Dr. ENGLERT, Weißenstephan, das EDV-Programm WABILOP (Wirtschaftliche Optimierung des Ausgleichs von Wärmeenergiebilanzen von Ställen) während seiner Arbeiten für den Sonderforschungsbereich nutzbar gemacht. Damit kann für konkrete Anwendungsfälle die wirtschaftlich zulässige Investitionshöhe von Luft/Luft-Wärmetauschern in Abhängigkeit von Heizölpreis und Nutzungsdauer errechnet werden. Eine vereinfachte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt die Kapitalrückflußdauer bzw. Amortisationszeit von Stallluft-Wärmetauschern mit 3000, 6000 und 9000 DM Anschaffungspreis in Abhängigkeit vom Wärmegewinn bei einem Kälbermaststall mit früherer Elektroheizung. Daraus wird ersichtlich, daß bei einem im praktischen Dauerbetrieb heute leicht zu erreichenden Rückgewinn von 200 Watt je GV und Stunde sich die Wärmetauscher schon in 1-3 Jahren bezahlt machen, und zwar

nur gemessen an der eingesparten Heizenergie.

Daß die Praxis die mit dem Wärmetauschereinsatz verbundene Verbesserung des Stallklimas und der Tiergesundheit aber wesentlich höher einschätzt als die Einsparung von Heizenergie, zeigt das Ergebnis einer Umfrage bei 24 Landwirten, die Wärmetauscher nach Unterlagen und Lehrgängen der Landtechnik Weißenstephan gebaut haben. Davon gaben 82% an, den Wärmetauscher wegen zu schlechter Luft im Stall eingebaut zu haben. 73% führten zu hohe Luftfeuchtigkeit, 64% Krankheiten der Tiere, 50% zu niedrige Stalltemperatur, 27% zu hohe Heizkosten und 27% zu geringe Leistungen der Tiere an. Hauptgrund für den Wärmetauschereinsatz war also eindeutig die Verbesserung des Stallklimas.

Daß dieses Ziel auch erreicht wurde, bestätigte die Umfrage ebenfalls, denn 86% der Landwirte gaben eine deutliche Verbesserung an, 14% konnten wegen zu kurzer

Einsatzzeit noch keine eindeutigen Angaben machen und niemand hatte keine Verbesserung feststellen können. Abschließend soll darauf hingewiesen werden, daß nicht nur an der Landtechnik Weihenstephan, sondern auch bei anderen Forschungsstellen Untersuchungen über Stalluft-Wärmetauschern angestellt wurden, die wichtige Erkenntnisse brachten. Insbesondere sind hier die Arbeiten aus Kiel, Gießen und Tübingen zu erwähnen. Aber auch das KTBL, verschiedene Landwirtschaftsministerien, Kammern, Elektrizitätsversorgungsunternehmen, örtliche Beratungsstellen und Firmen haben sich auf diesem Gebiet engagiert. Erfreulich ist auch, daß jetzt in Groß-Umstadt die DLG-Prüfung von Stalluft-Wärmetau-

schern angelaufen ist und daß man dort die bisher vorliegenden wissenschaftlichen und praktischen Ergebnisse und Erfahrungen nutzen kann.

Insgesamt gesehen läßt sich feststellen, daß die Wärmerückgewinnung aus Stallabluft nicht nur zur Heizkosteneinsparung, sondern vor allem auch zur Verbesserung des Stallklimas und der Tiergesundheit durchaus positiv zu bewerten ist. Unter geeigneten betrieblichen Voraussetzungen steht damit der Praxis ein weitgehend ausgereiftes Verfahren zur Verfügung, kostengünstiger, umweltfreundlicher und tiergerechter zu produzieren und auch dem im Stall tätigen Menschen bessere Arbeitsbedingungen zu schaffen.

Kennwerte für den wirtschaftlichen Wärmeschutz

Von Gerhard Englert

Der Wärmeschutz der Stallhülle steht auch heute noch – trotz des zunehmenden Interesses für die Wärmerückgewinnung – bei Überlegungen im Vordergrund, wie sich der Heizenergieverbrauch in Ställen im Winter am besten vermindern läßt. Dabei ist die Auswahl geeigneter Wärmedämmstoffe und -konstruktionen das normalerweise leichter zu lösende Problem. Schwieriger zu beantworten ist die Frage, welche Dämmschichtdicken ausreichend sind.

Die Antwort wurde bisher und wird auch heute noch dadurch gesucht – die Stallklima-Norm DIN 18910 schreibt dieses Verfahren fest –, indem man sich aus der Wärmestrombilanz des Stalles die zum Bilanzausgleich führende Dämmschichtdicke errechnet. Dieses Verfahren wäre gerechtfertigt, wenn es Wärmedämmstoffe zum Nulltarif gäbe. Dies ist nicht der Fall. Die Durchführung von Wärmedämmmaßnahmen ist vielmehr als eine Investition zu sehen, die sich aus einer einmaligen Zahlung für die Ausführung der Wärmedämmkonstruktion und gegebenenfalls aus Jahreskosten für Instandhaltung und Reparaturen zusammensetzt. Die Frage nach der richtigen Dämmschichtdicke ist deshalb nur durch Einbeziehen der finanziellen Aspekte, d. h. aber nur mit einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, zu beantworten.

Die Grundlagen und Rechenverfahren derartiger Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen und ein EDV-Rechenprogramm, das für den Bereich Energieeinsparung im landwirtschaftlichen Betrieb besonders geeignet ist und auf der Minimierung der jährlichen Gesamtkosten beruht, werden zunächst kurz dargestellt. Mit diesem Rechenprogramm erfolgen dann Berechnungen für einen Modell-Milchviehstall. Dabei kommt es darauf an, die Möglichkeiten des Rechenverfahrens zu veranschaulichen, nicht aber alle möglichen Wärmedämmstoffe und -konstruktionen zu untersu-

chen. Die für den im Rechenbeispiel untersuchten Wärmedämmstoff Polystyrol-Extruderschaum ermittelten Dämmschichtdecken werden anschließend daraufhin überprüft, ob sie auch den Anforderungen des Mindest-Wärmeschutzes zur Vermeidung von Oberflächenkondensation genügen und ob sie weiterhin für den sommerlichen Wärmeschutz geeignet sind. Abschließend wird untersucht, ob nicht die Wärmerückgewinnung mit Luft/Luft-Wärmetauschern als wirtschaftlichere Alternative der Wärmedämmung vorzuziehen ist.

1. Berechnungsgrundlagen

Zunächst also die wichtigsten Informationen zu den Methoden der Wirtschaftlichkeitsprüfung. Investitionen – auch solche für Energiespar-Maßnahmen – beinhalten i. a. einmalige und jährlich wiederkehrende Zahlungen. Für eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung müssen diese unterschiedlichen Zahlungsarten auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden. Dies ermöglicht die aus der Rentenrechnung bekannte Gleichung

$$K_{0,j} = \dot{K}_i / a_n = D_N * \dot{K}_i$$

mit

$$a_n = q^N * (q - 1) / (q^N - 1)$$

bei konstanten jährlichen Zahlungen

$$a_n = a'_n = f * (q / f)^N * ((q / f) - 1) / ((q / f)^N - 1)$$

bei konstant steigenden jährlichen Zahlungen

$$q = 1 + i$$

$$f = 1 + j$$

$K_{0,j}$: Kapitalwert, Barwert der jährl. Zahlung

\dot{K}_i : jährliche Zahlung i

a_n : Annuitätenfaktor

D_N : Diskontierungsfaktor

N : Betrachtungszeitraum

i : Zinssatz

j : Steigerungsfaktor

Mit dieser Gleichung lassen sich die mit einer Investition verknüpften einmaligen und jährlich wiederkehrenden Zahlungen zu dem Kapitalwert der Investition zusammenfügen:

$$K_o = -\sum K_i + \left[\frac{-\sum A_j + \sum E_k}{a_N} \right] + \left[\frac{-\sum A_l + \sum E_m}{a_N} \right] + K_R$$

K_i : Investitions-Teilbetrag i

A : jährliche Ausgaben, Jahreskosten

E : jährliche Einnahmen

K_R : Restwert nach N Jahren

Eine Investition ist dann wirtschaftlich, wenn ihr Kapitalwert größer oder gleich Null ist.

Bei mehreren Investitions-Alternativen läßt sich die wirtschaftlichste Investition mit folgenden Prüfgrößen und -bedingungen ermitteln:

Kapitalwert	$K_o = \text{Maximum}$
Annuität	$K_o = a_N * K_o = \text{Maximum}$
jährliche Gesamtkosten	$K_{ges} = \text{Minimum}$
interner Zinssatz	$i = (K_o = 0) = \text{Maximum}$
Amortisationszeit	$N(K_o = 0) = \text{Minimum}$

Für die Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Wärmedämm-Maßnahmen – aber auch für Energiespar-Maßnahmen allgemein – wurden die jährlichen Gesamtkosten als Prüfgröße ausgewählt. Diese Größe ist den Motiven von Investoren in diesem Bereich am besten angepaßt, da ja Energiespar-Maßnahmen durchgeführt werden, um die Jahreskosten für den Energieverbrauch zu senken.

Welche Kostenarten zu beachten sind, wenn man den Ausgleich der Wärmeenergiebilanz eines Stalles durch Heizung und Wärmedämmung untersucht, zeigt die Zusammenstellung in der Tab. 1. Die Investitions-Alternativen bestehen dann darin, daß die zu untersuchende Wärmedämmkonstruktion in unterschiedlichen Dämmschichtdicken ausgeführt werden kann.

Tabelle 1: *Kostenarten bei Investitionen zum Ausgleich von Defiziten in der Wärmeenergiebilanz von Ställen durch Wärmedämmung und Heizung*

	Kapitalkosten	Betriebskosten
Heizung	Heizgeräte einschl. Steuerung Einbau	Instandhaltung Reparaturen Betriebsstoff: Heizöl, elektrischer Strom
Wärmedämmung	Wärmedämmstoff Einbau	Instandhaltung Reparaturen

Auch die verschiedenen Wärmedämmstoffe und -konstruktionen sind Investitions-Alternativen, die jedoch hier nicht in die Untersuchungen einbezogen sein sollen.

Die Dämmschichtdicke bzw. der sich daraus errechnende Wärmedurchgangskoeffizient (k -Wert) kennzeichnet dann in dem zu entwickelnden Rechenprogramm die verschiedenen Investitions-Alternativen, für die die zugeordneten Kostenanteile zu berechnen sind. Der Umfang dieser Berechnungen erfordert den Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung. Es wurde daher das EDV-Rechenprogramm „Wabilop“ entwickelt (1), bei dem die Dämmschichtdicke in 1-cm-Schritten verändert wird, um die minimalen jährlichen Gesamtkosten für den Ausgleich der Wärmeenergiebilanz zu ermitteln.

2. Wärmeschutz im Winter

Das Ergebnis derartiger Berechnungen zeigt für den Fall der Belegung eines Modellstalles mit Milchkühen Tab. 2, wo-

Tabelle 2: *Veränderung der Jahreskosten für den Ausgleich der Wärmeenergiebilanz des Modellstalles mit der Dicke der Dämmschicht aus Polystyrol-Extruderschäum*
Ausgleich der Wärmeenergiebilanz des Modellstalles durch Wärmedämmung und Ölheizung; Belegung mit 48 Milchkühen; Standort München

Art der Jahreskosten	Jahreskosten (DM/Jahr)						
	0	bei einer Dicke der Dämmschicht (in mm) von				50	60
		10	20	30	40		
Wärmedämmung	0	199	398	598	797	996	1195
Heizgerät	334	334	334	334	334	334	334
Wärmeenergie	8263	907	290	144	87	60	44
Gesamt	8597	1440	1022	1076	1218	1390	1573

bei die in der Tab. 3–6 zusammengestellten Rechenwerte verwendet wurden.

Wie aus der Tab. 2 zu ersehen ist, wird das Minimum der Gesamtkosten bei einer Dicke von 20 mm erreicht. Da die Gesamtkosten bis 40 mm Dämmschichtdicke nur um etwa 20% zunehmen, dagegen bei 50 mm schon um fast 40%, ergibt sich in dem Dämmschicht-Dickenbereich 20–40 mm ein Spielraum für weitere planerische Überlegungen. Dieser wird allerdings auf 30–40 mm eingeeengt, da Polystyrol-Extruderschäum nur in Dicken ab 30 mm auf dem Markt ist. Dieses Ergebnis einer wirtschaftlichen Dämmschichtdicke von 30–40 mm wird bestätigt, wenn man die Öl- und elektrische Heizung allein sowie die elektrische Heizung zusammen mit der Wärmedämmung als alternative Maßnahmen untersucht (s. Tab. 7). Die Kombination aus Wärmedämmung und Ölheizung führt zu dem wirtschaftlichsten Ausgleich der Wärmeenergiebilanz.

Bevor nun das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen daraufhin überprüft wird, ob es auch den Anforderungen des Mindest- und des sommerlichen Wärmeschutzes gerecht wird, soll in den Tab. 8 und 9 gezeigt werden, wie sich Veränderungen der Rechenwerte des Außenklimas (Standortes) und des Energiepreises auf das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen auswirken.

Auch diese zusätzlichen Untersuchungen sowie weitere für unterschiedliche Stallabmessungen und entsprechend unterschiedliche Belegzahlen ergeben, daß für Milchviehställe 30–40 mm Polystyrol-Extruderschäum wirtschaftlich sinnvoll sind.

Es stellt sich nun die Frage, ob die errechneten Dämmschichtdicken den Mindest-Wärmeschutz zur Vermeidung von Oberflächenkondensation garantieren. Tab. 10 zeigt, daß dafür etwa 40 mm Polystyrol-Extruderschäum notwendig sind.

3. Wärmeschutz im Sommer

Um auch zu einer Aussage über den notwendigen Wärmeschutz im Sommer zu kommen, wurde mit Hilfe einer Wärme-

Tabelle 3: *Rechenwerte für den Modellstall*
Abmessungen: 30×12,5×3 m,
25° Dachneigung

Bauteil	Fläche (m ²)	Ausgangsk-Wert (W/m ² K)
Wand	233,5	1,06
Dachdecke	414	5,5
Fenster	30	2,7
Türen, Tore	27,5	0,83

Tabelle 4: *Rechenwerte nach DIN 18910 für die Belegung mit 48 Milchkühen von 600 kg Masse*

Wärmeanfall je Tier:	986 W
Wasserdampfanfall je Tier:	356 g/h
Temperatur der Stallluft:	10 °C
rel. Feuchte der Stallluft:	80%

Es wird Feuchtesteuerung des Lüftungsvolumenstromes und Temperatursteuerung der Heizung vorausgesetzt.

Tabelle 5: *Rechenwerte für den Wärmedämmstoff und die Heizung*

Wärmedämmstoff:	Polystyrol-Extruderschäum	
Wärmeleitfähigkeit	0,035	W/(mK)
Flächenpreis	0	DM/m ²
Volumenpreis	600,-	DM/m ³
Instandhaltung, Reparaturen		
(in % des Kaufpreises)	0	%
Haltbarkeit	20	Jahre
Heizgeräte:		
Ölheizung	3325,-	DM
Heizlüfter-Mehrpreis	980,-	DM/Stck.
Heizlüfter-Steuerung (für je 2 Heizlüfter)	1015,-	DM/Stck.
Instandhaltung, Reparaturen		
(in % des Kaufpreises)	2	
Heizöl	0,108	DM/kWh
	(entspricht 0,80 DM/l)	
elektrischer Strom	0,20	DM/kWh
Haltbarkeit	20	Jahre

Tabelle 6: *Sonstige Rechenwerte*

Zinssatz i:	5%/Jahr
Energiepreissteigerungsfaktor j:	5%/Jahr
Betrachtungszeitraum N:	20 Jahre
rel. Feuchte im Außenraum:	100%

Die Rechenwerte für die Außentemperatur wurden Häufigkeitsverteilungen (Mittelwerte über den Zeitraum 1951–1970) entnommen.

Tabelle 7: *Minimale Jahreskosten für den Ausgleich der Wärmeenergiebilanz des Modellstalles durch Wärmedämmung und Heizung*
Belegung mit 48 Milchkühen, Standort: München

Ausgleich der Wärmeenergiebilanz durch	Gesamt	Jahreskosten		Wärme- energie	Dämmschicht- dicke (mm)
		Wärme- dämmung (DM/Jahr)	Heizgerät		
Elektrische Heizung	16 078	—	777*	15 301	—
Ölheizung	8 597	—	334	8 263	—
Wärmedämmung + elektr. Heizung	1 162	597	298**	267	30
Wärmedämmung + Ölheizung	1 022	398	334	290	20

* 6 Heizlüfter (+ 3 Regler)

** 2 Heizlüfter (+ 1 Regler)

Tabelle 8: *Minimale Jahreskosten und zugeordnete Dämmschichtdicken für verschiedene Standorte*
Ausgleich der Wärmeenergiebilanz durch Wärmedämmung und Ölheizung; Belegung mit
48 Milchkühen

Standort	Gesamt	Jahreskosten		Wärme- energie	Dämmschicht- dicke
		Wärme- dämmung (DM/Jahr)	Heizgerät		
Oberstdorf	1260	597	334	329	30
München	1022	398	334	290	20
Hamburg	835	398	334	103	20

Tabelle 9: *Veränderung der jährlichen Gesamtkosten und der zugeordneten Dämmschichtdicke mit dem Energiepreis-Steigerungsfaktor j*
Ausgleich der Wärmeenergiebilanz durch Wärmedämmung und Ölheizung; Belegung mit
48 Milchkühen; Standort: München

	Energiepreis-Steigerungsfaktor j (%/Jahr)				
	0	5	10	15	20
Gesamtkosten (DM/Jahr)	988	1022	1230	1388	1609
Dämmschichtdicke (mm)	20	20	30	30	40

strombilanzierung unter der vereinfachten Annahme stationärer Verhältnisse berechnet, welche Temperaturen sich im Stall einstellen, wenn die Außentemperatur sich verändert und eine Dachfläche voll der Wärmestrahlung der Sonne ausgesetzt ist. Gerechnet wurde mit einem Wärmestrom der Sonne von 500 W/m^2 , von dem 70% in den Stall einfließen sollen, sowie mit dem Wert des Lüftungs-Volumenstromes für den Sommer nach DIN 18910. Die Modellrechnung ergab die in Abb. 1 dargestellten Abhängigkeiten der Stalltemperatur von der Außentemperatur. Es wird deutlich, daß die wirtschaftlich noch sinnvolle, den Mindest-Wärmeschutz sicherstellende Dämmschichtdicke von 40 mm

auch aus der Sicht des sommerlichen Wärmeschutzes anzustreben ist. Es wird damit erreicht, daß die Stalltemperatur zumindest bei Außentemperaturen unter 25° C Werte unter etwa 30° C annimmt, bei denen die tierische Leistungsfähigkeit noch einigermaßen erhalten bleibt, wie Abb. 2 zeigt. Eine 40 mm dicke Dämmschicht aus Polystyrol-Extruderschäum ist damit sowohl als winterlicher als auch als sommerlicher Wärmeschutz im Dachdeckenbereich sinnvoll. Diese Wärmedämmung im Dachdeckenbereich von Milchviehställen, allerdings meistens mit dickeren Dämmschichten, ist im süddeutschen Raum eingeführt, nicht dagegen in Norddeutschland. Der Vergleich der mittleren Zahl der Stunden

im Jahr mit Außentemperaturen über 20 bzw. 25° C in Tab. 11 kann dafür eine Erklärung aus der Sicht des sommerlichen Wärmeschutzes geben. Hinzu kommt sicherlich noch, daß der stärkere Wind im norddeutschen Flachland zu einer Wärmelastung im Stall beiträgt.

4. Vergleich mit der Wärmerückgewinnung

Es bleibt nun noch die Frage zu beantworten, ob nicht die Wärmerückgewinnung in Luft/Luft-Wärmetauschern eine wirtschaftlichere Alternative oder Ergänzung zur Wärmedämmung ist. Auch diese Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ist über die jährlichen Gesamtkosten und mit dem EDV-Rechenprogramm möglich (2).

Als Rechenwerte für den ausgewählten, handelsüblichen Kunststoffplatten-Wärmetauscher wurden außer den Abhängigkeiten der Rückwärmzahl \varnothing_t (aus der sich die Temperatur ϑ_z der im Wärmetauscher erwärmten Zuluft aus den Temperaturen im Außenraum und Stall ϑ_a bzw. ϑ_i nach folgender Gleichung berechnet: $\vartheta_z = \vartheta_a + \varnothing_t [\vartheta_i - \vartheta_a]$) und des Druckverlustes vom Massen- bzw. Volumenstrom der Lüftung nach Abb. 3 angesetzt:

Kaufpreis ohne Ventilator 3200,- DM
 Instandhaltung, Reparaturen 64,- DM/Jahr
 Haltbarkeit 20 Jahre

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tab. 12 zusammengestellt. Es zeigt sich, daß Wärmerückgewinnung allein keine wirtschaftliche Alternative ist. Die Kombination Wärmedämmung, Wärmetauscher und Ölheizung ist zwar mit um etwa 12% höheren Gesamtkosten verbunden, also nicht wirtschaftlicher, es bleibt aber zu überlegen – und diese Überlegungen werden in der Praxis schon angestellt –, ob diese Kombination nicht doch vorzuziehen ist, um im Winter eine bessere Durchlüftung des Stalles zu ermöglichen. Damit würde der Stall zu einem angenehmeren Arbeitsplatz für den Menschen, es könnte zudem durchaus sein, daß die dann geringere Feuchte sowie die verringerten Schadgaskonzentrationen und die erhöhte

Tabelle 10: Mindest-Wärmeschutz zur Vermeidung von Oberflächenkondensation bei einem Milchviehstall an verschiedenen Standorten Wärmedämmung mit Polystyrol-Extruderschäum

Standort	Höchst-k-Wert W/(m ² K)	Mindest-Dämmschichtdicke (mm)
Hamburg	0,88	34
München	0,81	37
Oberstdorf	0,75	41

Tabelle 11: Vergleich der mittleren Zahl der Stunden im Jahr mit Außentemperaturen über 20 bzw. 25° C

Ort	Mittlere Zahl der Stunden im Jahr mit Außentemperaturen über 20° C	25° C
Hamburg	493	86
München	703	170

Sauerstoffkonzentration der Stallluft zu einer quantitativen, möglicherweise sogar qualitativen Verbesserung der tierischen Produktion führen. Diese Auswirkung würde dann in die Wirtschaftlichkeitsrechnung eingehen. Leider stehen zur Zeit keine Daten für diese Zusammenhänge zur Verfügung.

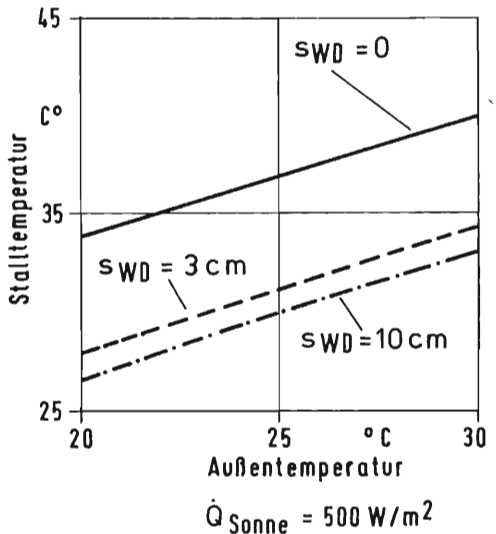


Abb. 1: Veränderung der Temperatur im Modellstall mit der Außentemperatur bei unterschiedlichen Dämmschichtdicken s_{wD} in der Dachdecke

Tabelle 12: Minimale Jahreskosten für den Ausgleich der Wärmeenergiebilanz des Modellstalles durch Wärmedämmung bzw. Wärmerückgewinnung (mit einem Kunststoff-Plattenwärmetauscher) und Ölheizung
Belegung mit 48 Milchkühen, Standort: München

Ausgleich der Wärmeenergiebilanz durch	Gesamt	Wärmedämmung	Jahreskosten Wärmetauscher (DM/Jahr)	Heizgerät	Wärmeenergie
Ölheizung	8597			334	8263
Wärmedämmung + Ölheizung	1022	398		334	290
Wärmetauscher + Ölheizung	7723		586	334	6803
Wärmedämmung + Wärmetauscher + Ölheizung	1140	398	265	334	143

Tabelle 13: Komponenten des Wärmehaushaltes eines landwirtschaftlichen Betriebes

Wärmequellen	Wärmeverbraucher
* Heizöl, Heizgas, el. Strom	* Raumheizung – Betriebsgebäude – Wohnhaus
* Wärmedämmung	* Warmwasserbereitung – Betrieb – Wohnhaus
* Stallabwärme	* Trocknung
* Holz, Stroh	
* Biogas	
* Sonnenstrahlung	
* Milchwärme	

trachtungsweise ist nicht nur nützlich, sondern notwendig. Der Wärmehaushalt eines Stalles muß als Teil des umfassenden Wärmehaushaltes eines landwirtschaftlichen Betriebs eingeordnet werden, wie in Tab. 13 dargestellt ist. Es kann – dies wird ja gerade bei Milchviehställen getan – dem Stall Wärme entzogen werden, um damit den Wärmebedarf an anderer Stelle, z. B. im Wohnhaus, abdecken zu können. Untersucht man die Wärmedämmung der Stallhülle von diesem umfassenderen Standpunkt aus – und dies ist u. a. Ziel eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsvorhabens –, kann es sein, daß die Kennwerte des wirtschaftlichen Wärmeschutzes neu festzulegen sind.

5. Folgerungen und Zusammenfassung

Aus diesen Überlegungen zeigt sich, daß bei der Entscheidung zu Investitionen nicht allein die Wirtschaftlichkeit, sondern auch umfassendere Betrachtungen maßgebend sein können. Diese erweiterte Be-

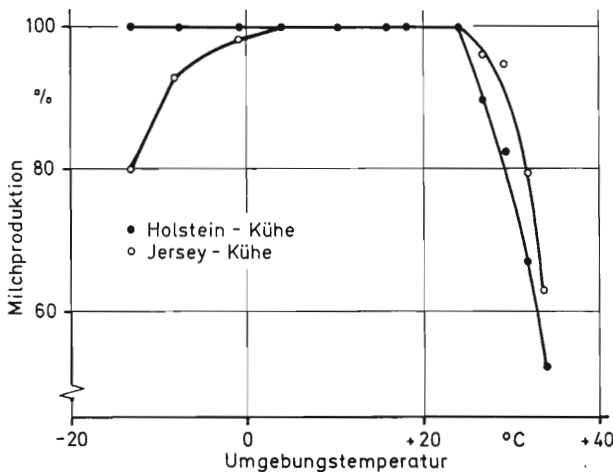


Abb. 2: Milchproduktion von Kühen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (nach YECK und STEWART, 1959)

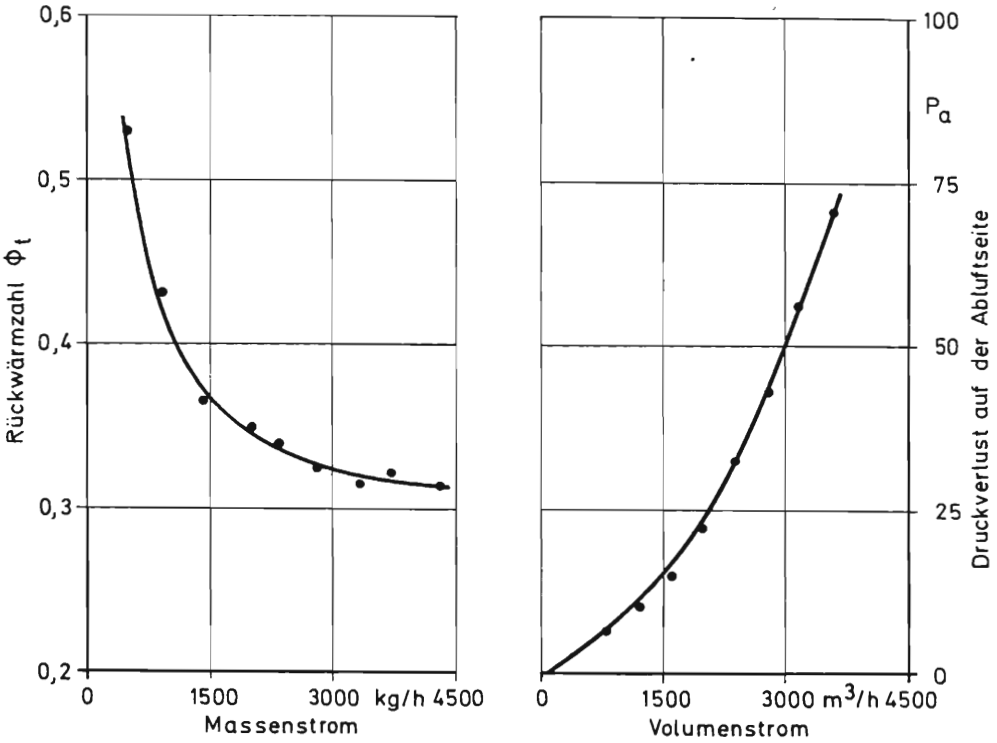


Abb. 3: Technische Kennwerte eines Kunststoff-Plattenwärmetauschers (nach Vogt)

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die Methode der Minimierung der jährlichen Gesamtkosten zum Ausgleich der Wärmeenergiebilanz eines Stalles eine praxisgerechte Methode ist, um Kennwerte für den wirtschaftlichen Wärmeschutz des Stalles im Winter zu ermitteln. Berechnungen und Vergleiche mit den Anforderungen des Mindest-Wärmeschutzes zur Vermeidung von Oberflächenkondensation und des sommerlichen Wärmeschutzes ergeben für einen Milchviehstall, daß bei Wärmedämmung der Dachdecke mit Polystyrol-Extruderschäum im süddeutschen

Raum eine Dämmschichtdicke von 40 mm vorzusehen ist. Dieser Wert ist möglicherweise neu festzusetzen, wenn die Stallwärme auch zum Ausgleich von Wärmedefiziten in anderen Bereichen eines landwirtschaftlichen Betriebes genutzt wird.

Literaturverzeichnis

1. Englert, G.: Wirtschaftliche Optimierung der Wärmedämmung von Ställen. *Grundl. Landtechnik* 31 (1981), 4, 109–116.
2. -: Zur Wirtschaftlichkeitsprüfung des Einsatzes von Luft/Luft-Wärmetauschern in Ställen. *Grundl. Landtechnik* 33 (1983), 4, 90–97.

Fütterungstechnische Maßnahmen zur Optimierung der Grundfutteraufnahme

Von Frieder Schwarz und Manfred Kirchgessner

Wirtschaftseigenes Grundfutter genießt in der Rationsgestaltung für Milchkühe aus zwei Gründen seit jeher vorrangige Beachtung. Zum einen lassen sich die Nährstoffe im Grundfutter kostengünstiger erzeugen als im Krafffutter, so daß ein hoher Grundfutteranteil wesentlich zur Senkung der Produktionskosten beiträgt. Zum anderen stellt das Grundfutter eine sichere Basis für eine wiederkäuergerechte, artgerechte Fütterung dar. Demnach ist eine richtige Fütterungsstrategie nach einer möglichst hohen Grundfutteraufnahme auszurichten. Allerdings unterliegt der Futterverzehr von Wiederkäuern verschiedenen Einflußfaktoren, die ihn meßbar verändern können. Grundsätzlich ist zwischen physiologischen, „vom Tier bedingten“ und nutritiven, „vom Futter bedingten“ bzw. durch technische Maßnahmen im Hinblick auf das Futter mitbestimmten“ Einflußgrößen zu unterscheiden. Zu den physiologischen Faktoren zählen Lebendgewicht und Ernährungsstatus, Trächtigkeits- und Laktationsstatus, Alter bzw. Anzahl der Abkalbungen sowie die Milchleistung. Experimentelle Daten dazu wurden in einigen neueren Arbeiten vorgelegt (LINDNER u. a., 1981; SCHWARZ u. KIRCHGESSNER, 1985). In der vorliegenden Arbeit werden als Beispiele für nutritive Einflußgrößen drei Bereiche, nämlich Futterbereitstellung, Grundfutterqualität und Wechselbeziehung zum Krafffutterangebot, vorgestellt, um Möglichkeiten zur Maximierung der Grundfutteraufnahme und zur richtigen Einschätzung der Höhe des Grundfutterverzehrs aufzuzeigen.

1. Futterbereitstellung

1.1 Futterangebot

Eine maximale Grundfutteraufnahme wird nur bei ad-libitum-Vorlage in Verbindung mit ausreichend langen Freßzeiten

erreicht. Diese Grundvoraussetzung einer freien Futteraufnahme ist unter praktischen Bedingungen nicht immer gegeben. Bei zweimaliger Grundfuttervorlage mit einer auf insgesamt sieben Stunden täglich beschränkter Fütterungszeit werden um 1,1 kg Futter-Trockenmasse (T) weniger gefressen als bei sechsmaliger Verabreichung des Grundfutters mit täglich etwa 24stündiger Vorlage (LINDNER u. a., 1979). Freßzeiten bzw. Zugangsmöglichkeiten zum Futter von wenigstens sieben bis acht Stunden pro Mahlzeit sollten daher eingehalten werden. Dabei bringt die Portionierung des Grundfutters gegenüber der ad-libitum-Fütterung pro Mahlzeit keinen weiteren Vorteil mehr für die Futteraufnahme (HEMMINGER u. KIRCHGESSNER, 1972), vorausgesetzt die Futterqualität ist gleichbleibend hoch.

1.2 Reihenfolge der Futtervorlage

Aufgrund der unterschiedlichen Rohnährstoffgehalte in Grund- und Krafffutter wird sich je nach Vorlage dieser Futterkomponenten die Fettsäurenflutung und das pH-Milieu in den Vormägen verändern. So konnten VOIGT u. a. (1978) nachweisen, daß durch die Fütterung von Halmfutter 90 Minuten vor der Getreidevorlage der mittlere tägliche pH-Wert im Pansen angehoben wird und über 24 Stunden hinweg gleichmäßig verläuft, was bei umgekehrter Reihenfolge nicht der Fall ist. Krafffutter sollte daher nicht auf blanken Trog, sondern in der Reihenfolge Rauhfutter, dann Saft- und zuletzt Krafffutter verabreicht werden. Auswirkungen auf die Grundfutteraufnahme der Milchkuh wurden bei geringen täglichen Krafffuttergaben von 2–3 kg zwar nicht festgestellt (KIRCHGESSNER u. HEMMINGER, 1972), sind aber bei höheren Mengen zu erwarten. Unterschiedliche Grundfutterkomponenten können im Tagesablauf alternierend zu

den verschiedenen Mahlzeiten verabreicht werden. Kühe haben jedoch ein sehr selektives Freßverhalten (COPPOCK u. a., 1974). Bei getrennter Vorlage von Mais- bzw. Grassilage jeweils nur zu einer Mahlzeit wird Maissilage mit 7,1 kg T pro Kuh gegenüber Grassilage mit 4,7 kg T bevorzugt gefressen (Tab. 1; KIRCHGESSNER u. a., 1981). Demgegenüber wird bei Verabreichung dieser Grundfutterkomponenten zu jeder Mahlzeit in Mischung die Selektion bei mittleren Verzehrstraten von 6,3 kg T-Maissilage und 6,0 kg T-Grassilage unterbunden, die tägliche Grundfutteraufnahme insgesamt deutlich auf 12,3 kg T pro Kuh angehoben und die Milchleistungsparameter (Milchmenge, Fettgehalt) verbessert. Die verschiedenen Grundfutterkomponenten sollten daher zu jeder Mahlzeit gleichmäßig angeboten werden.

1.3 Vorlage von Futtermischungen

Für eine Fütterung mit geringem Arbeitsaufwand hat sich der Futtermisch- und -verteilwagen als vorteilhaft erwiesen (PIRKELMANN, 1982). In diesem Zusammenhang wurde überprüft, inwieweit die Vorlage verschiedener Grundfutterkomponenten unterschiedlicher Qualität einzeln zu jeder Mahlzeit oder in Mischung die verschiedenen Leistungsparameter von Milchkühen verändert (s. Abb. 1, SCHWARZ u. KIRCHGESSNER, 1982a). Bei Verwendung einer minderwertigen Grundfutterkomponente (VR 1,

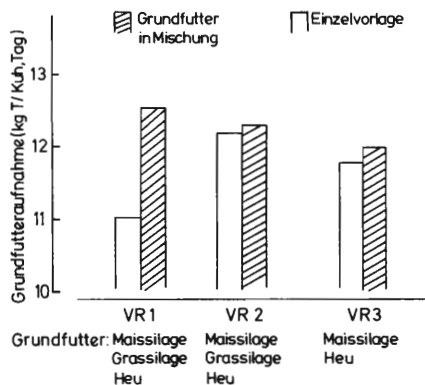


Abb. 1: Grundfutteraufnahme bei Verabreichung des Futters einzeln oder in Mischung

Grassilage mit 32% Rohfaser i. d. T, T-Gehalt 50%) wurden mit der Futtermischung insgesamt nahezu 1,5 kg T mehr verzehrt als bei Einzelvorlage. Eine weniger beliebte Futterkomponente wird nämlich in Mischung eher mitgefressen, so daß die Gesamtaufnahme steigt. Bei Verfütterung von qualitativ hochwertigem Grundfutter in ausreichender Menge zu jeder Mahlzeit wird dagegen durch Mischung ein bereits sehr hoher Grundfutterverzehr von etwa 12 kg nicht mehr deutlich gesteigert. Die Einmischung höherer Kraftfuttermengen in das Grundfutter wirkt sich sogar eher depressiv auf den Grundfutterverzehr aus (SCHWARZ u. KIRCHGESSNER, 1982a; SCHWARZ u. a., 1983). Andere Untersuchungen, allerdings unter stark veränderten Fütterungsbedingungen, zeigen jedoch (z. B. kraftfutreiche, strukturarmer Rationen auf einem hohen Fütterungsniveau), daß durch Verfütterung von Grund- und Kraftfutter in Mischung eine Stabilisierung des Pansenmilieus erwartet werden kann (PARDUE u. a., 1975; KROHN u. ANDERSEN, 1979; GREENHALGH u. REID, 1980; WRAY, 1980).

Tab. 1: Leistungskriterien bei unterschiedlicher Vorlage von Mais- und Grassilage

	Mais- und Grassilage in Mischung (zu jeder Mahlzeit)	Mais- und Grassilage alternierend (jeweils nur zu einer Mahlzeit)
1. Futteraufnahme (kg T/Kuh, Tag)		
Grundfutter insgesamt	12,3	11,8
Maissilage	6,3	7,1
Grassilage	6,0	4,7
2. Milchleistung		
Milchmenge (kg/Kuh, Tag)	18,8	18,1
Fettgehalt (%)	3,84	3,76
Eiweißgehalt (%)	3,70	3,68

2. Grundfutterqualität

Die Qualität des Grundfutters ist als entscheidende Einflußgröße für die Höhe der Grundfutteraufnahme anzusehen. Mit dem Begriff „Qualität“ werden jedoch verschiedene Kriterien wie Verdaulichkeit der organischen Substanz, Energiedichte,

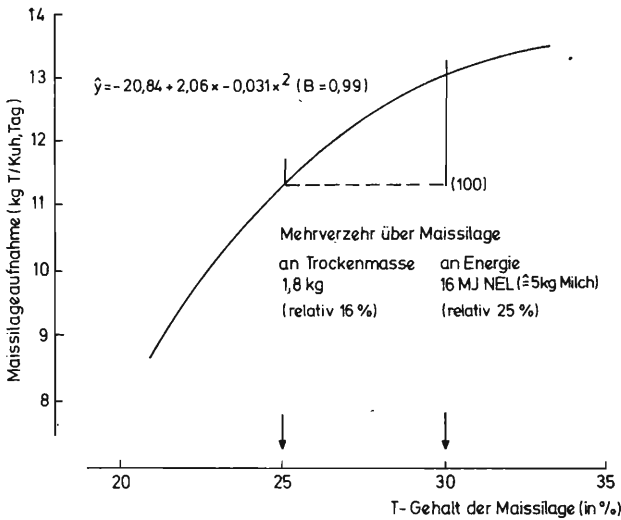


Abb. 2: Aufnahme an Maissilage von Milchkühen in Abhängigkeit des T-Gehaltes der Maissilage

T-Gehalt, Schmackhaftigkeit oder Futterstruktur umschrieben. Je nach Grundfütterart wird die Verzehrrate unterschiedlich durch diese Kriterien verändert. Einen sehr wichtigen Qualitätsmaßstab stellt die Verdaulichkeit der organischen Substanz und in Verbindung damit die Energiedichte des Grundfutters dar. Anhand eines umfassenden, regressionsanalytisch ausgewerteten Datenmaterials konnte bei einem Anstieg in der Energiedichte des Grundfutters um 0,5 MJ NEL/kg T ein Mehrverzehr von 1,5 kg Grundfutter-T geschätzt werden (SCHWARZ u. KIRCHGESSNER, 1985). Für die Milchkuh wirkt sich dies in zweifacher Weise positiv aus, da neben der steigenden Futteraufnahme die Energieversorgung aufgrund der höheren Energiedichte des verzehrten Futters überproportional zunehmen wird.

Bereits CONRAD u. a. (1964) konnten in ihren Untersuchungen einen nahezu linearen Anstieg der Grundfutteraufnahme bis zu einer Verdaulichkeit der organischen Substanz von 67 bis 70% nachweisen. Da im Bereich niedriger Verdaulichkeit vorwiegend physikalisch-mechanische Faktoren die Futteraufnahme steuern, besteht eine enge Beziehung zur Pansenfüllung. Je kürzer also die Verweildauer des Futters im Pansen, d. h. je höher die Passagerate ist,

desto höher wird die Grundfutteraufnahme sein.

2.1 T-Gehalt von Maissilagen

In neueren Arbeiten (KIRCHGESSNER u. a., 1983; BÖHM u. a., 1984; SCHWARZ u. a., 1984; SEIDL, 1984) konnte beobachtet werden, daß die Aufnahme von Maissilage vor allem vom T-Gehalt bestimmt wird. Abb. 2 zeigt einen kurvilinearen Anstieg im Verzehr von Maissilage zwischen Milchreife (etwa 20% T) bis über die Teigreife hinaus (33%). Mit höheren Reifegraden (> 30%) flachen die Zunahmeraten jedoch etwas ab. Als Ursache für den starken Einfluß des T-Gehaltes von Maissilage auf die Verzehrsmenge dürfte vor allem die Veränderung der Inhaltsstoffe zu diskutieren sein. Mit zunehmender Reife und einem sich verengenden Verhältnis von Kolben zu Restpflanze nehmen nämlich die Gehalte an N-freien Extraktstoffen zu, die Rohfasergehalte ab. Die Unterschiede in der Verdaulichkeit der organischen Substanz bewegen sich dabei mit 69 bis 74% zwar in einem relativ engen Bereich (BÖHM u. a., 1983), die Energiedichte steigt jedoch von 5,6–5,8 MJ NEL/kg T bis auf 6,5–6,7 MJ NEL/kg T deutlich an. Die vorliegenden Daten zeigen außerdem, daß in maissilage-reichen Rationen bei geringen Heuanteilen

von etwa 1 kg T die Grundfutteraufnahme von Kühen im mittleren Laktationsbereich 14–15 kg T betragen kann. In Verbindung mit der hohen Energiedichte dieses Grundfutters ist damit energetisch eine Milchherzeugung von 16–18 kg einschließlich Erhaltung möglich (Abb. 3; BÖHM u. a., 1984). Unter Einbeziehung der notwendigen Rohproteinergänzung (z. B. durch Sojaextraktionsschrot) wird die erreichbare Milchleistung nochmals ansteigen. Diese oder ähnliche Grundfutterrationen stellen für alle Kühe zu Laktationsbeginn und für Hochleistungskühe über einen weiten Laktationsbereich die beste Futterbasis dar, um ein Energiedefizit zu vermeiden und hohe Gehalte an Milchinhaltsstoffen zu gewährleisten. Allerdings besteht in Abhängigkeit des Leistungsniveaus mit fortschreitendem Laktationsstadium auch die Gefahr einer zunehmenden Überversorgung und Verfettung der Milchkühe. Für die Fütterungstechnik ergibt sich daraus in zunehmendem Maße die Notwendigkeit, auch das Grundfutter rationiert oder in seiner energetischen Zusammensetzung variierend je nach Milchleistung (Laktationsstadium) zuzuteilen.

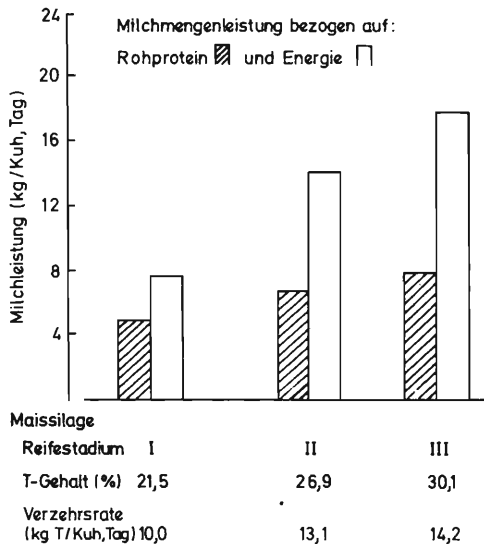


Abb. 3: Milchmengenleistung aus dem Grundfutter bei ad-libitum-Verfütterung von Maissilage mit unterschiedlichen T-Gehalten und einem Heuanteil von 1 kg in der Ration

Tab. 2: Einfluß der Häcksellänge auf die Grundfutteraufnahme von Kühen

1. Grassilage	Häcksellänge		
	„fein“ (5 mm)	„grob“ bis	„lang“ (22 mm)
Futteraufnahme (kg T/Kuh, Tag)			
Versuch 1	12,4	11,7	9,4
Versuch 2	11,2	10,2	9,2
2. Maissilage	4 mm	7 mm	15 mm
Futteraufnahme (kg T/Kuh, Tag)	12,4	12,5	12,6

2.2 Häcksellänge und Zerkleinerungsgrad von Maissilage

Die Teilchengröße von konserviertem Grundfutter kann entsprechend dem jeweiligen technischen Aufbereitungsverfahren erheblich variieren. Starkes Zerkleinern von Gärfutter erhöht die Lagerungsdichte, vermindert das Entmischen von Stengel-, Blatt- und Kornanteilen und fördert durch den verstärkten Aufschluß der pflanzlichen Zellen einen schnellen, intensiven Gärverlauf. Für die Silierung verringern sich damit die Nährstoffverluste und das Risiko von Nachgärungen. Für den Wiederkäuer erhöhen sich Fermentations- und Passagerate des Futters, wodurch eine verbesserte Futteraufnahme zu erwarten ist. Der Übergang von „sehr langem“ Häcksel zu „Exakthäcksel“ insbesondere bei Grassilage kann den täglichen Grassilageverzehr von Kühen um 1 bis 3 kg T steigern (Tab. 2, BRABANDER u. a., 1983). Dagegen werden bei Maissilagen durch geringere Häcksellängen eher ungünstige Auswirkungen hinsichtlich einer ausreichenden Futterstruktur diskutiert. Allerdings wurden in einem Fütterungsversuch mit Milchkühen weder die Futteraufnahme noch die Milchleistungsparameter durch Maissilagen (28,3% T) mit unterschiedlichen theoretischen Schnittlängen von 4, 7 und 15 mm beeinflusst (Tab. 2; SCHWARZ u. KIRCHGESSNER, 1982b). Die Kühe nahmen im Mittel täglich 12,4 bis 12,6 kg Grundfutter-T (Maissilage einschließlich 2 kg Heu) auf. Entscheidend für eine ausreichende Futterstruktur bei maissilage-

Tab. 3: Verzehrmengen und Zunahmen von Bullen bei der Mast mit unterschiedlich aufbereiteter Maissilage (T-Gehalt: 36,6%)

	Häcksellänge 4 mm		Häcksellänge 7 mm	
	ungequetscht	gequetscht	ungequetscht	gequetscht
Maissilageverzehr (kg T/Tier, Tag)	6,1	6,3	6,2	6,4
Tageszuwachs (g)	1269	1325	1189	1312
Mastendgewicht (kg) (gleiche Mastdauer von 301 Tagen)	578	597	553	591

reichen Rationen ist daher weniger die Aufbereitung des Häckselgutes als vielmehr die insgesamt hohe Grundfutteraufnahme bzw. die Relation von Grund- und Kraftfutter in der Gesamtration.

Für praktische Empfehlungen muß die richtige Häcksellänge von Silomais jeweils in Verbindung mit dem jeweiligen Reifegrad angegeben werden. Während Maissilage bis 27% T auf etwa 7 mm Länge gehäckselt werden sollte, kann bei höheren T-Gehalten die Häcksellänge weiter reduziert werden. Dabei gewinnt mit einem hohen, nahezu ausgereiften Kolbenanteil das Aufbrechen bzw. Zerkleinern aller Maiskörner zunehmend an Bedeutung. In einem Bullenmastversuch (s. Tab. 3, SCHWARZ u. a., 1985) konnte nachgewiesen werden, daß sich durch ein zusätzliches Aufbereiten („Quetschen“) der Maissilage (36,6% T) die mittleren Tageszunahmen im Vergleich zu unbehandeltem Siliergut mit 7 mm Häcksellänge deutlich von 1190 g auf etwa 1320 g verbesserten. Die Futteraufnahme wurde durch die Aufbereitung nicht verändert, die Energiebereitstellung aus dem gleichen Futter konnte jedoch – wie aus der Gewichtsentwicklung zu ersehen ist – erheblich angehoben werden.

3. Grundfutteraufnahme in Abhängigkeit des Kraftfutterangebotes

Die Höhe der Kraftfuttermenge vorlage kann den Grundfutterverzehr sehr deutlich beeinflussen. Ursache für diese als „Grundfuttermengeverdrängung“ bezeichnete Beobachtung ist im wesentlichen ein durch veränderte pH-Bedingungen im Pansen verschlechterter Abbau des rohfaserreichen Grundfutters. Die Passagerate des Nah-

rungsbreies nimmt ab, und als Folge wird weniger Grundfutter gefressen. Allerdings deutet sich damit an, daß je nach Art und vor allem je nach Verhältnis von Grund- und Kraftfutter in der Gesamtration unterschiedliche Auswirkungen auf die Höhe der Grundfuttermengeverdrängung auftreten werden.

Der Verlauf der Grundfuttermengeverdrängung bei zunehmenden Kraftfuttermengen ist anhand einer Schätzgleichung nach SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) in Abb. 4 dargestellt. Es handelt sich dabei um eine zusammenfassende regressionsanalytische Auswertung von insgesamt 235 Einzelbeobachtungen an Kühen mit mindestens zwei Abkalbungen. Grundfutter (Heu, Gras- und Maissilage bzw. Heu und Maissilage) mit einer mittleren Energiedichte von 5,9 MJ NEL/kg T wurde stets ad libitum vorgelegt, während die Kraftfuttermenge je nach Milchleistung zwischen 0,5 und 14 kg variierte. Die beste Anpassung der Grundfutteraufnahme (y in kg T) bei steigenden Kraftfuttermengen (x in kg T) ergibt sich aus einer quadratischen Gleichung ($y = 13,9 - 0,035 x^2$, $B = 0,49$, $P < 0,001$). Demnach dürfte bei Kraftfuttermengen bis zu 3–4 kg/Tag die Grundfuttermengeverdrängung zu vernachlässigen sein. Erst Kraftfuttermengen über 6 kg wirken zunehmend depressiv auf den Grundfutterverzehr. So wurden durch 6 kg Kraftfutter etwa 1 kg, durch 7–9 kg Kraftfutter bis 2,2 kg und durch 10–12 kg Kraftfutter bereits knapp 4 kg Grundfutter-T aus der Ration verdrängt. Auch einige weitere neuere Arbeiten (OSTERGAARD, 1979; BAUM, 1984; MENKE, 1984; BÖHM u. a., 1985) bestätigen den zunehmenden Verzehrrückgang von

Grundfutter bei steigenden Kraftfuttermengen. Dabei deutet sich zwar an, daß bei sehr energiereichem Grundfutter eher eine etwas höhere Grundfuttermengendrückung zu erwarten ist, allerdings dürfte von erheblicher Bedeutung sein, daß bei Verfütterung dieses qualitativ hochwertigen Grundfutters die notwendige Kraftfuttermenge eingeschränkt werden kann und die Grundfuttermengendrückung damit dennoch niedriger ausfällt.

Ein möglicher Zusammenhang von Laktationsstadium und Grundfuttermengendrückung wird durch die unterschiedlichen Kraftfuttermengen in den einzelnen Laktationsabschnitten verwischt. Es ist jedoch anzunehmen, daß bei einem engen Grund-/Kraftfutter-Verhältnis (z. B. bei Laktationsbeginn oder Erstlingskühen) die Grundfuttermengendrückung zunimmt (EKERN, 1972; SCHWARZ U. KIRCHGESSNER, 1985).

4. Schätzung der Grundfutteraufnahme

Genauere Kenntnisse über die Höhe der Grundfutteraufnahme sind für eine leistungsgerechte Rationsgestaltung von größter Bedeutung. Die Vorausschätzung des Grundfutterverzehr der Einzelkuh wird jedoch durch die Vielzahl der Einflußfaktoren erheblich erschwert. Daher muß eine Beschränkung auf wichtige, meßbare

Parameter erfolgen. SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) haben dazu in ihren Schätzgleichungen lediglich die Energiedichte des Grundfutters, die Höhe der Kraftfuttermenge, das Lebendgewicht und die Anzahl der Abkalbungen (Erstlingskuh bzw. Kühe mit mehreren Abkalbungen) verwendet (s. Tab. 4). Anhand des Bestimmtheitsmaßes dieser Gleichungen wird aber deutlich, daß nur etwa zwei Drittel der beobachteten Streuung in der Grundfutteraufnahme durch die einbezogenen Parameter erklärt werden konnten, obwohl das untersuchte Tiermaterial hinsichtlich Laktationsstadium und die Fütterungsbedingungen sehr einheitlich waren. Zur besseren Schätzung der Grundfutteraufnahme müssen insbesondere in der hochträchtigen Phase und zu Laktationsbeginn noch Korrekturen (Abschläge) vorgenommen werden. Unter praktischen Bedingungen können auch die als „Futterbereitstellung“ bezeichneten Faktoren die Streuung der Grundfutteraufnahme zusätzlich erhöhen, die allerdings stets so optimiert werden sollten, daß die maximal mögliche Aufnahme erzielt wird. Wichtigste Voraussetzung dürfte jedoch die Erfassung der Qualität des zu verfütternden Grundfutters anhand der Energiedichte und damit die richtige Erkennung der bestimmenden

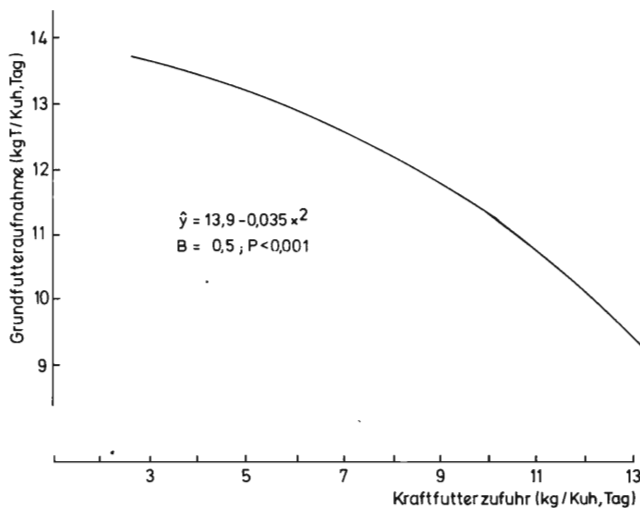


Abb. 4: Grundfutteraufnahme in Abhängigkeit des Kraftfuttermengenzehrs (Kühe mit mehreren Abkalbungen)

Tab. 4: Multiple Regressionsgleichungen zur Schätzung der Grundfutteraufnahme (\hat{y} in kg T je Kuh, Tag)

		B	P <
Erstlingskühe	$\hat{y} = -10,9 + 0,014x_1 + 2,30x_3$	0,78	P < 0,001
Kühe mit mehreren Abkalbungen	$\hat{y} = -1,3 + 4,64 \cdot 10^{-6}x_1^2 - 0,026x_2^2 + 2,15x_3$	0,65	P < 0,001

x_1 = Lebendgewicht in kg
 x_2 = Kraftfutteranteil in kg
 x_3 = Energiedichte in MJ NEL/kg T

Einflußgröße für die zu erwartende Grundfutteraufnahme sein.

Zusammenfassung

Die Höhe der Grundfutteraufnahme von Milchkühen wird durch physiologische („vom Tier bedingte“) und durch nutritive („vom Futter bedingte“ bzw. „durch technische Maßnahmen im Hinblick auf das Futter bedingte“) Einflußgrößen bestimmt. In der vorliegenden Arbeit werden als Beispiele drei Bereiche nutritiver Parameter vorgestellt, um Möglichkeiten zur Maximierung der Grundfutteraufnahme und der richtigen Einschätzung der Höhe des Grundfutterverzehrs aufzuzeigen.

1. Wichtige Maßnahmen des Bereiches „Futterbereitstellung“ sind ein ausreichendes Futterangebot unter Einhaltung von entsprechend langen Freßzeiten, die richtige Reihenfolge der Futtervorlage innerhalb einer Mahlzeit bzw. eines Tages und, unter bestimmten Bedingungen, die Herstellung von Futtermischungen.
2. Im Bereich „Grundfutterqualität“ sind je nach Grundfutterart verschiedene Kriterien zu beachten, wobei der Energiedichte des Grundfutters für eine hohe Verzehrrate die größte Bedeutung zukommt. Am Beispiel des Grundfutters Maissilage werden die Parameter T-Gehalt und Häcksellänge bzw. Aufbereitungsform im Hinblick auf die Grundfutteraufnahme näher erläutert.
3. Die Höhe der Kraftfuttergabe bzw. die Relation Grund- und Kraftfutter ist besonders wichtig für den Grundfutterverzehr. Entsprechende „Grundfutterverdrängungswerte“ werden vorgestellt.

4. Abschließend werden Schätzgleichungen zur Ermittlung der Grundfutteraufnahme diskutiert.

Literaturverzeichnis

- Baum, M. (1984): Langfristige Untersuchungen an Milchkühen über Grundfutterverzehr und Milchleistung bei Zuteilung unterschiedlicher Kraftfuttermengen. Diss., Bonn.
- Böhm, M., Schwarz, F. J. und M. Kirchgeßner (1983): Zum Futterwert von Maissilage mit unterschiedlicher Reife bei der Silierung. Bayer. Landw. Jb. 60, 893–902.
- , Kirchgeßner, M. und F. J. Schwarz (1984): Futteraufnahme und Milchleistung von Kühen bei Verfütterung von Maissilage mit unterschiedlicher Reife und verschiedenen Heumengen. 3. Mitteilung: Einsatz von Maissilage (Ende der Teigreife) zusammen mit variierenden Heuanteil. Wirtschaftseig. Futter 30, 14–25.
- , – u. – (1985): Maissilage als energiereiches Grundfutter für hochlaktierende Kühe. Züchtungskunde 57, 58–68.
- de Brabander, D. L., Aerts, J. V., Boucque, C. V. und F. X. Buysse (1983): Influence de la finesse de hachage de l'ensilage d'herbe préfanée sur l'ingestion et les résultats de production chez la vache laitière. Revue Agric. 36, 107–122.
- Conrad, H. R., Pratt, A. D. und J. B. Hibbs (1964): Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. J. Dairy Sci 47, 54–62.
- Coppock, C. E., Everett, R. W., Smith, N. E., Slack, S. T. und J. P. Harner (1974): Variation in forage preference in dairy cattle. J. Anim. Sci. 39, 1170–1179.
- Ekern, A. (1972): Roughage intake in high yielding cows when fed grass silage ad libitum. Meldinger fra Norges landbrukskole 51, No. 32.
- Greenhalgh, J. F. D. und G. W. Reid (1980): Complete diets for dairy cows: comparison of

- feeding to appetite with rationing according to milk yield. *J. Agric. Sci.* 94, 715–727.
- Hemminger, R. und M. Kirchgeßner (1972): Fütterungstechnische Einflüsse auf die Silageaufnahme des Rindes. *Wirtschaftseig. Futter* 18, 119–121.
- Kirchgeßner, M. und R. Hemminger (1972): Zur Reihenfolge der Futtermittel in der Milchviehfütterung. *Wirtschaftseig. Futter* 18, 1–3.
- , Schwarz, F. J. und H. P. Lindner (1981): Feed consumption and performance of dairy cows with alternate feedings of grass silage and maize silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 6, 337–346.
- , Böhm, M. und F. J. Schwarz (1983): Futteraufnahme und Milchleistung von Kühen bei Verfütterung von Maissilage mit unterschiedlicher Reife und verschiedenen Heumengen. 1. Mitteilung: Einsatz von Maissilage (Beginn der Milchreife) zusammen mit variierenden Heuanteilen. *Wirtschaftseig. Futter* 29, 220–232.
- Krohn, C. C. und P. E. Andersen (1979): Rations with beet or barley fed separately or in complete ration for dairy cows. 480. Beretning fra Statens Husdyrbrug forsog. Kopenhagen.
- Lindner, H. P., Kirchgeßner, M. und F. J. Schwarz (1979): Zur Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen bei unterschiedlicher Fütterungsfrequenz von Grund- und Kraftfutter. *Züchtungsk.* 51, 215–226.
- , – u. – (1981): Zur Futteraufnahme von Kühen in Abhängigkeit von der Milchleistung. *Züchtungsk.* 53, 99–112.
- Menke, K. H. (1984): Bedeutung der Grundfutterqualität für die Futteraufnahme und Grundfutterverdrängung, in: 10. Hülsenberger Gespräche, Hamburg, 147–160.
- Ostergaard, V. (1979): Strategies for concentrate feeding to attain optimum feeding level in high yielding dairy cows. 482. Beretning fra Statens Husdyrbrugs forsog. København.
- Pardue, F. E., Fosgate, O. T., O'Dell, G. D. und C. C. Brannon (1975): Effects of complete ensiled ration on milk production, milk composition, and rumen environment of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 58, 901–906.
- Pirkelmann, H. (1982): Leistungskriterien von Futtermischwagen und Hinweise zum Einsatz von Futtermischungen. *Tierzüchter* 34, 346–350.
- Schwarz, F. J. und M. Kirchgeßner (1982a): Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen bei Verfütterung des Grundfutters einzeln oder in Mischung. *Wirtschaftseig. Futter* 28, 84–96.
- und – (1982b): Häcksellänge von Maissilage und ihr Einfluß auf Futteraufnahme und Milchleistung. *Wirtschaftseig. Futter* 28, 97–106.
- , Böhm, M. und M. Kirchgeßner (1983): Zum Einsatz von Futtermischungen in der Milchviehfütterung und deren Einfluß auf Futteraufnahme und Milchleistung. *Bayer. Landw. Jahrb.* 60, 387–395.
- , – und – (1984): Futteraufnahme und Milchleistung von Kühen bei Verfütterung von Maissilage mit unterschiedlicher Reife und verschiedenen Heumengen. 2. Mitteilung: Einsatz von Maissilage (Beginn der Teigreife) zusammen mit variierenden Heuanteilen. *Wirtschaftseig. Futter* 30, 5–13.
- , Kirchgeßner, M. und W. Heimbeck (1985): Zum Einfluß von Häcksellänge und Aufbereitung von Maissilage auf Mast- und Schlachtleistung von Jungbullen. *Wirtschaftseig. Futter* 31, 5–19.
- und – (1985): Grundfutteraufnahme von Milchkühen in Abhängigkeit von Lebendgewicht, Zahl der Laktationen, Kraftfutterzufuhr und Grundfutterqualität. *Züchtungsk.* 57, 267–277.
- Seidl, R. (1984): Weihenstephan, Techn. Univ. München, Diplomarbeit.
- Voigt, J., Piatkowski, B. und R. Krawielitzki (1978): Die Wirkung der Reihenfolge von Grobfutter und Konzentraten in der Fütterung auf die Kohlenhydratverdauung und bakterielle Proteinsynthese im Pansen der Milchkühe. *Arch. Tierernährg.* 28, 67–76.
- Wray, J. P. (1980): The effect of mixture of dietary ingredients on food intake by dairy cows. *Animal Prod.* 30, 500.

Techniken zur leistungsgerechten Rinderfütterung

Von Heinrich Pirkelmann

Die leistungsgerechte Fütterung ist in ernährungsphysiologischen und ökonomischen Forderungen begründet. Leistung, Gesundheit und Fruchtbarkeit können langfristig nur gewährleistet werden, wenn die Nährstoffzufuhr über das Futter dem Bedarf der Tiere entspricht. Durch Vermeidung von Unter- und Überfütterung wird einerseits das genetisch vorhandene Leistungspotential ausgeschöpft und andererseits einem unnötig hohen Futteraufwand entgegengewirkt. Sowohl die Leistungshöhe als auch die Futterkosten sind nämlich wichtige Einflußgrößen für den wirtschaftlichen Erfolg in der Milch- und Fleischproduktion.

Eine immer bedeutsamere Aufgabe der Fütterungstechnik ist es daher, neben der Berücksichtigung der nach wie vor wichtigen arbeitswirtschaftlichen Belange die Rationen in Menge, Zusammensetzung und in der Vorlagefrequenz nach ernährungsphysiologischen Erfordernissen zu verabreichen. Dies gilt sowohl für das Kraftfutter als auch für das Grundfutter, das als Basis jeder Rinderfütterung zu einem höchstmöglichen Anteil in der Ration enthalten sein sollte.

Voraussetzungen für die leistungsgerechte Fütterung

Leistungsgerechte Fütterung setzt die Kenntnis verschiedener Kenngrößen beim Tier und Futter voraus. Von Bedeutung sind dabei vor allem

- die Tierleistung
- die Futterinhaltsstoffe und
- die Futtermenge.

Die Verfügbarkeit und die technischen Möglichkeiten zur Gewinnung dieser Daten sind in den einzelnen Bereichen sehr unterschiedlich.

Hinsichtlich der Tierleistung ist bei der Fütterung von Milchkühen neben dem Bedarf für Erhaltung und Trächtigkeit die Milchleistung der bestimmende Faktor.

Ihre Ermittlung erfolgt üblicherweise durch die 4wöchentliche Stichprobe der Landeskontrollverbände. Die Leistungsdaten sind damit nur in relativ großen Zeitabständen verfügbar, die eine exakte Futteranpassung erschweren. Die automatisierte, tägliche Messung wird nunmehr durch Recorder mit Biegestäben oder die zukünftig bedeutsameren Durchflußmeßgeräte in Verbindung mit einem Identifizierungssystem ermöglicht. Diese Daten bieten nach Ausgleich der Streuung der Einzelgemelke über das gleitende Mittel oder eine Trendfunktion eine zuverlässige Basis zur leistungsgerechten Rationsanpassung.

Das Tiergewicht ist als begleitende Funktion zur Milchleistung bei der Fütterung von Kühen und zur Rationsbemessung bzw. Leistungskontrolle in der Masttierhaltung von Bedeutung. Die Datenerfassung ist auf Tierwaagen, die mit Versorgungseinrichtungen und einer elektronischen Tiererkennung kombiniert sind, oder in Durchlaufwaagen möglich. Aus den täglichen Meßwerten lassen sich nach Ausfilterung der Extremwerte und geeignete Auswertprogramme zuverlässige Aussagen über die kontinuierliche Gewichtsentwicklung machen.

Bei den Futterinhaltsstoffen liegen gute Informationen für das wirtschaftseigene und zugekaufte Kraftfutter vor. Beim Grundfutter bestehen bei einigen Früchten wie Silomais oder Futterrüben gesicherte Korrelationen zwischen dem leicht bestimmbareren TS-Gehalt und dem Energiewert, so daß zumindest gute Schätzwerte verfügbar sind. Für alle Halmfutterarten ist eine zuverlässige Aussage dagegen nur über Analysen in Untersuchungsanstalten möglich. Sie werden aber von vielen Landwirten wegen der Kosten und der Zeitdauer gescheut, obwohl methodische Verbesserungen (z. B. Cellulose-Methode, Hohenheimer Futterwerttest)

eingetreten sind. Schnellmethoden über Rückschlüsse aus physikalischen Eigenschaften wie z. B. die Mahlwiderstandsmethode sind in Bearbeitung, müssen aber die Bewährung für verschiedene Einsatzbereiche in der Praxis noch erbringen. Für Halmfutter wird daher noch auf längere Sicht auf die bekannten, mit vielen Unsicherheiten behafteten Einstufungen in die Futterwertabelle zurückgegriffen werden. Die Bestimmung der Futtermenge ist futterspezifisch zu sehen und hängt von den jeweiligen Fütterungstechniken ab.

Fütterungstechniken für Kraftfutter

Leistungsgerechte Fütterung bedeutet bei Kraftfutter immer eine exakte Mengengabe, unter vielen Einsatzbedingungen aus ernährungsphysiologischen Gründen aber auch eine häufigere Fütterungsfrequenz. Von den verschiedenen Technisierungsmöglichkeiten lassen alle handbedienten Geräte ohne zusätzliche Arbeitsbelastung ebenso wie die Melkstandfütterung nur die zweimalige Fütterung zu (Abb. 1). Die automatisierte und damit beliebig häufige Vorlage ermöglichen die stationären Dosieranlagen und die schienengeführten Dosierwagen im Anbindestall sowie die Abruffütterung im Laufstall. Der Einsatz der Futtermischwagen wird weniger vom

Kraftfutter bestimmt und soll deshalb näher beim Grundfutter erläutert werden.

Die nur zur Vorlage einer Futtersorte einsetzbaren stationären Anlagen besitzen eine gute Anpassungsfähigkeit in der Installation auch in schwierigen Stallsituationen. Um den Wartungsaufwand bei der Vielzahl der Dosiereinheiten zu reduzieren, verdienen Gewichtsdosierer den Vorzug vor der Volumendosierung. Die verwendeten, einfachen Balkenwaagen erreichen aber die für Kraftfutter angestrebte Dosiergenauigkeit mit max. Abweichungen von $\pm 5\%$ erst bei größeren Auswurfmengen ab etwa 1 kg. Besser ist die Auswurfgenauigkeit bei den schienengeführten Dosierwagen, die ein oder zwei Kraftfutterarten austragen können. Die Zuteilung erfolgt überwiegend standplatzbezogen. Die für Weidehaltung notwendige Tieridentifizierung ist möglich, kommt wegen des höheren technischen Aufwandes bislang aber kaum zum Einsatz. Die Mengenvorgabe wird meist dezentral am Standplatz über Nocken oder Magnete vorgenommen. Mehr Bedienungskomfort bietet eine zentrale Steuereinheit über einen Prozessor, der auch die Speicherung der Verzehrsmengen und bessere Voraussetzungen für eine Systemerweiterung bietet.

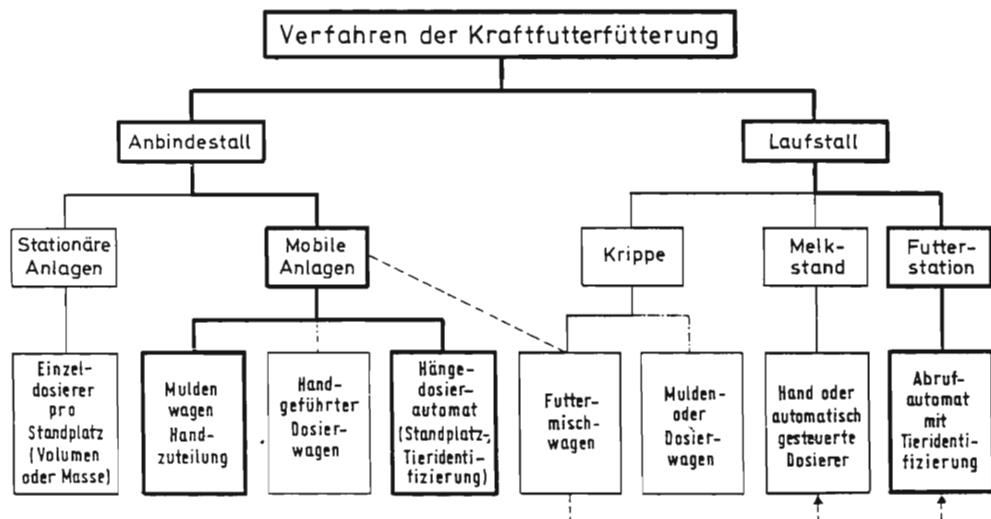


Abb. 1: Fütterungstechnik für Kraftfutter

Bei der Abruffütterung im Laufstall setzt die exakte Verabreichung von ein oder zwei Kraftfutterarten das Zusammenwirken von Tier und Technik voraus. Eine gesicherte Abrufquote von allen Tieren wird vom Standort der Futterstation, der Belegdichte, der Auswurfmenge und zum Teil auch vom Fütterungsprogramm beeinflusst (Abb. 2). Die ursprünglich deutlichen, von den Gleit- und Festzeitprogrammen bedingten Unterschiede im Abholrhythmus und in den Besuchsfrequenzen haben sich durch die zwischenzeitlich erfolgte Annäherung der Programme weitgehend ausgeglichen, so daß heute nahezu bei allen Anlagen durch eine gute zeitliche Staffelung der Besuche eine gleichmäßige Belegung der Station über den Tag und durch die Reduzierung einer überhöhten Besuchsfrequenz die Bewegungsaktivität in der Herde in Grenzen gehalten wird. Die Abholquote liegt bei sachgemäßer Handhabung im Durchschnitt über 95%.

Die Auswurfgenauigkeit der verwendeten, durchwegs nach dem Volumenprinzip arbeitenden Dosierorgane hat bei sachgemäßer Kalibrierung ein zufriedenstellendes Maß erreicht (Abb. 3). Weniger Wartungsaufwand würde die Gewichtsdosierung erfordern. Eine höhere Dosiergenauigkeit kann bei geringen Auswurfmengen aber nur

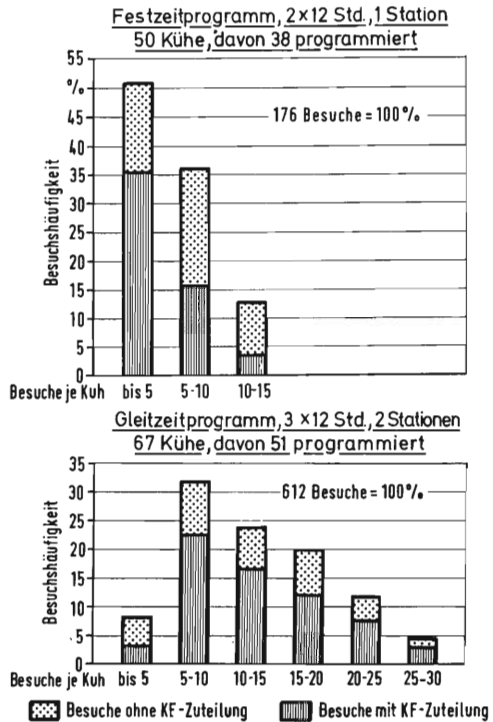


Abb. 2: Häufigkeiten der Besuche in Abrufautomaten

erwartet werden, wenn eine stufenweise Steuerung des Zuführstromes möglich ist. Das bedeutet, daß der Zuführstrom kurz vor Erreichen der Sollmenge reduziert wird.

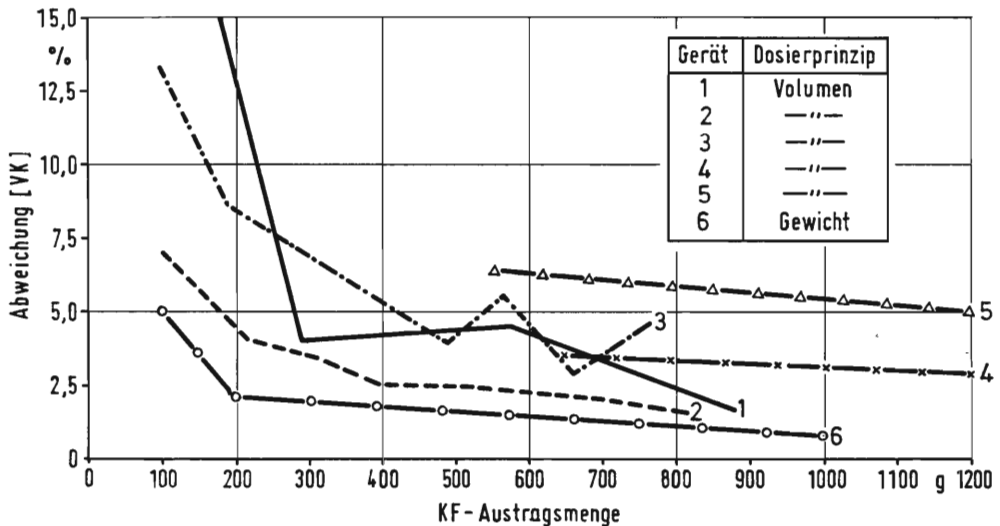


Abb. 3: Austragsgenauigkeit von Kraftfutterdosieranlagen (Pellets)

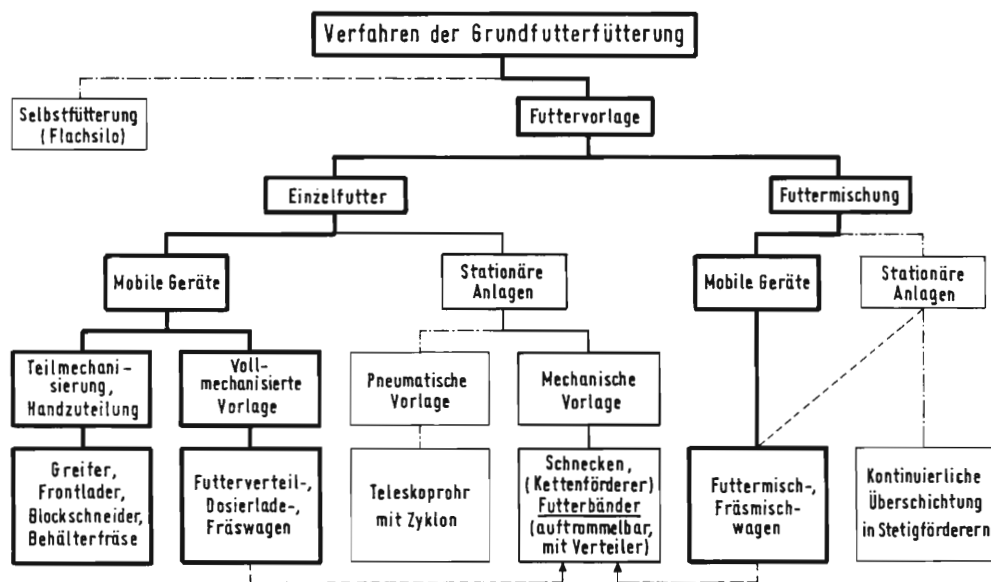


Abb. 4: Fütterungstechnik für Grundfutter

Größere Ungenauigkeiten treten bei der Abruffütterung in der Praxis offensichtlich vor allem dann auf, wenn die technischen Möglichkeiten vom Betreiber nicht voll genutzt werden. Die häufigsten Versäumnisse stellen dabei die zu selten durchgeführte Kalibrierung der Dosierorgane bei Futterwechsel und die in zu großen Zeitspannen vorgenommene Anpassung an die Milchleistung dar. Insgesamt hat die Abruffütterung, die heute auch in kleinen Laufstallherden durch die verfügbaren Kompaktanlagen bereits bei einem Kapitaleinsatz ab 250–300 DM/Kuh genutzt werden kann, zu einer wesentlichen Verbesserung der Kraftfutterzuteilung im Laufstall geführt.

Mechanisierung der Grundfuttermischvorlage

Aber die beste Dosiergenauigkeit beim Kraftfutter hat wenig Erfolg, wenn der Versorgungsgrad aus dem Grundfutter nicht bekannt ist. Grundfutter ist aber nicht nur wegen der Unsicherheit bei den Inhaltsstoffen, sondern auch wegen der großen Unterschiede in der Struktur und der sonstigen physikalischen Eigenschaften ungleich schwerer zu dosieren.

Alle derzeit verfügbaren Fütterungstechniken beziehen sich bei der Futtermischvorlage nicht auf das Einzeltier, sondern bewirken eine mehr oder weniger gleichmäßige Verteilung des Futters auf dem Futtertisch zum beliebigen Verzehr (Abb. 4). Da neben arbeitswirtschaftlichen Verbesserungen als wesentliches Ziel jeder Fütterungstechnik zu fordern ist, daß eine möglichst hohe TS-Aufnahme aus dem Grundfutter unterstützt wird, sollen in dieser Situation zumindest die beeinflussbaren Rahmenbedingungen beachtet und möglichst günstig gestaltet werden. Wenn von seiten der Tierernährung gefordert wird, daß alle in der Ration enthaltenen Komponenten zu jeder Futterzeit in der vorgesehenen Menge verfügbar sind, so haben die vielfältigen mobilen und stationären Verfahren der Einzelfuttermischvorlage zur Konsequenz, daß für jedes Tier ein Einzelfressplatz bereit steht und jede Futterart einen separaten Arbeitsgang erfordert. Vorratsfütterung ist in diesem Fall nur vertretbar, wenn – wie beispielsweise im Grünlandbetrieb – nur eine einseitig zusammengesetzte Grundfütterration angeboten wird. Eine vielseitig gestaltete Ration setzt dazu die Futter-

mischung voraus, die gleichzeitig die Vorlage aller Futterarten in einem Arbeitsgang ermöglicht.

Grundfutter wird nämlich als Einzelfutter in erheblichem Maß selektiert, so daß sich eine deutliche, für den Landwirt aber nicht kontrollierbare Veränderung in der Rationszusammensetzung ergibt. Dabei ist die Massilage das nahezu von allen Tieren am stärksten bevorzugte Futter (Abb. 5). Die Selektion gegenüber Grassilage kann selbst durch mehrere Überschichtungen nicht gänzlich ausgeschaltet werden. Sie ist am erfolgreichsten zu verhindern durch die intensive Vermengung aller Komponenten, wie sie durch die Futtermischwagen zu erreichen ist. In die Mischung können neben Kraftfutter auch Futtermittel wie Cobs, geschnitzelte Futterrüben, Kolbenschrote oder ähnlich konzentrierte Futtermittel einbezogen werden, die sonst nur rationiert an das Einzeltier zu verfüttern sind und vor allem bei der Vorlage im Laufstall große Probleme bereiten.

Im Gegensatz zum Kraftfutter ist beim Grundfutter die Vorlagefrequenz von untergeordneter Bedeutung, so daß insbesondere im Laufstall ohne Nachteil auch die Vorratsfütterung durchführbar ist. Ein Vergleich zwischen der zweimal täglichen Fütterung und einer extremen Vorlage an jedem zweiten bzw. dritten Tag zeigt, daß im Mittel kein Rückgang in der TS-Aufnahme eintritt (Abb. 6). Allerdings ergibt sich eine Abstufung vom ersten zum zweiten und vor allem zum dritten Tag. Nach diesem Ergebnis ist die unter Vorratsfütterung üblicherweise verstandene einmal tägliche Vorlage durchaus vertretbar. Voraussetzung ist jedoch eine konstante Rationszusammensetzung, die am besten über die Mischung gewährleistet wird. Die Tiere nehmen dann verteilt über den ganzen Tag in 8–10 Portionen in einem physiologisch günstigen Rhythmus das Futter auf.

Trotz der genannten Vorteile der Futtermischung ist der Futtermischwagen schwerpunktmäßig in der Rindermast, wenig dagegen in der Milchviehhaltung verbreitet. Ein Grund kann sein, daß in

Selektion der Maissilage bei unterschiedlicher Mischgenauigkeit

(Ration : Mais - Grassilage = 51 : 49 Gew - % TM)

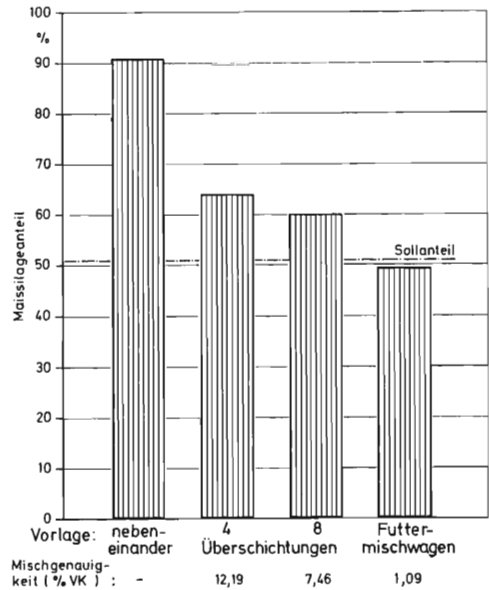


Abb. 5

Milchviehrationen immer Grassilage enthalten ist. Sie ist schwer mischbar, verringert die Funktionssicherheit und verursacht vor allem mit zunehmender Halm-länge einen starken Anstieg im Leistungsbedarf, wobei heute versucht wird, die Funktionssicherheit durch Schneideinsätze an den Mischwerkzeugen zu verbessern (Abb. 7). Eine hohe Kraffeinleitung kann aber nur von Wagen mit großer Stabilität, die sich auch im Kaufpreis niederschlägt, aufgenommen werden. Aus ökonomischen Gründen ist deren Einsatz nur in größeren Beständen vertretbar. Zudem werden zur Befüllung der Mischwagen häufig Frontlader eingesetzt, da die wünschenswerte, kontinuierliche Beschickung mit Fräsen wegen mangelnder Funktionssicherheit und Leistungsfähigkeit der verwendeten Fräsorgane in Grassilage noch Probleme bereitet. Neben der Erschwerung des Mischvorgangs durch die absätzigte Befüllung verstärkt der Frontlader durch die Anlockerung der Anschnittfläche die Gefahr der Nachgärung der Silage, die eine starke Beeinträchti-

Mittlere tägliche Futterraufnahme von Milchkühen bei unterschiedlicher Häufigkeit der Futterrörlage

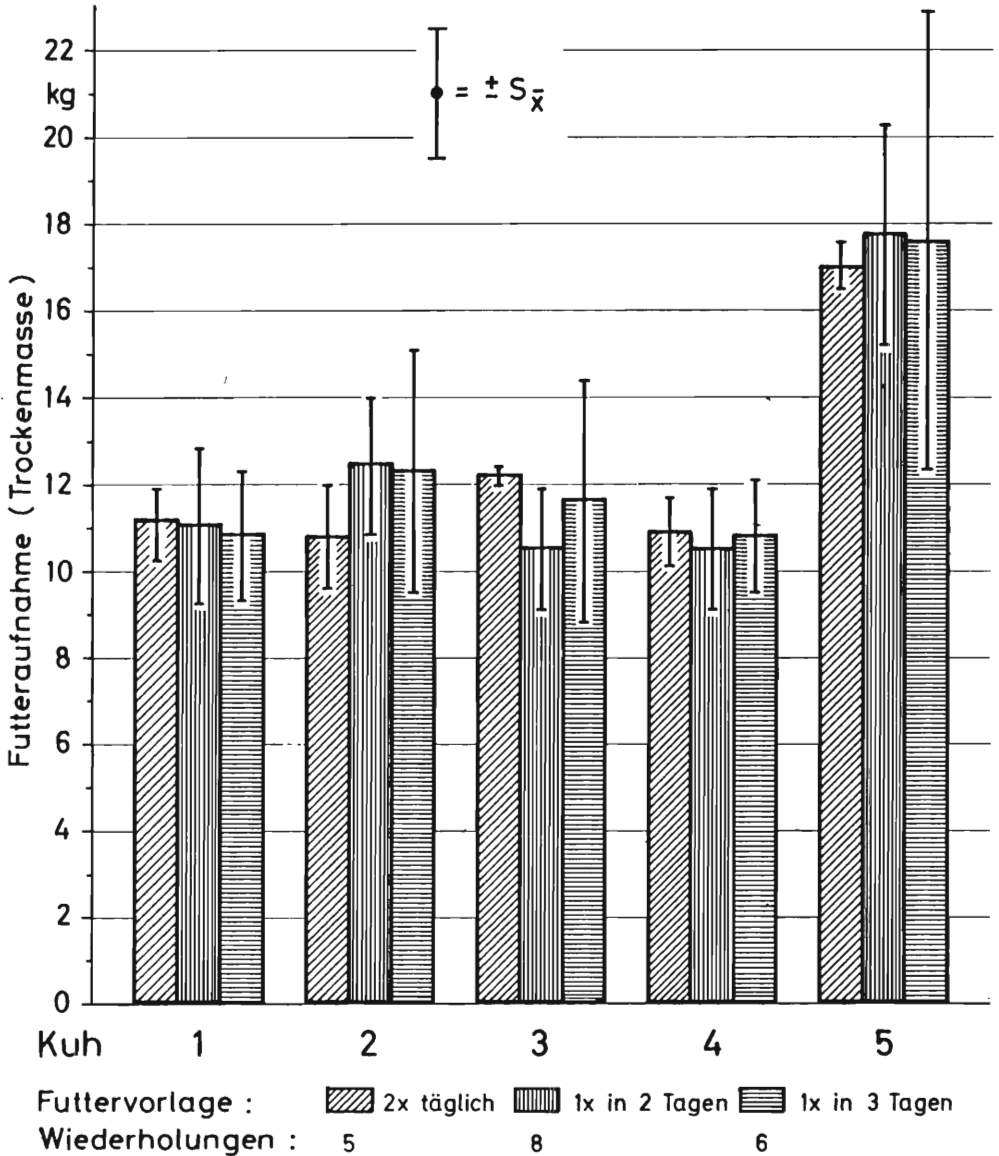


Abb. 6

gung der Futterqualität zur Folge hat. Die Erhaltung der Futterqualität und die Vermeidung von Futterverlusten sind aber

wesentliche Beurteilungskriterien jeder Fütterungstechnik, da diese Faktoren einen größeren Einfluß auf den Fütte-

Spezifischer Schleppermotorleistungsbedarf (kW/100 kg Futter) von Futtermischwagen in Abhängigkeit von der Futterstruktur

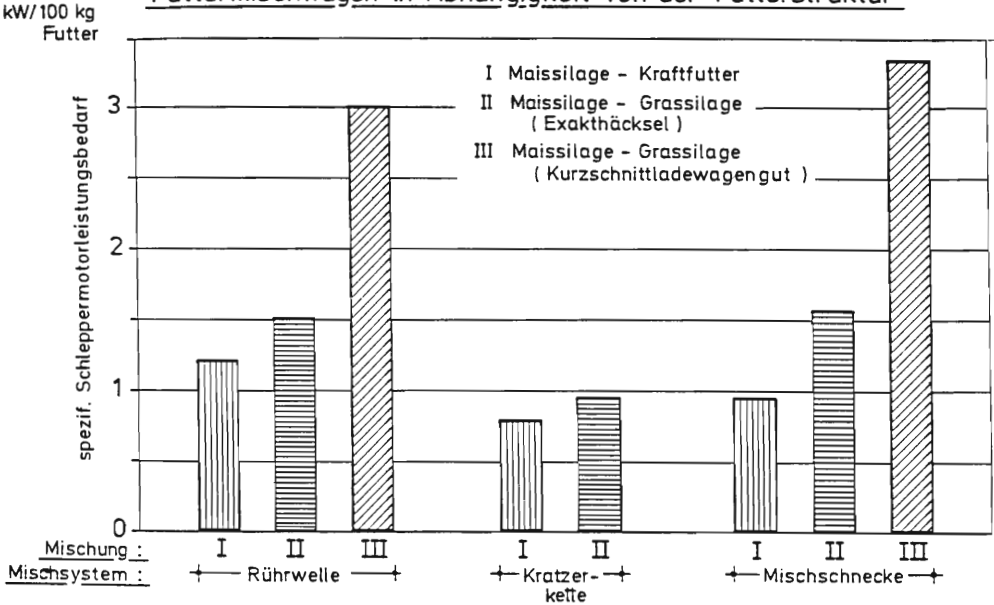


Abb. 7

erfolgreich ausüben können als die Art der Futtervorlage. Aus der Tatsache, daß die Futterqualität die Verzehrmenge an Grundfutter wesentlich beeinflusst, kann vor allem in Betrieben mit unterschiedlichen Grundfüt-

terpartien und einem hohen Maissilageanteil eine Verbesserung der leistungsbezogenen Fütterung durch die Gruppenbildung erreicht werden. Die Hochleistungstiere sollen durch die Vorlage einer möglichst energiereichen Ration zu höchster

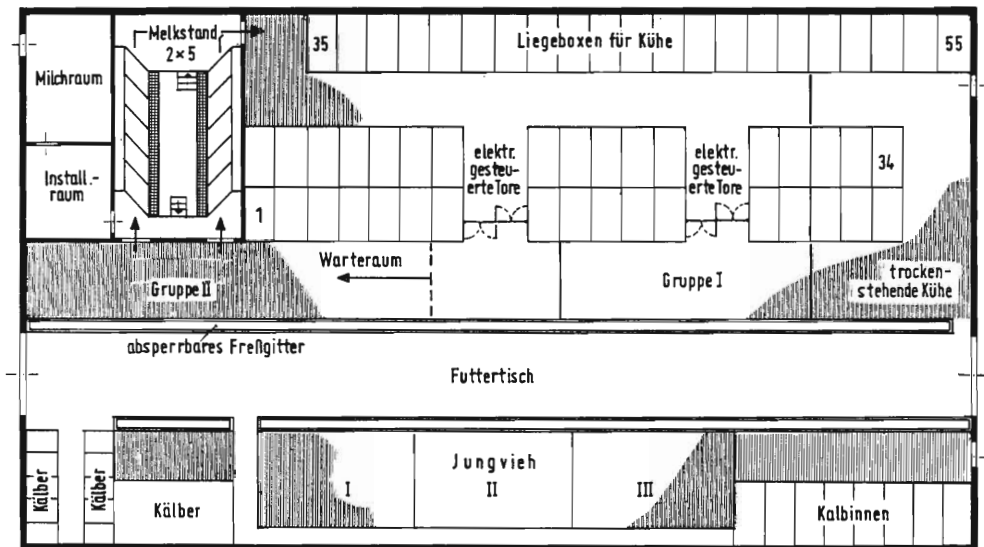


Abb. 8: Vorschlag für Gruppenfütterung im Liegeboxenlaufstall

Futteraufnahme befähigt werden, während der Überfütterung und damit der Verfettung der Kühe gegen Ende der Laktation durch geringere Maisanteile und weniger gutes Halmfutter vorgebeugt wird. Um die Nachteile der mechanischen Gruppenunterteilung der Herde zu umgehen, sollte sich die Abtrennung auf den Freßbereich begrenzen. Dies ist mit Hilfe elektronisch gesteuerter Tore zu erreichen, die jeweils nur den Zugang zu einer bestimmten Ration ermöglichen. Allerdings sind dazu entsprechende stallbauliche Voraussetzungen erforderlich. Sehr einfach lassen sich derartige Lösungen in Ställen mit getrennten Funktionsbereichen, und dann mit beliebiger Gruppenzahl, auch zur Verfütterung von Alleinfuttern verwirklichen. Wird, wie von seiten der Tierernährung angestrebt, zusätzlich individuell Kraftfutter verabreicht, so genügen zwei Leistungsgruppen für die laktierenden Tiere. Dies ist auch in einem geschlossenen Liegeboxenlaufstall zu erreichen (Abb. 8). Im Anbindestall hat die Gruppenbildung das Umhängen der Tiere zur Folge. Durch alle diese Maßnahmen ist aber das eingangs angesprochene Problem der Mengenbestimmung nicht gelöst. Zur Erreichung dieses Zieles werden in Verbin-

dung mit Mikroprozessoren Entwicklungen angestrebt, die einestils eine Mengenvorgabe, andernteils, aus dem Gesichtspunkt einer stets maximalen Grundfutteraufnahme, nur eine Registrierung der Verzehrsmengen vorsehen.

Zur automatisierten Masseerfassung des Grundfutters werden mehrere Techniken erprobt. Auf einem Versuchsgut der Universität Kiel sind Futterwannen an Wiegestäben aufgehängt und mit einem Identifizierungssystem ausgerüstet. Der Futterverzehr wird bei jedem Besuch für das Einzeltier aus der Differenz des Anfangs- und Endgewichts festgestellt und im angeschlossenen Rechner gespeichert.

In einer holländischen Versuchsanlage wird wie bei der Abruffütterung das Grundfutter portionsweise in Freßständen, die mit einem Identifizierungssystem und einem Abschlußtor ausgerüstet sind, vorgegeben. Eine fahrbare Wiegeschale bringt das Futter von einer zentralen Dosierstation auf Abruf zum jeweiligen Freßplatz. Die Anzahl der Portionen kann bei Bedarf begrenzt oder bei freiem Abruf als Gesamtverzehrsmenge in der zentralen Steuereinheit aufsummiert werden.

Die individuelle Zudosierung von Grundfutter ermöglicht auch eine in Völkerode

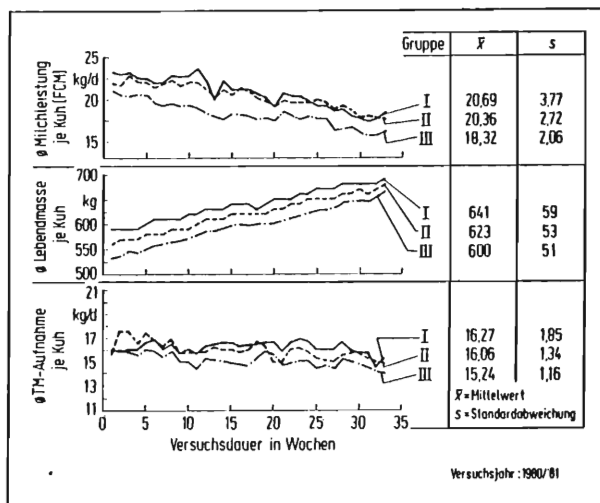


Abb. 9: Leistungs- und Fütterungsparameter bei manueller und computergesteuerter Futterrationberechnung (nach SCHÖN u. a.)

Versuchsgruppe

I herkömmliche manuelle Futterrationberechnung

II prozeßgesteuerte, leistungsabhängige Kraftfuttermittellage

III prozeßgesteuerte, leistungsabhängige Grund- und Kraftfuttermittellage

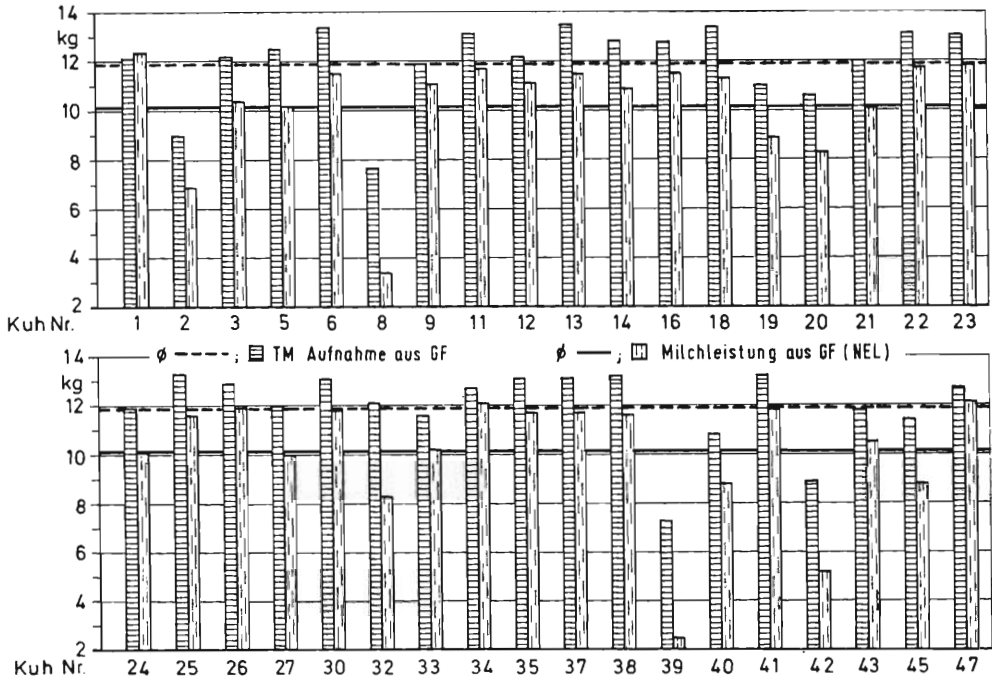


Abb. 10: Tierindividuelle Grundfutteraufnahme und Milchleistung (Kalkulation nach multivarianter Schätzmethode)

entwickelte Anlage mit elektronisch gesteuerten Sperrtoren an jedem Freßplatz. Ein Futterband legt das Futter vor, das an einer zentralen Aufgabestation portionsweise in der Reihenfolge der Freßplätze aufgegeben wird. Beim Zurückziehen des Bandes werden die Futterreste erfaßt, so daß sich aus der Differenz die individuellen Verzehrsmengen bestimmen lassen.

Da derartige Anlagen einen sehr hohen und für den Einsatz in der Praxis nicht vertretbaren Aufwand erfordern, wird alternativ versucht, über rechnergestützte Programme eine leistungsgerechtere Fütterung zu erreichen. Nach einem in Völkenrode erprobten Modell wird dabei ohne Rücksicht auf das Grundfutter das Kraftfutter nur nach seiner Leistungseffizienz zugeteilt, wobei die Grenzwerte nach der Umsetzung in Milch und/oder bezüglich der Futterkosten festgesetzt werden können. Ein Vergleich mit einem Standardfütterungsverfahren und der individuellen Grund- und Kraftfutterzuteilung zeigt, daß mit diesem Verfahren hinsichtlich TS-Aufnahme, Lebendgewichtsentwicklung und

Milchleistung vergleichbare Werte zu erzielen sind (Abb. 9). Inwieweit sich diese Ergebnisse bei unterschiedlichen Grundfuttersituationen in der Praxis nachvollziehen lassen, ist noch zu prüfen.

Nach einem an der Landtechnik Weihenstephan entwickelten Schätzprogramm wird versucht, aufgrund der bekannten Einflußgrößen von seiten des Tieres das Futter und die Fütterungstechnik den individuellen Grundfutterverzehr zu bestimmen und danach die leistungsgerechte Kraftfuttermenge zu ergänzen. Gegenüber der bisher in den Standardverfahren üblichen, herdeneinheitlichen Berücksichtigung des Grundfutters ergibt sich nach diesem Schätzprogramm in einer leistungsfähigen Laufstallherde eine deutliche, tierindividuelle Differenzierung des Grundfutterverzehrs (Abb. 10). Eine Überprüfung der Gesamtverzehrsmenge der Herde zeigte unter Praxisbedingungen eine gute Übereinstimmung der Schätzmengen, wobei die Kenntnis der Futterinhaltsstoffe den Erfolg des Verfahrens deutlich beeinflußt. Der Verlauf der täglich erfaßten

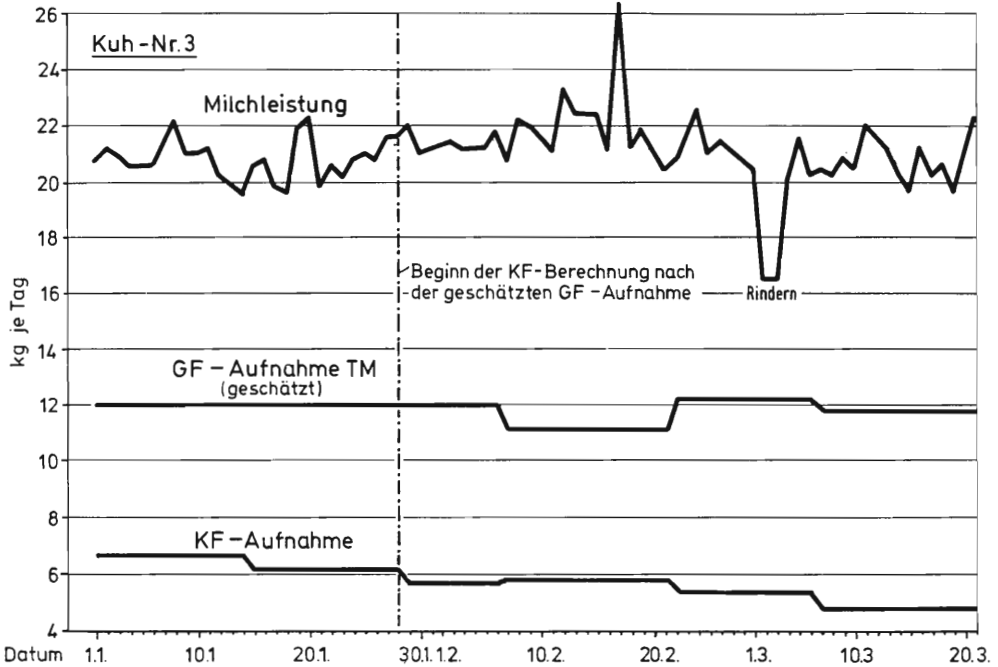


Abb. 11: Versuchsdaten zur Prozeßsteuerung in der Milchviehhaltung

Milchmenge eines Einzeltieres und die zugeleiteten Futtermengen lassen trotz dieser Probleme eine gute Übereinstimmung erkennen (Abb. 11). Es müssen jedoch noch bessere Kontrollfunktionen in die Programme eingebaut werden, damit sich extreme Leistungsschwankungen nicht so stark auf die Futterkalkulation auswirken. Die Bemühungen um eine verbesserte Datengewinnung können letztendlich nur von Erfolg sein, wenn es gelingt, sie in eine komplette Prozeßsteuerung zu integrieren, wie es in einem Schema von Auernhammer dargestellt ist (Abb. 12). In einem geschlossenen Regelkreis soll aufgrund der automatisch erfaßten Tierleistungen und der Vorgaben des Betriebsleiters die Versorgung gesteuert werden. Alle Daten laufen schließlich in einem zentralen Betriebsrechner zusammen, der eine differenzierte Datenauswertung ermöglicht. Derartige Systeme sind in unterschiedlichen Ausbaustufen unter Betreuung der Landtechnik Weihenstephan in einigen Betrieben installiert und können damit in den nächsten Jahren unter Praxisbedin-

gungen auf ihre Effizienz überprüft werden. Ähnliche Untersuchungen laufen in der Kälber- und Mastbullenhaltung.

Für eine leistungsgerechte Fütterung stehen zur exakten Dosierung des Kraftfutters sowohl im Anbinde- als auch im Laufstall geeignete Techniken zur Verfügung. Wesentlich mehr Probleme bereitet dagegen die exakte Vorlage von Grundfutter. Die verfügbaren Techniken können unter Berücksichtigung der Stallverhältnisse die Selektion verschiedener Futterarten vermeiden und damit die konstante Zusammensetzung der Ration über die gesamte Vorlage gewährleisten, lassen aber keine individuelle Dosierung zu. Die derzeit bekannten Lösungsansätze zur tierindividuellen Mengenvorgabe sind mit einem hohen technischen Aufwand belastet, so daß eine Umsetzung in die Praxis aus ökonomischen Gründen nicht zu erwarten ist. Aus diesem Grunde sollte unter Einbeziehung aller bekannten Fakten verstärkt an Schätzprogrammen zur Bestimmung der individuellen Verzehrmenge gearbeitet werden. Derartige Lösungen lassen

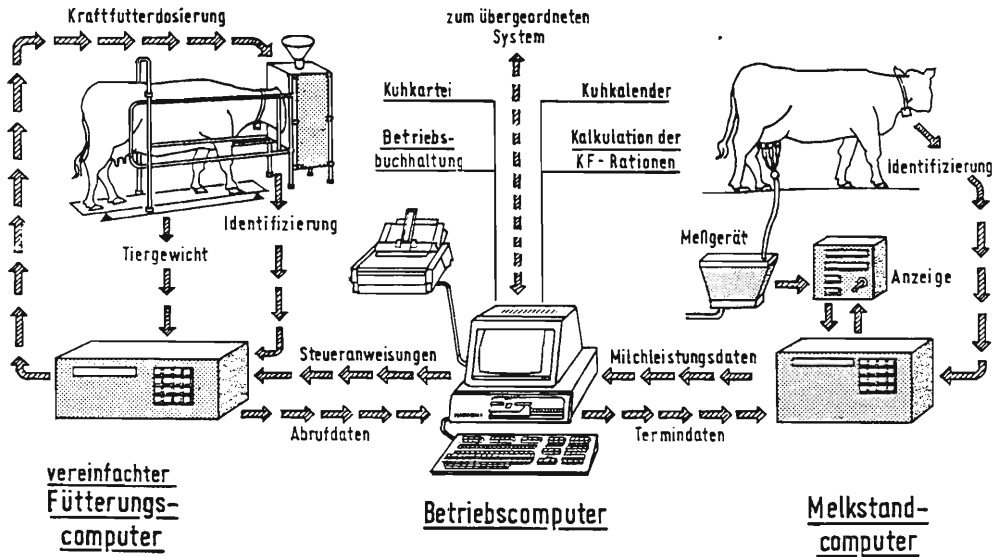


Abb. 12: Vollständiger Regelkreis „Milchleistung“ mit Anbindung an den Betriebscomputer (keine Grundfütterrationierung)

zwar aus der Sicht der Tierernährung sicherlich keine optimale Lösung zu. Sie sind aber nach den bisherigen Erfahrungen geeignet, die derzeitige Situation in der Milchviehfütterung zu verbessern und da-

mit einen wichtigen Beitrag auf dem Weg zu einer leistungsgerechteren Fütterung mit einem finanziell vertretbaren Aufwand zu leisten.

Entwicklungstendenzen des maschinellen Milchentzuges

Von Hans Schön, Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

1. Einleitung

Fortschritte in der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik werden im wesentlichen von zwei Entwicklungslinien bestimmt:

- von der Weiterentwicklung des technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisstandes und
- von den ökonomischen Rahmenbedingungen der Agrarproduktion.

Auch die Forschungs- und Entwicklungstendenzen beim maschinellen Milchentzug müssen vor dem Hintergrund dieser generellen Entwicklung gesehen werden (20).

1.1 Technisch-wissenschaftliche Entwicklungslinien

Stand und Möglichkeiten der Landtechnik werden entscheidend von der allgemeinen

technisch-wissenschaftlichen Entwicklung bestimmt. Diese ist in drei, in Zukunft wahrscheinlich in vier Entwicklungslinien einzuteilen – Entwicklungslinien, ohne die auch Fortschritte im maschinellen Milchentzug nicht denkbar waren und in Zukunft sind (Tab. 1).

Seit der Frühzeit verbessert der Mensch die Nutzung, Veredelung und Entwicklung neuer Stoffe, vom Stein über das Metall bis hin zur Entwicklung von chemischen Produkten und Kunststoffen. Ohne neue Wirkstoffe wären aber auch viele Verbesserungen in der Melktechnik nicht realisierbar. Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte ist vorrangig durch die Nutzung technischer Energiequellen und damit einer Vervielfachung der dem Menschen zur Verfügung stehenden Antriebsleistung gekennzeichnet. Sie hat die sog. „erste industrielle Revolution“ ausgelöst und in der Land-

Tab. 1: Entwicklungslinien der Technik (in Anlehnung an BATEL [2])

Abschnitt	Höhepunkt
<u>Entwicklung der (Werk-)Stoffe</u> Steine, Metalle, Kunststoffe, chemische Produkte	nach vielen Jahrtausenden
<u>Entwicklung der Energie (phys. Leistung)</u> Vervielfachung der dem Menschen zur Verfügung stehenden Antriebsleistung	nach zwei Jahrhunderten
<u>Entwicklung der Informationstechnik</u> Vervielfachung der geistigen Leistungsfähigkeit des Menschen	nach wenigen Jahrzehnten
<u>Entwicklung der biologischen Leistungsfähigkeit</u> Gentechnologie, Mikrobiologie, Membrantechnologie (Fermenter)	?

wirtschaft – wenn auch mit erheblicher zeitlicher Verzögerung – die Mechanisierung mit all ihren strukturellen Veränderungen gefördert. Auch der maschinelle Milchentzug ist von der Elektrifizierung abhängig.

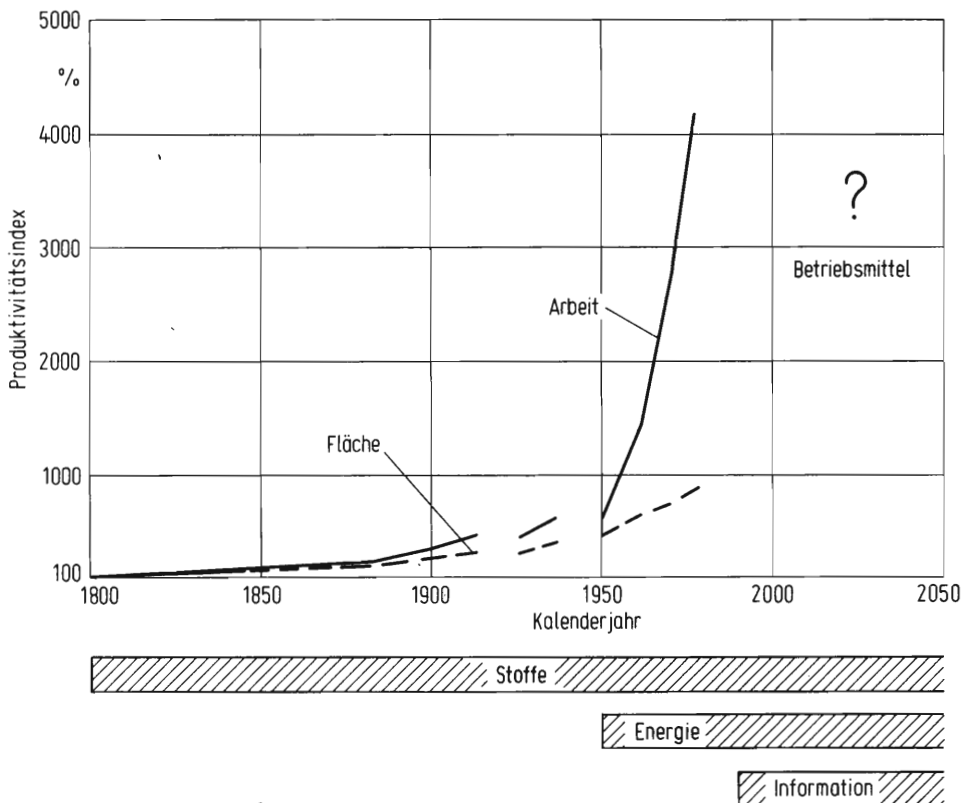
Zur Zeit wird ein neuer Abschnitt der technischen Entwicklung durch die Nutzung „technischer Intelligenz“ eingeleitet, die durch eine Vervielfachung der Leistungsfähigkeit des Menschen geprägt ist, Informationen aufzunehmen, zu speichern und zu verarbeiten. Der entscheidende Fortschritt besteht aber darin, daß erstmals biologische und technische Systeme direkt miteinander gekoppelt werden können, d. h. der Rechner kann über Sensoren biologische Vorgänge „lesen“ und danach ohne Zutun des Menschen auf diese biolo-

gischen Vorgänge steuernd und regelnd einwirken. Das ist für die Weiterentwicklung des maschinellen Milchentzuges von besonderer Bedeutung, da, wie sonst nirgends in der Landtechnik, Biologie und Technik aufeinander abgestimmt werden müssen.

Obwohl wir erst am Anfang des „elektronisch-technischen“ Fortschritts stehen, zeichnet sich bereits eine neue Entwicklungslinie in den Forschungslabors ab, nämlich die Verbesserung der biologischen Leistungsfähigkeit durch biotechnische Eingriffe.

1.2 Ökonomische Rahmenbedingungen

Möglichkeiten, wie sie der wissenschaftlich-technische Fortschritt bietet, kom-



Quellen: Bittermann, 1956; Stat. Jahrb. ELF

Abb. 1: Entwicklung der Flächen- und Arbeitsproduktivität in der deutschen Landwirtschaft seit 1800 (ergänzt nach BITTERMANN [3])

men nur dann zum Tragen, wenn die ökonomischen Rahmenbedingungen ihren wirtschaftlichen Einsatz begünstigen. Ein kurzer Rückblick auf die Entwicklung der Produktivität der deutschen Landwirtschaft soll dies verdeutlichen (Abb. 1).

Die Produktivität der deutschen Landwirtschaft hat sich seit 1800 um das 45fache erhöht, wobei im wesentlichen zwei Phasen zu unterscheiden sind.

In der ersten Phase stand vor allem die Ertragssteigerung im Vordergrund, um die Versorgung der Bevölkerung mit preiswerten Nahrungsmitteln zu verbessern. Den pflanzenbaulichen Maßnahmen wie Mineraldüngung, Pflanzenschutz und Züchtung kam dabei eine überragende Rolle zu. Die Landtechnik hatte hierbei eine wichtige, aber lediglich unterstützende Funktion (z. B. Ernteverlustminderung von 20 auf 3%). Trotz Überschußproduktion sind diese Möglichkeiten der Produktionssteigerung bei weitem noch nicht ausgeschöpft. So ist allein in der Milchviehhaltung ohne den züchterischen Fortschritt durch biotechnische Maßnahmen (z. B. bovine Wachstumsregler) und durch verfahrenstechnische Verbesserungen (z. B. mehrmaliges automatisches Melken) eine weitere Steigerung der Milchleistung um bis zu 50% denkbar.

Eine dominierende Bedeutung hatte die Technik in der zweiten Phase, in der es darum ging, die aus der Landwirtschaft abwandernden Arbeitskräfte durch eine umfangreiche Mechanisierung zu ersetzen. Von dieser Mechanisierung gingen entscheidende strukturverändernde Impulse aus. So ist seit 1950 die Zahl der Vollarbeitskräfte auf fast ein Viertel gesunken. Eine weitere Halbierung der Zahl der Vollarbeitskräfte ist hier bei voller Anwendung der bereits verfügbaren Technik denkbar. Dies gilt insbesondere für die Milchviehhaltung, bei der zur Zeit nur etwa 10% aller Kühe in vollmechanisierbaren Beständen gehalten werden.

Die derzeitigen und wahrscheinlich künftig noch zunehmenden Schwierigkeiten, die Produktion weiter auszudehnen und gleichzeitig Arbeitskräfte außerhalb der

Landwirtschaft sinnvoll zu beschäftigen, wird den technisch initiierten Strukturwandel verlangsamten; andere Ziele der technischen Entwicklung werden vorrangig. In dieser Situation wird es darum gehen, den Betriebsmitteleinsatz und damit die Produktionskosten zu senken. Ein besseres Verständnis biologischer Abläufe, die „Koppelung“ biologischer und technischer Systeme durch die Elektronik werden dafür neue Chancen eröffnen.

2. *Entwicklungslinien des maschinellen Milchentzuges*

Das Bestreben, die schwere Handarbeit des Melkens zu mechanisieren, reicht weit in das vorige Jahrhundert zurück, wobei im wesentlichen die manuelle Tätigkeit nachgeahmt wurde. Der entscheidende Durchbruch gelang aber erst um die Jahrhundertwende durch die Erfindung des Pulsators und des Zweiraumbechers (8). Bei diesen Erfindungen wurde den mechanischen Anforderungen durch das Absaugen der Milch und den biologischen Erfordernissen durch die Zitzenmassage entsprochen.

Die Tendenzen bei der Weiterentwicklung, der Forschung und des praktischen Einsatzes der Melkmaschine wurden und werden durch die technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen bestimmt (Abb. 2).

2.1 *Erste Entwicklungsphase – Verbesserung der Melkhygiene*

In der ersten Mechanisierungsphase der deutschen Landwirtschaft vor und nach dem Ersten Weltkrieg stand das Bemühen um höhere Erträge und Leistungen im Vordergrund. Hier konnte die Melkmaschine die in sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllen, ganz im Gegenteil, es kam zu Leistungseinbußen und vor allem zu Problemen bei der Eutergesundheit. Die Erforschung der Melkphysiologie und der Melkhygiene wurde zu einem drängenden Problem. Dabei waren die Untersuchungen von FRITZ (5) maßgebend, der mit verblüffend einfachen Versuchsanstellun-

Stufe	Allgemeine Tendenz	Melktechnische Entwicklung	Forschungsschwerpunkte
I	Steigerung der Produktionsmenge und der Qualität	Zweiraumbecher	
II	Steigerung der Arbeitsproduktivität	verbesserter Milchentzug teilautomatisierte Melkzeuge	
III	Minderung des Betriebsmitteleinsatzes	Prozeßsteuerung für - Melkanlagen - Haltungssysteme	

Abb. 2: Entwicklungsstufen des maschinellen Milchentzuges

gen die biotechnischen Grundlagen des maschinellen Milchentzuges – ausgehend vom Saugen des Kalbes – schuf (Abb. 3). In technischer Hinsicht wurden diese Arbeiten nach dem Krieg von HUPFAUER (7) fortgeführt.

Erst in den 50er Jahren schaffte die Eimermelkanlage den Durchbruch – allerdings mehr zur Arbeitserleichterung. Ein Melkzeug je Arbeitskraft galt lange Zeit als eiserne Regel für fachgerechtes Melken. Mit der Einführung der Melkmaschine und steigenden Milchleistungen breiteten sich die Eutererkrankungen seuchenhaft aus; die Melkmaschine und ihr wenig sachgerechter Einsatz wurden als Hauptursache erkannt. Eine intensive Forschungstätigkeit nahm sich weltweit dieses Problems an. In Deutschland sind vor allem die Arbeiten von TOLLE u. a. (23) zu nennen, die einen wesentlichen Beitrag zur Klärung des Übertragungsmechanismus bei Euterentzündungen lieferten und auf deren Grundlage neue Melksysteme entwickelt wurden bis hin zum implantierten Melk-

katheder, der die Gewinnung nahezu keimfreier Milch ermöglicht.

Eine weitere Forschungsrichtung ging dem Problem des unvollständigen, maschinellen Milchentzuges nach. WEHOWSKI u. a. (11) und RABOLD u. a. (14) erarbeiteten ein Erklärungsmodell über den Zusammenhang von Melkbecherwandern sowie dem Blindmelken und dem Nachgemelk (Abb. 4).

Beide Forschungsansätze stießen bald zur Kernfrage der gesamten Forschungen auf dem Gebiet des maschinellen Milchentzuges vor, nämlich zu dem Versuch, das Zusammenspiel von Technik, Melkphysiologie, Milchhygiene kausal im Rahmen der sog. „Biotechnik“ zu klären.

2.2 Zweite Entwicklungsphase – arbeitswirtschaftliche Verbesserungen

Inzwischen spitzte sich in der Landwirtschaft die arbeitswirtschaftliche Situation, insbesondere auch in der Milchviehhaltung, zu, zumal im Rahmen der sog. „inne-

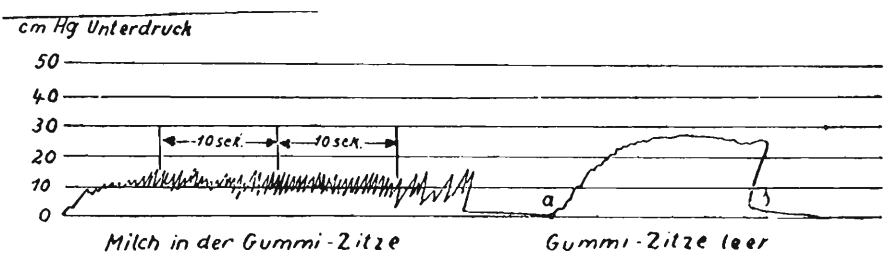


Abb. 3: Saugdiagramm eines Kalbes (nach FRITZ [5])

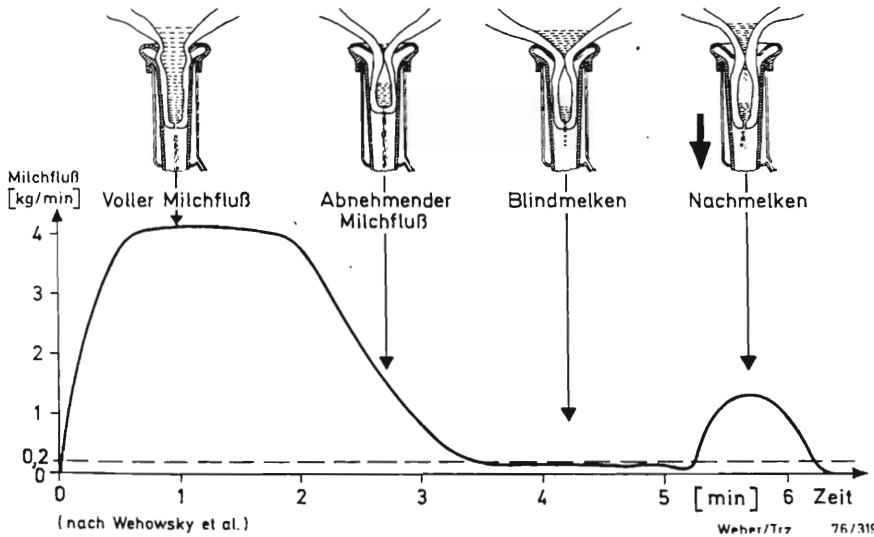


Abb. 4: Beeinträchtigung der Zitze in den verschiedenen Phasen des maschinellen Milchentzuges

ren Aufstockung“ statt bisher 50% nun 70% der gesamten Einnahmen aus dem Stall erwirtschaftet werden mußten. Neue Stall-systeme waren die Reaktion der Wissenschaft, insbesondere der Boxenlaufstall. Entscheidende Anstöße zu dessen Entwicklung gingen von der Landtechnik Wei-henstephan aus (EICHORN [4], WENNER [26]).

Wesentlicher Bestandteil der Laufställe ist der Melkstand. Durch die Trennung der Funktionsbereiche im Laufstall war es – im Gegensatz zum Anbindestall – möglich, einen für den Menschen optimalen Arbeitsplatz zu schaffen und deutliche arbeitswirtschaftliche Verbesserungen zu erzielen (Abb. 5).

Arbeitszeitbedarf

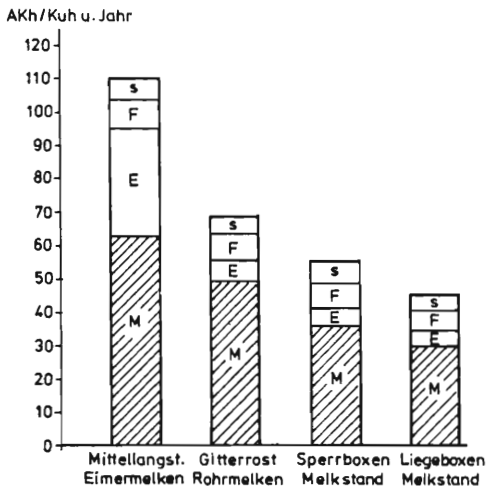


Abb. 5: Arbeitswirtschaftliche Bedeutung der Melkarbeit

Im weitverbreiteten Anbindestall mit Eimermelkanlage müssen je Kuh und Jahr etwa 160 Stunden aufgewendet werden. Durch strohlose Aufstallung und beim Einsatz einer Rohrmelkanlage mit 3 Melkeinheiten kann dieser Aufwand auf 70 Stunden je Kuh und Jahr gesenkt werden; im modernen Laufstall mit Fischgrätenmelkstand sogar auf 50 Stunden je Kuh und Jahr. Diese Zeitersparnis ist weniger auf verbesserte Stallformen als vielmehr auf arbeitswirtschaftlich leistungsfähigere Melkverfahren zurückzuführen.

Aber auch bei den modernen Melkverfahren entfallen noch 60% der gesamten Stallarbeiten auf das Melken.

Weitere verfahrenstechnische Verbesserungen in der Milchviehhaltung mußten daher beim maschinellen Milchentzug ansetzen. Neben den melkphysiologischen, melkhygienischen und biotechnischen Forschungsansätzen gewannen die Arbeitswissenschaft an Bedeutung.

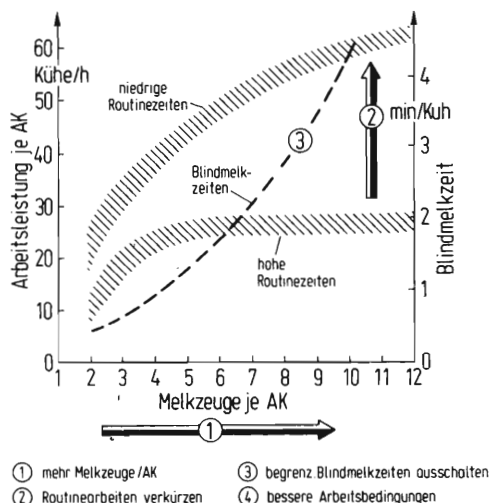


Abb. 6: Möglichkeiten zur Steigerung der Arbeitsleistung beim Melken

3. Konzeption des Teilprojektes „maschineller Milchentzug“

Dies war, in groben Zügen gezeichnet, die Situation, als zu Beginn der 70er Jahre das Teilprojekt G „Maschineller Milchentzug“ konzipiert wurde. Angesichts der weit fortgeschrittenen Forschung über Melkphysiologie, Milchhygiene und Biotechnik sowie den drängenden Problemen der Praxis rückten die arbeitswirtschaftlichen Aspekte des maschinellen Milchentzuges bei den damaligen Überlegungen in den Vordergrund.

Vorausgegangen waren vertiefende arbeitswirtschaftliche Studien, die Aufschluß über erfolgversprechende Ansätze gaben (21) (Abb. 6).

Im Gegensatz zu den bisherigen Bemühungen, durch eine schnelle Milchabgabe die Melkarbeit zu verkürzen, schien es aussichtsreicher, vom gegebenen Maschinenhauptgemelk auszugehen und zu versuchen, in dieser Zeitspanne gleichzeitig mehrere Melkzeuge zu bedienen. So zeigten zahlreiche Arbeitsanalysen in der Praxis, daß mit steigender Anzahl von Melkeinheiten, die von einer Arbeitskraft gleichzeitig bedient wurden, der Zeitaufwand für das Melken erheblich gesenkt wurde, insbesondere dann, wenn es gleichzeitig gelang, die Routinearbeiten zu verkürzen. Weiterhin mußten Wege gefunden wer-

den, die begrenzenden Blindmelkzeiten zu mindern.

Mit technisch relativ einfachen Lösungen in Form von Abschaltautomaten oder Abnahmeautomaten konnten die Blindmelkzeiten vermieden bzw. wesentlich vermindert werden. Bedeutende Impulse gingen dabei von den Arbeiten von WEHOWSKI (25) und PEN (12) aus. Sie führten zu einem breiten Angebot an teilautomatisierten Melkzeugen, deren Effizienz und Zuordnung noch zu untersuchen war (Abb. 7).

Von der Technik allein nicht zu lösen war das Problem der langen Routinezeiten, die eine Steigerung der Melkzeugzahl je Arbeitskraft in vielen Betrieben als wenig sinnvoll erscheinen ließ. Auch eine isolierte arbeitswirtschaftliche Betrachtung konnte die anstehenden Probleme nicht lösen, und nur ein aufeinander abgestimmtes Konzept mit anderen Wissensgebieten ließ echte Fortschritte erwarten. Ein solches Konzept sieht Arbeitsgruppen im Bereich der „Arbeitswissenschaft“, der „Technik“ und der „Biotechnik“ vor (Abb. 8).

Im Teilbereich „Arbeitswissenschaft“ wurden die Felduntersuchungen über den Einsatz teilautomatisierter Melkzeuge fortgeführt. Sie wurden durch ein stochastisches Simulationsmodell des Melkablaufes von PEN (11) ergänzt. Dadurch war es möglich, bereits frühzeitig eine Abschätzung der Effizienz und der Zuordnung teilautomatisierter Melkzeuge vorzunehmen (Abb. 9). Es konnte nachgewiesen werden, daß durch ihren Einsatz sowohl im Anbindestall als auch im Melkstand erhebliche Verbesserungen hinsichtlich der Anzahl der gemolkenen Kühe je Arbeitskraft und Stunde möglich wurden.

Diese arbeitswirtschaftlichen Fortschritte bargen aber auch eine große Gefahr in sich. Bei höherer Arbeitsleistung wurde der verbleibende Zeitraum für Arbeiten und Beobachtungen des Menschen am Tier immer geringer. Bei der Eimermelkanlage waren es noch 9,5 min/Melkzeit und Kuh; diese Zeitspanne verminderte sich auf 0,5 min bei 4 teilautomatisierten Melkzeugen im Anbindestall und auf wenige Se-

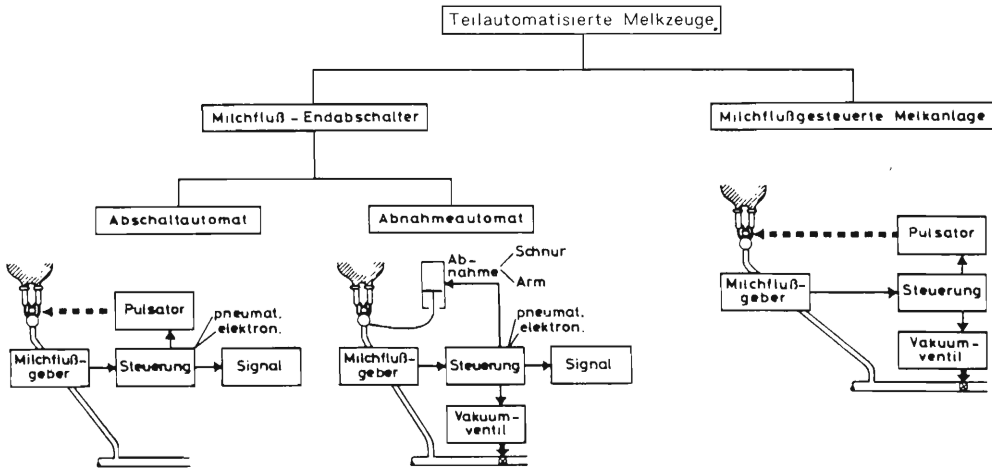


Abb. 7: Systeme teilautomatisierter Melkanlagen

kunden im größeren Melkstand. Unzureichende Stimulation und mangelndes Nachgemelk waren die Folge, die Ertrags-einbußen und eine Minderung der Euter-gesundheit befürchten ließen. Es lag deshalb nahe, innerhalb der Gruppe „Technik“ eine programmgesteuerte Melk-maschine zu entwickeln, die diese Arbei-ten ohne Zutun des Menschen sorgfältig ausführt. Im Institut für Landmaschinen der TU München unter der Leitung von SÖHNE wurde dafür eine gesteuerte Melk-

anlage auf pneumatischer Basis entwickelt (15). Diese Aufgabe ließ sich später mit Hilfe der Elektronik wesentlich einfacher lösen. Die Entwicklung entsprechender Steuer-programme führte zur Zusammenarbeit mit dem Institut für Physiologie der Süd-deutschen Versuchs- und Forschungsan-stalt. Durch die Möglichkeit, neben Prolak-tin auch Oxytocin mittels radioimmunolo-gischer Tests mit hoher Sicherheit nach-weisen zu können, war man in der Lage, die

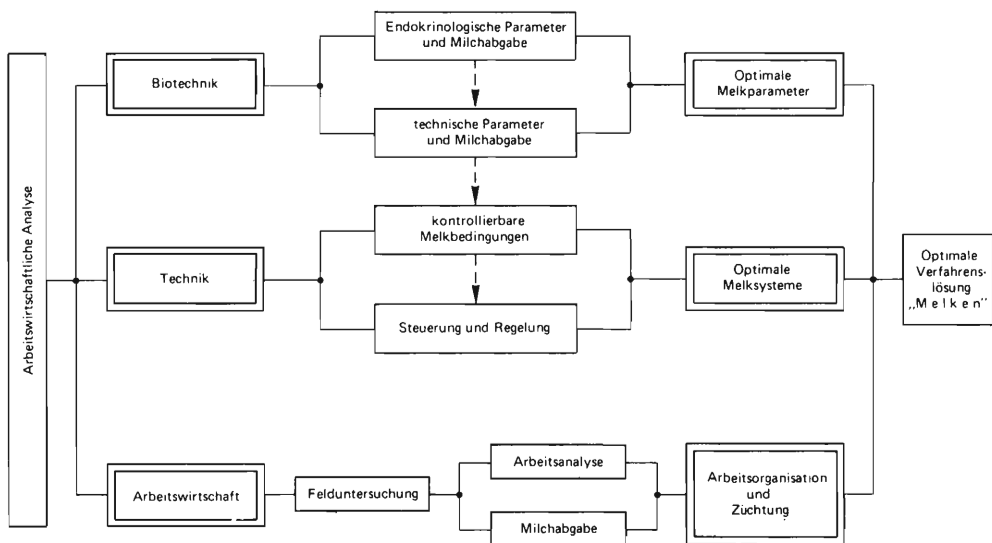


Abb. 8: Forschungskonzeption des SFB 141 „maschineller Milchentzug“

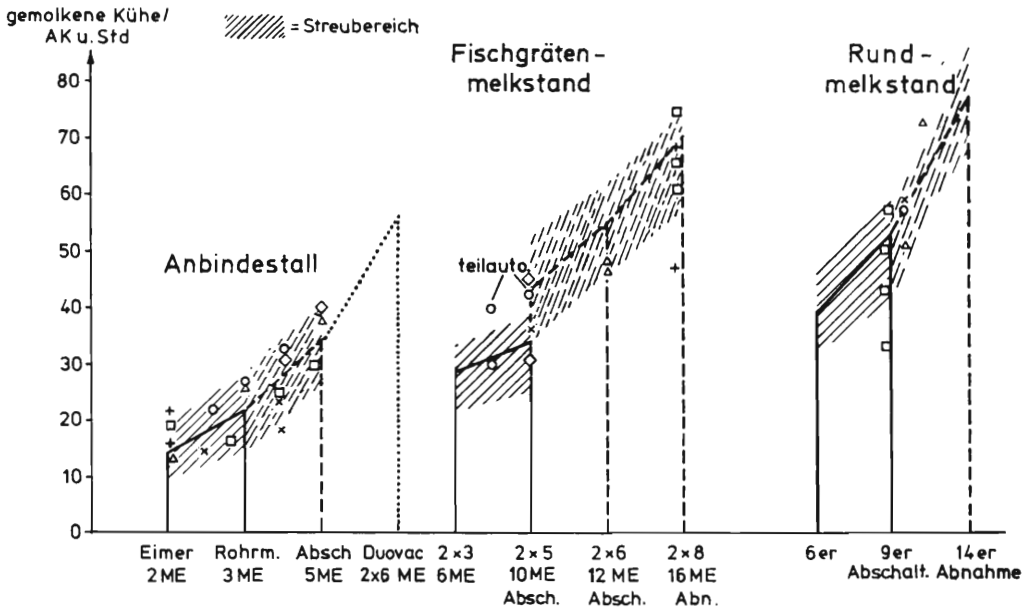


Abb. 9: Arbeitsleistung verschiedener Melkverfahren

Melkparameter in den verschiedenen Phasen des Milchentzuges nicht nur hinsichtlich der Milchabgabe, sondern auch in Beziehung zur endokrinologischen Reaktion zu beurteilen.

Ein Beispiel dieser umfangreichen Arbeiten von SCHAMS (18) und WEBER (24) über den Einfluß verschiedener Melkparameter auf Milchabgabe und Oxytocinausschüttung zeigt Abb. 10.

Nicht berücksichtigt blieb bei diesen ersten Untersuchungen die Diskrepanz zwischen technischen Melkparametern und den tatsächlich im Melkbecher herrschenden Bedingungen. Die Untersuchungen von WORSTORFF (27) zeigten, daß es sowohl durch mangelnde Melktechnik als auch systembedingt durch den Zweiraumbecher zu erheblichen Vakuumschwankungen an der Zitze kommt, welche nicht nur das Melkvakuum, sondern zwangsläufig auch die Druckdifferenz zwischen Melkbecherinnen- und Melkbecherzwischenraum beeinträchtigen, wodurch sich die Saug-Entlastungstaktverhältnisse laufend verändern. Die Arbeitshypothek einer programmgesteuerten Melkmaschine konnte deshalb so lange nicht erfolgreich realisiert

werden, solange unkontrollierbare Melkbedingungen einer Steuerung und Regelung entgegenstanden. Hier setzen eingehende biotechnische Untersuchungen an, die zu praxisreifen Weiterentwicklungen und neuen Melksystemen führten (28).

Besonders erfolgreich erwiesen sich dabei die engen Verflechtungen zwischen Melkmaschinenforschung und physiologischer Forschung, insbesondere hinsichtlich einer Mechanisierbarkeit der Stimulation (29 sowie Beiträge SCHAMS und WORSTORFF in diesem Heft.)

Die parallel laufenden Untersuchungen im Bereich der Arbeitswissenschaften führten zu den wohl umfangreichsten Arbeitsanalysen und einer umfassenden Darstellung entsprechender Planzeiten durch SAUER und AUERNHAMMER (17). Diese Untersuchungen wurden in den letzten Jahren auf das so wesentliche Gebiet der Arbeitsbelastung ausgedehnt.

Durch diese Arbeitsanalysen gingen aber auch Anstöße auf die besonders beim Fleckvieh notwendigen züchterischen Verbesserungen der Milchabgabe aus, wobei nicht – wie bisher – die Melkgeschwindigkeit, sondern die Minderung des Ma-

schinnachgemelkes im Vordergrund steht.

4. Dritte Entwicklungsphase –
rechnergestützte Prozeßsteuerung

Während des Bearbeitungszeitraumes des Sonderforschungsbereiches 141 vollzogen sich zwei Entwicklungen, die die laufenden Arbeiten nicht unberührt ließen und die die weitere Entwicklung beeinflussen: – einmal trat in den letzten 10 Jahren die Mikroelektronik ihren Siegeszug an und eröffnete neue technische Möglichkeiten – und zum anderen änderten sich die agrarpolitischen Rahmenbedingungen entscheidend; sie fanden ihren Niederschlag in der Quotenregelung. Die Folge ist, daß nicht mehr so sehr die Steigerung der Ertragsleistung und der Arbeitsproduktivität im Vordergrund des Interesses steht, sondern beinahe als einziger Ausweg die Minderung der Produktionskosten und des Betriebsmitteleinsatzes bleibt.

Hier ist in erster Linie die rechnergestützte Prozeßsteuerung zu nennen. Diese ist dadurch gekennzeichnet, daß bestimmte Eingangsgrößen (z. B. Futtermenge) in Abhängigkeit von den Ausgangsgrößen (z. B. Milchleistung) so gesteuert werden, daß ein optimales Aufwand-Ertragsverhältnis erzielt wird. Dabei ist eine geschlossene Prozeßsteuerung bei der Fütterung möglich, während verdichtete Daten aus dem Prozeß zur Tierüberwachung und Herdenführung genutzt werden können (1).

In der Milchviehhaltung wurde sie erstmals von ROSEGGER und SCHLÜNSEN (16) 1968 in einem Mobilboxenstall verwirklicht. Um die Tiere in den verschiedenen Funktionsbereichen zu erkennen und zu versorgen, war ein erheblicher technischer Aufwand erforderlich. Durch die Entwicklung kostengünstiger elektronischer Identifikationssysteme ist eine Realisierung der Prozeßsteuerung künftig auch in herkömmlichen Stallsystemen möglich, in denen sich auch der Milchentzug selbst als wichtiger

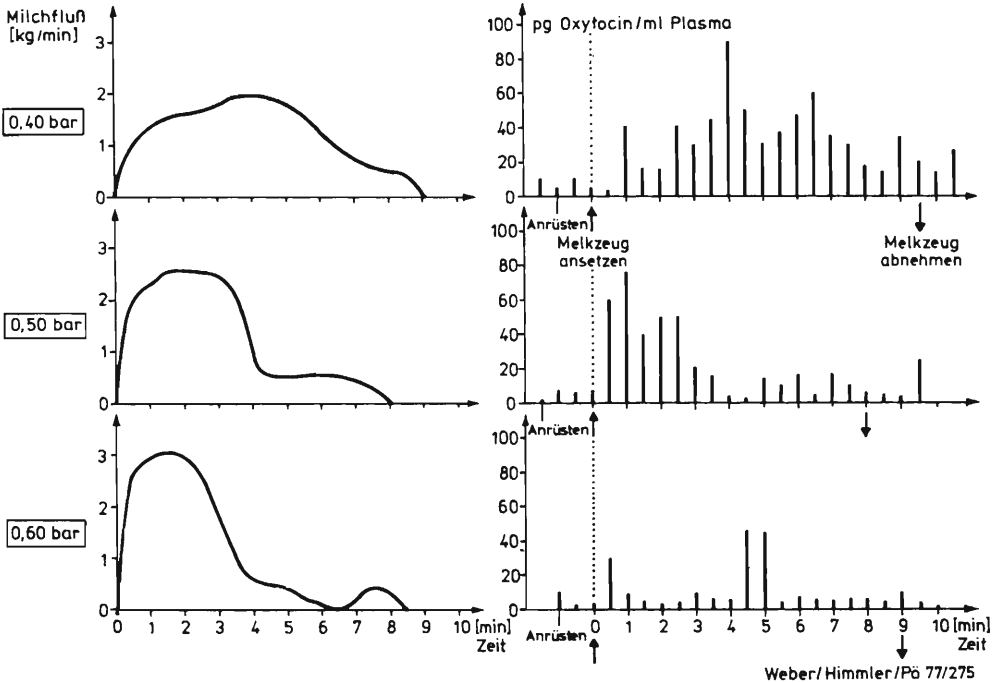


Abb. 10: Milchfluß und Oxytocinausschüttung bei der Kuh „Rolino“ bei verschiedenen Vakuumstufen

Weber/Himmler/Pö 77/275

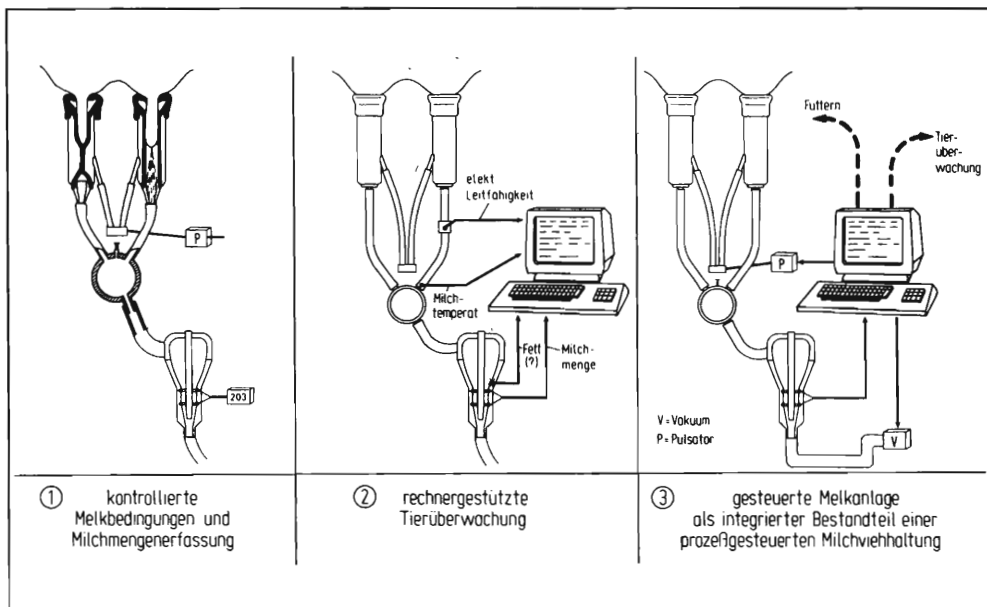


Abb. 11: Stufen einer Prozeßsteuerung beim maschinellen Milchentzug

Teilprozeß für eine rechnergestützte Produktion anbietet (Abb. 11).

Für eine Prozeßsteuerung beim maschinellen Milchentzug sind kontrollierte Melkbedingungen unentbehrlich. Eine weitere wesentliche Voraussetzung ist die laufende automatische Erfassung der Milchleistung, wenn möglich auch des Fettgehaltes. Bei der automatischen Milchmengenerfassung wurden im Sonderforschungsbereich neue Wege durch die Ringelektrodengeber versucht (22). Einer praktischen Realisierung stehen jedoch nach wie vor die hohen Anforderungen der Milchkontrollverbände hinsichtlich der zulässigen Meßfehler entgegen.

Der Melkmaschine kommt aber auch bei der automatisierten Gesundheits- und Brunstüberwachung im Rahmen eines umfassenden computergestützten Managementsystems eine Schlüsselrolle zu. Neben der Milchmenge ist die Datenerfassung durch integrierte Sensoren für die Milchtemperatur und für die elektrische Leitfähigkeit, ggf. auch für den pH-Wert zur laufenden rechnergestützten Tierüberwachung geeignet.

Unsere bisherigen Untersuchungen zei-

gen, daß mit einer größeren Zahl gleichzeitig erfaßter und laufend aufgezeichneter Parameter eine differenzierte Tierkontrolle möglich ist. Als Beispiel ist die Früherkennung von Mastitiden in Abb. 12 gezeigt.

In gezielten Versuchen zur Früherkennung von Mastitiden wurden von SCHLÜNSEN u. a. (19) die elektrische Leitfähigkeit, die Milchtemperatur, die Milchleistung und die Futteraufnahme täglich gemessen und die gewonnenen Werte mit dem Zellgehalt der Milch zum Nachweis einer Euterentzündung verglichen. Als besonders sensibel erwiesen sich dabei die Milchtemperatur und die elektrische Leitfähigkeit. Im Gegensatz zur Milchtemperatur, die lediglich einen Hinweis auf krankhafte Störungen zuläßt, ist die Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit eines Euterviertels krankheitsspezifisch und ermöglicht eine frühzeitige Lokalisierung des erkrankten Euterviertels.

Beide Entwicklungen, nämlich kontrollierte Melkbedingungen und die automatische Leistungs- und Tierüberwachung, sind zusammen mit billigen und funktions-sicheren elektronischen Systemelementen die technischen Grundlagen für eine Prozeßsteuerung. Diese müssen ergänzt werden durch die neueren melkphysiologi-

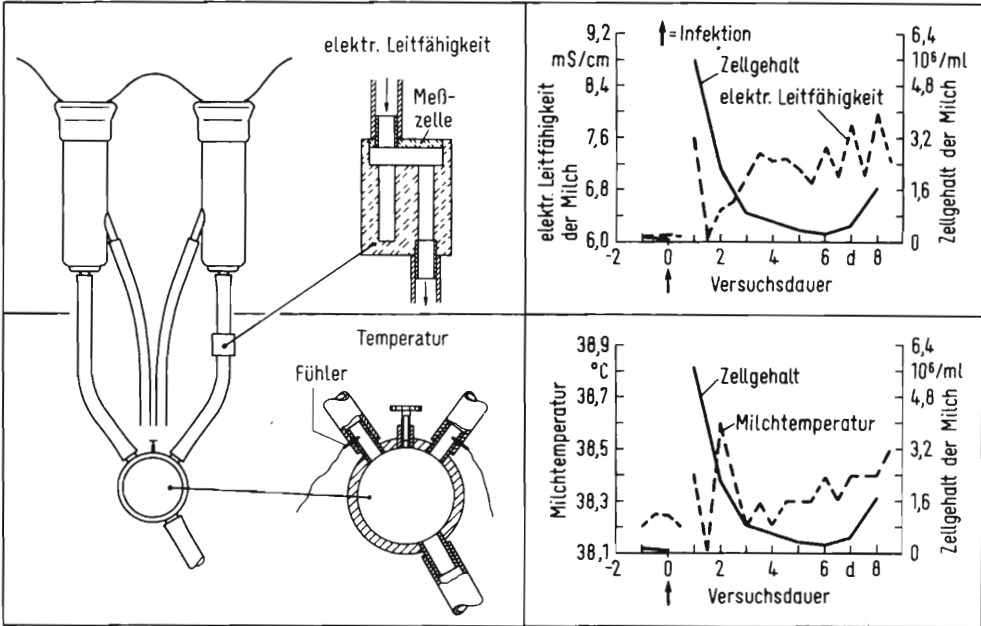


Abb. 12: Möglichkeiten einer Früherkennung von Euterentzündungen durch die rechnergestützte Erfassung der elektrischen Leitfähigkeit und der Milchttemperatur (nach SCHLÜNSEN u. a. [19])

schen Erkenntnisse, um die ursprüngliche Zielhypothese des Sonderforschungsbereiches, nämlich einen bedienungsneutralen, programmgesteuerten Milchentzug, zu realisieren; dies ist in einem viel umfassenderen Ansatz als ursprünglich vorgesehen. Der maschinelle Milchentzug ist dabei als Teilprozeß eines umfassenden Herdenmanagementsystems zu sehen. Ein wichtiges Anliegen der nächsten Jahre muß es aber auch sein, diese Entwicklungen nicht nur den größeren Laufstallbetrieben, sondern auch den Anbindeställen zugänglich zu machen.

5. Langfristige Entwicklungshypothesen – automatisches Melken als Voraussetzung für neue Haltungssysteme?

Die Forschung würde ihrer Aufgabe nicht gerecht, würde sie nicht schon heute über das Erreichte hinaus neue Wege suchen und bearbeiten. Zwar ist das Ziel, ein weitgehend bedienungsneutraler Milchentzug, ein großes Stück näher, aber nach wie vor ist das direkte Mitwirken des Menschen beim Melken unverzichtbar.

Dies ist weniger aus Gründen der Arbeitszeiteinsparung von Bedeutung, sondern zwei andere Gesichtspunkte sind hier wichtig:

- Der Mensch ist im Bereich der Milchviehhaltung – anders als bei den meisten anderen landwirtschaftlichen Arbeiten – nach wie vor zweimal täglich an Stallarbeitszeiten gebunden, die gerade für den Familienbetrieb ohne Vertretungsmöglichkeit in Zukunft kaum mehr tragbare Arbeitsbedingungen bedeuten.
- Der Produktionsrhythmus wird in allen derzeitigen Stallsystemen nicht durch das natürliche Verhalten der Tiere sowie deren physiologischen Regelungsmechanismen bei der Ernährung und der Milchbildung bestimmt, sondern durch den Arbeitsrhythmus des Menschen.

Sollte es gelingen, das Ansetzen der Melkzeuge zu mechanisieren, so dürfte eine vollautomatische Milchviehhaltung einschließlich eines bedienungsneutralen Milchentzuges und einer rechnergestützten Tierüberwachung realisierbar sein. ORDOLFF (10) hat dafür Handhabungsautoma-

Produktionsrhythmus und Versorgung werden bestimmt :

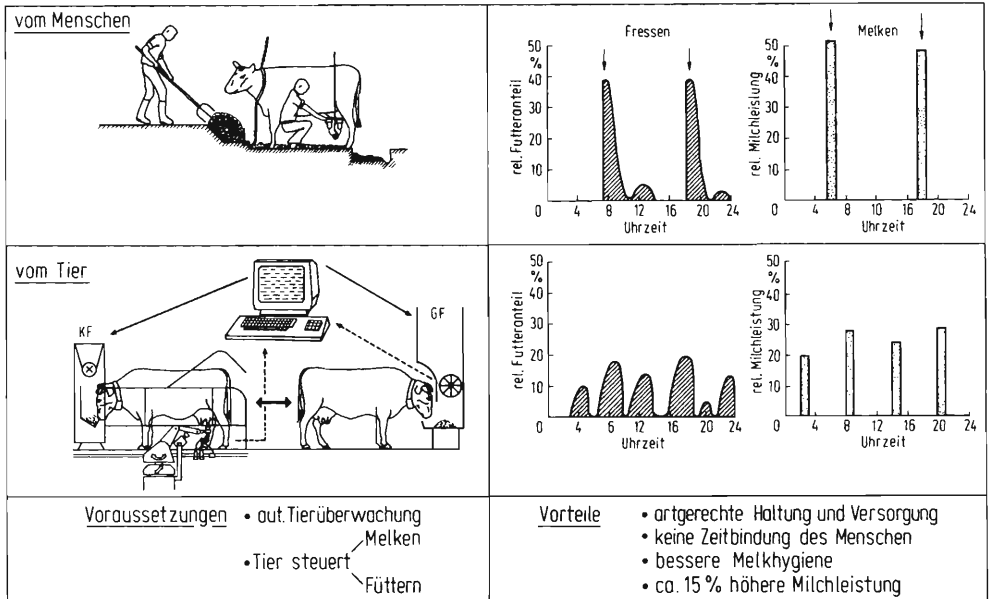


Abb. 13: Artgerechte Milchviehhaltung durch rechnergestütztes Melken, Füttern und Tierüberwachung (nach GRAVERT, RABOLD und ROSSING)

ten mit einer infrarotgesteuerten Sensorik im Versuch. In Verbindung mit großen Karussellmelkständen würde die Technik jedoch nur von Großbetrieben nutzbar sein. RABOLD (13) macht deshalb den Vorschlag, Melkroboter in Verbindung mit Kraftfutterabruflstationen zur „Selbstbedienung“ durch die Kühe einzusetzen. Da-

mit wäre diese Automatisierungsstufe auch für mittlere Herden zu nutzen.

Untersuchungen von ORDOLFF, ROSSING und RABOLD (zit. bei GRAVERT [6]), bei denen die „Selbstbedienung“ beim Melken durch die Kühe in Ermangelung derzeit verfügbarer Melkroboter simuliert wurde, brachten folgende Ergebnisse (Tab. 2).

Tab. 2: Simuliertes Melken in Selbstbedienung (ergänzt nach GRAVERT)

Autor		Anzahl Kühe	Anzahl Melkzeiten	Veränderung FCM
Ordolff 1982	Versuch	22	4,6	+ 12%
	Kontrolle	29	2	
Rossing et al. 1985	Versuch	14	5,4	+ 11%
	Kontrolle	14	2	
Rabold 1985	Versuch	2×12	4,3/4,0	+15%
	Kontrolle		2	

Die Tiere suchen, wahrscheinlich einem natürlichen Melkrhythmus folgend, etwa 4mal die Melkbox auf. Dieses mehrmalige Melken führt, wie auch schon frühere Untersuchungen über eine höhere Melkfrequenz zeigen, zu einer deutlichen Lei-

stungssteigerung, die bei Hochleistungstieren während der Laktationsspitze über 20% und während der gesamten Laktation etwa 12% beträgt. Wesentlich ist aber auch die deutliche Verbesserung der Eutergesundheit bei häufigerem Milchentzug.

Auf einen grundlegenden neuen Ansatz zur Weiterentwicklung der gesamten Milchviehhaltung in Zusammenhang mit dem automatischen Melken in Selbstbedienung hat GRAVERT (6) hingewiesen (Abb. 13).

Bei all unseren bisherigen Haltungssystemen bestimmte der Mensch durch das arbeitswirtschaftlich bedingte meist 2malige Füttern und Melken den Produktions- und Lebensrhythmus des Rindes, mit negativen Auswirkungen auf die Ernährungs- und Melkphysiologie von Hochleistungstieren.

Ohne diesen Eingriff des Menschen werden den Freß- und Melkzeiten vom natürlichen Lebensrhythmus des Tieres bestimmt. Die Elektronik bietet die Möglichkeit, unter weitestgehender Beachtung der tierspezifischen Ansprüche eine gezielte, leistungsabhängige Nährstoffversorgung und eine intensive Tierüberwachung zu sichern. Dieser Vorschlag würde der Milchviehhaltung in bäuerlicher Hand neue Möglichkeiten eröffnen hinsichtlich

- einer artgerechten Tierhaltung,
- einer kostengünstigen Produktion,
- arbeitswirtschaftlich optimaler Bedingungen und, auch das soll hier nicht verschwiegen werden,
- einer weiteren Leistungssteigerung und Qualitätsverbesserung.

Gerade die derzeit krisenhafte Situation unserer bäuerlich organisierten Milchviehhaltung sollte Anlaß sein, darüber nachzudenken, welche Haltungssysteme wir unseren Landwirten in 15 oder 20 Jahren für die verschiedenen Betriebsbedingungen empfehlen können und gezielt an deren Entwicklung arbeiten. Der Sonderforschungsbereich 141 hat für diese und andere künftig erforderlichen Lösungen entscheidende Vorarbeit geleistet.

6. Literaturverzeichnis

1. Auernhammer, H. H. Pirkelmann, G. Wendl: „Prozeßsteuerung in der Tierhaltung“ – Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan (1983) H. 4.
2. Batel, W.: „Grundsätzliche Überlegungen zur Automatisierung der landwirtschaftlichen Produktion“ – Grundlagen der Landtechnik 18 (1968) H. 1, S. 14–20.
3. Bittermann, E.: „Die landwirtschaftliche Produktion in Deutschland 1800–1950“, Diss. Halle (1956), Sonderdruck aus Kühn-Archiv, Bd. 70, Halle: Niemeyer Verlag (1956).
4. Eichhorn, H.: „Arbeitswirtschaft, Technik und Gebäude bei der Planung neuer Stallformen für Milchvieh“ – ALB-Schriftenreihe H. 26 (1965).
5. Fritz, W.: „Beitrag zur Klärung von Grundfragen für die Beurteilung und Weiterentwicklung von Melkmaschinen mit Zweiraum-Melkbechern“ – RKTL-Schrift 33 (1932).
6. Gravert, D.: „Melken in Selbstbedienung“, Vortrag: Wissenschaftliche Tagung der Humboldt-Universität Berlin, 4./5. Dez. 1985.
7. Hupfauer, M.: „Der Einfluß der Druckwechselzeiten von Pulsatoren auf die Melkleistung“ – Landtechnische Forschung 6 (1956) 26–31.
8. -: „Milchgeräte“ in: G. Franz, Geschichte der Landtechnik im 20. Jahrhundert. DLG-Verlag, Frankfurt/Main (1969).
9. Kohlschmidt, D., M. Gabriel, G. Wehowski, H. Schulze, J. Landsmann: „Automatisierung des Nachmelkens bei Kühen“ – Dt. Agrartechnik 21 (1971) 4, 165–167.
10. Ordolff, D.: „A System for Automatic Teat Cup Attachment“ – Journal of Agricultural engineering research 30 (1984) 1, 65–70.
11. Pen, C. L., H. Schön: „Ein stochastisches Simulationsmodell für arbeitswirtschaftliche Untersuchungen von Melkverfahren“ – Grundlagen der Landtechnik 33 (1973) 187–191.
12. -, -, K. O. Semmler: „Entwicklung und Anwendung teilautomatisierter Melkzeuge“ – Grundlagen der Landtechnik 23 (1973) 1, 18–22.
13. Rabold, K.: „Vollautomatisches Melken – Erste Ergebnisse aus Tierverhaltens- und physiologischen Untersuchungen“ – Landtechnik 41 (1986) 5, 224–226.
14. -, E. Lanser, M. Mayntz, L. Paizs: „Biotechnik der Milchgewinnung“ – Verlag Th. Mann, Hildesheim (1974).
15. Reuschenbach, H.: „Entwicklung milchflußgesteuerter Melkanlagen mit pneumatischen Systemen“ – Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan (1974) 8, 4–11.
16. Rosegger, S., D. Schlünsen: „Rationalisierung der Milchviehhaltung und deren Probleme“ – Landbauforschung Völkenrode Sh. 14 (1972) 53–57.

17. *Sauer, H., H. Auernhammer*: „Arbeitszeitbedarf für die Milchviehhaltung in Anbinde- und Laufställen“ – *Landtechnik* 37 (1982) 198–202.
18. *Schams, D., B. Schmidt-Polex*: „Einflüsse verschiedener Meßparameter auf die endokrine Regulation“ in: „Probleme der modernen Agrartechnik“ – *KTBL-Schrift* 217 (1977) 26–28.
19. *Schlüsen, D., H. Schön, B. Holzum, H. U. Wiesner*: „Eignung ausgewählter physiologischer Parameter zur automatisierten Früherkennung subklinischer Mastitiden“ – *Landbauforschung Völkenrode* 33 (1983) 4, 214–232.
20. *Schön, H.*: „Zu erwartende Fortschritte in der Maschinen- und Verfahrenstechnik“ in: „Landwirtschaft quo vadis?“ – *Arbeiten der DLG*, Band 187, 26–39.
21. –, *C. L. Pen, W. Weber, F. Freiburger*: „Arbeitsverfahren des Melkens“ – *RKL-Schrift* (1975).
22. *Stanzel, H.*: „Elektronische Programmsteuerung von Melkzeugen“ in: „Probleme der modernen Melktechnik“ – *KTBL-Schrift* 217 (1977) 64–75.
23. *Tolle, A., J. Reichmuth, H. Worstorff, J. Hamann*: „Konventionelle Melkanlagen und Infektionsrisikos der bovinen Milchdrüse“ – *Berichte über Landwirtschaft*, 190. Sh. (1975) 15–50.
24. *Weber, W.*: „Untersuchungen zum Einfluß der melkmaschinentechnischen Parameter Vakuumböhe, Pulszahl und Länge der Saugphase auf die Milchabgabe der Kuh“ – *Diss. Weihenstephan* (1977).
25. *Wehowski, G., D. Kohlschmidt, H. Schulze, J. Landsmann, M. Gabriel*: „Erarbeitung von Grundlagen für Ausmelkvorrichtungen“ – *Sektion Tierprod. und Vet.-Med. der Karl-Marx-Universität Leipzig* (1969), Forschungsbericht, unveröffentlicht.
26. *Wenner, H. L.*: „Technik und Arbeitswirtschaft in neuzeitlichen Rindviehställen“ – *Bayer. Landw. Jahrb.* 43 (1966), Sh. 1, 58–85.
27. *Worstorff, H.*: „Experimentelle Untersuchungen zur Stabilisierung des Vakuums in der Melkeinheit“ – *Habilitationsschrift Weihenstephan* (1977).
28. –: „Melktechnik. Alles über Melken, Milch und Melkmaschinen“ – *top agrar extra, Münster-Hiltrup* (1986).
29. –, *D. Schams, A. Prediger, H. Auernhammer*: „Zur Bedeutung der Stimulation beim Melken“ – *Milchwissenschaft* (1980) 141–144.

Melktechnische Grundlagen und deren biotechnische Umsetzung

Von Hermann Worstorff

Angesichts der Milchliefereung in einen gesättigten EG-Markt mag es nicht unbedingt zwingend erscheinen, in Melkmaschinenforschung zu investieren. Unsere Arbeitsgruppe ist da ganz anderer Ansicht, und zwar besonders deswegen, weil Kostensenkung den Schlüssel zum Überleben der Milchproduzenten bildet und die im Rahmen ihrer Kapazität leistende, gesunde und langlebige Kuh zugleich auch die rentabelste ist. Das ist natürlich nicht nur von der Melktechnik abhängig, aber wegen der engen Beziehungen zwischen Milchproduktion, regelmäßigem Ausmelken und Eutergesundheit handelt es sich doch um einen sehr wichtigen Faktor.

Wenn man – aufbauend auf das grundlagenphysiologische Referat SCHAMS – die gemeinsame Zielstellung mit „möglichst vollständig, schonend und zügig melken“ formuliert, kann man sogar sagen, daß erst

in den letzten Jahren wesentliche Voraussetzungen dafür geschaffen wurden, daß sich in der Praxis eine Umkehr von der vorrangig arbeitswirtschaftlich ausgerichteten zur arbeitswirtschaftlich vertretbaren, tiergerechten Milchgewinnung vollziehen kann.

Abb. 1 umreißt die Aufgaben in der Reihenfolge des Melkablaufes und bildet gleichzeitig den Rahmen für den nachfolgenden Beitrag.

In den Koordinaten Milchfluß gegen Zeit ist eine schematisierte Milchflußkurve dargestellt, eingeteilt in Vor-, Haupt- und Nachphase, wobei gleich eingangs betont werden soll, daß die vorangehende Periode mehr oder weniger die Funktionsgrundlage für die folgende bildet. Das gilt in besonderem Maße für die Vorphase, in der durch eine vollwertige Vorstimulation die Voraussetzungen der Milchhergabe ge-

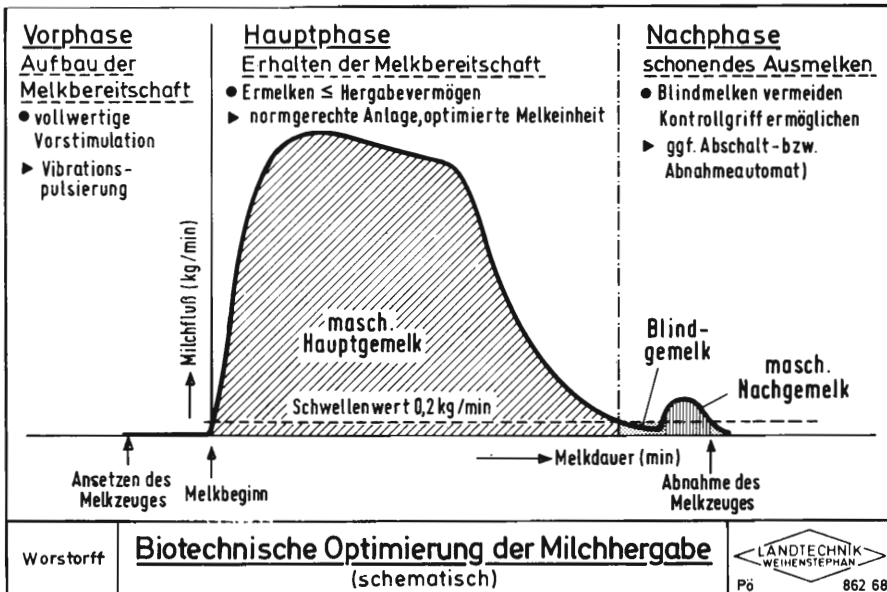


Abb. 1

schaffen werden müssen. In der Hauptphase – das ist der Zeitraum, in dem die Maschine selbsttätig ohne Zutun des Melkers arbeitet – muß durch angenehme, aber effektive Melkweise gewonnen werden, was die Kuh freigibt. Milkt man schneller oder deutlich langsamer, ist das biotechnische Gleichgewicht gestört und die Milchhergabe bleibt so unbefriedigend, daß sich selbst mit aufwendigem Nachmelken kaum noch etwas ausgleichen läßt. Bei entsprechender Gestaltung von Vor- und Hauptphase und gutem Tiermaterial hingegen ist die Kuh bei Eintritt in die Nachphase bereits weitgehend ausgemolken. Ein regelmäßig guter maschineller Ausmelkgrad muß das Endziel sein, weil er – besonders bei zweimal täglichem Melken – die Voraussetzung für eine anhaltend hohe Milchleistung bei guter Eutergesundheit und vergleichsweise geringem Arbeitsaufwand schafft.

Entscheidende Verbesserungen für die Milchgewinnung als solche sind von einer vollwertigen Mechanisierung der Vorstimulation zu erwarten. Eine Minute von Hand wird diese wegen der damit verbundenen Arbeitsbelastung in Kleinbetrieben nur in Ausnahmefällen ausgeführt, und im großen Melkstand mit Stundenleistungen von 50, 60 oder mehr Kühen/Akh hat man dazu gar keine Zeit, weil unter diesen Bedingungen nicht einmal mehr 1 min für die gesamten Routinearbeiten je Kuh und Melkzeit zur Verfügung steht. Dabei läuft man akute Gefahr, Rationalisierung durch Weglassen von Handgriffen mit ungleich teureren Einbußen auf der Ertragsseite zu bezahlen.

Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der maschinellen Vorstimulation lassen inzwischen die Aussage zu, daß eine vollwertige Erledigung durch das Melkzeug möglich ist. Gleichzeitig bleibt die Technik so einfach, daß eine generelle Ausrüstung der Melkeinheiten ins Auge gefaßt werden kann. Das gilt insbesondere für die Vibrationspulsierung:

Unterhalb der Zitze bleibt das Betriebsvakuum bestehen, während der Pulsraum mit etwa 300 Zyklen/min bei reduzierter

Vakuumversorgung beaufschlagt wird. Dadurch wechselt der Gummi vibrierend zwischen einer mehr und weniger geschlossenen Stellung, was stimulatorisch in verschiedener Hinsicht hervorragend genutzt werden kann. Die nachfolgende Übersicht faßt die wesentlichen Punkte stichwortartig zusammen:

1. Leichte Druckreize an den Zitzen sind am besten geeignet zur Oxytocinfreisetzung und Gewebekonditionierung. Die Zitzengummibewegung kann dafür optimal genutzt werden, ohne daß ein vorzeitiges Klettern der Melkbecher erfolgt.
2. Die Melkintensität ist während der Vorstimulation so stark gesenkt, daß – wegen der weitgehend geschlossenen Zitzengummis – kein vorzeitiges Abmelken der Zisternen erfolgt.
3. Die Reizwirkung addiert sich durch parallele Beaufschlagung aller vier Zitzen zu einer Stimulation, die einer einminütigen Vorstimulation von Hand mindestens gleichwertig ist.
4. Das Melken erfolgt unmittelbar im Anschluß an die Vorstimulation durch einfaches Umschalten, so daß schädliche Wartezeiten automatisch entfallen.
5. Man braucht keine extra Maschine; durch Austausch des Pulsators entfallen Handgriffe und Wege. Die einfache Technik bietet ein ungewöhnliches Kosten/Nutzen-Verhältnis.

In der Hauptmelkphase ist eine ganze Reihe von Problemen zu bewältigen, wobei im letzten Jahrzehnt

1. die technischen Voraussetzungen in der breiten Praxis deutlich verbessert werden konnten,
2. neue Lösungen bei Melkeinheiten schnell den Weg vom Forschungslabor in die industrielle Fertigung fanden und
3. die Aera biotechnischer Optimierung gerade erst begonnen hat.

I Technische Voraussetzungen

Basis einer befriedigenden technischen Funktion von Melkanlagen ist eine normgerechte Auslegung; wenn Nennwerte wie Vakuumhöhe im Leitungssystem oder

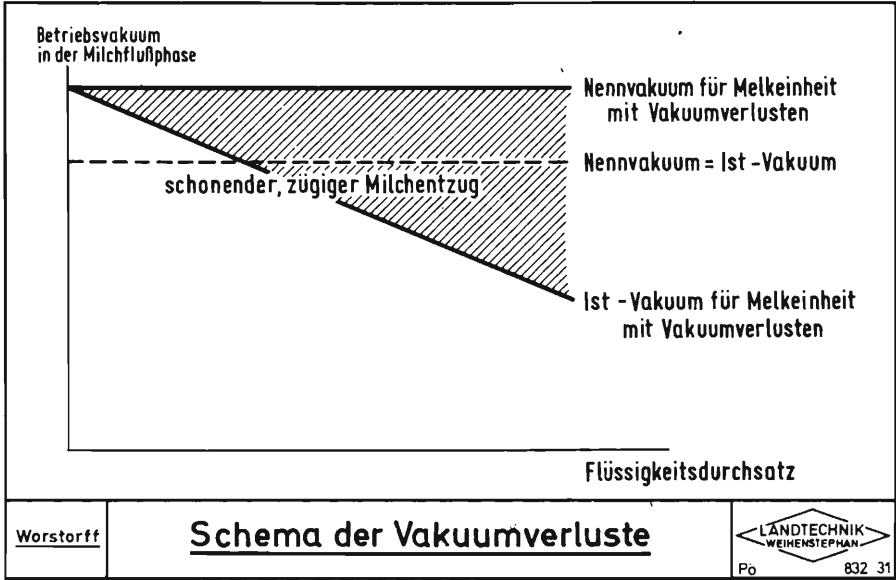


Abb. 2

Pulsatordaten bereits inkonstant sind, können die Bedingungen am Euter der Kuh nur noch schlechter sein, denn das Melkzeug wird aus der Anlage mit Vakuum und vom Pulsator mit Impulsen versorgt. Was aber unkontrolliert schwankt, läßt sich praktisch nicht optimieren und schon gar nicht steuern. Diese Aussage gilt zunächst unabhängig von der Frage des biotechnischen „Wie“. Der Zusammenhang Anlage : Melkeinheit stellt sich schematisch wie folgt dar (Abb. 2):

Ausgangspunkt ist ein konstantes Nennvakuum in der Leitung, wie es mit normgerechten Melkanlagen heute erzielt werden kann. Sofern praktisch keine Milch fließt, schlägt das Vakuum durch das leere Melkzeug in voller Höhe auf das Euter durch, wenn das nicht durch eine extra Steuerung verhindert wird. Sobald die Milch fließt, ändern sich die Bedingungen aber drastisch: Die vom gleichen Vakuum zu ermelkende und zu fördernde Milch geht mit einer Umwandlung von kinetischer und potentieller Energie sowie Strömungsverlusten einher, so daß bei hohem Milchfluß das reduzierte Vakuum am Euter den Milchfluß begrenzt. Der Einzelfall ist natürlich abhängig von der Melkzeug-

konstruktion und der Leitungshöhe. Selbst bei tiefverlegter Melkleitung treten jedoch in Verbindung mit bestimmten Melkzeugen und Sensoren sowie besonders bei der Milchleistungsprüfung mit bislang gebräuchlichen Geräten zum Teil erhebliche Vakuumverluste auf. Um überhaupt höhere Milchflüsse bewältigen zu können, war es jahrelang üblich, mit auf ca. 50 kPa überhöhtem Nennvakuum zu melken. Das hat aber die vorgenannten Konsequenzen für die Periode mit geringem Flüssigkeitsdurchsatz. Die Abweichung von Soll- und Ist-Werten ist jedoch nicht auf das Melkvakuum beschränkt: Der Zitzengummi kollabiert bekanntlich nicht direkt vom Pulsator gesteuert, sondern durch den Differenzdruck zwischen Pulsraum und Zitzengummi-Innenraum. Wenn nicht auch das Vakuum am Euter kontrolliert verläuft, bringt das die Zitzengummi-bewegung durcheinander. Damit sind entscheidende melktechnische Faktoren einer Optimierung entzogen.

Neuere Melkeinheiten lösen dieses Problem auf verschiedene Weise und kommen so zu Melkbedingungen am Euter, die Soll und Ist weitgehend in Einklang bringen. Eingehende Labormessungen, frühere Op-

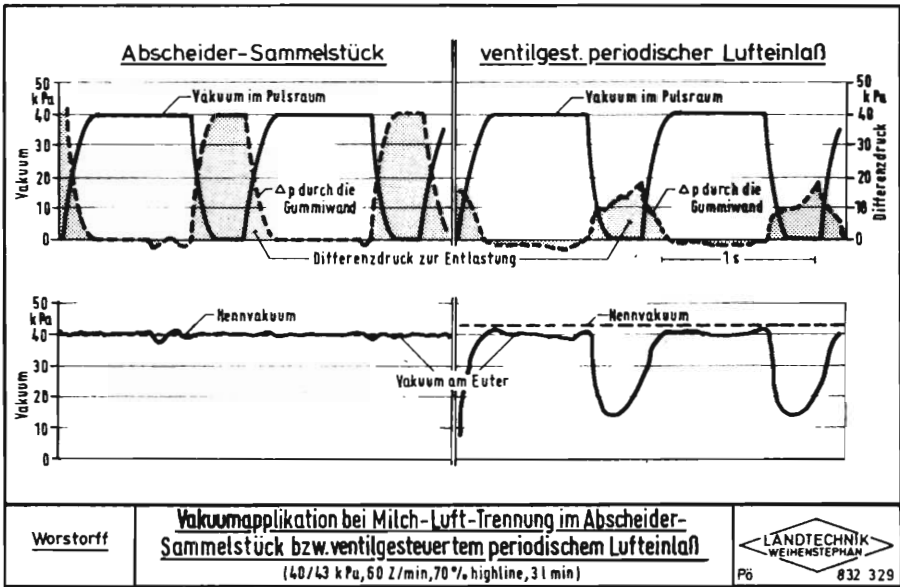


Abb. 3

timierungsversuche und inzwischen auf breiter Basis vorliegende Praxiserfahrungen sprechen unter diesen Bedingungen für eine Einstellung des Melkvakuums auf ca. 40 kPa statt der früheren mehr oder weniger üblichen 50 kPa, wobei eine schonende und zugleich zügige Milchgewinnung erreicht werden kann.

II Neue Lösungen bei Melkeinheiten

sind inzwischen im Angebot der drei großen, auf dem deutschen Markt vertretenen Firmen sowie – mit eigenem Konzept – bei einigen kleinen. Dabei folgt die Gestaltung des zitzenendigen Vakuums zwei Grundvorstellungen: konstanter Verlauf gegen periodische Absenkung (vgl. Abb. 3).

Die linke Bildhälfte unter der durchgezogenen Linie der Pulscurve im Diagramm Vakuum gegen Zeit zeigt ein Beispiel für ein konstantes Vakuum am Euter bei 3 l Milchfluß/min, welches in Saug- und Entlastungsphase praktisch nicht vom Nennwert 40 kPa abweicht. Derartige Bedingungen sind bei entsprechender Konstruktion mit einem Abscheider-Sammelstück zu erreichen (Abb. 4).

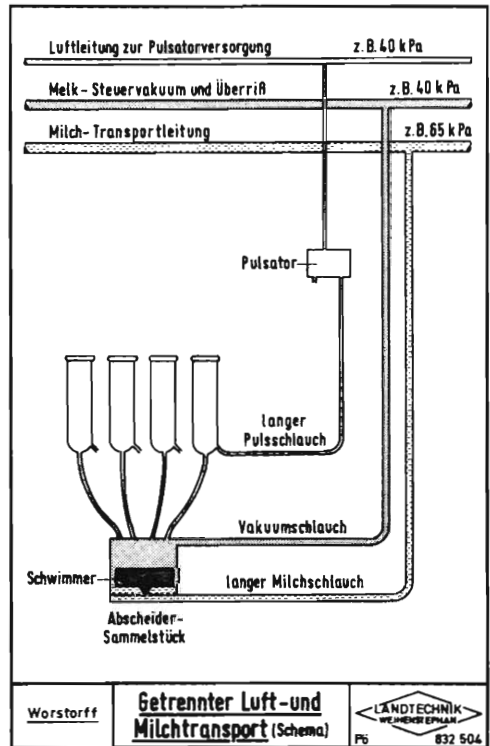


Abb. 4

Dabei münden die Zitzenbecher in ein Sammelstück, das zwei Vakuumschlüsse aufweist: Der obere (Vakuumschlauch) transportiert ein Melkvakuum von z. B. 40 kPa. Der lange Milchschauch (unten) führt unter ca. 25 kPa höher liegendem Transportvakuum die nicht extra mit Luft versetzte Milch ab. Die Vakuumstufen werden im Sammelstück durch einen Schwimmer oder ein Membranventil getrennt.

Wir haben uns einige Jahre mit den Grundlagen der Milch-Luft-Trennung und deren Anwendung im Melkbereich beschäftigt und wissen daher, daß bereits kleinste Überrißmengen – abgesehen von eventuellen hygienischen Problemen – zum Teil extreme Schwankungen des Melkvakuums verursachen, die man ja gerade mit der Milch-Luft-Trennung unterbinden will. Für die Luftabscheidung ist neben strömungstechnischen Details die Oberflächengröße wichtig; die Stauhöhe dagegen geht nicht in die Grundformel der Abscheidungsdauer ein.

Melkeinheiten mit echter Milch-Luft-Trennung ergeben durch den schonenden Transport Werte an freien Fettsäuren in der Milch, die extrem niedrig liegen. Der Einsatzbereich ist aber bislang auf die hochverlegte Melkleitung – d. h. normalerweise den Anbindestall – beschränkt.

Der ventilgesteuerte, periodische Lufteinlaß bietet eine inzwischen in allen Melkanlagentypen verbreitete Möglichkeit, ohne Umbau der Anlage kontrollierte Vakuumverhältnisse am Euter zu schaffen (Abb. 5).

In der Saugphase wird die Milch – im Gegensatz zum konventionellen Zweiraumverfahren – ohne Lufteinlaß gewonnen. In der Entlastungsphase geben Ventile in die Zitzenbecher jeweils etwa 2 l Luft/min. Die Luft senkt das zitzenendige Vakuum ab und schiebt die Milch durch die kurzen Milchschräuche in das ableitende System. Durch die systematische Optimierung, an der wir uns mit verschiedenen Grundlagenarbeiten beteiligt haben, werden Entzug und Transport so miteinander abgestimmt, daß die fließende Milch den Vakuumaufbau in der

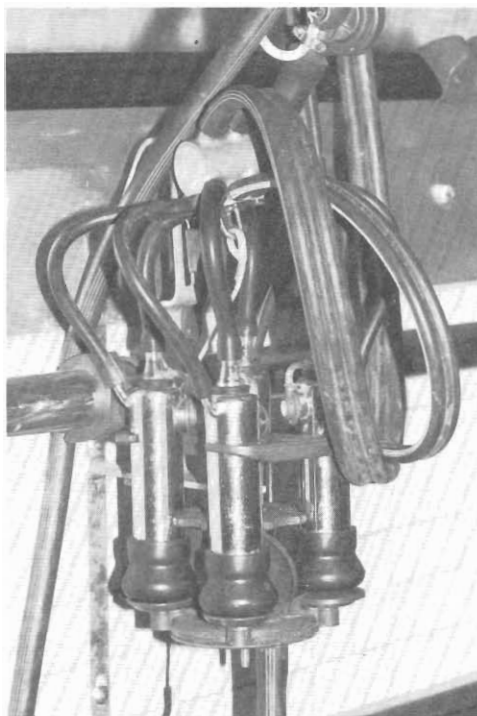


Abb. 5: Melkzeug mit ventilgesteuertem, periodischen Lufteinlaß

folgenden Saugphase – etwa der Resonanzaufladung von Motoren im Prinzip vergleichbar – stützt.

Das zitzenendige Vakuum ist daher auf gleicher Höhe wie das der Milch-Luft-Trennung, wenn als Nennvakuum 43 statt 40 kPa auf der hochverlegten Leitung eingestellt werden. In der Entlastungsphase wird durch die periodische Absenkung des Vakuums weniger Saugkraft und gleichzeitig weniger Druck auf die Zitze appliziert als bei der Milch-Luft-Trennung. Die zugehörigen Flächen sind in der Pulskurve in Abb. 3 kreuzschraffiert markiert. Auf eine Besonderheit des periodischen Lufteinlasses sei noch hingewiesen: Im Gegensatz zu konventionellen Melkzeugen ist ein großes Sammelstück nicht nur nicht erforderlich, sondern strömungsmechanisch unerwünscht. Prinzipbedingt gibt es daher derzeit keine Technologie, mit der sich eine Trennung nach Eutervierteln besser verwirklichen ließe. Bei dieser Aus-

Eine ähnliche zitzenendige Vakuumapplikation wie der ventilgesteuerte periodische Lufteinlaß weist auch das neue MLT-Verfahren auf (Abb. 6).

MLT steht für Milch-Luft-Trennung; wissenschaftlich betrachtet ist es aber eine zwischen den beiden abgehandelten Verfahren einzuordnende Konstruktion. Auch für diesen interessanten Neuanatz haben wir frühzeitig Verbesserungsvorschläge hinsichtlich Strömungstechnik und Hygiene unterbreitet.

III Biotechnische Optimierungsvorhaben

Die Arbeiten haben – was die dringende Klärung kausaler Zusammenhänge angeht – grundlegenden Charakter und werden die Forschung sicher noch einige Zeit fordern, insbesondere, was die Gestaltung von Saug- und Entlastungsphase betrifft. Abb. 7 zeigt die Druckverteilung im Zitzenbecher bei 40 kPa Nenn-Ist-Vakuum und Pulsierung mit atm. Luft- bzw. Überdruck. In der Saugphase (links dargestellt) ist die Zitzenkuppe dem Betriebsvakuum ausgesetzt; an der Zitzenwandung dichtet das Gewebe weitgehend gegen den Gummi ab. Durch die Druckdifferenz zwischen Zitzenspitze und Zitzenzisterne öffnet sich der Strichkanal, und Milch wird ermolken. Gleichzeitig erfolgt aber durch das auf die Zitzenkuppe konzentrierte Vakuum ein Ansaugen von Blut und Gewebsflüssigkeit in Richtung Zitzenspitze, was zu einer Ansammlung besonders in der Kuppe führt. Der Gewebeaufbau mit seinen vielen Gefäßen bietet dafür die anatomischen Voraussetzungen.

Der sich in der Saugphase aufbauende Stau ist eine unerwünschte Belastung und das Gewebe beansprucht zunehmend Raum und verengt den Strichkanal, so daß der Milchfluß drastisch sinkt. Der Vorgang verläuft der angelegten Vakuumhöhe proportional; eine weitere wichtige Einflußgröße ist die Dauer der Saugwirkung: Seit man aus den Tagen des Einraumbeckers gelernt hat, daß sich die Dauer-Saugphase und Milchhergabe widersprechen, schaltet man in kurzem Wechsel der Saugphase

eine sogenannte Entlastungsphase nach. Deren zirkulatorische Wirkung stellt sich bezüglich der Druck- und Kräfteverhältnisse wie folgt dar (Abb. 7 Mitte):

- An der Seitenwand entsteht praktisch keine Druckdifferenz, da atmosphärischer Druck auf beiden Seiten des Zitzensgummis anliegt; hier wird praktisch keine Flüssigkeit verdrängt.
- Unterhalb der Zitze dagegen entsteht eine Druckdifferenz von im Beispiel 40 kPa zwischen Innen- und Pulsraum.
- Die Verformung der Zitze ergibt sich aus der letztgenannten Druckdifferenz und der Steifheit des Gummis.
- Die Hauptkraft der Massage ist auf die Zitzenspitze konzentriert, die weniger massiert als eingekeilt wird.

Bei der Druckluftpulsierung (Abb. 7 rechts) dagegen hat man die Möglichkeit, auch in der Seitenwand Flüssigkeit zu verdrängen, weil dann auch in diesem Bereich eine Druckdifferenz aufgebaut wird.

Zusammengefaßt ergibt sich: Je mehr man saugt, desto wirksamer muß man entlasten. Angesichts der Tatsache, daß der Strichkanal in seiner Funktion als Austrittsöffnung für die Milch und Abwehrpforte gegen Mastitiserreger auch langfristig nicht direkt oder indirekt beeinträchtigt werden sollte, verdient unseres Erachtens die Optimierung der an der Zitze angreifenden Kräfte sowohl hinsichtlich der Milchhergabe als auch der Eutergesundheits einen hohen Stellenwert in der Melkmaschinenforschung.

Die Problematik der zum zyklischen Zusammendrücken des Zitzengewebes erforderlichen Kraft läßt sich anhand von Fotos/Filmaufnahmen mit transparenten Zitzenbechern und -gummis bei abgestufter Vakuumapplikation darstellen. Die Abb. 8 und 9 geben aus diesen Arbeiten zwei Beispiele: Abb. 8 zeigt eine Entlastung bei 40 kPa Melkvakuum unter der Zitze und 40 kPa Druckluft im Pulsraum. Bei einem Differenzdruck von 80 kPa unterhalb der Zitze und 40 kPa an den Seiten wird das Gewebe stark zusammengedrückt. Zum Vergleich gibt Abb. 9 die Verhältnisse bei

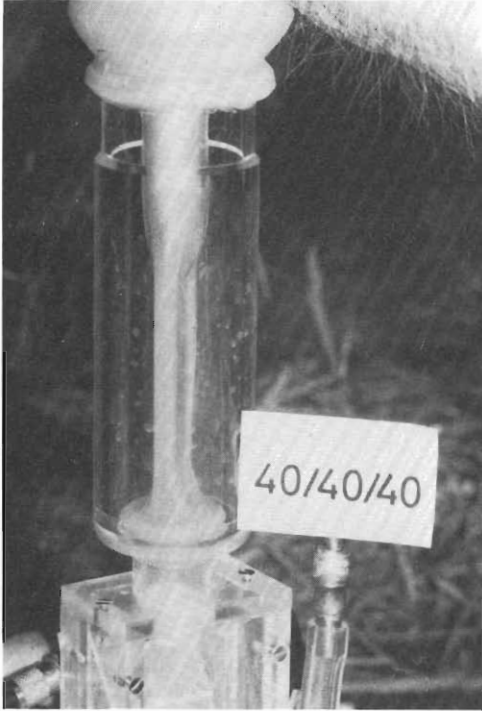


Abb. 8
Zirkulatorische Entlastung durch Druckluftpulsation ohne (links) und mit Absenkung des Melkvakuums (rechts)

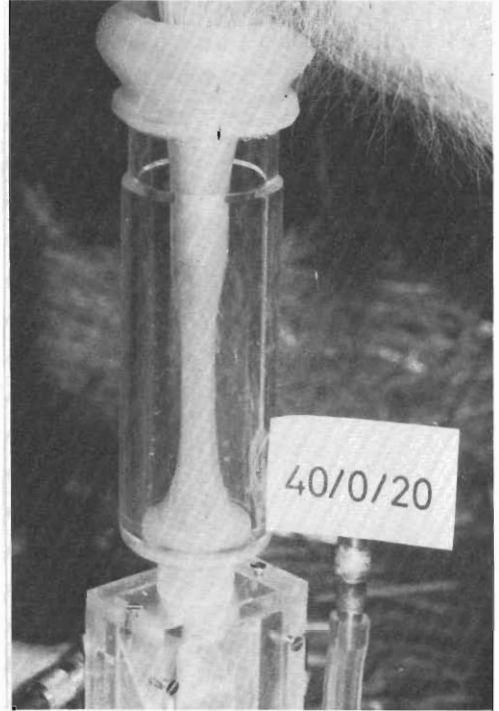


Abb. 9
Zirkulatorische Entlastung durch Druckluftpulsation ohne (links) und mit Absenkung des Melkvakuums (rechts)

periodischer Absenkung des zitzenendigen Vakuums auf atmosphärischen Druck bei 20 kPa Druckluft im Pulsraum wieder; der Differenzdruck beträgt einheitlich 20 kPa.

Beide Zitzen sind etwa gleich groß, so daß trotz vierfacher Differenz im Kräfteintrag nahezu die gleiche Menge Flüssigkeit aus dem Gewebe verdrängt wurde. Daraus lassen sich zwei wesentliche Folgerungen ableiten:

1. Man braucht nicht notwendigerweise extreme Differenzdrücke, um das Zitzenewebe wirkungsvoll zirkulatorisch zu entlasten, und
2. wenn man saugt und gleichzeitig drückt, wird die Entlastungswirkung teilweise aufgehoben; d. h. man muß das Gewebe stärker beanspruchen, um die gleiche Flüssigkeitsmenge zu verdrängen.

Die Aussagen gelten analog für die bereits besprochenen Melkverfahren ohne Über-

druckpulsierung – also Milch-Luft-Trennung bzw. periodischer Lufteinlaß.

Hinsichtlich der Gewebelastung lassen sich also auf einfache Weise bereits gewisse Eingrenzungen vornehmen; wie aber steht es mit der Milchhergabe bei den verschiedenen Vakuumapplikationen?

Zur Klärung sind umfangreiche Melkversuche erforderlich, die zur Erforschung kausaler Zusammenhänge auf der Erfassung des Milchflusses innerhalb der Pulszyklen aufbauen sollten. Die Erfassung der jeweils max. 1 s dauernden Abgabeprofile bei kontrolliert abgestuften Melkbedingungen stellt technische Anforderungen, die unseres Erachtens bei bisherigen Ansätzen anderer Forscherteams nicht erfüllt wurden und umfangreiche Vorarbeiten unsererseits erforderlich machten. Die Lösung basiert melktechnisch auf einer Milch-Luft-Trennung, die so abgewandelt wurde, daß auch periodische Absenkungen und selbstverständlich Druckluftva-

rianten sicher gefahren werden können. Die melktechnischen Maximal-Abweichungen zwischen Soll und Ist liegen bei 1 kPa.

Das Milchflußsignal wird durch jeweils kurzen Anstau der innerhalb des Zyklus ermolkenen Milchmenge über Elektroden abgegriffen und ist mit einer Meßunsicherheit von max. 5% unter Melkbedingungen behaftet. Das mag zunächst relativ unsicher erscheinen, ist jedoch unter dem Gesichtspunkt der erforderlichen Auflösung im 1/100-s-Bereich bei minimal zulässiger Dämpfung zu bewerten. Weiterhin ist die Meßunsicherheit der Apparatur natürlich relativ zu den Unterschieden im zu messenden Signal zu sehen, und hier zeichnen sich erhebliche Optimierungsmöglichkeiten für das Melken ab (Abb. 10):

Dargestellt sind beispielhaft drei Vakuumapplikationen mit Pulskurve und zitzenendigem Vakuum für jeweils einen Pulszyklus in der oberen Bildhälfte und dem zugehörigen Abgabeprofil darunter: Die linke Darstellung steht für ein konstantes Vakuum nach dem Muster der handels-

üblichen Milch-Luft-Trennung im Sammelstück-Abscheider. Die Milchabgabe erfolgt in Form eines Impulses, der auf kräftiges Saugen und schnellen Anstau deutet.

Im mittleren Bildteil sind zitzenendiges Vakuum und Pulskurve deckungsgleich. Es erfolgt also – im Gegensatz zur Praxis – keine Zitzengummibewegung, sondern eine kurzzeitige, vollständige Entlastung vom Vakuum. Der Milchfluß bleibt anhaltend auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau, erreicht aber insgesamt die gleiche Menge innerhalb Zyklus wie der vorgenannte Impuls. Bereits ein sehr kurzer periodischer Vakuumabbau kann offensichtlich – sogar ohne mechanische Druckunterstützung durch den Zitzengummi – entlastend wirken.

Bei der Überdruckpulsierung ist – bei starker Belastung des Zitzengewebes und schlechter Annahme durch die Kuh – ein grundlegend anderes Abgabeprofil zu beobachten: Der Milchfluß ist hoch und weist ein Plateau auf, weil die Seitenwände der Zitze zyklisch unter die Menge in normaler

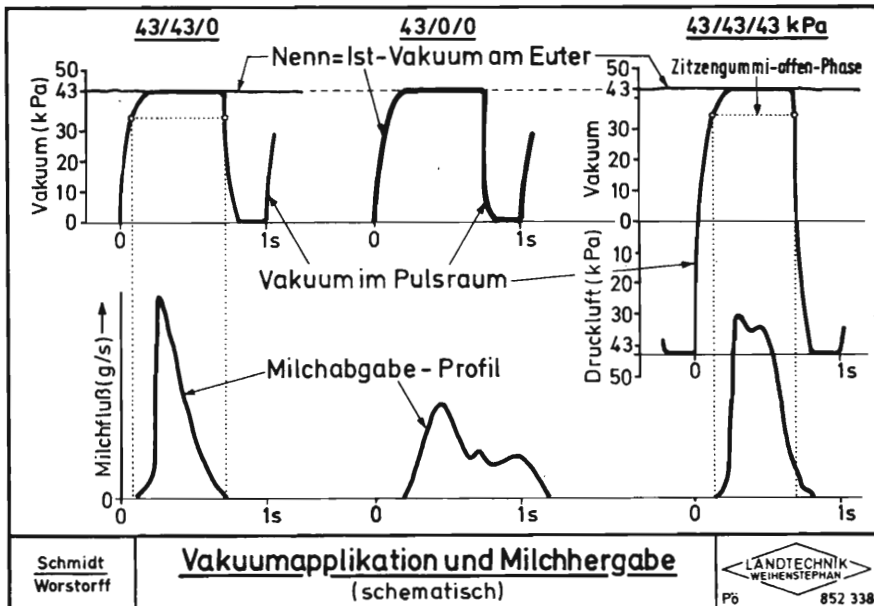


Abb. 10

Zirkulation ausgedrückt werden und somit auch ein melkbedingter Anstau später erfolgt.

Unsere allgemeine Zielstellung ist ein weitgehend vollständiges maschinelles Ausmelken bei schonender Gewebebehandlung, um auch langfristig die angestrebte Milchhergabe sicherzustellen. Bei diesen Forschungsarbeiten wird die Ultraschall-Schnittbildtechnik vermutlich zusätzliche Hilfestellung geben.

Weitere Arbeiten werden sich zunächst mit der EDV-Analyse der Milchabgabeprofile befassen, um eine schnelle, systematische Auswertung von Versuchen zu ermöglichen. Wir glauben, daß Milchabgabeprofile neben Versuchen zur Vakuumapplikation noch bei mancher Fragestellung – z. B. der Bewertung des Sitzgummis – entscheidend zur kausalen Klärung beitragen können.

Leitlinie des Melkens in der Hauptphase war die optimale Nutzung des Hergabevermögens der Kuh. Basierend auf dem heutigen Kenntnisstand kann die vollwertige Vorstimulation dafür als Grundvoraussetzung genannt werden. Soll-Ist-Bedingungen am Euter der Kuh beim Melken bilden

die Basis weiterer Optimierung. Ist das alles erfüllt, kann man die Frage stellen, ob durch eine Steuerung der Melkparameter entsprechend dem tierindividuellen Abgabepotential eine weitere Verbesserung erzielt werden kann. Das ist nicht auszuschließen, wird jedoch nicht ohne zusätzlichen Aufwand möglich sein und sicher der genannten Rangfolge der Schritte entsprechen müssen: Wenn man etwas gezielt steuern will, muß man die Faktoren sehr genau kennen und in der Hand haben.

Die Endphase dürfte im Vergleich zur Hauptmelkphase zukünftig relativ wenige prinzipielle Probleme beinhalten, wenn auch hier noch vielfältige Detailfragen anstehen. In kleineren Beständen wird der Milchflußindikator seinen Dienst tun; Abschaltautomaten zum Unterbinden schädlichen Blindmelkens dürften weiter in der Verbreitung zunehmen, denn die Steuerung ist relativ einfach und kann zukünftig natürlich auch über einen Milchmengemesser erfolgen. Für die automatische Melkzeugabnahme schließlich wird die Einsatzvoraussetzung „hoher maschineller Ausmelkgrad“ durch Verbesserung von Vor- und Hauptphase verbreitert, wahrscheinlich jedoch erst geschaffen.

Betriebswirtschaftliche Perspektiven von heutigen und künftigen Bestandsgrößen

Von Norbert Sauer, Institut für Landw. Betriebslehre der Universität Gießen

Die zu erwartenden Rahmenbedingungen aus der zukünftigen EG-Marktordnungspolitik werden durch stagnierende bzw. rückläufige Produktpreise und durch stetig steigende Betriebsmittelpreise gekennzeichnet sein. Zusätzlich führte die im April 84 in Kraft getretene Milchmengenkontingentierung in den Milchviehbetrieben zu Einkommenseinbußen und – was noch viel gravierender ist – zu erheblichen Beschränkungen für die weitere Betriebsentwicklung. Sie zwingt deshalb den Landwirt zu Anpassungsmaßnahmen mit den Zielen, die Einkommensreduktion zu minimieren und die Betriebsentwicklung insbesondere im Hinblick auf Investitionsmaßnahmen neu zu überdenken.

Grundsätzlich kann die Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Unternehmen über Struktur- und Prozeßoptimierungsmaßnahmen verbessert werden. Bei der Prozeßoptimierung geht es prinzipiell um eine Verbesserung der Input-Output-Koeffizienten, während die Strukturoptimierung die Anpassung der Produktionskapazitäten zum Ziel hat.

Im ersten Teil soll nun die Wirtschaftlich-

keit der Produktionsprozesse anhand von Buchführungsergebnissen in bayerischen Futterbaubetrieben analysiert werden.

Dazu wurde zunächst in Übersicht 1 versucht, die Effizienz der Milchviehhaltung in südbayerischen Milchviehspezialbetrieben in Abhängigkeit von der Bestandsgröße zu untersuchen. Die Betriebsgrößenklasse 5–20 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) hält dabei – das zeigt Zeile 1 der Übersicht – im Durchschnitt 20,6 Kühe, die Größenklasse 20–50 ha hält 30,0 Kühe in ihren Beständen, und in der Klasse zwischen 50 und 150 ha liegt die durchschnittliche Bestandsgröße bei 52,7 Kühen pro Betrieb.

Der Wert der tierischen Erzeugnisse, bezogen auf eine Vieheinheit (VE), liegt, wie Zeile 4 der Übersicht zeigt, praktisch auf gleichem Niveau, wobei die kleinste Betriebsgruppe den höchsten Wert aufweist, obwohl, wie in Zeile 5 zu erkennen, die Milchleistung in dieser Gruppe am niedrigsten ist und mit zunehmender Betriebs- bzw. Bestandsgröße sukzessive ansteigt. Die Ursache für die abnehmende Effizienz liegt in dem höheren Anteil der Milchvieh-

Übersicht 1: Kennziffern buchführender bayerischer Milchviehbetriebe (WJ 82/83 und 83/84)

Z Kennziffer	Einheit	5–20 ha	20–50 ha	50–150 ha
1 Bestandsgröße	Stck.	20,6	30,0	52,7
2 Tier. Erzeugnisse	DM/ha LF	6 174	5 500	4 485
3 Viehbestand	VE/ha LF	2,27	2,04	1,66
4 Tier. Erzeugnisse	DM/VE	2 720	2 696	2 701
5 Milchleistung	kg/Kuh	4 697	4 847	5 011
6 Milchpreis	Pf/kg	69	69	68
7 Spezialaufwand	DM/VE	720	739	834
8 Erw. Kraftfutteraufw.	DM/VE	599	633	660
9 Deckungsbeitrag	DM/VE	2 000	1 957	1 867
10 TierErz/Spezialaufw.	DM/1000 DM	3 792	3 648	3 239
11 TierErz/erw. KF-Aufw.	DM/1000 DM	4 541	4 259	4 092
12 AK-Besatz	AK	1,50	1,85	2,04
13 Deckungsbeitrag	DM/AK	45 612	58 158	80 063

Quelle: nach BAYERISCHEN BUCHFÜHRUNGSERGEBNISSEN 1982/83 und 1983/84 berechnet

einheiten an dem gesamten Viehbestand gegenüber der der mittleren und großen Betriebsgrößengruppen, bei denen der Anteil der Mast- und Aufzuchttiere am Viehbestand höher liegt als in den kleinen Betrieben.

Der Milchpreis, der in Zeile 6 dargestellt ist, hat keinen Einfluß auf die Ertragsleistung, da er in allen Betriebsgruppen praktisch gleich hoch ist.

Offensichtlich ist die höhere Milchleistung in den größeren Betrieben nur durch eine Erhöhung des Spezialaufwandes, dargestellt in Zeile 7, erzielbar.

Die Effizienz des Produktionsmitteleinsatzes kann aus den Zeilen 10 und 11 abgelesen werden. Pro 1000 DM Spezialaufwand kann demnach in der kleinen Betriebsgruppe ein landwirtschaftlicher Ertrag (oder Umsatz) von knapp 3800 DM erzielt werden, während er in den beiden anderen Betriebsgrößengruppen über etwa 3650 DM auf etwa 3240 DM absinkt. Die gleiche Tendenz kann man bei der Betrachtung des Kraftfuttereinsatzes erkennen.

Der Deckungsbeitrag (Zeile 9) als Differenz aus dem Wert der tierischen Erzeugnisse und dem Spezialaufwand errechnet, bezogen auf eine Vieheinheit, zeigt demzufolge ebenfalls abnehmende Werte von 2000 DM pro VE in den kleinen Betrieben über 1957 DM auf 1867 DM/VE.

Betrachtet man jedoch die Verwertung der Arbeit, gekennzeichnet durch die Größe Deckungsbeitrag pro AK in Zeile 13, so läßt sich ein deutlicher Anstieg mit zunehmender Bestandsgröße feststellen.

Die Vorteile großer Tierbestände liegen also eindeutig in einer höheren Arbeitsproduktivität, während die Effizienz, bezogen auf eine Vieheinheit, sich nicht im gleichen Maß erhöht. Die Deckungsbeitragssteigerung konnte allerdings nicht mit der Bestandsentwicklung mithalten. Während die Bestände in den Großbetrieben um das 2,5fache höher liegen, erreicht der Deckungsbeitrag pro Arbeitskraft nur einen um 75% höheren Wert als in den Kleinbetrieben.

Vergleicht man nun, wie in Übersicht 2

Übersicht 2: Kennziffern buchführender bayerischer Futterbaubetriebe 20–50 ha LF
(WJ 81/82 bis 83/84)

Z Kennziffern	Einheit	Spitzengruppe	Endgruppe	relativer Abstand %
1 Bestandsgröße Mivi	Stck.	25,4	18,2	+ 40
2 Landw. Ertrag	DM/ha LF	8804	6153	+ 43
3 Spezialaufwand	DM/ha LF	3135	3181	- 1
4 Deckungsbeitrag	DM/ha LF	5669	2972	+ 91
5 Arbeitserledigung	DM/ha LF	1215	1211	- 0
6 Sonst. Aufwand	DM/ha LF	731	740	- 1
7 Landw. Gewinn	DM/ha LF	3723	1021	+265
8 Vergleichswert	DM/ha LF	1466	1463	- 0
9 Betriebsgröße	ha LF	26,7	29,7	- 10
10 Familien-AK	AK	1,60	1,54	4
11 Dauergrasland	v. H. LF	39,5	34,9	13
12 Hauptfutterfläche	v. H. LF	69,2	66,0	5
13 Tier. Erzeugnisse	DM/ha HF	5088	3571	42
14 Tier. Erzeugnisse	DM/VE	3026	2578	17
15 Milchleistung	DM/Kuh	5021	4572	10
16 Spezialaufwand	DM/VE	1290	1515	- 15
17 Erw. Kraftfutteraufw.	DM/VE	726	715	2
18 Deckungsbeitrag	DM/VE	1736	1063	63
19 SpezAufw/TierErzeug	v. H.	43	59	- 27
20 ErwKfAufw/TierErzeug	v. H.	24	28	- 14

Quelle: nach BAYERISCHEN BUCHFÜHRUNGSERGEBNISSEN 1981/82 bis 1983/84 berechnet

geschehen, die Spitzenbetriebe mit den weniger erfolgreichen Betrieben innerhalb einer Betriebsgrößenklasse – hier wird die Gruppe 20–50 ha betrachtet –, so stellt man erhebliche Rentabilitätsunterschiede fest. Zum ersten unterscheidet sich die Bestandsgröße Milchvieh (Zeile 1) bereits um 40% zugunsten der erfolgreicherer Betriebe. Weiterhin zeigen die Zeilen 2 und 3, daß die erfolgreichen Betriebe mit praktisch gleichem Spezialaufwand einen um 43% höheren Ertrag erzielen. Beim Deckungsbeitrag ergibt sich bereits eine Differenz von 91 Prozent. Zieht man vom Deckungsbeitrag den Aufwand für Arbeitserledigung und den sonstigen Aufwand ab, so ergibt sich bereits eine Differenz von 265 Prozent, bezogen auf den landwirtschaftlichen Gewinn.

Diese Unterschiede, das zeigen die Zeilen 8 bis 12, sind nicht in erster Linie auf die natürlichen Standortverhältnisse, hier gekennzeichnet durch den Vergleichswert sowie den Dauergraslandanteil und die Hauptfutterfläche, die Arbeitskräfteausstattung oder auf die Betriebsgröße zurückzuführen, sondern müssen mit unterschiedlichen Managementfähigkeiten der Betriebsleiter erklärt werden.

Die Rentabilitätsbetrachtung im unteren Teil der Übersicht macht das deutlich: Der Wert der tierischen Erzeugung, bezogen auf einen Hektar Hauptfutterfläche (Zeile 12), liegt bei den erfolgreichen Betrieben um 42% höher als bei den weniger erfolgreichen. Das deutet bereits auf eine bessere Verwertung des wirtschaftseigenen Grundfutters hin. Bezogen auf eine Vieheinheit, erzielen die besseren Betriebe ebenfalls einen höheren monetären Ertrag als ihre weniger guten Kollegen. Diese Unterschiede sind auf Produktivitätsunterschiede in der Milcherzeugung zurückzuführen, wie Zeile 15 verdeutlicht. Auf der Aufwandseite fällt zunächst der um 15% niedrigere Spezialaufwand bei den besseren Betrieben auf. Der erweiterte Kraftfutteraufwand als eine der Haupteinflußgrößen auf die Milchleistung liegt zwar bei den erfolgreicherer Unternehmern um 2% höher; sie erzielen damit allerdings eine um

10% höhere Milchleistung pro Kuh und Jahr. Bezieht man den Spezialaufwand bzw. den erweiterten Kraftfutteraufwand auf den Wert der tierischen Erzeugung (Zeilen 19 und 20), so ergeben sich deutliche Effizienzvorteile zugunsten der Spitzenbetriebe. Die Deckungsbeitragsdifferenz, bezogen auf eine Vieheinheit, ist in Zeile 18 mit 63% ausgewiesen. Die Deckungsbeitragsdifferenz, bezogen auf ein Hektar LF, liegt, bedingt durch den höheren Viehbesatz pro Hektar, bei 91%, wie bereits in Zeile 4 dargestellt.

In Übersicht 3 ist der Gewinn pro Familienarbeitskraft in verschiedenen Betriebsgrößenklassen und Erfolgsgruppen zusammengestellt. Dabei zeigt sich, daß die Gewinne pro Familienarbeitskraft (FAK) zwischen der Spitzengruppe und der Endgruppe um den Faktor 3 bis 4 variieren, also 3- bis 4mal so hoch sind, während die Unterschiede zwischen den Betriebsgrößenklassen lediglich bei etwa 50 bis 100% liegen. Weiterhin zeigt die Übersicht, daß die Spitzenbetriebe der kleinen Betriebe fast den gleichen Gewinn pro FAK erzielen als der Durchschnitt der großen Betriebe. Die Analyse der Wirtschaftlichkeit bayerischer Futterbau- und Milchviehbetriebe zeigt, daß erhebliche Unterschiede zwischen den erfolgreichen und weniger erfolgreichen Betrieben bestehen. Die eingesetzte Arbeit wird in großen Beständen besser verwertet als in Kleinbetrieben. Allerdings ist diese Differenz nur etwa halb so groß, wie sie der Bestandsgrößenunterschied zum Ausdruck bringt. Die Wirtschaftlichkeit der Milchviehhaltung, bezogen auf eine Vieheinheit, nimmt dagegen mit zunehmender Betriebsgröße sogar leicht ab. Insgesamt sind die Unterschiede im Gewinn pro Familien-AK zwischen den Betriebsgrößenklassen weit weniger ausgeprägt als zwischen den Erfolgsklassen.

Durch die agrarpolitischen Rahmenbedingungen mit den für die Milchviehhaltung geltenden mengenmäßigen Produktionsbeschränkungen sind einer Erhöhung der Arbeitsproduktivität über eine Bestandsvergrößerung enge Grenzen gesetzt. Die technischen Fortschritte werden sich des-

Übersicht 3: Gewinn pro Familienarbeitskraft in verschiedenen Erfolgsgruppen und Betriebsgrößenklassen (WJ 83/84)

Erfolgsgruppen	Gewinn in DM/Familienarbeitskraft		
	5-20 ha	20-50 ha	50-150 ha
Spitzenbetriebe	35 155	44 824	70 674
Mittelgruppe	23 651	26 702	37 152
Endgruppe	9 786	9 202	14 609

Quelle: BAYERISCHE BUCHFÜHRUNGSERGEBNISSE 1983/84

halb zukünftig eher kostensenkend als produktionssteigernd bemerkbar machen müssen.

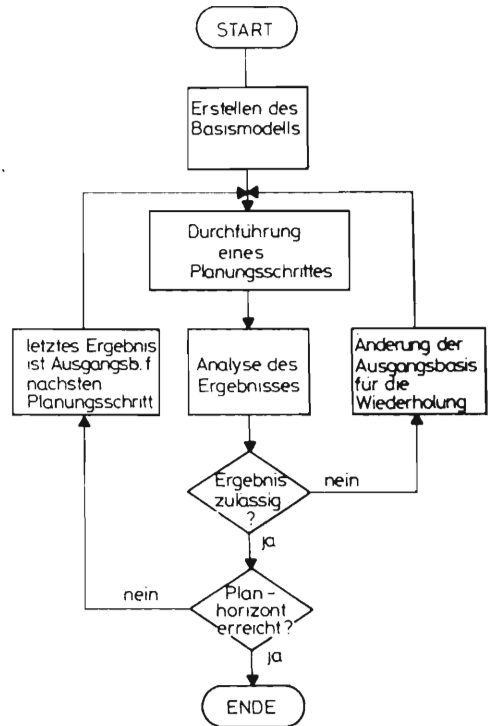
In diesem Zusammenhang sollen im zweiten Teil Strukturoptimierungsmaßnahmen einer näheren Betrachtung unterzogen werden:

Die im Sonderforschungsbereich 141 in zahllosen Versuchen und Messungen erfaßten und in einer Datenbank zur Verfügung stehenden Arbeitszeit- und Kapitalbedarfswerte stellen eine vorzügliche Ausgangsbasis für umfangreiche betriebswirtschaftliche Versuche dar. Diese Versuche wurden mit einem am Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre der Justus-Liebig-Universität in Gießen entwickelten dynamischen Systemsimulationsmodell durchgeführt. Durch die Verwendung von simultanen Differentialgleichungen gelingt es, den Zeitfaktor zu berücksichtigen und damit eine genaue Behandlung von Zahlungsströmen, Kapitalflußproblemen und Liquiditätsfragen. Durch die Komplexität von Innovationen in der Rinderhaltung und die vielfältigen Interdependenzen mit anderen unternehmerischen Teilbereichen ist eine exakte Beurteilung der relativen Vorzüglichkeit nur vor dem Hintergrund gesamtbetrieblicher Situationen möglich. Weiterhin ist es sinnvoll und notwendig, nicht nur die Ausgangssituation und den Zielzustand zu definieren, sondern auch die Wege aufzuzeigen, die zu diesem Zustand führen.

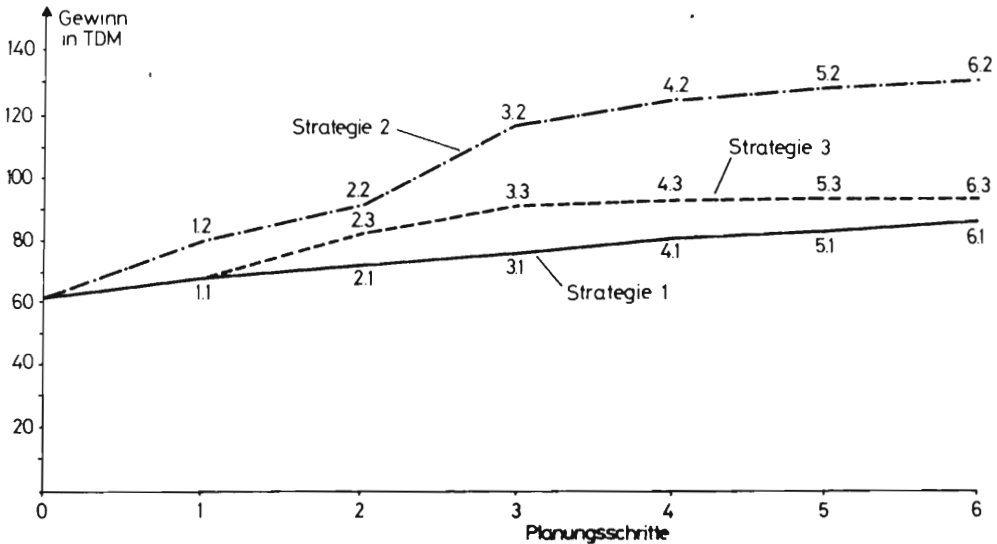
Das nachfolgende Flußdiagramm in Übersicht 4 verdeutlicht den gesamten Planungsprozeß, in dem die Unternehmensentwicklung in Teilabschnitten von je-

weils einem Jahr überprüft wird. Nach der Erstellung des Basismodells oder Ausgangssituation werden Innovationsalternativen im Modell realisiert. Die Zwischenergebnisse nach jedem Planungsschritt werden anhand von Rentabilitäts-, Stabilitäts- und Liquiditätskriterien auf ihre ökonomische Zulässigkeit hin überprüft. Bei zulässigen Ergebnissen wird die Kalkulation bis zum Ende des Planungshorizonts weitergeführt. Andernfalls werden nach Maßgabe der Zwischenergebnisse und des Planungsziels Unternehmensentscheidungen angepaßt, so daß sich das Ergebnis verbessert, bis annähernd eine Optimallösung erreicht ist. Über den gesamten Zeitraum betrachtet, ergibt sich schematisch die Reihenfolge, wie sie in Übersicht 5 dargestellt ist. Dabei werden, ausgehend vom Basismodell, verschiedene Strategien verfolgt. Dabei wird deutlich, daß neue, verbesserte Strategien auch auf Zwischenergebnissen aufgebaut sein können, die für

Übersicht 4: Flußdiagramm des Planungsablaufes



Übersicht 5: Reihenfolge der Planungsschritte



den restlichen Planungszeitraum bessere Ergebnisse ermöglichen.

Im folgenden soll nun gezeigt werden, welche produktionstechnischen Alternativen in einem typischen Familienbetrieb mit Milchviehhaltung zu welchen Konsequenzen für die Unternehmensentwicklung führen.

Der Betrieb verfügt über eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von ca. 25 ha, die ausschließlich zur Produktion von wirtschaftseigenem Grundfutter für die Rinderhaltung genutzt werden soll. Unter den gegebenen natürlichen Standortbedingungen läßt sich daraus eine maximale Bestandsgröße von 50 GV ableiten. Ausgehend von dieser Bestandsgröße und unter Berücksichtigung verschiedener Organisationsformen und Haltungsverfahren werden folgende produktionstechnische Lösungen formuliert:

1. Anbindestall mit und ohne Nachzucht
2. Freßliegeboxenstall ohne Nachzucht
3. Boxenlaufstall mit und ohne Nachzucht

Von diesen Grundtypen werden in Abhängigkeit von der Organisationsform jeweils kapitalintensive und arbeitsintensive Varianten abgeleitet. Daraus ergeben sich die 10 nachfolgend zu erläuternden produktionstechnischen Alternativen (Übers. 6).

Die „billigen“ Varianten sind durch eine vereinfachte Produktionstechnik im Grundfutterbereich gekennzeichnet. In der folgenden Übersicht 7 sind die Bedarfswerte für Kapital und Arbeit der produktionstechnischen Lösungen dargestellt. Die Verfahren ohne Nachzucht weisen gegenüber den Varianten 6, 8 und 9 nicht nur den niedrigeren Kapitalbedarf pro GV auf, sondern verursachen auch noch einen niedrigeren Arbeitsaufwand pro GV und Tag. Lediglich die durch vereinfachte Produktionstechnik gekennzeichneten Varianten 7 und 10 erreichen bedeutend günstigere Bedarfswerte. Der Vergleich der

Übersicht 6: Produktionstechnische Alternativen

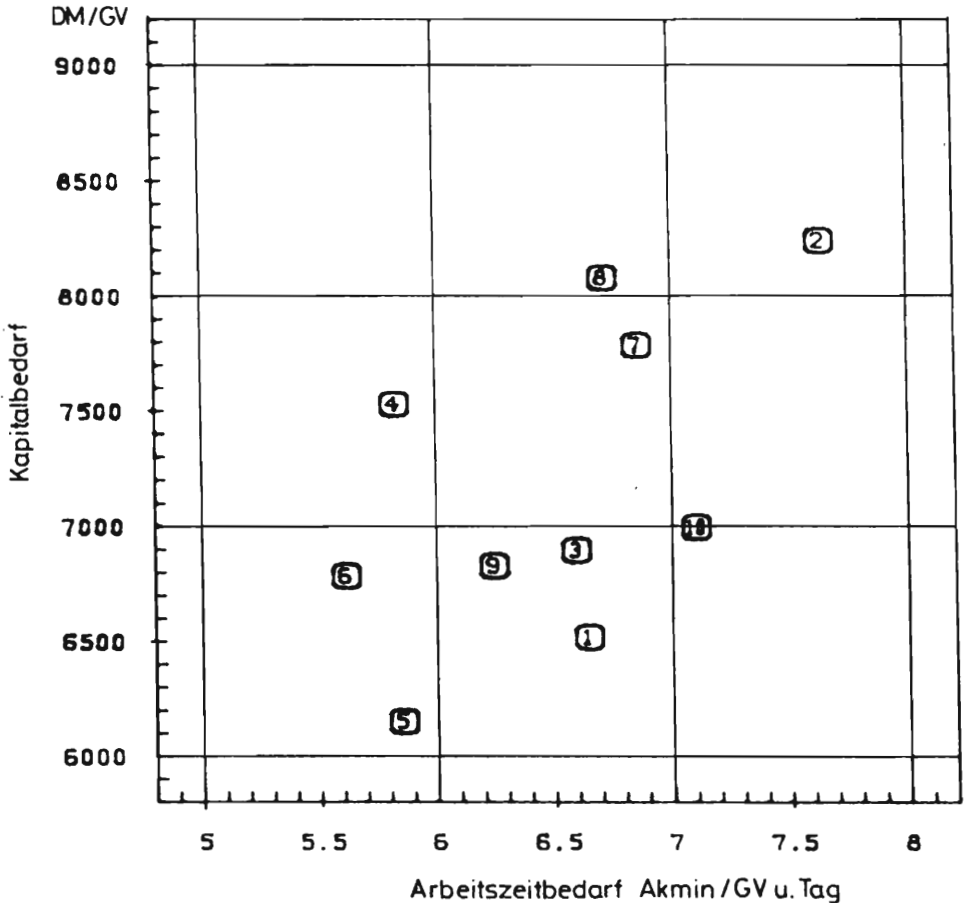
I. Organisationsform „ohne Nachzucht“

- | | |
|------------------------|---------|
| 1. Anbindestall | 4 ME |
| 2. Freßliegeboxenstall | 2×4 FGM |
| 3. Freßliegeboxenstall | 2×5 FGM |
| 4. Liegeboxenlaufstall | 2×4 FGM |
| 5. Liegeboxenlaufstall | 2×5 FGM |

II. Organisationsform „mit Nachzucht“

- | | | |
|-------------------------|---------|----------|
| 6. Anbindestall | 3 ME | „teuer“ |
| 7. Anbindestall | 3 ME | „billig“ |
| 8. Liegeboxenlaufstall | 2×4 FGM | „teuer“ |
| 9. Liegeboxenlaufstall | 2×4 FGM | „mittel“ |
| 10. Liegeboxenlaufstall | 2×4 FGM | „billig“ |

Übersicht 7: Arbeitszeit- und Kapitalbedarf der produktionstechnischen Alternativen



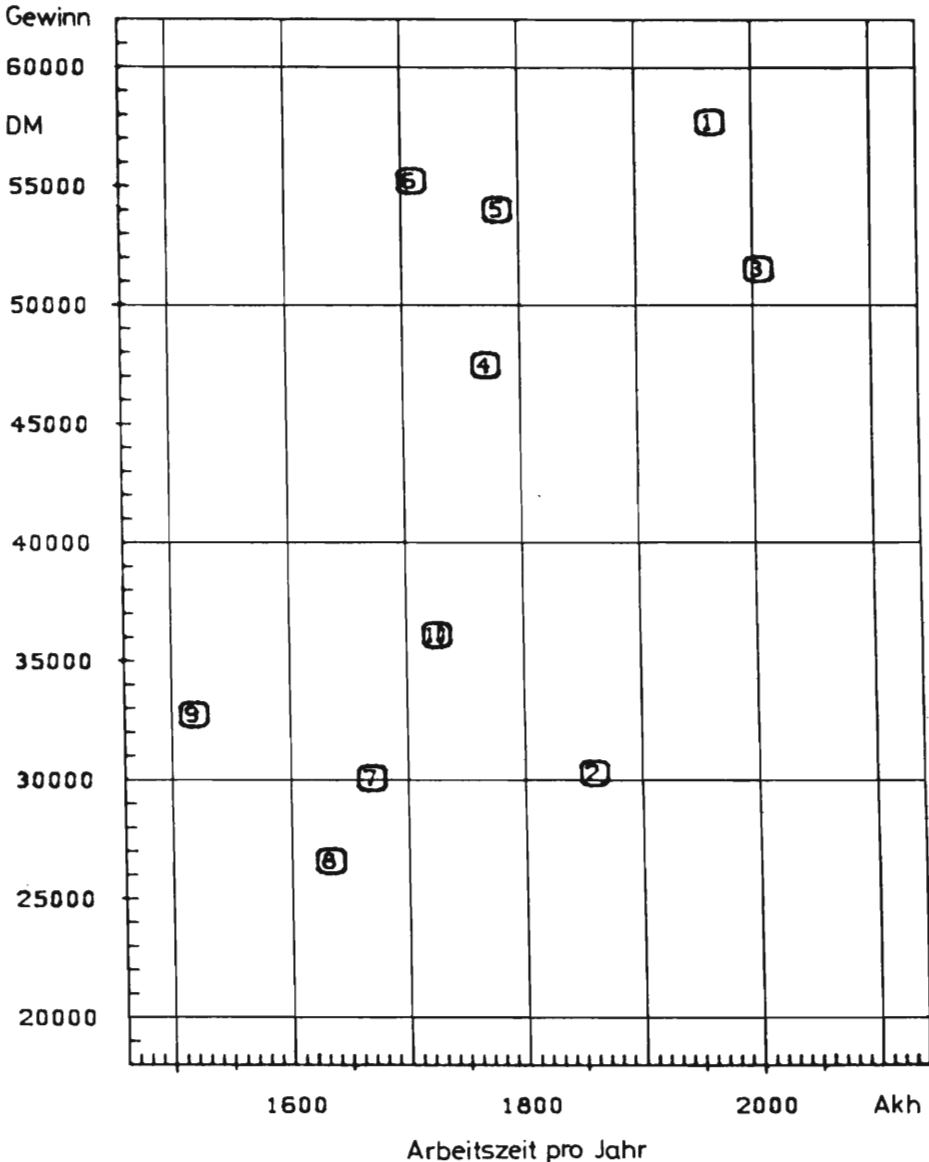
beiden Varianten eines Haltungsverfahrens läßt gewisse Substitutionsbeziehungen zwischen Kapital und Arbeit erkennen. Die Grenzrate der Substitution ist jedoch bei den verschiedenen Stallsystemen Boxenständerstall (4 und 5), Freßliegeboxenstall (2 und 3) sowie Boxenlaufstall mit Nachzucht (8 und 9) unterschiedlich. Aus dem Verlauf der Verbindungskurve läßt sich ableiten, daß beim Boxenständerstall und Liegeboxenstall die Einsparung von Arbeitszeit eine überproportionale Steigung des Kapitalaufwandes verursacht. Der Freßliegeboxenstall zeigt eine Grenzrate der Substitution von nahezu eins.

Würden alle Kombinationen aus Kapital

und Arbeit gleiche Erfolge erzielen, wäre die relative Vorzüglichkeit bereits aus diesen Bedarfszahlen ableitbar. Die Analyse der ökonomischen Erfolgsgrößen ergab indessen sehr unterschiedliche Resultate. Zur Messung der Effizienz der eingesetzten Produktionsfaktoren wird die Erfolgsgröße zu den Arbeits- und Kapitalbedarfswerten in Beziehung gebracht.

Als Erfolgsgröße wird der durchschnittliche Gewinn der drei letzten Untersuchungsjahre verwendet. Die Relation zwischen der jährlich eingesetzten Arbeit in der Milchviehhaltung und dem erzielten Gewinn ist in Übersicht 8 für alle untersuchten produktionstechnischen Alternativen dargestellt.

Übersicht 8: Relation zwischen Gewinn und Jahresarbeitszeit bei den verschiedenen produktionstechnischen Alternativen

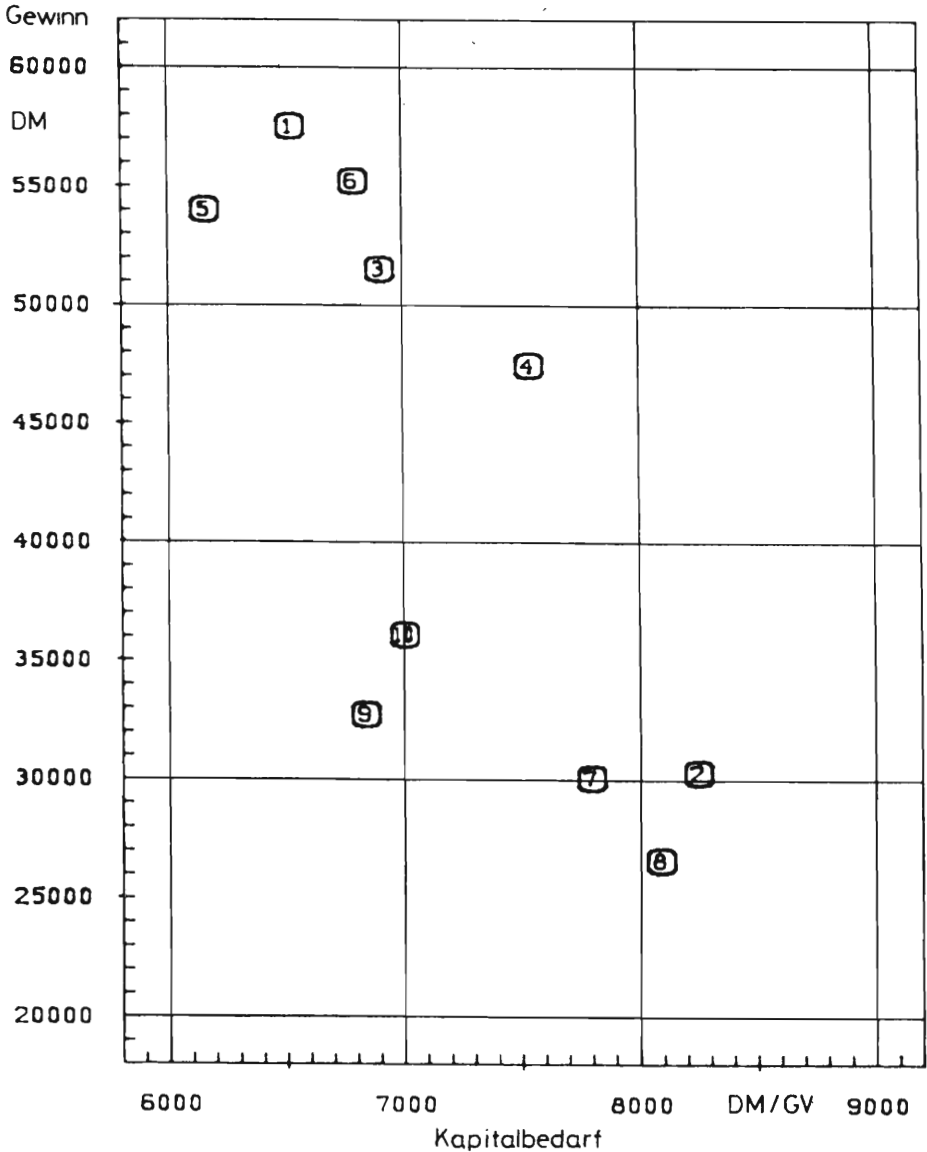


Die Varianten ohne Nachzucht erzielen bei geringer Mehrarbeit deutlich höhere Gewinne gegenüber den Verfahren mit eigener Bestandsergänzung. Innerhalb dieser beiden Gruppen ergeben sich wiederum deutliche Unterschiede sowohl beim Gewinn als auch bei der jährlichen Arbeitsbelastung. Bei den Verfahren mit Nach-

zucht erzielen die beiden produktionstechnisch vereinfachten Verfahren bei verringertem Arbeitsbedarf höhere Gewinne, obwohl die durch Kapital- und arbeitssparende Maßnahmen verursachten negativen Effekte auf die Leistungsstruktur berücksichtigt wurden.

Der direkte Vergleich zweier Varianten

Übersicht 9: Relation zwischen Gewinn und Kapitaleinsatz bei den verschiedenen produktionstechnischen Alternativen



eines Stallsystems fällt beim Boxenständerstall (Varianten 4 und 5) und beim Freßliegeboxenstall (Varianten 2 und 3) bezüglich der Verwertung der eingesetzten Arbeit jeweils zugunsten der kapitalintensiveren Version aus. Beim Vergleich der Varianten 8 und 9 (Liegeboxenlaufstall mit Nachzucht) ist unter den hier vorliegenden

Bedingungen die kapitalextensivere Variante vorzuziehen.

In Übersicht 9 ist der Unternehmenserfolg zum Kapitaleinsatz in Beziehung gesetzt. Hier zeigt sich wiederum die deutliche Überlegenheit der Verfahren ohne Nachzucht. Innerhalb der Gruppe ohne eigene Bestandsergänzung erzielt der Anbinde-

stall den absoluten Höchstgewinn und verwertet das eingesetzte Kapital am besten. Trotz des absolut höheren Gewinns von Variante 5 ist die Verwertung des Kapitals in Variante 4 wegen des deutlich niedrigeren Kapitalbedarfs erheblich höher. Die Varianten 2 und 3 (Freßliegeboxenstall) fallen deutlich ab, wobei eindeutig die kapitalextensivere Version zu bevorzugen ist.

Innerhalb der Gruppe mit eigener Bestandsergänzung zeigen die „billigen“ Varianten des Anbinde- und Boxenlaufstalls mit Abstand die höchste Effizienz des eingesetzten Kapitals. Der Vergleich eines Stallsystems zeigt die Überlegenheit der jeweils kapitalextensiveren Version bezüglich der Verwertung des eingesetzten Kapitals.

Aus der Auswertung der ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Konsequenzen der getesteten produktionstechnischen Lösungen lassen sich unter den gegebenen spezifischen Produktionsbedingungen folgende Tendenzen ableiten:

1. Die Frage nach dem besseren Stallsystem kann nicht beantwortet werden. Dagegen konnte eine generelle Überlegenheit der Organisationsformen ohne Nachzucht festgestellt werden. Das Halteverfahren spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Bei beiden Organisationsformen lassen sich sowohl Anbinde- als auch Laufstallhaltungsverfahren mit ähnlicher Effizienz einsetzen. Der Boxenständerstall soll hier als eine Möglichkeit verstanden werden, Laufstallsysteme kostengünstig und trotzdem funktionsgerecht erstellen zu können.
2. Der Arbeitsaufwand liegt im Anbindestall nur bei der Kraftfutterfütterung und bei den Entmistungsarbeiten höher. Die Rohmelkanlage mit 4 Melkeinheiten mit automatischer Endabschaltung ist bei dieser Bestandsgröße dem Doppelfünfer-Fischgrätenmelkstand ebenbürtig.
3. Der Freßliegeboxenstall scheidet als Planungsvariante für eine Neubaulösung praktisch aus. Als Umbauform

in vorhandenen Wirtschaftsgebäuden wird er jedoch wegen seines anbindestallähnlichen Grundrisses eine gewisse Bedeutung haben.

4. Der Vergleich kapitalintensiver Varianten mit „billigeren“ Lösungen zeigt sowohl beim Anbindestall als auch beim Boxenlaufstall deutliche Vorteile der kapitalextensiveren Produktionstechniken.
5. Für die Planung und Realisierung von Investitionen im Bereich der Milchviehhaltung ist die Verwendung kapitalsparender Konstruktionen wichtiger als die Frage des Stallsystems.

Bei den in dieser Untersuchung bearbeiteten Sachfragestellungen wurde deutlich, daß nicht nur die Ansprüche des Investitionsprogramms an die Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit von Bedeutung sind, sondern vor allem auch die Einflüsse auf die naturale Leistungs-Aufwandsstruktur des Produktionsverfahrens, des Betriebszweigs des Gesamtunternehmens.

Die Kenntnisse um diese Zusammenhänge werden um so wichtiger, je stärker das Investitionsvorhaben in die Produktionsstruktur des Gesamtunternehmens integriert werden soll. Während die Ermittlung der Kapital- und Arbeitszeitbedarfswerte relativ wenig Probleme bereitet, ist die Quantifizierung der funktionalen Zusammenhänge im Leistungs-Aufwandsbereich weit problematischer.

Die Verbesserung der Kenntnisse dieser Wirkungszusammenhänge wird jedoch auch in Zukunft Sensitivitätsanalysen in diesem Bereich nicht entbehrlich machen können.

Der Einsatz von Systemsimulationsmodellen in der Investitionsplanung hat sich bei den komplexen Entscheidungssituationen als geeignetes Hilfsmittel erwiesen. Insbesondere die Verwendung als betriebswirtschaftliches Laboratorium bietet den entscheidenden Vorteil, die getroffenen Investitionsentscheidungen durch Sensitivitätsanalysen im Hinblick auf ihre ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Konsequenzen „berechenbar“ zu machen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Wirtschaftlichkeit von Produktionsprozessen neben der Verwendung der „richtigen“ Produktionstechnik ganz entscheidend von der Effizienz des Produktions-

mitteleinsatzes bestimmt wird. Die erfolgreichen Betriebe zeigen, welche Reserven auf diesem Gebiet noch mobilisiert werden können.

Kapitalbedarf, Arbeitszeitbedarf und Kosten für Systeme der Milchviehhaltung im Vergleich

Von Hermann Auernhammer*)

1. Probleme und Zielsetzung

Der Vergleich von Haltungssystemen für Milchvieh stellt ein weites Betätigungsfeld dar und erlaubt die Betrachtungsweise aus den verschiedensten Richtungen. Dies hat zur Folge, daß punktuelle Vergleiche einzelner Systeme sehr stark an Aussagefähigkeit leiden, da sie

- nur eine beschränkte Anzahl an Varianten beinhalten,
- z. T. von unterschiedlichen Unterstellungen ausgehen,
- unterschiedliche Datenbasen verwenden und
- auf unterschiedliche Zielgrößen ausgerichtet sind.

Diese oder ähnliche Einflüsse stellen somit Vergleiche weitgehend in Frage. Trotzdem sind derartige Vergleiche unumgänglich, denn nur daraus wird es möglich:

- das Niveau der Beurteilungsgrößen kennenzulernen und einzuordnen,
- Einflüsse unterschiedlicher Systeme zu ergründen,
- diese im Vergleich deutlich zu machen und
- auf die unterschiedlichen Herdengrößen zu beziehen.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurde bewußt eine Vielzahl von Einschränkungen in Kauf genommen. Bewußt wurde auf das gesamte Spektrum an Möglichkeiten verzichtet und bewußt wurden auch bei den Bestandsgrößen sehr starke Einengungen vorgenommen.

Nur so konnten die Hauptziele dieses Vergleiches erreicht werden, welche bei derzeitigen und in naher Zukunft zu realisierenden Bestandsgrößen Einflüsse durch

- das Stallsystem (Anbinde- oder Laufstall),
- die Bestandsführung (mit oder ohne Nachzucht),

- die Bestandsgröße,
- die Reduzierung des umbauten Raumes durch Verzicht auf den Futtertisch und
- die Einbringung von Eigenleistung aufzeigen sollen.

Als Bewertungsparameter dienen dazu

- der Investitionsbedarf,
- der Arbeitszeitbedarf und
- die Kosten der Arbeitserledigung.

Mit ihnen soll versucht werden, die entsprechenden Abhängigkeiten herauszuarbeiten und schließlich in einer Gesamtschau einzuordnen.

2. Systemvarianten und Kalkulationsvorgaben

Vergleiche sind als solche nur relevant, wenn dafür weitgehend konstante Annahmen zugrunde gelegt werden. Für diese Untersuchung gelten:

2.1 Auswahl der Systemvarianten

Werden Bestandsgrößen von 20–80 Kühen ausgewählt, dann sind dafür entsprechend der Zielsetzung Varianten der Anbinde- und Laufställe zu untersuchen. Hinreichend genau wird der Vergleich, wenn dazu Abstände von je 20 Kühen gewählt werden.

Durch die Wahl der Stallsysteme mit und ohne Nachzucht verdoppeln sich die Untersuchungsvarianten und führen bei Berücksichtigung von Eigenleistung, eingeschränktem umbauten Raum und den Laufstallformen 2*1reihig, 3reihig, 4reihig und getrennten Funktionsbereichen zu den in Abb. 1 gezeigten 32 Alternativen.

2.2 Vorgaben und Annahmen für den Vergleich

Der Investitionsbedarf umfaßt das erforderliche Kapital für die Gebäude und für

*) In Zusammenarbeit mit Dr. L. RITTEL, Dr. G. WENDL, DIA E. GROSS, DIA S. MAIER und DIA (FH) R. BÄTZ; alle Landtechnik Weihenstephan

die Technik. Basis sind die eigene Preisdatenbank, Preislisten und das KTBL-Taschenbuch (3, 6, 8). Für die Installation werden 5–15% des erforderlichen Investitionsbedarfes unterstellt. Alle Preise werden ohne Mehrwertsteuer in die Kalkulationen einbezogen.

Der Investitionsbedarf für die Gebäude enthält die Ausgaben für das Stallgebäude einschließlich Siloanlagen und Güllelagerung. Nicht miteinbezogen wurde das Heulager, da dieses bei Neubauten häufig in Altgebäuden untergebracht wird.

Im Investitionsbedarf für die Technik sind alle technischen Hilfsmittel mit einbezogen, welche direkt der Milchviehhaltung zuordenbar sind. Als Basismechanisierung wurden der „Blockschneider“ für die Winterfütterung und der Ladewagen für die Sommerstallfütterung gewählt. Nicht einbezogen wurden die Technik für die Grundfutterbergung sowie der Schlepper. Für die Bestandsgrößen werden folgende Unterstellungen getroffen. Bei den Varianten mit Nachzucht werden die männlichen Kälber mit einem Alter von 4 Wochen verkauft. Von den weiblichen Kälbern werden 80% aufgezogen und im Kuhstall gehalten. Bei den Varianten ohne Nachzucht

sind im Stall nur Einzelboxen vorhanden. Dies bedeutet, daß auch die weiblichen Kälber im Alter von 4 Wochen aus dem Kuhstall herausgenommen werden und dann entweder in einem anderen Stall des Betriebes gehalten werden oder aber in einen Fremdbetrieb wandern.

Der Arbeitszeitbedarf umfaßt alle erforderlichen Arbeiten für das Füttern, das Melken, das Entmisten, die Sonder- oder Nebenarbeiten und für die Kälberhaltung. Entsprechend dieser Gruppierung erfolgt auch die Darstellung, so daß daraus sehr einfach ein relativer Vergleich möglich wird.

Die Kosten der Arbeitserledigung werden aus den Kosten des Gebäudes, der Technik und der Arbeit gebildet. Folgende Annahmen liegen zugrunde:

- Die Gebäudekosten werden mit 10,5% des Investitionsbedarfes kalkuliert.
- Die Kosten der Technik werden mit 10–20 Nutzungsjahren und 7% Zinsen nach der Annuitätenmethode ermittelt, wobei ein Energiepreis von 0,23 DM je kWh unterstellt wurde.
- Die Arbeitsstunde wird mit 15 DM/h angesetzt.

Abweichend zur gesamten Technik werden beim Ladewagen, beim Mähwerk und

Nachzucht	Systemvariante Stallart	Bestandsgröße				
		Anbindestall		Laufstall (n reihig)		
		20	40	40	60	80
mit	Standard	x	x	x ⁽³⁾	x ⁽³⁾	x ⁽⁴⁾
	ohne Futtertisch	x	x	x ⁽³⁾	x ⁽³⁾	
	Standard mit Eigenleistung	x	x	x ⁽³⁾	x ⁽³⁾	
	Doppereinreih			x	x	
	getrennte Funktionsbereiche					x
ohne	Standard	x	x	x ⁽³⁾	x ⁽³⁾	x ⁽⁴⁾
	ohne Futtertisch	x	x	x ⁽³⁾	x ⁽³⁾	
	ohne Futtertisch, mit Eigenleistung	x	x	x ⁽³⁾	x ⁽³⁾	
	Doppereinreih			x	x	
	getrennte Funktionsbereiche					x

Abb. 1: Systemvarianten und Technisierungsalternativen für den Systemvergleich

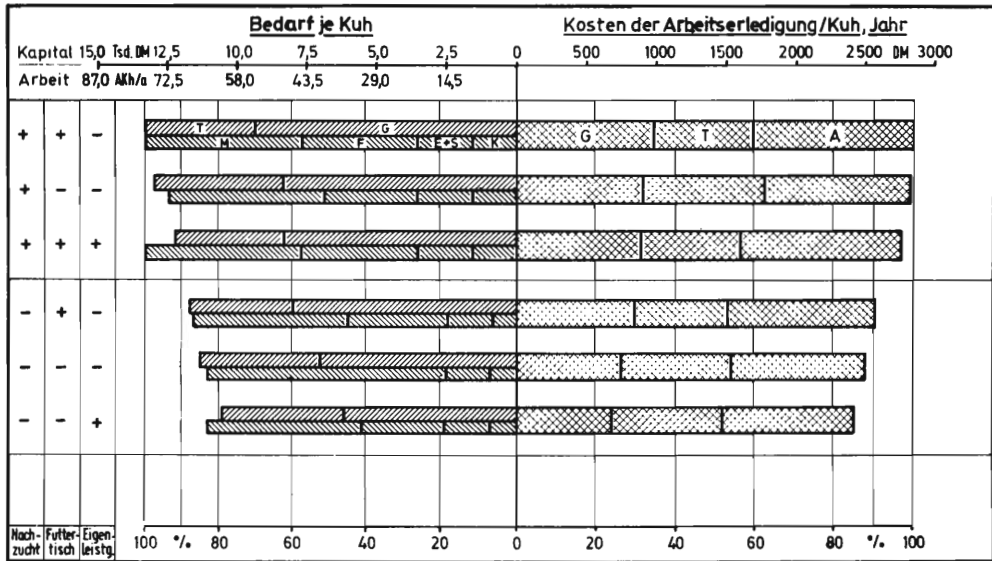


Abb. 2: Kapitalbedarf, Arbeitszeitbedarf und Kosten der Arbeitserledigung für Milchvieh-Anbindeställe mit 20 Kühen (Systeme mit und ohne Nachzucht)

beim Schlepper nur die variablen Kosten berücksichtigt. Dies scheint angebracht zu sein, da gerade diese Maschinen und Geräte aufgrund der vielseitigen Nutzung nicht direkt zuordenbar sind.

3. Haltungssysteme bei gleichen Bestandsgrößen im Vergleich

Unterschiedliche Haltungssysteme bedürfen einer direkten Gegenüberstellung, wobei gleiche Bestandsgrößen zugrunde gelegt werden müssen. Dabei erfolgt eine Einordnung nach der Bedarfsseite und nach der Kostenseite. Um die Ursachen unterschiedlicher Ergebnisse erkennen zu können, wurde zudem eine Aufschlüsselung nach den einzelnen Kalkulationsanteilen vorgenommen. Es gelten folgende Abkürzungen:

für Kapitalbedarf und Kosten

- T = Technik
- G = Gebäude
- A = Arbeit

für den Arbeitszeitbedarf

- M = Melken
- F = Füttern
- E+S = Entmisten und Sonderarbeiten
- K = Kälber

Außerdem wird einheitlich folgende Einteilung vorgenommen: Die einzelnen Varianten werden in Systeme mit und ohne Nachzucht unterteilt. Das jeweilige Standardverfahren für eine Bestandsgröße mit Nachzucht bildet die Ausgangsbasis mit 100%. Dazu werden alle anderen Verfahren in Beziehung gesetzt. Mit Ausnahme des Arbeitszeitbedarfes wird immer die gleiche Skalierung verwendet. Somit bleiben auch alle Alternativen untereinander vergleichbar.

3.1 Anbindeställe für 20 Kühe

Diese Varianten stellen die Basisvarianten dar. Sie erbringen nach Abb. 2 folgende Ergebnisse:

- Alle Varianten ohne Nachzucht liegen sowohl auf der Bedarfsseite als auch auf der Kostenseite um etwa 10–15% günstiger als Verfahren mit Nachzucht.
- Wird bei den Alternativen mit Nachzucht auf den Futtertisch verzichtet, dann führt dies zu einer Reduzierung des Kapitalbedarfes um etwa 10%, wobei gleichzeitig der Aufwand für Technik steigt (rel. teureres Futterband), so daß lediglich eine Differenz von 5% verbleibt. Allerdings senkt diese Investition den Arbeitszeitbedarf um etwa 10%.

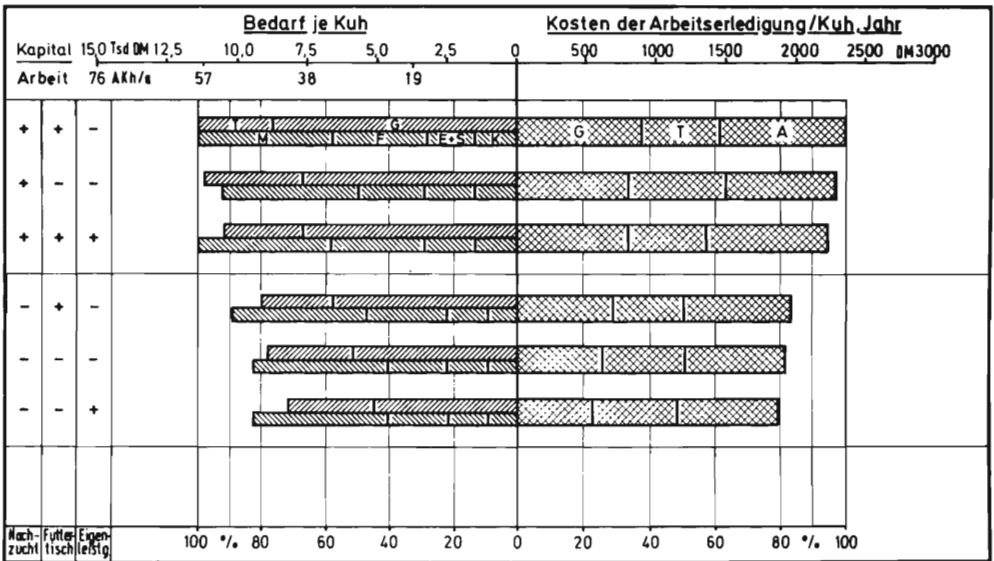


Abb. 3: Kapitalbedarf, Arbeitszeitbedarf und Kosten der Arbeitserledigung für Milchvieh-Anbindeställe mit 40 Kühen (Systeme mit und ohne Nachzucht)

- Nahezu exakt die gleiche Reduzierung wird durch Eigenleistung möglich, wenn dabei etwa 60% der erforderlichen Arbeitszeit am Bau erbracht werden. (Dies führt selbstverständlich zu keiner Reduzierung beim Arbeitszeitbedarf für die täglichen Arbeiten.)
- In der Addition beider Faktoren ergibt sich eine Ersparnis von 20% auf der Kapitalbedarfsseite und zu einer Verringerung des Arbeitszeitbedarfes um etwa 10%. Durch den teilweisen Ausgleich von Ersparnissen beim Kapitalbedarf und höheren Aufwendungen bei der Technik sind allerdings die möglichen Kosteneinsparungen eher bescheiden.

3.2 Anbindeställe für 40 Kühe

Bei einer Vergrößerung der Anbindeställe auf 40 Kühe ergeben sich die in Abb. 3 dargestellten Ergebnisse. Dabei bestätigen sich die schon gefundenen Tendenzen bei den 20-Kuh-Beständen weitgehend. Allerdings sind nun noch stärkere Einsparungen, insbesondere bei den Varianten ohne Nachzucht, möglich. Dies ist vor allem auf folgende Zusammenhänge zurückzuführen:

- Durch das günstigere Verhältnis von Verkehrsflächen und ergänzenden Einrichtungen im Stall erbringt der Verzicht auf den Futtertisch größere Einsparungsmöglichkeiten.

- Dieses Verhältnis wirkt sich auch auf die Erbringung von mehr Arbeitszeit beim Bau aus und addiert sich so in günstiger Weise.
- Relativ betrachtet ist die mögliche Einsparung beim Kapitalbedarf höher als beim Arbeitszeitbedarf, wobei insbesondere das Melken sehr stark begrenzend wirkt.

3.3 Laufställe für 40 Kühe

Bei den Systemalternativen der Laufställe werden die üblichen dreireihigen Liegeboxenlaufställe betrachtet. Hinzu kommt je eine Variante des Doppeleinreihers, wobei Alternativen mit Eigenleistung nicht einbezogen wurden, da deren Ausmaß aus den bisherigen Analysen problemlos abzuleiten ist.

Nach Abb. 4 sind die nun insgesamt 8 Alternativen folgendermaßen zu beurteilen:

- Im Gegensatz zu den Anbindeställen gleicher Größe gehen hier die möglichen Einsparungen auf der Bedarfsseite nicht mehr so weit. Allerdings zeigen die Einsparungen in etwa einen gleichen Relativbetrag bei Arbeit und bei Kapital, und damit sind die noch vorhandenen Möglichkeiten mit Sicherheit nicht ausgereizt.
- Günstigste Verhältnisse erbringen die Varianten

- ten mit Eigenleistung und geringem umbauten Raum, also ohne Futtertisch.
- Äußerst gravierend fällt bei allen Varianten der überhohe Arbeitszeitbedarf für das Melken ins Auge, wodurch auch schon der Schwachpunkt dieser Bestandsgröße aufgezeigt ist.
- Die möglichen Reduzierungen auf der Kostenseite lassen eine deutliche Verschiebung zwischen den Verursachern erkennen, wobei die Technik eine dominante Stelle übernimmt.
- Ungünstig schneidet der Doppeleinreihler mit Nachzucht ab. Er erfordert durch die lange Bauweise in bezug zur Fütterung einen überhöhen Zeitbedarf.
- Dies ändert sich im Falle der fehlenden Nachzucht, wodurch dann vergleichbare Verhältnisse zur ansonsten billigsten Lösung erreicht werden. Ergänzt um Eigenleistungen und Verzicht auf den Futtertisch, könnte diese Variante in der Summe um etwa 20-22% günstiger abschneiden.

3.4 Laufställe für 60 Kühe

Mit 60 Kühen erfährt der Laufstall nun eine Größenordnung, bei welcher aus der Sicht des Gebäudes ein wesentlich günstigeres Verhältnis zwischen Bedarf je Tier und allen Nebeneinrichtungen erreicht wird. Nach Abb. 5 ergeben sich folgende Abhängigkeiten:

- Nunmehr führt die mögliche Verringerung beim Kapitalbedarf für die Gebäude zu einer Größenordnung von nahezu 20% und minimiert auf der Kostenseite dessen Anteil erheblich.
- Im Gegensatz dazu verharrt der Arbeitszeitbedarf auf der Stelle und zeigt damit die Grenzen dieser Bestandsgröße durch die unterstellte Melk- und Fütterungstechnik.
- Allgemein sind die Kostensenkungen nicht mehr so stark wie bei den vorhergehenden Varianten, wodurch sich hier schon eine Verringerung der möglichen Degression durch die Bestandsgröße andeutet.
- Für den Doppeleinreihler gilt Analoges zur 40er Bestandsgröße, jedoch sind die möglichen Einsparungen geringer.

3.5 Laufställe für 80 Kühe

Bestände mit 80 Kühen erreichen die Grenze im problemlosen Vergleich der ausgewählten Varianten. Gleichzeitig eröffnen sie neue Möglichkeiten in einer eventuell sinnvollen Gruppenbildung der Tiere und in getrennten Funktionsbereichen. Nach Abb. 6 sind die untersuchten Alternativen wie folgt einzuordnen:

- Standardlösungen als Liegeboxenlaufställe zeigen in etwa die gleichen Tendenzen wie bei den 60er Herdengrößen.

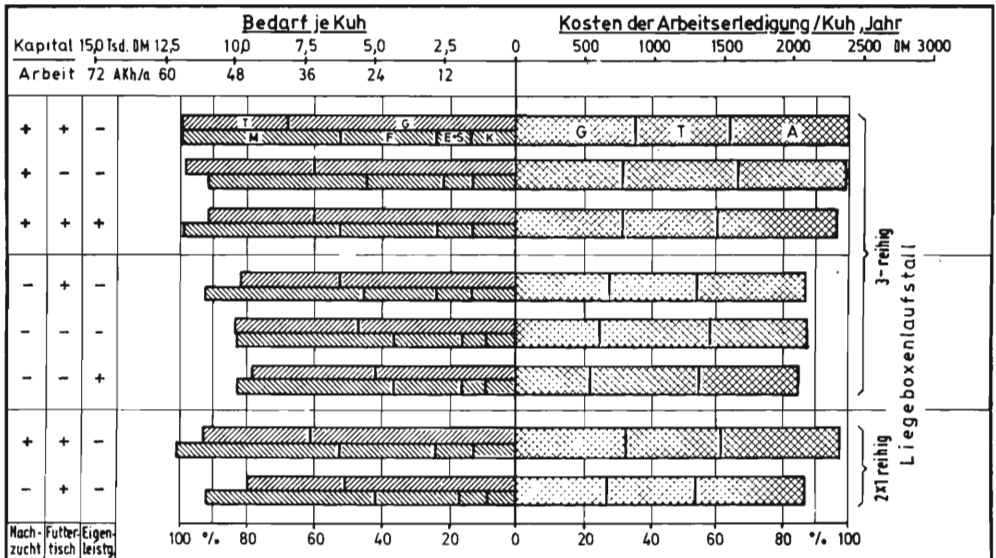


Abb. 4: Kapitalbedarf, Arbeitszeitbedarf und Kosten der Arbeiterledigung für Milchvieh-Laufställe mit 40 Kühen (Systeme mit und ohne Nachzucht)

4. *Einfluß unterschiedlicher Technisierung*

Neben der gewählten Standardmechanisierung bestehen vielfältige Möglichkeiten, andere technische Lösungen einzusetzen. Um deren Auswirkungen abschätzen zu können, sollen stellvertretend für alle Bestandsgrößen hier nur Anbindeställe mit 20 Kühen analysiert werden. Dabei geschieht die Analyse nur nach zwei Formen, nämlich nach einer sehr niedrigen Mechanisierungslösung und nach der denkbar höchsten, für diese Bestandsgröße aber noch vertretbaren Lösung. Beispiele derartiger Lösungen sind:

Niedrige Mechanisierungslösung:

- Winterfütterung aus Flachsilo mit Frontlader und Handarbeit
- Sommerstallfütterung mit getrenntem Mähen und Laden, sowie Handzuteilung

Hohe Mechanisierungslösung:

- Kraftfutterfütterung mit Hängedosierranlage
- Sommerstallfütterung im Mäh-Lade-

Verfahren mit direkter Zuteilung des Futters in den Trog

- Einsatz von Milchmengenmeßgeräten zu einer leistungsgerechteren Fütterung
- Unter Einbeziehung dieser Alternativen ergeben sich die Abhängigkeiten nach Abb. 7:

- Dabei ist generell zu erkennen, daß eine Minimalmechanisierung nur geringe Einsparungen beim Kapitalbedarf und bei den Kosten ermöglicht. Andererseits führt diese jedoch zu einem überproportionalen Anstieg beim täglichen Arbeitszeitbedarf.
- Hingegen erbringt eine Maximalmechanisierung nur sehr geringe Einsparungen beim täglichen Arbeitszeitbedarf, aber sehr drastische Erhöhungen beim Kapitalbedarf und bei den Kosten.
- Allgemein sind die dadurch verursachten Anstiege in einem Bereich von etwa 10-15% beim Kapitalbedarf und von etwa 10-20% bei den Kosten angesiedelt.

5. *Einfluß der Bestandsgröße*

Während die bisherigen Vergleiche bei gleicher Bestandsgröße erfolgten, wird nun versucht, deren Abhängigkeit von der Bestandsgröße darzustellen. Auch dabei

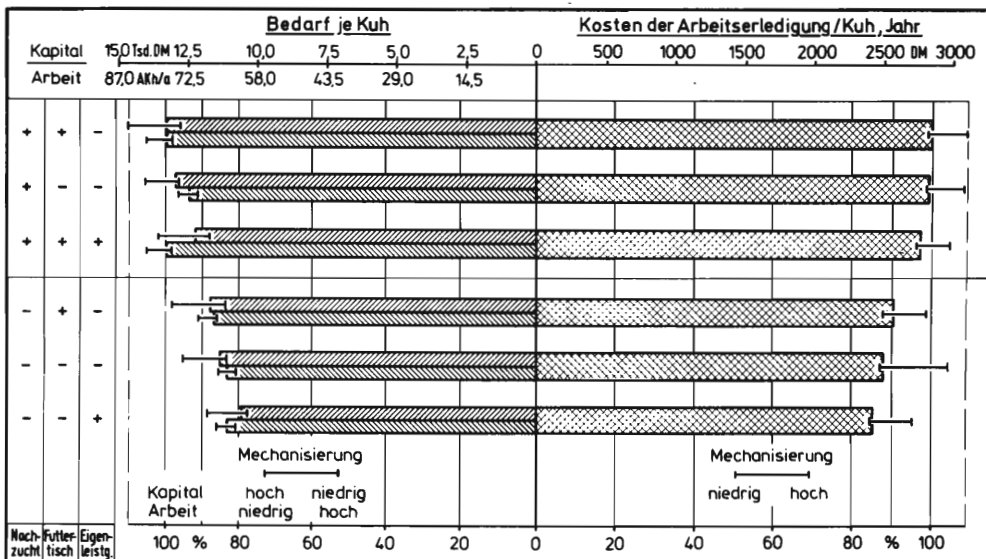


Abb. 7: Einfluß unterschiedlicher Mechanisierungslösungen auf Kapitalbedarf, Arbeitszeitbedarf und Kosten der Arbeitserledigung für Milchvieh-Anbindeställe mit 20 Kühen

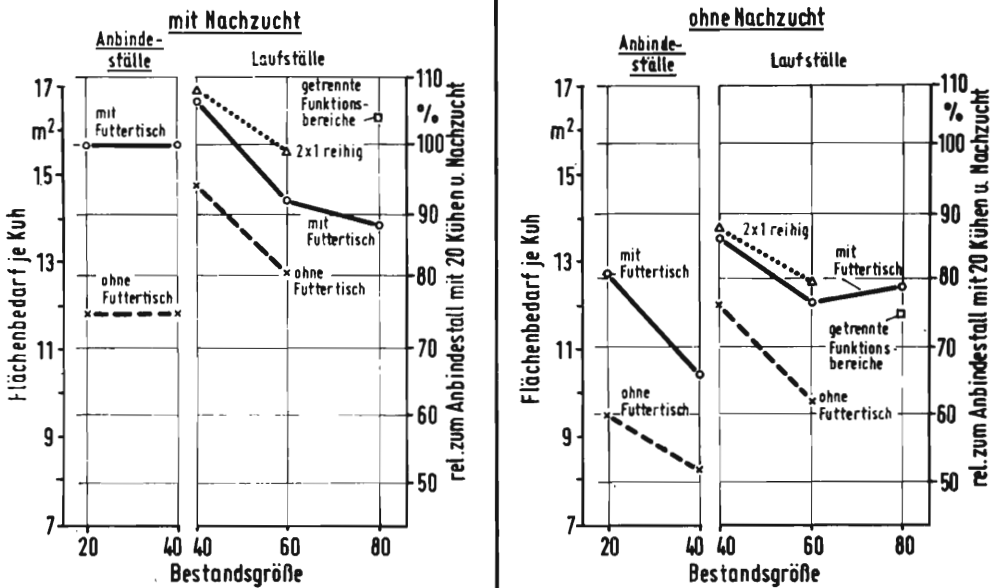


Abb. 8: Bebaute Fläche in Abhängigkeit von Bestandsgröße, Nachzucht, Stalltyp und Futterdarbietung

wird wieder nach Varianten mit und ohne Nachzucht unterschieden. Als Betrachtungsgrößen werden die bebaute Fläche, der umbaute Raum, der Kapitalbedarf, der Arbeitszeitbedarf und die Kosten der Arbeiterleistung angesprochen.

5.1 Bebaute Fläche und umbauter Raum

Wesentliche Kenngrößen jeder Baumaßnahme sind die bebaute Fläche und der umbaute Raum, denn beide beeinflussen den erforderlichen Kapitalbedarf in sehr hohem Maße.

5.1.1 Bebaute Fläche

Werden die ausgewählten Alternativen in Abhängigkeit zur Bestandsgröße gebracht, dann ergeben sich dabei die in Abb. 8 dargestellten Beziehungen:

- Sowohl bei den Varianten mit als auch bei den Varianten ohne Nachzucht ergibt sich eine ungünstige Situation für die Bestandsgrößen mit 40 Kühen. In beiden Fällen erfordert dabei der „Doppelpereinreih“ die meiste Fläche.
- Alle Varianten ohne Nachzucht liegen um etwa 20% günstiger als jene mit Nachzucht. Dabei zeigen auch Anbindeställe beim Übergang auf 40 Kühe eine Degression, weil dann

die Nebenräume im Verhältnis eine immer unbedeutendere Rolle spielen.

- Varianten ohne Futtertisch reduzieren den Flächenbedarf um 15–25%, wenn auch die Nachzucht im Milchviehstall gehalten wird. Ohne Nachzucht verringert sich dieser Vorteil auf etwa 10–15%.
- Der Stall mit getrennten Funktionsbereichen liegt mit Nachzucht sogar noch über dem Anbindestall, ohne Nachzucht wird er geringfügig besser.

5.1.2 Umbauter Raum

Mehr Auskunft als der Flächenbedarf gibt die Kennzahl des umbauten Raumes, weil nur damit die Kubatur der Gebäude in die Beurteilung mit einbezogen werden kann. Nach Abb. 9 ergeben sich folgende Abhängigkeiten zur Bestandsgröße:

- Mit Ausnahme einer Variante bei den Laufställen liegen alle Anbindeställe im Raumbedarf um bis zu 35% günstiger.
- Zunehmende Gebäudebreiten bei größeren Beständen im Anbindestall führen zu einer Progression im Raumbedarf. Dies erfolgt auch beim Übergang vom dreireihigen Liegeboxenlaufstall mit 60 Kühen auf den vierreihigen mit 80 Kühen.
- Varianten ohne Nachzucht reduzieren den Raumbedarf um etwa 20–30%. Dabei ist auch

bei den Anbindeställen eine Degression zu erkennen.

- Der „Doppereinreih“ zeigt ein günstiges Verhalten nur in der Version mit Nachzucht und liegt dabei günstiger als der vergleichbare dreireihige Liegeboxenlaufstall.
- Günstiger schneidet nun der Stall mit getrennten Funktionsbereichen ab. Er kann ohne Nachzucht die Degression aus den 60er Beständen fortsetzen und ist dabei wesentlich günstiger als der vergleichbare vierreihige Liegeboxenlaufstall.

5.2 Kapitalbedarf

Der Kapitalbedarf stellt für viele Betriebe die Entscheidungsgröße schlechthin dar, weil dadurch die Entscheidung vorgegeben wird, eine Baumaßnahme einzuleiten oder davon Abstand zu nehmen. Für die untersuchten Varianten ergibt sich dafür folgende Einordnung (Abb. 10):

- Über der Bestandsgröße ergibt sich für alle Varianten eine sehr starke Degression.
- Bei den Varianten mit Nachzucht gestaltet sich dabei der Übergang zwischen Anbinde- und Laufstall bei einer nur geringfügigen Erhöhung der benötigten Mittel für den Laufstall eher nahezu nahtlos. Bei den Varianten ohne Nachzucht tritt dagegen an dieser Stelle

ein deutlicher Sprung mit Mehraufwendungen von etwa 10% auf.

- Die Varianten ohne Nachzucht im Milchviehstall verringern im Durchschnitt den Aufwand um etwa 8-12%.
- Relativ starke Einsparungen werden in den Anbindeställen durch Eigenleistung erreicht. Diese sind bei den Laufställen wesentlich geringer.
- Ein Verzicht auf den Futtertisch (also umbauten Raum) senkt den Kapitalbedarf nur geringfügig; dabei ist die mögliche Reduzierung bei den Anbindeställen größer als bei den Laufställen.
- Der „Doppereinreih“ zeigt seine Grenzen deutlich beim Übergang auf Bestandsgrößen von mehr als 50 Kühen, wenn keine Nachzucht gehalten wird.
- Weit abseits jeglicher Diskussion liegt der Laufstall mit getrennten Funktionsbereichen. Dabei ist der Abstand zu den Varianten mit Nachzucht mit nahezu 15% sehr hoch.

5.3 Arbeitszeitbedarf und Arbeitsleistung

Umfassend wird der Arbeitsbedarf aus dem Arbeitszeitbedarf und damit der Arbeitsleistung, der Arbeitsbelastung, der Arbeitsorganisation und der Unfallsicherheit gebildet. Mit Ausnahme der Arbeits-sicherheit sollen dafür die entsprechenden

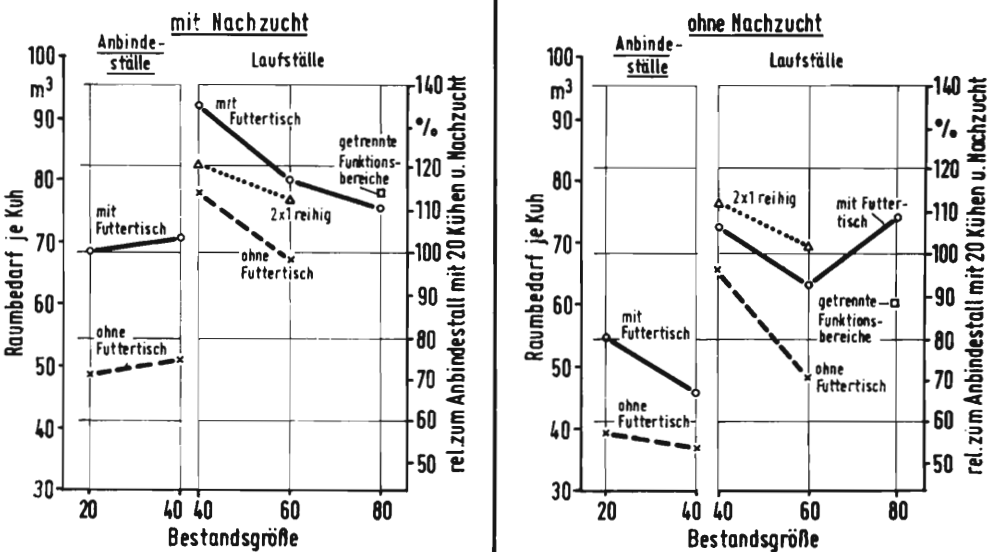


Abb. 9: Umbauter Raum in Abhängigkeit von Bestandsgröße, Nachzucht, Stalltyp und Futterdarbietung

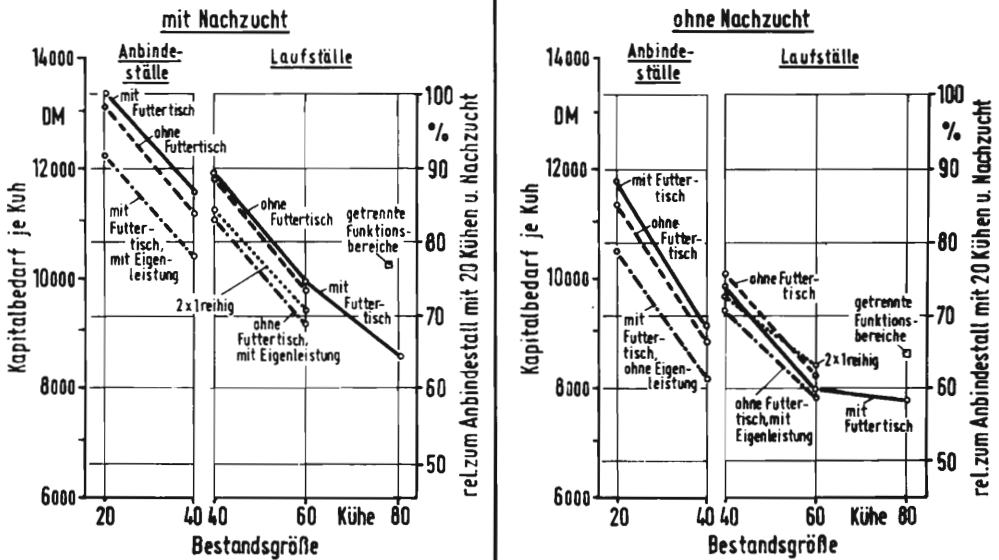


Abb. 10: Kapitalbedarf in Abhängigkeit von Bestandsgröße, Nachzucht, Stalltyp und Futterdarbietung

Zusammenhänge für die untersuchten Varianten dargestellt werden.

5.3.1 Arbeitszeitbedarf

Auch im Arbeitszeitbedarf muß zwischen Systemen mit Nachzucht und solchen ohne Nachzucht unterschieden werden. Nach Abb. 11 ergibt sich dafür folgender Zusammenhang:

Für die Varianten mit Nachzucht zeigt sich:

- Eine sehr starke Degression durch die Bestandsgröße mit über 40% bei 80 Kühen.
- Die Varianten ohne Futtertisch liegen um etwa 10% unter jenen mit Futtertisch.
- Ungünstig schneidet der 2*1reihige Boxenlaufstall ab, da bei ihm die Sommerstallfütterung und das Nachtreiben der Kühe beim Melken auf zwei Stallseiten die Vorteile bei der Winterfütterung vollständig aufzehren.
- Ungünstig schneidet auch der Laufstall mit getrennten Funktionsbereichen ab, weil dabei zusätzlich die Reinigung des Laufhofes erforderlich wird.

Für die Varianten ohne Nachzucht gelten diese Feststellungen in gleicher Weise. Allerdings kommt nun eine Parallelverschiebung in Richtung eines geringeren Arbeitszeitbedarfes hinzu, die im Mittel bei etwa 10–15% liegt.

5.3.2 Arbeitsleistung

Aus diesen Ergebnissen lassen sich sehr einfach die möglichen Arbeitsleistungen einer Arbeitsperson ableiten. Dazu wurden 1900 AKh je Jahr und Arbeitsperson unterstellt. Nach Abb. 12 ergeben sich folgende Zuordnungen:

- Bestandsgrößen von 80 Kühen verdoppeln die Arbeitsleistung je Arbeitskraft im Vergleich zu Herden mit 20 Kühen.
- Diese Zunahme ist im Grunde jedoch bescheiden, wenn im Vergleich die dann doch wesentlich besseren Voraussetzungen im Melkstand betrachtet werden.
- Diese Ergebnisse relativieren die oft genannten Melkleistungen je Arbeitsperson sehr stark. Sie machen deutlich, daß daneben die Fütterung und die Kälbersversorgung nicht zu übersehende Arbeitsspitzen darstellen.

5.3.3 Arbeitsbelastung

Methodisch steht die Bewertung der Arbeitsbelastung derzeit erst am Anfang der Ermittlung. Deshalb wäre eine umfassende Analyse aller untersuchten Stallsysteme zu früh und mit Sicherheit auch zu wenig abgesichert. Aus diesem Grunde soll hier der Vergleich unterschiedlicher Melk-

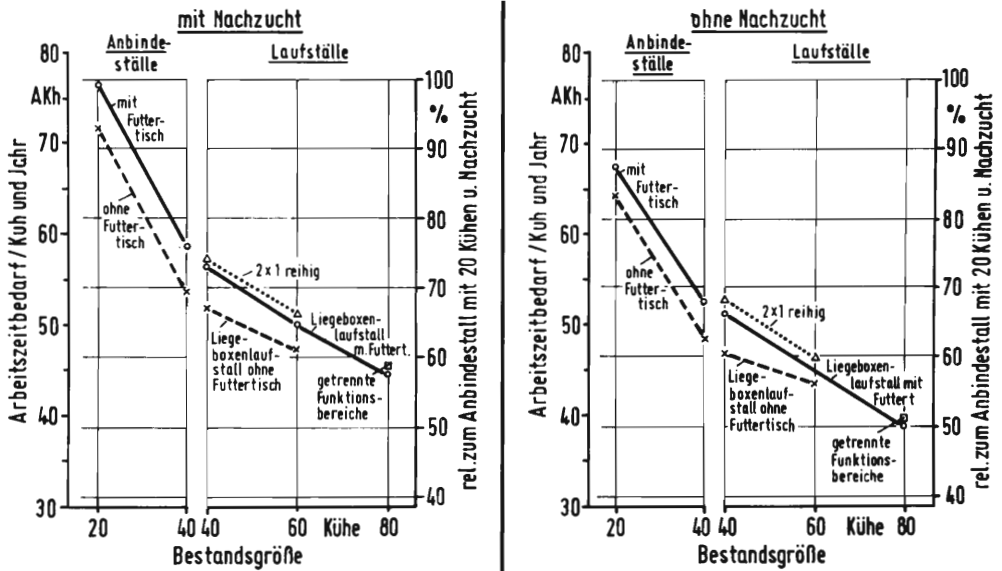


Abb. 11: Arbeitszeitbedarf in Abhängigkeit von Bestandsgröße, Nachzucht, Stalltyp und Futterdarbietung

techniken einen Einblick in künftig methodisch zu beurteilende Bereiche der menschlichen Belastung wiedergeben (Abb. 13). Danach zeigen sich folgende Zusammenhänge:

- Die Eimermelkanlage in kleineren Anbindeställen wird durch sehr hohe Werte bei der

körperlichen Belastung geprägt. Geistige Belastung und Belastung aus der Arbeitsumgebung treten dabei weitgehend in den Hintergrund.

- Bei der Rohrmelkanlage verbringt die Arbeitsperson sehr viel Zeit im ungünstigen Arbeitsbereich seitlich unter der Kuh. Dadurch verlagert sich die Belastungsherkunft zuungunsten der Arbeitsumgebung.

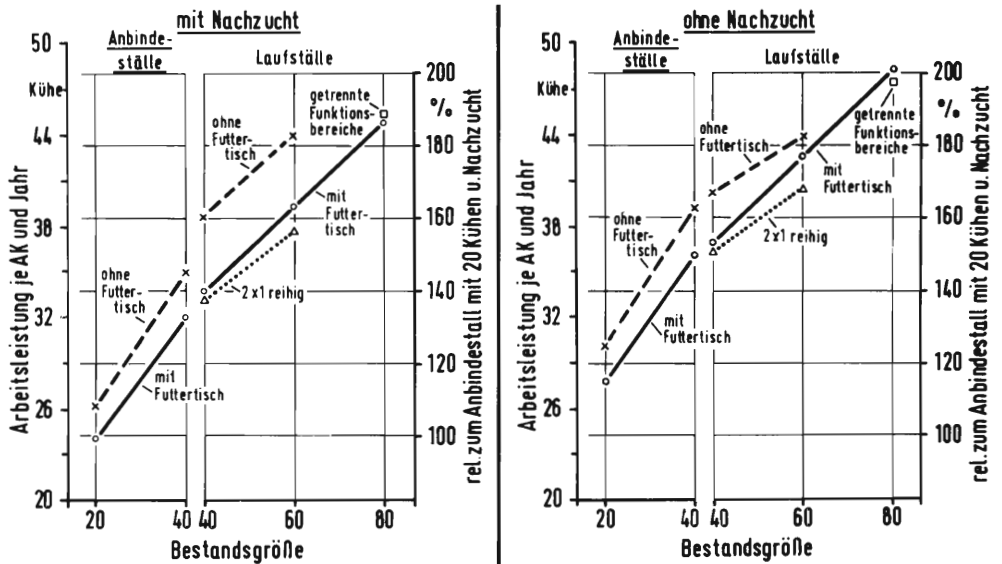


Abb. 12: Arbeitsleistung in Abhängigkeit von Bestandsgröße, Nachzucht, Stalltyp und Futterdarbietung

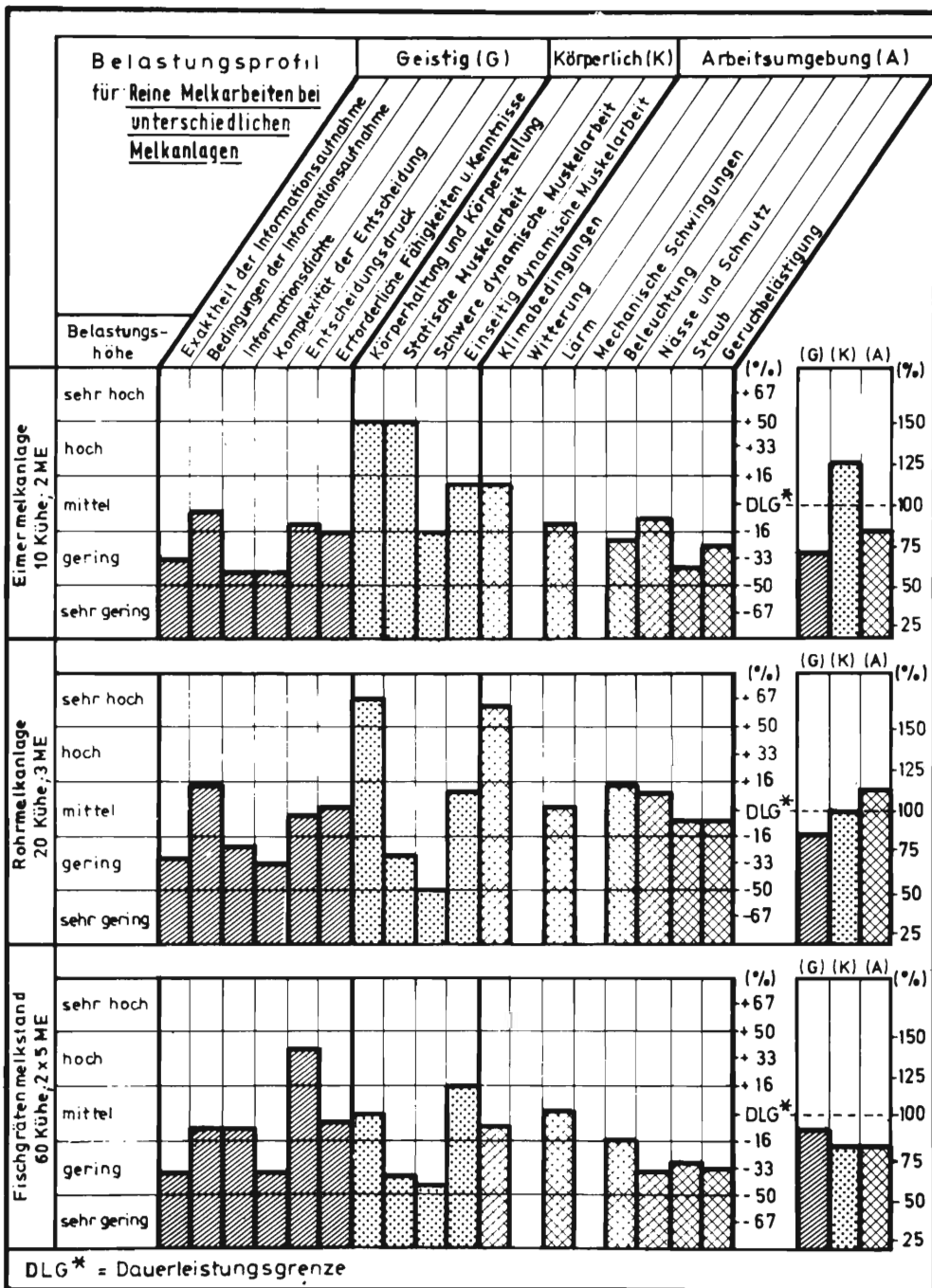


Abb. 13: Arbeitsbelastung für unterschiedliche Melktechniken

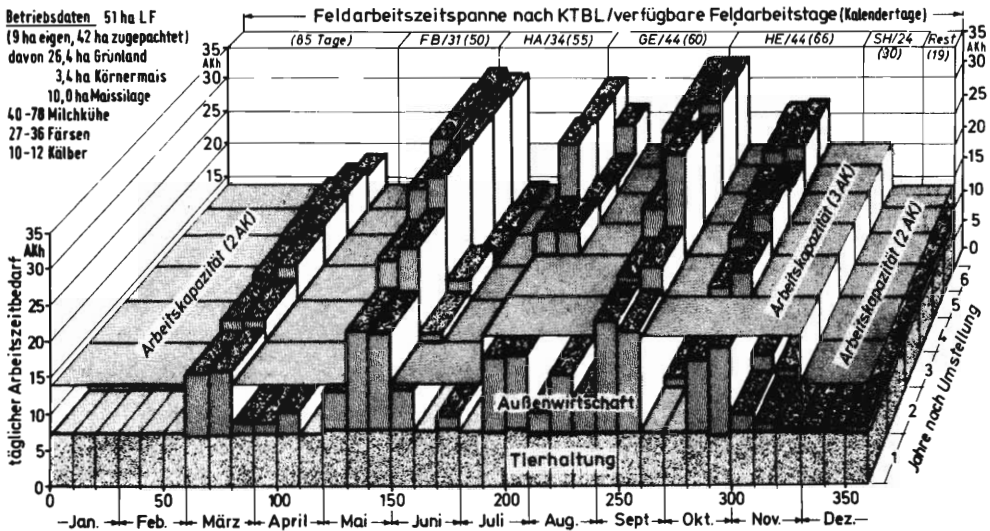


Abb. 14: Arbeitsvoranschlag für einen Betrieb mit 40 Kühen bei einer Aufstockung auf 80 Kühe in einer Zeitspanne von 6 Jahren

- Durch die Trennung von Mensch und Tier im Melkstand und die dabei günstigere Arbeitshaltung wandelt sich die Arbeitsbelastung erneut. Nun resultiert die Hauptbelastung aus der stärkeren geistigen Anforderung. Im Vergleich liegen dabei allerdings alle Belastungswerte der drei untersuchten Belastungsbereiche erstmals unterhalb der Dauerleistungsgrenze.

5.3.4 Arbeitsorganisation

Auch dafür würde eine Analyse aller untersuchten Systemvarianten den Rahmen des Aufwandes sprengen. Stellvertretend und aus den Problemen der Praxis heraus soll deshalb dazu der Arbeitsvoranschlag eines Betriebes dargestellt werden, welcher in einer Zeitspanne von 6 Jahren eine Bestandsaufstockung von 40 auf 80 Kühe durchführt und dadurch sehr schnell an die Grenzen des „Machbaren“ stößt (Abb. 14). Für diesen Betrieb wird ersichtlich, daß die Futterbergung das zentrale Problem der Außenwirtschaft darstellt und daß schon im dritten Jahr nach der Umstellung die dann erforderliche Arbeit durch betriebs-eigene Kräfte nicht mehr zu bewerkstelligen ist.

5.4 Kosten der Arbeiterledigung

In die Tat umgesetzte Arbeitsverfahren müssen an den jährlichen Kosten und im Zusammenhang mit der erforderlichen Arbeit an den Kosten der Arbeiterledigung gemessen werden. In Abhängigkeit von der Bestandsgröße ergeben sich die Zusammenhänge nach Abb. 15. Danach zeigt sich für

Stallsysteme mit Nachzucht:

- Zwischen 20 und 80 Kühen ergibt sich eine relative Degression bei den Kosten von mehr als 40%.
- Die Degression von 20 bis 40 Kühen erbringt nahezu exakt 20%, weitere 20 Kühe führen zu einer Degression von nur noch 10%, und wiederum weitere 20 Kühe ergeben nur noch etwa 7%.
- Die Kostenreduzierung durch Verzicht auf Futtertisch und durch Eigenleistung ist im Verhältnis zur Bestandsgrößendegression eher bescheiden. Sie erbringt erst in der Addition Einsparungen von bis zu 8% und übertrifft somit die Bestandsgrößendegression erst ab Herdengrößen von 60 Kühen aufwärts.
- Abweichend von den übrigen Varianten ist die Degression beim doppelt-einreihigen Liege-

boxenlaufstall schwächer. Dies ist auf die ungünstige Situation bei Sommerstallfütterung und größeren Beständen zurückzuführen. Weidgang würde hier zu anderen Ergebnissen führen.

- Eine Ausnahme bei dieser Betrachtung bildet das System mit getrennten Funktionsbereichen im Neubau. Es liegt um nahezu 10% über einem vergleichbaren Liegeboxenlaufstall.

Stallsysteme ohne Nachzucht:

- Nunmehr tritt um etwa 12% verschoben in etwa das gleiche Bild wie bei den Varianten mit Nachzucht auf.
- Atypisch dazu fällt jedoch auf, daß bei den Varianten ohne Nachzucht die Anbindeställe weit günstiger in der Degression abschneiden. Dies führt zu einer Gleichheit der Kosten von etwa 40 Kühen im Anbindestall mit etwa 50–55 Kühen im Laufstall.
- Sehr stark wirkt sich bei den Laufställen von 40–60 Kühen der nunmehr ausgewählte überlange Stall mit seitlich angeordnetem Futtergang oder Futterband aus. Er sorgt für den wesentlich flacheren Verlauf der Kostendegression.
- Wie schon bei den Varianten mit Nachzucht wird auch in diesem Vergleich die ungünstige Situation mit 2*1reihigem Stall erkennbar.
- Und auch hier schneidet der Stall mit den getrennten Funktionsbereichen äußerst un-

günstig ab und ist in den Kosten nur geringfügig günstiger als eine optimale Anbindestallvariante.

6. Einordnung der Ergebnisse und Ausblick

Wie gestaltet sich nun eine Einordnung der Ergebnisse? Dazu läßt sich feststellen, daß einige Ergebnisse zumindest so nicht erwartet wurden und daß dadurch ein intensives Nachdenken über das „Warum“ und das „Was folgt daraus?“ erforderlich wird.

6.1 Kapitalbedarf

Wird der Kapital- oder Investitionsbedarf betrachtet, dann liegt er mit 8000–13 500 DM je Kuhplatz in einer nahezu astronomischen Höhe und läßt wehmütig Gedanken an den 1000-Guldenstall aufkommen. Selbst wenn bei diesen Werten durch die Bestandsgröße eine Degression von über 42% erreicht wird und wenn diese Werte noch um mögliche 1000 DM durch verbilligte Bauweisen verringert werden, so sind sie immer noch sehr hoch. Damit wird auch verständlich, daß heute jeder Landwirt Investitionen in dieser Richtung nur sehr

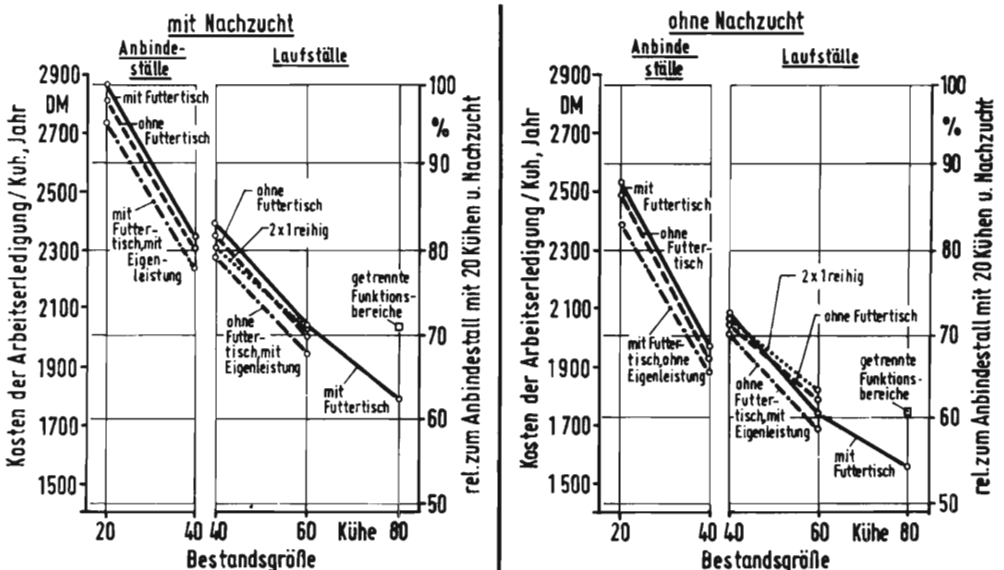


Abb. 15: Kosten der Arbeitserledigung in Abhängigkeit von Bestandsgröße, Nachzucht, Stalltyp und Futterdarbietung

zurückhaltend tätig und dadurch für die nahe Zukunft eine weitere „Überalterung des Produktionsverfahrens Milcherzeugung“ vorgezeichnet ist.

Trotzdem zeigt sich in den Möglichkeiten einer Verringerung innerhalb gleicher Bestandsgrößen mit bis zu 20% ein hoffnungsvoller Schimmer am Horizont, der sicher durch weitere Alternativen vergrößerbar ist.

6.2 Arbeitszeitbedarf

Wird der Arbeitszeitbedarf betrachtet, dann gilt für ihn:

- Unabänderlich stellt derzeit und auch künftig die Bestandsgröße die wesentlichste Einflußgröße dar.
- Hauptverursacher ist nach wie vor der überhohe Anteil für die Melkarbeiten, wobei eine Änderung kurzfristig nicht in Sicht ist, auch wenn z. B. der „Autotandem“ eine Entzerrung der organisatorisch ungünstigen und rein zufälligen Gruppenbildung für den Laufstall ermöglicht. Dabei muß eine in Grenzen liegende Steigerung der Arbeitsleistung mit einem überhöhen Kapitalbedarf erkaufte werden, und vielleicht ist es sogar diese Technik, die eine beschleunigte Arbeit auf dem „Sektor des automatischen Milchentzuges“ fördert, weil dann die „noch teurere Technik“ zumindest optimaler – weil über den ganzen Tag – einsetzbar wird. Vielleicht ist aber dann irgendwann in Zukunft der Übergang zu rein synthetischer Milch finanziell günstiger.
- Der zweitgrößte – und noch wichtige – Einflußfaktor ist die Fütterung. Hierbei ist für unsere derzeitigen Standardgrößen mit dem Blockschneider und dem Ladewagen eine „preisgünstige Mechanisierung“ möglich, die jedoch, vom Arbeitszeitaufwand gesehen, eindeutige Grenzen besitzt und ab etwa 30 Kühen eine nicht zu verkennende Arbeitsbelastung bei der Verteilung der Silageblöcke beläßt. Auch hier scheint ein Umdenken dringend erforderlich. Die Kalkulationsvarianten mit Futterband zeigen Einsparungsmöglichkeiten, und sie eröffnen weitere Perspektiven im Sinne einer gezielteren, eventuell sogar tier-spezifischen Futtervorlage. So ist ein Futterband oder eine ähnliche Einrichtung als „Zentralorgan einer Fütterung“ in der Lage, zentral nur eine Überwachungsstelle für die zugeführten und für die abgeführten Reste zu ermöglichen. Dies scheint im Übergang zu einer

rationierten Fütterung von Grund- und Kraftfutter – die derzeit sicher nicht diskutiert werden muß – ein nicht zu verkennender Vorteil zu sein, und es wäre möglich, verbleibende Handarbeit zentral mit Technik abzubauen. Auch für die ersten Stufen einer Prozeßtechnik wären damit günstigere Voraussetzungen zu erreichen und würden dadurch für manchen Landwirt bessere Einstiegsmöglichkeiten in diese neuen Techniken eröffnen.

6.3 Kosten der Arbeitserledigung

Die Kosten der Arbeitserledigung bewegen sich zwischen 3000 und 1600 DM je Kuh. Sie lassen im oberen Bereich, also bei den „kleineren Anbindeställen“, erkennen, daß dort vom möglichen Rohertrag je Kuh und von den restlichen Kosten nur noch ein kleiner Teil für die investierte Arbeit übrigbleibt, weshalb diese Betriebe sicher nicht das erforderliche Entgelt von 15 DM/AKh erreichen werden.

Somit verbleibt auch in diesem Bereich die Bestandsgröße als der wesentliche Einflußfaktor. Kostenvorteile von bis zu 40% alleine im Bereich der Bestandsgrößen zwischen 20 und 80 Kühen sind derart gravierend, daß im Grunde genommen der in Anführungszeichen „kleinere Betrieb“ wirklich entmutigt wird.

Allerdings sind auch hier stärker differenzierte Gedanken angebracht:

- Eine ständige, übergroße Bestandsausdehnung hat bisher die Probleme nur vordergründig und kurzfristig gelöst, und dies wird auch mittelfristig so bleiben.
- Die Haupteffekte der Bestandsgrößendegression liegen im Bereich von 20 bis 40 oder 50 Kühen, also im Bereich „überlebender Milchviehbetriebe“.
- Interessant sind in diesem Zusammenhang jedoch andere Maßnahmen, die dem „kleineren Milchviehhalter“ ebenso Chancen eröffnen, denn:
 - wird beim Neu- oder Umbau eines Milchviehstalles der Futtertisch weggelassen und wird gleichzeitig Eigenleistung erbracht, dann stellen sich z. B. für den 20-Kuh-Betrieb die Kosten ähnlich günstig wie für einen Milchviehhalter mit „Standardstall“ und 30 Kühen
 - nützt dieser Betrieb auch künftig neueste Erkenntnisse einer verbesserten und lei-

stungsgerechteren Fütterung (also z. B. die derzeit in der Praxis getesteten Ansätze einer Prozeßsteuerung), ermöglicht ihm dies eine weitere Kostensenkung, um auch noch mit Betrieben mit 40 Kühen konkurrieren zu können

– Auch ein Wort zum sog. „Doppelinreihler“ muß angebracht werden. Er schneidet bei vergleichbaren Kalkulationen immer dann sehr günstig ab, wenn

- viel Eigenleistung investiert wird,
- wenn keine Nachzucht vorhanden ist und
- wenn die Ganztagsweide praktiziert wird.

Wird hingegen – wie in dieser Untersuchung – vom Neubau mit Wärmedämmung ausgegangen und zusätzlich die Sommerstallfütterung einbezogen, dann zeigt dieses Stallsystem schon ab etwa 45–50 Kühen deutliche Kostennachteile gegenüber anderen Lösungen, zumal bei diesem System eine weitere Einengung des umbauten Raumes – z. B. durch Verzicht auf den Futtertisch – nicht mehr möglich ist.

– Sehr wichtig erscheint auch die Feststellung, daß getrennte Funktionsbereiche für Neubauten in den untersuchten Bestandsgrößen kostenmäßig unvergleichbar hoch liegen. Derartige Lösungen müssen somit dem Umbau und der Erweiterung von Altbauten vorbehalten bleiben, damit die neu zu erstellende, überbaute Fläche möglichst gering bleibt.

– Interessant sind ebenso alle neuen Möglichkeiten zum Einsatz der Elektronik in der Produktion, weil damit – in Gedanken existierende – neue Ideen nunmehr in den Bereich des „Machbaren“ rücken. Dies scheint insofern von Bedeutung zu sein, als in den vergangenen Jahren zu sehr an bestehenden Lösungen in Richtung von Detailverbesserungen gearbeitet wurde und wirklich neue Konzepte mit Einbeziehung neuester Technologien eher die Ausnahme darstellen. Ansätze wie in Holland mit vielleicht vereinfachten zentralen Grundfutterdosierstationen – vielleicht auch in Verbindung mit Kraftfuttermitteln und automatisiertem Milchentzug – sollten nicht nur belächelt werden. Vielmehr bedürfen sie einer tiefergehenden gedanklichen Analyse, um daraus eventuell erfolgversprechende Lösungsansätze ableiten zu können und irgendwann in naher Zukunft zu vielleicht vollständig neuen Stallkonzepten zu kommen.

Nicht zuletzt muß auch darauf hingewiesen werden, daß alle derartigen Überlegungen in gesamtbetriebliche Untersuchun-

gen einzubeziehen sind, weil nur dann eventuelle „scheinbare“ Vorteile erkennbar werden und nur so letztendlich auch eine für den Einzelbetrieb besser zutreffende Entscheidung möglich wird.

7. Zusammenfassung

Vergleiche von Stallsystemen verursachen bei Berücksichtigung aller wesentlichen Einflußgrößen einen enormen Aufwand und sind bei Anlehnung an die Praxis dann doch nur bedingt vergleichbar. Dies beruht vor allem auf der Notwendigkeit, Standardversionen zu erstellen, die hinsichtlich Gebäude und Technik vergleichbar sind. Sehr schnell ist dabei jedoch die Grenze erreicht, weil z. B. Fütterungstechniken sinnvoll nur bestimmten Bestandsgrößen zuordenbar sind oder weil mit zunehmender Bestandsgröße zwangsläufig auch Feldentfernungen zunehmen müssen.

Diese Überlegungen führten bei dieser Untersuchung zu deutlichen Einschränkungen. Insbesondere wurde die Bestandsgröße der verschiedenen Varianten auf maximal 80 Kühe beschränkt. Dabei wurden Herden mit Nachzucht im Kuhstall und solche ohne Nachzucht unterstellt. Um die Aufstellungssysteme einzubeziehen, wurden Anbindeställe für 20 und 40 Kühe und Laufställe für 40, 60 und 80 Kühe untersucht. Außerdem wurden Einsparungsmöglichkeiten hinsichtlich des umbauten Raumes (Verzicht auf den Futtertisch) und durch Eigenleistung in Form erbrachter Arbeitsstunden einbezogen. Ergänzt um Stallsysteme als 2*1reihiger Liegeboxenlaufstall (40 und 60 Kühe) und um ein Stallsystem für 80 Kühe mit getrennten Funktionsbereichen, führte dies zu insgesamt 32 Systemvarianten, welche hinsichtlich des Kapitalbedarfes, des Arbeitszeitbedarfes und der Kosten der Arbeitserledigung untersucht wurden.

Bei Gegenüberstellung gleicher Bestandsgrößen wird ersichtlich, daß grundsätzlich die Systeme ohne Nachzucht den größten Effekt bei den Kosten der Arbeitserledigung erbringen. Danach folgen die möglichen Eigenleistungen und erst an dritter

Stelle die Einsparungen beim umbauten Raum. Letzteres läßt sich durch den dann erforderlichen hohen Kapitalbedarf für die Technik erklären, weshalb trotz erheblich geringerer Aufwendungen für das Gebäude die Kosten für die Arbeitserledigung nur geringfügig absinken.

Werden unter gleichen Bedingungen Varianten mit wenig und mit viel Technik gegenübergestellt, dann zeigt sich dabei, daß eine Minimaltechnik nur einen geringen Einfluß auf die Kosten ausübt. Die erforderlichen Arbeitszeiten sind dann jedoch relativ hoch. Wird hingegen vertretbare Technik in maximaler Form eingesetzt, dann sinkt gegenüber der Standardmechanisierung der Arbeitszeitbedarf nur unwesentlich, während die Kosten überproportional ansteigen.

Bei der Betrachtung des Einflusses der Bestandsgröße zeigt sich dessen zentrale Bedeutung. Einsparungen von bis zu 50% des Arbeitszeitbedarfs beim Übergang von 20 auf 80 Kühe sind so gravierend, daß damit eigentlich alle anderen Möglichkeiten nahezu unbedeutend werden. Trotzdem muß auch dabei stärker differenziert werden.

So werden die Probleme im Bereich von 40-Kuh-Herden erkennbar. Fast immer liegt dort der Laufstall ungünstiger als der Anbindestall, obwohl aus der Sicht der Arbeitserledigung der Laufstall eindeutig vorzuziehen wäre. Auch der in die Untersuchung einbezogene 2*1reihige Liegeboxenlaufstall (Doppelinreihiger) schließt diese Lücke nicht. Er hat in dieser Größenordnung zwar eindeutige Vorteile, die jedoch durch den großen Raumbedarf beim Neubau sehr stark zurückgedrängt werden.

Grundsätzlich erbringt die Herausnahme der Nachzucht aus dem „teueren Kuhstall“ eine Verbilligung von bis zu 25%. Auch Eigenleistungen können den erforderlichen Kapitalbedarf erheblich senken, wodurch in der Summe beider Maßnahmen für Betriebe mit kleineren Beständen erhebliche Einsparungseffekte möglich werden. Dies erlaubt es dann z. B. Betrieben mit 20 Kühen, nahezu ebenso kostengün-

stig zu produzieren wie 40-Kuh-Betrieben mit ausschließlich in Regie erbauten Neubauten und Nachzucht im Kuhstall.

Wird bei größeren Herden (80 Kühen) auf getrennte Funktionsbereiche übergegangen, dann sind diese Varianten immer ungünstiger als herkömmliche Liegeboxenlaufställe. Dies ist ausschließlich auf den erhöhten Aufwand für die Gebäude zurückzuführen. Folglich bleiben solche Varianten noch größeren Einheiten vorbehalten, oder es werden Altgebäude für die Liegeboxen benutzt, wodurch dann ebenso günstige Situationen wie bei vergleichbaren Laufställen erreicht werden.

Insgesamt zeigen die durchgeführten Vergleiche jedoch, daß in den hohen Anteilen für das Melken und das Füttern weitere Reserven zur Kostenreduzierung vorhanden sind. Diese lassen sich jedoch mit den derzeit verwendeten Techniken nicht realisieren, so daß weitere intensive wissenschaftliche Arbeiten bis hin zum automatischen Milchentzug und zur prozeßgesteuerten Fütterung erforderlich sind.

8. Literaturverzeichnis

1. Auernhammer, H.: Eine integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse, Planzeiterstellung und Modellkalkulation landwirtschaftlicher Arbeiten, dargestellt an verschiedenen Arbeitsverfahren der Bullenmast. Diss. Weihenstephan 1975.
2. Bock, K.: Analyse der Arbeitsbelastung mit der Energieumsatzmethode in der Milchviehhaltung. Diplomarbeit: Institut für Landtechnik Weihenstephan 1984.
3. Gartung, J., Krentler, J. G. und H. G. Sievers: Systematisierung und Feststellung von Bauleistungen zur Berechnung von Baukostendaten mit Hilfe von Kostenblöcken, Braunschweig 1983.
4. Grob, W.: Stallsystemvergleich für 40 Kühe mit Nachzucht. Diplomarbeit: Institut für Landtechnik, Weihenstephan 1983.
5. Kobler, J.: Verfahrensvergleiche für den Anbinde- und Freßliegeboxenlaufstall bei 40 Kühen mit Nachzucht. Diplomarbeit: Institut für Landtechnik, Weihenstephan 1983.
6. Konrad, H.: Vergleichende Ermittlung des Kapitalaufwandes für zwei Milchviehlaufställe durch Ist-Analyse und durch Modellkalkulation mit dem System KALBAU. Di-

- plomarbeit: Institut für Landtechnik, Weihenstephan 1984.
7. *KTBL*: *KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft*. Münster-Hiltrup, 12. Aufl. 1984.
 8. *Nacke, E.*: Ein Modellkalkulationssystem zur Ermittlung des Investitionsbedarfes landwirtschaftlicher Betriebsgebäude – dargestellt am Beispiel ausgewählter Stallbaulösungen für die Milchviehhaltung. Diss. Weihenstephan 1983.
 9. – u. a.: Preisdatei im System LISL – Teilbereich KALBAU, Preisstand 1986.
 10. *Naderer, J.*: Vergleich des Kapitalbedarfs der verschiedenen Stallsysteme in der Milchviehhaltung. Diplomarbeit: Institut für Landtechnik, Weihenstephan 1973.
 11. *Piotrowski, J.*: Möglichkeiten zur Einsparung von Investitionsbedarf und baubedingten Jahreskosten durch Anwendung von Leichtbau. In: Dokumentation der CIGR-Arbeitstagung über „Kostengünstige Gebäude für die Landwirtschaft“, Braunschweig 1982, S. 691–708.
 12. *Rittel, L.*: Vergleichende Untersuchungen in ausgewählten, selbsthilfefreundlichen Holztragwerken zu Kapitaleinsparungen landwirtschaftlicher Betriebsgebäude. Diss. Weihenstephan 1979.
 13. *Sauer, H.*: Arbeitswirtschaftliche Untersuchungen und Methodenüberprüfung durch Modellkalkulationen in der Milchviehhaltung. Diss. Weihenstephan 1981.
 14. *Sauer, N.*: Test und ökonomische Beurteilung neuer Technologien im Bereich der Rinderhaltung mit Hilfe der Systemsimulation. Diss. Gießen 1986.
 15. *Wendl, G.*: Methodischer Beitrag zur Ermittlung der Reparaturkosten und zur Gesamtkostenkalkulation landwirtschaftlicher Maschinen – dargestellt am Beispiel von Melkanlagen. Diss. Weihenstephan 1983.

Physiologische Anpassung von Milchkühen an Energie- oder Proteinfehlernährung

Von Manfred Kirchgeßner, Michael Kreuzer, Thomas E. G. Kaufmann und Brigitte R. Paulicks

Zusammenfassung

In einer Versuchsreihe wurde die physiologische Anpassung von laktierenden Kühen an Energie- oder Proteinunter- oder -überversorgung untersucht. Dabei zeigte sich, daß ein durch moderate Fehlernährung verursachter Leistungseinbruch bei nachfolgend bedarfsgerechter Fütterung nicht mehr vollständig aufgeholt bzw. kompensiert werden kann. Als Ursache konnten mit Hilfe von Stoffwechselfmessungen z. T. anhaltende Veränderungen bei Nährstoffverdaulichkeit, -verwertung und -bilanz nachgewiesen werden. Außerdem wurde aufgezeigt, daß der Harnstoffgehalt der Milch ein geeigneter Indikator ist, um in Kombination mit dem Milcheiweißgehalt die verschiedenen Formen der Energie- und Proteinfehlernährung differentialdiagnostisch zu erkennen.

Eingang des Manuskripts: 28. 4. 1987

1 Einleitung

Im Verlauf der Evolution haben die Lebewesen eine Reihe von Regulationsmechanismen entwickelt, um auch bei einer Änderung der Umweltbedingungen den inneren Zustand in lebensverträglichen Grenzen zu halten. Dazu gehört u. a. die gegenüber anderen Organen und Geweben vorrangige Ausbildung und Versorgung von Leistungsprodukten und -organen, die von BAUMANN (1, 2) als Homöorhese bezeichnet wird. Damit steht auch der Milchkuh eine Reihe von Möglichkeiten zur Reaktion auf Nährstoffehlversorgung zur Verfügung. Eine nicht bedarfsgerechte Energiezufuhr wird primär mit veränderter Futteraufnahme bzw. mit Aus- oder Einlagerung von Körperreserven beantwortet (3). Veränderungen in der Energieverwertung treten nur in geringem Umfang auf. Proteinfehlernährung wird dagegen vor allem durch verstärkte N-Wiederverwertung bzw. veränderte renale N-Ausscheidung reguliert. Proteinreserven stehen nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung (4). Von Interesse für die Fütterung ist nun, auf welche Weise und in welchem Ausmaß die laktierende Kuh in Stoffwechsel und Leistung tatsächlich auf genau definierte Nährstoffehlernährung reagiert.

Im folgenden sollen dazu detailliert die Reaktionen von Milchkühen auf moderate Fehlversorgung an Energie oder Protein aufgezeigt werden. Zusätzlich sollen eventuelle Nachwirkungen in anschließenden Perioden mit bedarfsgerechter Versorgung (Realimentation) festgestellt werden. Die beschriebenen Ergebnisse stammen aus einer umfangreichen Versuchsreihe mit bilanzmäßiger Erfassung der Vorgänge im gesamten Stoffwechsel laktierender Kühe. Dabei wurde jeweils gezielt 3–4 Wochen lang eine Art der Fehlversorgung (Energie- oder Proteinrestriktion bzw. -überversorgung) bei Konstanzhaltung möglichst vieler Randbedingungen induziert und anschließend ebenfalls über mehrere Wochen wieder nach Bedarf gefüttert (realimentiert). Das Ausmaß der Fehlernährung ist in den Tabellen als relative Abweichung von der jeweiligen Kontrollgruppe angegeben. Um die in Gruppenversuchen notwendige Tierzahl zu reduzieren und zeitlich variable Parameter wie z. B. die Milchleistung besser vergleichen zu können, wurde ein Teil der Varianz durch Verwendung genetisch gleicher („Split-Twin-Verfahren“ mit eineiigen Zwillingen, siehe 5, 6) bzw. durch Blockung phänotypisch ähnlicher Tiere (siehe 7) eliminiert.

2 Reaktionen laktierender Kühe auf Fehlversorgung mit Nährstoffen

2.1 Energiemangel

Zur Untersuchung der Auswirkungen eines Energiemangels bei laktierenden Kühen wurde die Zufuhr an Nettoenergie für Leistung um ein Drittel vermindert. Dies entsprach einer mittleren energetischen Unterversorgung von etwa 6 kg Milch (5). Die Kühe reagierten auf die reduzierte Energiezufuhr mit einem sofortigen Rückgang der täglichen Milchmenge. Nach einem kontinuierlichen Abfall in der ersten Woche schien sich der Stoffwechsel der laktierenden Kuh auf die knappe energetische Versorgungslage eingestellt zu haben. Dies äußerte sich in einem kurzfristigen, leichten Anstieg der Milchleistung, gefolgt von einem etwa einwöchigen Plateau. Anschließend setzte ein konstanter Rückgang bis zum Ende der Restriktionsperiode ein, der steiler verlief als der physiologische Leistungsabfall. Unter Berücksichtigung des natürlichen Laktationsverlaufs der Kontrollgruppe verursachte der Energiemangel nach 4 Wochen einen signifikanten Rückgang der täglichen Milchmenge um durchschnittlich $2,7 \pm 1,3$ kg (s. Tab. 1). Daran zeigt sich, daß Milchkühe offenbar ein ausgeprägtes Pufferungsvermögen besitzen, um die Höhe der Milchleistung auch gegen ein versorgungsbedingtes Energiedefizit mehr oder weniger gut aufrechtzuerhalten.

Tabelle 1: Veränderung der Milchleistung bei Energiefehlernahrung und bei Realimentation, jeweils relativ zur Kontrollgruppe

Art und Ausmaß der Fehlernahrung	Leistungsveränderung		Quelle
	bei Fehlernahrung in % der Ausgangsleistung	bei Realimentation kg	
Energiemangel (33%)	-2,7*	14	+2,1 5
Energieüberschuß (13%)	+0,2	0,9	+0,6 6
(16%)	+0,3	1,5	+0,3 6

*) statistisch gesicherter Effekt ($p < 0,05$)

Nach 4wöchiger Restriktion wurde noch über die Hälfte des Energiedefizits durch katabolisierte Körpersubstanz (entsprechend 9,6 MJ NEL pro Tier und Tag) kompensiert und nur weniger als die Hälfte mit Rücknahme der Milchleistung beantwortet. Dies verdeutlicht das Ausmaß der Regulationsmöglichkeiten durch Mobilisierung von Körpersubstanz. Hochleistungskühe sind zu Zeiten des Laktationsgipfels sogar in der Lage, insgesamt 30 bis 50 kg Körperfett abzubauen, um ein Energiedefizit zwischen Futterraufnahme und Milchabgabe auszugleichen (8, 9).

In Tab. 2 sind einige repräsentative Stoffwechselfparameter und ihre Abweichungen bei Energierestriktion im Vergleich zur bedarfsgerecht gefütterten Kontrollgruppe zusammengestellt. Die Verdaulichkeit des Rohproteins stieg bei Energiemangel durch das erweiterte Eiweiß-Energie-Verhältnis an, die der Energie ging leicht zurück (10). N-Ansatz und Energieverwertung (k) fielen leicht ab, Milch-N-Ausscheidung, N-Verwertung, Wärmebildung und Energieretention für Milch und Körperansatz gingen deutlich zurück (10, 11). In der Realimentation reagierten die zuvor restriktierten Tiere mit einem schnellen und steilen Anstieg der Milchproduktion auf die nun ausreichende Energiezufuhr. Die wieder um 2,1 kg angestiegene Milchleistung (s. Tab. 1) entsprach jedoch nur einem 75%igen Ausgleich, so daß zur Kontrollgruppe ein Resteffekt von 4% der Gesamtleistung verblieb. Ursache dieser Folgewirkungen dürften Veränderungen bei der hormonellen und enzymatischen Regulation von Energieansatz und Energieexkretion während der Unterversorgung sein. Offensichtlich waren diese Verschiebungen bei vorliegender Höhe und Dauer der Energierestriktion sowie der hier vorgenommenen Realimentation in Höhe der theoretischen Bedarfsnorm nicht mehr gänzlich reversibel. Wie Tab. 2 zeigt, waren in der Realimentationsperiode keine deutlichen Folgewirkungen der energetischen Unterfütterung auf die Stoffwechselfparameter zu erkennen. Die bei Wiederauffütterung leicht erhöhten

Tabelle 2: Verschiebungen im Stoffwechselfgeschehen bei Energierestriktion (-33%) und bei Realimentation, jeweils relativ zur Kontrollgruppe

	Restriktion	Realimentation
Verdaulichkeit		
Rohprotein (%)	+ 3*)	-1
Rohfaser (%)	+ 4*)	-1
Energie (%)	- 1	-1
N-Bilanz und N-Verwertung		
Harn-N (g/d)	+14*)	-7
Milch-N (g/d)	-10*)	+2
N-Ansatz (g/d)	- 4	+1
N-Retention/ N-Aufnahme (%)	- 3	+1
Energiebilanz und -verwertung		
Wärme (MJ/d)	- 9*)	-3
Milchenergie (MJ/d)	- 5*)	+1
Energieansatz (MJ/d)	-14*)	+1
k ₁ (%)	- 3	+2

*) statistisch gesicherter Effekt (p < 0,05)

Werte für Energieansatz und -verwertung (siehe 11) deuten jedoch an, daß der Ersatz der bei Energierestriktion angegriffenen Körperreserven Vorrang gegenüber der vollständigen Kompensation des Leistungsrückganges hatte.

2.2 Energieübersversorgung

Die Auswirkungen einer Energieübersversorgung wurden bei einer zusätzlichen Energiezulage von 9–10 MJ NEL/Tier und Tag untersucht. Bezogen auf den Leistungsbedarf und relativ zur Kontrollgruppe entsprach das in einer ersten Überfütterungsperiode einem 13%igen, in einer zweiten Periode 10 Wochen später einem 16%igen Überschuß (6). Der Leistungsanstieg durch Energieübersversorgung – korrigiert um die Differenz in den jeweils vorhergehenden Perioden – betrug nur 0,2 bzw. 0,3 kg Milch (s. Tab. 1). Der Energieaufwand für die Milchleistung erhöhte sich dabei von 3,2 MJ NEL/kg FCM auf 3,7 MJ NEL/kg FCM (6).

Da die Milchleistung auf die Energieüberfütterung kaum reagierte, mußten größere Veränderungen im Verdauungs- und Stoffwechselfgeschehen aufgetreten sein. Sie sind im Mittel der beiden Überfütterungsperioden in Tab. 3 angegeben. Die schein-

Tabelle 3: Verschiebungen im Stoffwechselfgeschehen bei Energieübersversorgung (+15%) und bei Realimentation, jeweils relativ zur Kontrollgruppe

	Energieüberschuß	Realimentation
Verdaulichkeit		
Rohprotein (%)	- 5*)	+1
Rohfaser (%)	- 9*)	-1
Energie (%)	- 2*)	-1
N-Bilanz und N-Verwertung		
Harn-N (g/d)	-31*)	-4
Milch-N (g/d)	+ 1	+2
N-Ansatz (g/d)	+ 6	+9
N-Retention/ N-Aufnahme (%)	+ 4	+2
Energiebilanz und -verwertung		
Wärme (MJ/d)	+ 3	+1
Milchenergie (MJ/d)	+ 1	+1
Energieansatz (MJ/d)	+15*)	+1
k ₁ (%)		
mit Berücksichtigung des Ansatzes	+ 4	0
ohne Berücksichtigung des Ansatzes	- 5*)	0

*) statistisch gesicherter Effekt (p < 0,05)

bare Verdaulichkeit des Rohproteins verringerte sich bei Energieüberfütterung durch das verengte Eiweiß-Energie-Verhältnis. Auch die Energieverdaulichkeit sank geringfügig ab, wobei die steigernde Wirkung eines geringeren Rohfasergehalts von der Verdauungsdepression durch Erhöhung des Ernährungsniveaus überlagert wurde (6). N-Retention und N-Verwertung stiegen tendenziell an, die N-Ausscheidung über die Milch wurde kaum beeinflusst (6).

Während die Auswirkungen einer Energierestriktion auf die Milchleistung durch Abbau von Körpersubstanz größtenteils kompensiert wurden, brachte eine energetische Übersversorgung kaum Vorteile für die Milchbildung. Nur 6% der um 15,5 MJ erhöhten Energieretention führten zu einer zusätzlichen Ausscheidung von Milch, 94% gingen in den Körperansatz. Die Verwertung der umsetzbaren Energie zur Milchbildung war bei Energieüberfütterung signifikant erniedrigt (12). Durch den relativ hohen partiellen Wirkungsgrad für Körperansatz während der Laktation

(siehe 13) können verbrauchte Energie- reserven daher bereits durch moderaten Energieüberschuß wieder aufgefüllt werden. Bei Realimentation nach energetischer Überversorgung waren keine signifikanten Nachwirkungen auf Milchleistung (s. Tab. 1) oder Stoffwechselfparameter (s. Tab. 3) festzustellen (6, 12).

2.3 Proteinmangel

Die Auswirkungen von Proteinmangel wurden in drei Experimenten an insgesamt 44 Tieren untersucht, wobei zweimal eine bedarfsgerechte Versorgung, im dritten Versuch eine Proteinüberversorgung vorausging. Trotz dieser unterschiedlichen Ausgangsbedingungen waren die Reaktionen in Stoffwechsel und Leistung auffallend gleich (vgl. 14, 15, 16). Der Leistungsrückgang bei Proteinmangel belief sich auf rund 10% der Milchmenge zu Versuchsbeginn (s. Tab. 4). Die Reaktion der Kuh konnte dabei grundsätzlich in drei Phasen unterteilt werden. Bereits am ersten Mangeltag setzte ein starker Leistungsabfall ein, der etwa bis zum 7.-10. Tag unvermindert anhielt. Zu diesem Zeitpunkt schienen die Kühe dann in der Lage zu sein, in verstärktem Maße Proteinreserven freizusetzen, so daß ein mehrtägiges Leistungs-

plateau auftrat. Die Eiweißvorräte im Körper der Kuh sind jedoch sehr begrenzt (4). Der größte Teil ist zudem nur schwer mobilisierbar, da höchstens 5% des Körperproteins labil sind. Dies war möglicherweise der Grund dafür, daß bereits nach wenigen Tagen wieder ein im Vergleich zum physiologischen Laktationsrückgang überproportionaler Abfall einsetzte, der bis zum Ende der mehrwöchigen Fehlversorgung anhielt. Nach 3wöchigem Proteinmangel hatten die Tiere nur etwa die Hälfte des Nährstoffdefizits durch Reduzierung der Milchleistung ausgeglichen, der Rest wurde durch Mobilisierung von Körperreserven bereitgestellt. Es ist aber anzunehmen, daß sich die Milchleistung auf längere Zeit gesehen an das Ausmaß der Proteinrestriktion anpaßt. Bei einem extremen Mangel bzw. bei langanhaltender Restriktion ist auch eine Gesundheitsbeeinträchtigung zu erwarten (17).

Die Auswirkungen von Proteinmangel auf den Stoffwechsel (s. Tab. 5) bestanden im Rückgang von Verdaulichkeit, N-Ansatz

Tabelle 4: Veränderung der Milchleistung bei Proteinfehlernährung und bei Realimentation, jeweils relativ zur Kontrollgruppe

Art und Ausmaß der Fehlernährung	Leistungsveränderung			Quelle
	bei Fehlernährung in % der Ausgangsleistung kg	bei Realimentation kg		
Proteinmangel				
(23%)	-2,1*	12	+1,3	14
(30%)	-1,8*	9	+1,3	15
(29%)	-1,8*	9	+1,7	16
Proteinüberschuß				
(20%)	-0,5*	2	-0,6	15
(28%)	+0,3	-	-0,2	22
(18%)	-0,3	1	-0,2	22
Proteinüberschuß mit nachfolgendem Proteinmangel				
(20%)	-0,4*	2	-1,8	15

*) statistisch gesicherter Effekt ($p < 0,05$)

Tabelle 5: Verschiebungen im Stoffwechselgeschehen bei Proteinrestriktion (23 bzw. 30%) und bei Realimentation, jeweils relativ zur Kontrollgruppe

	Proteinmangel nach Normversorgung		Proteinmangel nach Proteinüberversorgung	
	Restriktion	Realimentation	Restriktion	Realimentation
Verdaulichkeit				
Rohprotein (%)	-10*	-1	-11*	-1
Rohfaser (%)	-4*	+1	-13*	+1
Energie (%)	-3	-1	-4*	+1
N-Bilanz und N-Verwertung				
Harn-N (g/d)	-44*	-4	-40*	+1
Milch-N ^(a) (g/d)	-13*	-4	-10*	+1
N-Ansatz (d/d)	-3	0	-20*	-6
N-Retention/ N-Aufnahme (%)	+1	0	-3	-1
Energiebilanz und -verwertung				
Wärme (MJ/d)	-3	-3	-7*	-5*
Milchenergie (MJ/d)	-6*	-3	-8*	-3
Energieansatz				
(MJ/d)	0	+3	+3	+10
k ₁ (%)	+1	+4	+3	+5

(a) korrigiert auf gleiche Ausgangsleistung

*) statistisch gesicherter Effekt ($p < 0,05$)

und Wärmebildung, während Energieansatz sowie N- und Energieverwertung nahezu unbeeinflusst blieben (7, 18, 19, 20). Der verminderte N-Ansatz führte bezogen auf die mögliche Milchmenge zwar auch zu einem Energiemangel, da aber die Leistung zurückging, war keine Mobilisierung von Körperenergie erforderlich.

Bei Realimentation erhöhte sich die Milchausscheidung wieder um 1,3–1,7 kg (Tab. 4), womit zwischen 62 und 94% des Leistungseinbruchs kompensiert wurden. Dabei stieg die Milchmenge zunächst mehrere Tage lang an und fiel dann, ohne jedoch das ursprüngliche Niveau erreicht zu haben, parallel zur Leistung der Kontrolltiere ab. In den einzelnen Versuchen konnte dabei noch nach sechs Wochen Normversorgung eine Leistungsminde- rung von 4% des erwarteten Potentials beobachtet werden. Dagegen wurden von den gemessenen Stoffwechselfparametern (s. Tab. 5) nur Wärmebildung und Energieansatz nachhaltig durch Eiweißmangel verändert (18, 20).

Bei einem Ausgleich der Mangelernährung durch entsprechenden Überschuß könnte möglicherweise das ursprüngliche Leistungsniveau wieder erreicht werden, da das genetische Potential ja vorhanden ist. Dem wird in weiteren Versuchen am Institut nachgegangen. Damit könnte erklärt werden, warum in vielen Untersuchungen keine Nachwirkungen von Proteinmangel auf die Leistung gefunden wurden (21).

2.4 Proteinübersorgung

Direkte Effekte und Folgewirkungen von Eiweißüberschuß wurden an insgesamt 68 Tieren untersucht (15, 22). In Tab. 4 sind die dabei festgestellten Leistungsveränderungen angegeben. Im Gegensatz zum Mangel reagierten die Tiere auf Übersorgung nur langsam. Mit zunehmender Dauer der Fehlversorgung vergrößerte sich auch hier der Leistungsunterschied zwischen überfütterten und normgerecht versorgten Tieren (15). Offenbar reagieren laktierende Kühe anfangs nur wenig auf Eiweißbelastung. Wie Tab. 6 zeigt, reagierte der Stoffwechsel auf N-Überschuß mit einem leicht-

Tabelle 6: Verschiebungen im Stoffwechselfgeschehen bei Proteinübersorgung (+20%) und bei Realimentation, jeweils relativ zur Kontrollgruppe

	Protein- überschuß	Realimen- tation
<i>Verdaulichkeit</i>		
Rohprotein (%)	+ 6*)	0
Rohfaser (%)	+ 5*)	+2
Energie (%)	+ 2*)	+1
<i>N-Bilanz und N-Verwertung</i>		
Harn-N (g/d)	+56*)	+6
Milch-N (g/d)	0	-1
N-Ansatz (g/d)	- 2	-1
N-Retention/ N-Aufnahme (%)	- 4*)	-1
<i>Energiebilanz und -verwertung</i>		
Wärme (MJ/d)	+ 3	+3
Milchenergie (MJ/d)	- 2	-3*)
Energieansatz (MJ/d)	+ 3	+5
k ₁ (%)	- 1	0

*) statistisch gesicherter Effekt (p < 0,05)

ten Anstieg von Nährstoffverdaulichkeit, Wärmebildung und Energieansatz sowie deutlich höherer renaler N-Ausscheidung (7, 20, 23). Auch Proteinüberschuß induziert einen sekundären Energiemangel, da für die Beseitigung des nichtverwertbaren N-Überschusses zusätzlich Energie im Stoffwechsel benötigt wird. Da der N-Ansatz durch Proteinüberschuß auf Dauer nicht zu erhöhen war (23), kann davon ausgegangen werden, daß bereits bei bedarfsgerechter Proteinzufuhr der Großteil der körpereigenen Proteinreserven aufgefüllt ist.

Wurden die mit Protein übersorgten Tiere realimentiert, verstärkte sich ein bereits aufgetretener Leistungsabfall (Tab. 4). Besonders stark ging die Leistung dann zurück, wenn im Anschluß an Proteinüberschuß eine -unterversorgung vorlag (Tab. 4). Selbst nach sechs Wochen bedarfsgerechter N-Zufuhr hatten die Tiere ihr genetisch vorgegebenes Leistungspotential noch nicht wieder erreicht. Der dadurch auftretende Energieüberschuß wurde als Körperfett angesetzt (20). Gleichzeitig war noch einige Wochen lang eine ursprünglich durch N-Überschuß ausgelöste, erhöhte Wärmebildung zu finden (Tab. 6).

3 Diagnose von Energie- und Proteinfehlernährung

Die Milchkuh ist also nur in gewissem Rahmen fähig, mit Hilfe von homöorhetischen Regulationsmechanismen bedarfsabweichende Energie- oder Proteinzufuhr auszugleichen, wenn diese nicht extrem stark und von begrenzter Dauer ist. Gerade beim laktierenden Rind sollten daher auch geringfügige Bedarfsabweichungen vermieden werden. Eine Überprüfung der Versorgungslage ist jedoch schwierig, da bisher keine brauchbaren Meßgrößen bekannt waren. Sichtbare Auswirkungen, wie etwa Fruchtbarkeitsstörungen, treten mit zu großer zeitlicher Verzögerung auf (24), Leistungseinbußen spiegeln nicht die tatsächliche Fehlversorgung wider und können auch von Folgeeffekten herrühren (14, 15).

In den letzten Jahren wurde aber zunehmend auf einen Zusammenhang zwischen der Nährstoffversorgung von Kühen und der Harnstoffkonzentration in Blutserum oder Milch hingewiesen (24, 25, 26), der auf der Rolle des Harnstoffs als Stoffwechselprodukt aus dem Proteinabbau im Pansen und der dementsprechenden Veränderung seiner Konzentration in Serum bzw. Milch beruht. Die Beziehung zwischen Proteinversorgung und Harnstoffkonzentration in Serum und Milch wird in der Literatur grundsätzlich als positiv und meist als linear beschrieben (25). Dennoch zeigen einige Versuchsergebnisse, daß außer der Proteinzufuhr auch noch andere Fütterungsfaktoren den Harnstoffgehalt beeinflussen. Vor allem die Versorgung der Kuh mit Energie dürfte entscheidende Bedeutung für eine Reaktion der Harnstoffkonzentration haben (26), da sie sehr eng mit der Freisetzung von Ammoniak im Pansen gekoppelt ist.

Im Rahmen der beschriebenen Versuchsreihe zur Reaktion der laktierenden Milchkuh auf Energie- und Proteinfehlversorgung wurden deshalb auch die Harnstoffgehalte der Milch bei unterschiedlicher Fütterung gemessen (27, 28, 29, 30). Die Ergebnisse sind zusammen mit den entsprechenden Milcheiweißgehalten in Tab.

7 aufgeführt. Ausgehend von Konzentrationen zwischen 18 und 23 mg Harnstoff in 100 ml Milch, die auch in der Literatur (26, 31) als Normalwerte für Kühe mit 20–25 kg Tagesgemelk angesehen werden, stieg der Harnstoffgehalt der Milch bei energetischer Unterversorgung (33% unter Leistungsbedarf) signifikant um rund 40% an, fiel aber bei etwa 15% Energieüberschuß auf 65% des Ausgangswertes ab. Eine Fehlernährung mit Protein führte zu umgekehrten Reaktionen. Ein rund 25%iger Eiweißmangel, bezogen auf den Leistungsbedarf, senkte nämlich die Milchharnstoffgehalte auf fast die Hälfte, eine um 20–40% überhöhte Proteinzufuhr verursachte einen deutlichen Anstieg um 30–60%, bezogen auf die Normalwerte.

Mit Hilfe des Harnstoffgehalts der Milch können somit nur Verschiebungen im Eiweiß-Energie-Verhältnis des Futters abgelesen werden. Eindeutige Aussagen darüber, ob ein beobachteter Anstieg auf Proteinüberschuß oder Energiemangel, eine verringerte Konzentration auf Proteinmangel oder Energieüberschuß zurückzuführen ist, sind jedoch erst durch eine Differentialdiagnose möglich. Dafür scheint als zweiter Parameter der Eiweißgehalt der Milch geeignet zu sein (vgl. Tab. 7). Die Konzentration an Reineiweiß in der

Tabelle 7: Harnstoff- und Eiweißgehalte der Kuhmilch bei Energie- oder Proteinfehlernährung

Art und Ausmaß der Fehlernährung	Harnstoffgehalt (mg/100 ml)		Eiweißgehalt (%)		Quelle
	Normversorgung	Fehlversorgung	Normversorgung	Fehlversorgung	
Energiemangel (33%)	21,3*	28,9	3,18*	3,07	27
Energieüberschuß (13%)	19,6*	13,3	3,36	3,31	6,30
(16%)	18,7*	12,0	3,50	3,60	6,30
Proteinmangel (23%)	18,2*	9,0	3,24	3,21	27
(30%)	18,0*	8,7	3,22	3,34	15,28
Proteinüberschuß (18%)	23,1*	29,4	3,17	3,15	22,29
(20%)	18,0*	29,4	3,16	3,20	15,28
(38%)	21,5*	34,0	3,47	3,44	22,29

*) statistisch gesicherter Unterschied zwischen Kontroll- und Fehlversorgung ($p < 0,05$)

Milch reagiert nämlich vor allem auf mangelnde Energieversorgung, bleibt von der Proteinzufuhr jedoch unbeeinflusst (5, 14, 21, 32, 33). Ein steigender Harnstoffgehalt bei unverändertem Milcheiweiß läßt daher auf Proteinüberschuß schließen, während erhöhte Harnstoffwerte bei vermindertem Eiweißgehalt eher einen Energiemangel andeuten. Für sinkende Harnstoffwerte sind analoge Schlüsse zu ziehen.

Mit Hilfe von Harnstoff- und Eiweißgehalt der Milch ist aber auch die Diagnose einer kombinierten Fehlversorgung mit Eiweiß und Energie möglich. Zwar können sich entgegengesetzte Wirkungen auf den Milchharnstoffgehalt, etwa bei gleichzeitigem Protein- und Energiemangel, gegenseitig abschwächen, dann deuten aber die durch energetische Unterversorgung verminderten Milcheiweißwerte auf die Art der Fehlversorgung hin. Dies gilt erst recht für Fütterungsfehler, bei denen sich die Reaktionen im Harnstoffgehalt verstärken, also für Proteinmangel bei Energieüberschuß oder für überhöhte Eiweißfütterung ohne entsprechenden Energieausgleich (34). Voraussetzung für eine effiziente Anwendung dieser Diagnosemethode zur Bestimmung von Imbalancen in der Protein- und Energieversorgung laktierender Kühe ist allerdings eine regelmäßige Untersuchung der Milch auf die genannten Parameter, um bei Abweichungen Fehlversorgung auch frühzeitig erkennen zu können.

Literaturangaben

1. D. E. Bauman: Regulation of nutrient partitioning, in F. M. C. Gilchrist, R. I. Mackie: Herbivore nutrition in the subtropics and tropics, The Science Press (PTY) Ltd., Craig-hill, Südafrika 1984, S. 505–524.
2. —, J. M. Elliot: Control of nutrient partitioning in lactating ruminants, in T. B. Mepham: Biochemistry of lactation, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, Niederlande 1983, S. 437–468.
3. W. J. Miller: Dairy cattle feeding and nutrition, Academic Press, N.Y. 1979.
4. J. B. Allison: 12. The nutritive value of dietary proteins, in H. N. Munro, J. B. Allison: Mammalian protein metabolism, Vol. II, Academic Press, New York–London 1964, 41–86.
5. G. Röhrmoser, M. Kirchgeßner: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe von Kühen bei energetischer Unterversorgung und anschließender Realimentation. Züchtungskunde 54 (1982) 276–287.
6. T. E. G. Kaufmann, M. Kirchgeßner: J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. (1987), im Druck.
7. M. Kreuzer, M. Kirchgeßner: Nährstoffaufnahme und -verdaulichkeit bei der Milchkuh während und nach überhöhter Eiweißzufuhr. 1. Mitteilung: Zum Einfluß von Proteinfehlernahrung bei laktierenden Kühen und daraus entstehenden Nachwirkungen, Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. 53 (1985) 170–185.
8. W. P. Flatt, L. A. Moore, N. W. Hooven, R. D. Plowman: Energy metabolism studies with a high producing lactating dairy cow, J. Dairy Sci. 48 (1965) 797 A.
9. R. Schiemann, G. Henseler, W. Jentsch, Hildegard Wittenburg: Die Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion. 8. Mitteilung: Energieumsatzmessungen an Hochleistungskühen im Frühstadium der Laktation, Arch. Tierernährung 24 (1974) 105–137.
10. G. Röhrmoser, M. Kirchgeßner: Nährstoffverdaulichkeit und Stickstoffverwertung laktierender Kühe bei energetischer Restriktion und anschließender Realimentation, Das wirtschaftseigene Futter 28 (1982) 133–146.
11. M. Kirchgeßner, G. Röhrmoser, H. L. Müller: Energiebilanz und Energieverwertung laktierender Kühe bei energetischer Unterversorgung und anschließender Realimentation, Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. 49 (1983) 228–238.
12. T. E. G. Kaufmann, M. Kirchgeßner, H. L. Müller: J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. (1987), im Druck.
13. P. W. Moe, H. F. Tyrrell, W. P. Flatt: Energetics of body tissue mobilization, J. Dairy Sci. 54 (1971) 548–553.
14. M. Kirchgeßner, G. Röhrmoser, H. L. Müller: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe von Kühen bei Unterversorgung und Realimentation an Protein, Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. 50 (1983) 69–79.
15. —, M. Kreuzer: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe bei Kühen während und nach Fütterung überhöhter Eiweißmengen. 4. Mitteilung: Zum Einfluß von Proteinfehlernahrung bei laktierenden Kühen und daraus entstehenden Nachwirkungen, Z. Tierphy-

- siol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 54 (1985) 99–111.
16. *Brigitte R. Paulicks, M. Kirchgeßner, F. J. Schwarz*: Veränderungen von Milchmenge und Milchinhaltsstoffen laktierender Kühe bei Proteinmangel und nachfolgender Realimentation, Züchtungskde. 59 (1987) 31–41.
 17. NRC: Nutrient requirement of dairy cattle. 5th ed., Printing and publishing office, Washington, D. C. 1978.
 18. *G. Röhrmoser, H. L. Müller, M. Kirchgeßner*: Energiebilanz und Energieverwertung laktierender Kühe bei Unterversorgung an Protein und anschließender Realimentation, Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 50 (1983) 216–224.
 19. –, *M. Kirchgeßner, H. L. Müller*: Nährstoffverdaulichkeit und Stickstoffverwertung laktierender Kühe bei Unterversorgung an Protein und anschließender Realimentation, Arch. Tierernährg. 34 (1984) 519–530.
 20. *M. Kreuzer, H. L. Müller, M. Kirchgeßner*: Energiebilanz und Energieverwertung bei Kühen während und nach erhöhter Proteinzufuhr. 3. Mitteilung: Zum Einfluß von Proteinfehlernahrung bei laktierenden Kühen und daraus entstehenden Nachwirkungen, Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 54 (1985) 41–54.
 21. –, *M. Kirchgeßner*: Proteinfehlernahrung und ihre Nachwirkungen auf die Leistung von Milchkühen, Übers. Tierernährg. 13 (1985) 39–64.
 22. *Brigitte R. Paulicks, M. Kirchgeßner, F. J. Schwarz*: Milchmenge und Milchinhaltsstoffe laktierender Kühe bei Proteinübersorgung unter besonderer Berücksichtigung der Weide, Das wirtschaftseigene Futter (1987), im Druck.
 23. *M. Kreuzer, M. Kirchgeßner*: N-Ansatz und N-Verwertung bei Kühen während und nach überhöhter Proteinversorgung. 2. Mitteilung: Zum Einfluß von Proteinfehlernahrung bei laktierenden Kühen und daraus entstehenden Nachwirkungen, Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 53 (1985) 270–279.
 24. *B. Piatkowski, J. Voigt, H. Girschewski*: Einfluß des Rohproteinniveaus auf die Fruchtbarkeit und den Harnstoffgehalt in Körperflüssigkeiten bei Hochleistungskühen, Arch. Tierernährg. 31 (1981) 497–504.
 25. *R. Oltner, H. Wiktorsson*: Urea concentration in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows, Livestock Prod. Sci. 10 (1983) 457–467.
 26. *W. Kaufmann, K.-H. Lotthammer, W. Lüppling*: Zum Einfluß eines verminderten Rohproteingehaltes der Ration (über die Verwendung von geschütztem Protein) auf Milchleistung und einige Blutparameter als Kennzeichen der Leberbelastung, Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 47 (1982) 85–101.
 27. *M. Kirchgeßner, Dora A. Roth-Maier, G. Röhrmoser*: Harnstoffgehalte in Milch von Kühen mit Energie- bzw. Proteinmangel und anschließender Realimentation, Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 53 (1985) 264–270.
 28. –, *M. Kreuzer*: Harnstoff und Allantoin in der Milch von Kühen während und nach Verfütterung zu hoher und zu niedriger Proteinmengen. 5. Mitteilung: Zum Einfluß von Proteinfehlernahrung bei laktierenden Kühen und daraus entstehenden Nachwirkungen, Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 54 (1985) 141–151.
 29. –, *Brigitte R. Paulicks, F. J. Schwarz*: Veränderungen im Harnstoffgehalt der Kuhmilch bei unzureichender und überhöhter Proteinversorgung, J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. (1987), im Druck.
 30. –, *T. E. G. Kaufmann*: J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. (1987), im Druck.
 31. *H. F. Erbersdobler, H. Zucker*: Harnstoffgehalt der Milch – ein Indikator der Proteinversorgung von Milchkühen, Kraftfutter 63 (1980) 10–12.
 32. *Brigitte R. Paulicks, M. Kirchgeßner*: Zum Einfluß von Proteinmangel auf Milchmenge und Milchinhaltsstoffe bei unterschiedlichen Produktionsfaktoren, Züchtungskde. 58 (1986) 196–211.
 33. –, –: Zum Einfluß von Proteinübersorgung auf Milchmenge und Milchinhaltsstoffe bei unterschiedlichen Produktionsfaktoren, Das wirtschaftseigene Futter 32 (1986) 113–130.
 34. *M. Kirchgeßner, M. Kreuzer, Dora A. Roth-Maier*: Milk urea and protein content to diagnose energy and protein malnutrition of dairy cows, Arch. Anim. Nutr. 36 (1986) 192–197.

