

WERNER JENTSCH¹, MICHAEL DERNO¹ und OTTFRIED WEIHER²

Wärmeabgabe der Milchkühe in Abhängigkeit von der Leistung – eine Studie

Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Hans Joachim Schwark zum 75. Geburtstag gewidmet

Summary

Title of the paper: Heat production of dairy cows in dependence on milk yield – a study

On base of the recommendations of energy requirement of cows the heat production was calculated of cows with 4000-12000 kg EKM (energy corrected milk = 4% milk fat) annual milk yield. Under the conditions of energy requirement related feed energy supply and thermoneutrality the heat production increased by 40% within the mentioned range of milk yield. The results are a theoretical basis for measures in keeping animals and the construction of stables.

Key Words: cow, milk yield, heat production, animal keeping

Zusammenfassung

Auf der Basis der Energiebedarfsnormen für Kühe wurde die Wärmeproduktion von Kühen bei Jahresleistungen von 4.000 bis 12.000 kg EKM (Energiekorrigierte Milch entspricht 4% Milchfett) berechnet. Unter den Bedingungen bedarfsgerechter Futterenergieversorgung und der Thermoneutralität erhöht sich die Wärmeproduktion im genannten Leistungsbereich um 40%. Die Ergebnisse sind eine theoretische Basis für Maßnahmen, die bei der Haltung von Kühen und der Konstruktion von Ställen zu beachten sind.

Schlüsselwörter: Rind, Milchleistung, Wärmeproduktion, Tierhaltung

Einleitung

Alle Lebensprozesse sind mit der Erzeugung thermischer Energie und der notwendigen Abgabe dieser Energie an die unmittelbare Umgebung verbunden. Dieser Wärmeübergang erfolgt durch direkte Thermik an der Körperoberfläche in Form von Wärmeleitung, von Konvektion im tiernahen Raum, von Strahlung, Verdunstung und Ausscheidung (Exkrememente und Milch). Bei höheren Temperaturen spielt insbesondere die Wärmeregulation über die Atemluft (Verdunstung) eine herausragende Rolle, weil bei einem Anstieg der Außentemperatur über den thermoneutralen Bereich (+5 ... +15 °C) die atmungsfrequenzabhängige Verdunstungswärme zum entscheidenden Wärmeregulator wird. Ausdruck dafür ist, dass der Tränkwasserverbrauch bei hoher Umgebungstemperatur erheblich ansteigt.

War die Stallluftherwärmung durch die physiologischen Prozesse bei mittleren Milchleistungen ein willkommener Begleiteffekt, weil hierdurch in Stallsystemen herkömmlicher Bauart auch bei niedrigen Wintertemperaturen die Funktionsfähigkeit der Bewirtschaftungssysteme (Wasserversorgung, Melktechnik, Entmistungstechnik) gesi-

chert war, so wird bei steigender Milchleistung auf 8000 kg und höher sowie wachsender Herdengröße die Einhaltung des optimalen Temperaturbereiches zunehmend problematischer. Hinzu kommt, dass bei einer Durchschnittsleistung von ca. 26 kg ... 30 kg Tagesgemelk viele Kühe Einzelleistungen über 40 kg je Tag erbringen, wobei die kritische Temperatur solcher Hochleistungskühe aufgrund des hohen Stoffumsatzes gegenüber dem Herdendurchschnitt deutlich absinkt.

Diese aufgezeigten Entwicklungen müssen deshalb letztendlich durch notwendige Stallbau- und Ausrüstungskonzepte flankiert werden, um genetisches Leistungsvermögen, tiergerechte Haltung, Fütterung und Wohlbefinden in Übereinstimmung zu bringen. Aus bautechnischer Sicht muss es um solche Eckpunkte gehen, wie

- Größe des tierzahlabhängigen umbauten Raumes
- notwendige First- und Traufhöhen
- Luftumschlag je Zeiteinheit innerhalb der Bauhülle
- lüftungsbezogene Bauausführung
- leistungsorientierte Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen

Für Baukonstruktion und tiergerechte Haltungsverfahren bilden somit Kalkulationen der leistungsabhängigen Wärmeproduktion von Milchkühen, wie sie im folgenden dargelegt werden, eine wesentliche Grundlage.

Die vorliegende Ausarbeitung basiert auf umfangreichen Untersuchungen der Arbeitskreise in Wageningen (Niederlande) (ES, VAN und NIJKAMP, 1969; ES, VAN u.a., 1970), Beltsville (USA) (FLATT, 1966; FLATT u.a., 1969; MOE u.a., 1971, 1972; MOE, 1981), Dubrovici (Rußland) (DENISOV, 1970) und Rostock zur Problematik der Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion. Die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen zu den bearbeiteten Teilproblemen der genannten Arbeitskreise ist insgesamt gesehen als gut einzuschätzen. Wegen der Verfügbarkeit der Originaldaten wird aber vorwiegend auf Arbeiten im Oskar-Kellner-Institut in Rostock zurückgegriffen.

Einflussfaktoren auf die Wärmeproduktion

Bei der Bearbeitung der Problematik sind einerseits Faktoren zu berücksichtigen bzw. zu nutzen, die den Stoffwechsel, die Milchleistung und damit die Wärmeproduktion der Kühe beeinflussen. Andererseits ist zu beachten, dass die Höhe der Milchleistung auf die Futteraufnahme und den Stoffwechsel wirkt.

Folgende Faktoren werden ins Kalkül gezogen und stichpunktartig erläutert:

- Milchleistung und Futteraufnahme
- Lebendmasse und Futteraufnahme
- Einfluss der Futteraufnahme auf Verdaulichkeit und Umsetzbarkeit der Energie
- Leistungsveranlagung und Erhaltungsbedarf
- Milchleistung bzw. Laktationsstadium und Energieverwertung
- Beziehung zwischen Einnahme an umsetzbarer Energie und Milchennergie
- Nährstoffabhängigkeit der Verwertung der umsetzbaren Energie für die Milchbildung
- Laktationsverlauf

Milchleistung und Futteraufnahme

Aus den Rostocker Gesamtstoffwechselversuchen mit Milchkühen wurde folgende Beziehung zwischen Futteraufnahme und Milchleistung in energiekorrigierter Milch (EKM) abgeleitet (HOFFMANN u.a., 1972) (1 kg EKM hat einen Energiegehalt von 3.140 kJ bzw. einen Fettgehalt von 4%):

$$(1) \text{ TS-Aufnahme (g)} = 288 \cdot \text{kg EKM} + 8.074$$

Diese Beziehung wurde bei semi-ad-libitum Fütterung und unter den Bedingungen der Belastung im Respiationsversuch erhalten. Auf der Basis von Fütterungsversuchen und bei ad libitum-Fütterung ergab sich eine Beziehung zwischen Milchleistung und Futteraufnahme nach Gleichung (2) (HOFFMANN u.a., 1972):

$$(2) \text{ TS-Aufnahme (g)} = 292 \cdot \text{kg EKM} + 8.937$$

Eine Gegenüberstellung der nach Gleichung (1) und (2) berechneten Futteraufnahme zeigt durchgehend etwa 1 kg Mehraufnahme nach Gleichung (2) (Tab. 1). Die Gegenüberstellung erfolgte deshalb, um die Entscheidung für die Futteraufnahme unter Produktionsbedingungen für spätere Berechnungen mit 1 kg höheren Werten gegenüber den in Tabelle 1 dargestellten Werten zu veranschaulichen. Dabei werden optimale Umgebungstemperaturen angenommen, die eine ungehinderte Wärmeabgabe der Tiere gewährleisten.

Tabelle 1

Futteraufnahme in Abhängigkeit von der Milchleistung, berechnet nach Gleichung (1) und (2) (Feed intake in dependence on milk yield, calculated according to equations (1) and (2))

EKM kg/Tag	Futteraufnahme, kg TS/Tag		
	Gleichung (1)	Gleichung (2)	geschätzt für Produktionsbedingungen
10	11	12	13
20	14	15	16
30	17	17,5	19
40	19,5	20,5	22
50	22,5	23,5	25

Lebendmasse und Futteraufnahme

Wird die Lebendmasse der Tiere neben der Milchproduktion bei der Futteraufnahme berücksichtigt, zeigt sich ein relativ geringer Einfluss der Lebendmasse der Tiere auf die Futteraufnahme (Gleichung (3), Tab. 2).

$$(3) \text{ TS-Aufnahme (g)} = 298 \cdot \text{kg EKM} + 11 \cdot \text{kg LM} + 2.053$$

Tabelle 2

Lebendmasse der Tiere und Futteraufnahme (Animals live weight and feed intake)

Lebendmasse kg	Futteraufnahme, kg TS/Tag	
	30 kg EKM	50 kg EKM
500	16,5	22,5
600	17,6	23,6
700	18,7	24,7

Einfluss der Höhe der Futteraufnahme auf Verdaulichkeit und Umsetzbarkeit der Energie

Mit steigender Milchleistung erhöht sich die Futteraufnahme. Die Erhöhung der Futteraufnahme hat jedoch einen negativen Einfluss auf die Verdaulichkeit der Energie

des Futters. Eine zusammenfassende Literaturlauswertung zu dieser Problematik liegt beispielsweise von AERTS u.a. (1986) vor. Bei Verdopplung des Ernährungsniveaus gegenüber dem Erhaltungsbedarf geht die Verdaulichkeit um 3 Verdaulichkeitseinheiten zurück (SCHIEMANN u.a., 1971). Bei einer Milchleistung von 20 kg EKM sind das etwa 5-6 bei 30 kg EKM etwa 7-8 Verdaulichkeitseinheiten. Auf der Stufe der umsetzbaren Energie sind die Auswirkungen wegen reduzierter Energieabgabe über Methan und Harn geringer. Bei Verdopplung des Ernährungsniveaus gegenüber dem Erhaltungsbedarf geht die Umsetzbarkeit der Energie nur um 1%-Einheit zurück. Bei der Berechnung der Wärmeproduktion bleibt dieser Faktor als nicht bedeutend unberücksichtigt.

Leistungsveranlagung und Erhaltungsbedarf

An einem Restbestand von acht Kühen einer Herde, die in einem exakten Fütterungsversuch gestanden haben, wurden Respirationsversuche zum Erhaltungsbedarf und zur Verwertung der Futterenergie für die Milchbildung durchgeführt (SCHIEMANN u.a., 1970). Die Tiere hatten, bei einer der Leistung angepassten Fütterung unterschiedliche Leistungen im Mittel der 3.-5. Laktation zwischen 3.600 und 6.650 kg Milch (Tab. 3).

Tabelle 3

Milchleistung, Energieerhaltungsbedarf und Verwertung der umsetzbaren Energie (uE) für die Milchproduktion (Milk yield, maintenance energy requirement and utilization efficiency of metabolizable energy (ME) for milk production)

Tier-Nr.	Milchleistung 3.-5. Laktation kg EKM/(Tier•Jahr)	Erhaltungsbedarf kJ uE/(kg LM ^{0,75} •d)	Partielle Verwertung der uE für die Milchproduktion, %
1	6.650	475±32	60,9±1,5
2	5.330	408±35	63,2±1,0
3	5.250	466±7	59,7±1,6
4	4.380	492±33	60,8±3,1
5	4.140	469±3	60,5±7,8
6	4.000	445±20	58,0±0,7
7	3.970	535±2	65,8±0,5
8	3.600	515±20	59,8±1,5
Mittel		476±40	61,1±2,5

Aus den Versuchsergebnissen (Tab. 3) wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass keine Abhängigkeit des Energieerhaltungsbedarfs und der Energieverwertung für die Milchproduktion von der Leistungsveranlagung besteht.

In den Versuchen mit Milchkühen wurde zwischen Leistungsveranlagung und Höhe der Milchleistung bzw. Laktationsstadium unterschieden. Die Berechtigung bei den acht Kühen von Leistungsveranlagung zu sprechen, wurde von der leistungsbezogenen Fütterung über mehrere Laktationen abgeleitet. In dieser Zeit bestand für jede Kuh die Möglichkeit von der Fütterung her gesehen, mit gleicher Leistung wie die erste Kuh zu reagieren, wenn die Veranlagung dazu da wäre. Leistungshöhe muss nicht Veranlagung sein, sondern kann fütterungsbedingt und vor allem dem Laktationsverlauf entsprechend sein.

Milchleistung bzw. Laktationsstadium und Energieverwertung

Tabelle 4 ist zu entnehmen, dass der Energieerhaltungsbedarf und die partielle Verwertung der umsetzbaren Energie für die Milchsynthese von der täglichen Milchleistung und/oder vom Laktationsstadium unabhängig sind (HOFFMANN u.a., 1974).

Tabelle 4

Energieerhaltungsbedarf und partielle Verwertung der umsetzbaren Energie (uE) für die Milchsynthese in Abhängigkeit von Milchleistung bzw. Laktationsstadium (Maintenance energy requirement and partial utilization of metabolizable energy (ME) for synthesis of milk in dependence on milk yield as well as stage of lactation)

Milchleistung		Erhaltungsbedarf		Verwertung		Laktationsstadium	Verwertung		
kg EKM/Tag	n	kJ uE/(kg LM ^{0,75} ·d)	±SD	%	±SD		n	%	±SD
trockenstehend, nicht tragend	16	476	40	-					
<15	39	473	62	63,2	6,9	früh	109	64,0	4,8
15-20	61	455	58	64,3	5,1	mittel	73	65,0	5,9
20-25	26	449	96	65,0	5,9				
25-30	36	428	75	65,5	4,1	gesamt	182	64,4	5,3
>30	20	455	53	63,7	2,4				
gesamt	198	454		64,4					

Beziehung zwischen Einnahme an umsetzbarer Energie und Milchennergie

Nachdem der Erhaltungsbedarf an umsetzbarer Energie von der Einnahme abgezogen wurde, ergab sich zwischen der restlichen umsetzbaren Energie und der Milchennergie eine lineare Beziehung (SCHIEMANN u.a., 1970). Die Ergebnisse von FLATT u.a. (1969) und VAN ES und NIJKAMP (1969) zu dieser Frage wurden damit bestätigt.

Nährstoffabhängigkeit der Verwertung der umsetzbaren Energie für die Milchbildung

Für die Untersuchungen zur Verwertung der umsetzbaren Energie für die Milchbildung wurden Rationen mit hoher Variation in der Nährstoffzusammensetzung verwendet (Tab. 5).

Tabelle 5

Energie- und Nährstoffgehalt der Rationen (Contents of energy and nutrients of the rations)

	Mittelwert	Variationsbreite
Brennwert, kJ/g	18,8	18,5-27,0
Rohprotein, %	17,1	11,5-27,1
Rohfett, %	2,9	1,0-12,7
Rohfaser, %	18,9	14,5-28,0
N-freie Extraktstoffe, %	55,8	44,3-64,4

Die Milchleistung in den Versuchen betrug im Mittel 17,6 kg EKM mit einer Variationsbreite von 8,9 bis 27,9 kg EKM (HOFFMANN u.a., 1972). Die Verwertung der umsetzbaren Energie für die Milchbildung war für die einzelnen Nährstoffe verschieden (Tab. 6).

Tabelle 6

Verwertung der umsetzbaren Energie der Nährstoffe für die Milchproduktion (Utilization of metabolizable energy of nutrients for milk production)

Nährstoff	Verwertung, %
Verdauliches Rohprotein	51
Verdauliches Rohfett	72
Verdauliche Rohfaser	56
Verdauliche N-freie Nährstoffe	66

Gegenüber einer mittleren Verwertung von etwa 65 % wurde die umsetzbare Energie einer Ration mit 25 % der TS Sojabohnen und 6,5 % Rohfett nur zu 62,5 % für die Milchproduktion verwertet (SCHIEMANN u.a., 1972). Die Tendenz der niedrigeren Verwertung bei höherem Fettgehalt der Rationen setzte sich fort, wenn der Fettgehalt

durch Rapsöl in der Ration auf 11 % erhöht wurde (JENTSCH u.a., 1972). Eine Erhöhung der Energiekonzentration durch Auffettung der Ration für Kühe mit hohen Leistungen bringt keine positiven Effekte. Besonders zu Beginn der Laktation, wenn die Futteraufnahme nicht der Milchleistung entspricht und der Körperenergieabbau zu negativen Energiebilanzen führt, wurde durch Auffettung versucht, die Energieeinnahme zu erhöhen. Die Reaktion der Tiere - Reduzierung der Futteraufnahme und eine niedrigere Energieverwertung - brachte auch bei höherer Energiekonzentration der Ration keine Erhöhung der Energieeinnahme.

Verwertung der Körperenergie für die Milchbildung

Im frühen Stadium der Laktation wird bei hohen Leistungen der Energiebedarf nicht über die Futterenergie gedeckt. In dieser Periode wird Körperenergie für die Milchbildung abgebaut. Aus 26 Einzelmessungen ergab sich eine Verwertung der Körperenergie für die Milchbildung von $80,8 \pm 19,7$ % (SCHIEMANN u.a., 1974). Das Ergebnis deckt sich mit dem von MOE u.a. (1971). Der erfolgte Körperenergieabbau muss in den späteren Laktationsstadien wieder ausgeglichen werden. Dies führt insgesamt gesehen zu einer Verschlechterung der Verwertung der Futterenergie (Tab. 7).

Tabelle 7

Vergleich der Verwertung der Futterenergie für die Milchbildung direkt oder über Körperenergie (Comparison of feed energy utilization for milk production from feed energy directly or over body energy)

Stoffwechselweg	Verwertung in %
Körperenergie für Milchsynthese	81 %
Umsetzbare Futterenergie für Milchsynthese	62 %
Umsetzbare Futterenergie für Fettsynthese	55 %
Futterenergie über Körper(fett)energie für Milchsynthese	45 %

Tabelle 8

Laktationsabschnitte bei verschiedenen Jahresmilchleistungen (Lactation periods at different annual milk yields)

Ab- schnitt	Milchleistung in kg EKM/Jahr									
	4.000		6.000		8.000		10.000		12.000	
	Tage	kg EKM/ Tag	Tage	kg EKM/ Tag	Tage	kg EKM/ Tag	Tage	kg EKM/ Tag	Tage	kg EKM/ Tag
1	14 (1-14)	16,0	14 (1-14)	22,3	14 (1-14)	25,4	14 (1-14)	28,5	14 (1-14)	30
2	7 (15-21)	20,1	14 (15-28)	27,5	14 (15-28)	33,4	14 (15-28)	38,0	14 (15-28)	40
3	28 (22-49)	20,4	35 (25-63)	28,3	49 (29-77)	35,9	56 (29-84)	40,5	56 (29-84)	50
4	70 (50-119)	17,2	70 (64-133)	24,1	70 (78-147)	30,4	70 (85-154)	36,0	70 (85-154)	43
5	77 (120-196)	13,2	77 (134-210)	18,9	77 (148-224)	24,6	77 (155-231)	30,0	77 (155-231)	38
6	84 (197-280)	8,8	70 (211-280)	13,7	56 (225-280)	19,1	49 (232-280)	24,0	49 (232-280)	30
7	28 (281-308)	3,8	28 (281-308)	7,6	28 (281-308)	11,9	28 (281-308)	18,0	28 (281-308)	25

Laktationsverlauf

Für Jahresleistungen von 4.000, 6.000 und 8.000 kg EKM wurde auf den Laktationsverlauf zurückgegriffen, wie er den Normativen des Rostocker Futterbewertungssys-

tems zugrunde liegt (AUTORENKOLLEKTIV, 1989). Für 10.000 und 12.000 kg EKM wurde der Verlauf dem der anderen etwa angepasst (Tab. 8).

Material und Methoden

Für eine Darstellung der Beziehung zwischen der Milchleistung der Kühe und der Höhe der Wärmeproduktion können zwei Wege eingeschlagen werden:

1. Es werden die Messergebnisse zur Wärmeproduktion bei unterschiedlicher Milchproduktion verwendet und daraus Ableitungen zur Verallgemeinerung getroffen.
2. Es werden die verallgemeinerten Ableitungen zum Energiebedarf der Milchkühe zu Grunde gelegt und in Modellrechnungen die Wärmeproduktionswerte in Abhängigkeit von der Milchproduktion unter Berücksichtigung der partiellen Verwertungsgrößen geschätzt.

Im weiteren werden Daten über den 2. Weg berechnet, da hier schon auf verallgemeinerte Werte Bezug genommen werden kann.

Die oben kurz dargestellten Versuchsergebnisse zur Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion bildeten die Basis für die Energienormen für Milchkühe (HOFFMANN u.a., 1974) im Rostocker Futterbewertungssystem (AUTORENKOLLEKTIV, 1989).

Die Vorgehensweise, von den partiellen Energienormen auszugehen, wird an zwei Beispielen erläutert.

Beispiel 1: Tägliche Wärmeproduktion von adulten Rindern bei Erhaltungsfütterung

600 kg LM entspricht einem Energieerhaltungsbedarf pro Tag von 3,2 kE_{Fr} = 33,6 MJ NE_{Fr}

(E_{Fr} = Energetische Futtereinheit Rind aus dem Rostocker Futterbewertungssystem, 1 E_{Fr} = 10,5 kJ NE_{Fr})

Aus 33,6 MJ NE_{Fr} ergeben sich bei einer Verwertung der umsetzbaren Energie (uE) von 55% = 61,1 MJ uE, die auf Energieerhaltungsniveau der Wärmeproduktion entsprechen.

Beispiel 2: Wärmeproduktion bei Milchbildung

1 kg EKM, Energiebedarf 285 E_{Fr} = 3 MJ NE_{Fr}

bei einer Verwertung der uE für

Milchproduktion von 62 % ergeben sich

= 4,84 MJ umsetzbare Energie

Differenz = 1,84 MJ Wärmeproduktion je kg EKM (oder $4,84 \times 0,38 = 1,84$ MJ)

Bei der Schätzung der Wärmeproduktion wird von der Wärmebildung bei Erhaltung, bei Milchproduktion und bei Trächtigkeit ausgegangen. Die Wärmeproduktion wird für Tagesleistungen zwischen 5 und 50 kg EKM aufgeführt, damit nach dem „Baukastenprinzip“ die Wärmeproduktion für verschiedene Jahresleistungen nach den Laktationsverläufen (Tab. 8) berechnet werden kann. Unberücksichtigt bleibt die reduzierte Wärmebildung, die sich bei hohen Leistungen aus der hohen Verwertung der Körperenergie für die Milchleistung im frühen Laktationsstadium ergibt.

Für das Grobfutter wurden mittlere Qualitäten zugrunde gelegt. Ändert sich die Grobfutterqualität muss im allgemeinen mit den Veränderungen des Konzentratanteils aus-

geglichen werden, so dass hierdurch eine ausgleichende Wirkung auf die Wärmeproduktion entsteht, und die Grobfutterqualität auf die Wärmeproduktion vermindert zur Auswirkung kommt. Wird bei niedrigerer Energiekonzentration des Futters eine ausgleichende, höhere Futteraufnahme unterstellt, die besonders bei niedrigen Leistungen wirksam werden kann, würde die Wärmeproduktion um bis zu 10 % höher liegen und der in den Tabellen 10-13 ausgewiesenen Differenzierung entgegenwirken.

Ergebnisse

Wärmeproduktion bei differenzierten physiologischen Bedingungen

Nach Beispiel 1 wurde die Wärmeproduktion bei Erhaltungsfütterung berechnet (Tab. 9).

Tabelle 9

Tägliche Wärmeproduktion von adulten Rindern mit verschiedenen Lebendmassen, Energiebilanz ± 0 (Daily heat production of adult cattle with different live weights, energy balance ± 0)

Lebendmasse kg	Energieerhaltensbedarf kEFr/Tag	Wärmeproduktion MJ/Tag
500	2,7	51,5
600	3,2	61,1
700	3,5	66,8
800	3,9	74,5

Aus den Beispielen ergibt sich für die tägliche Wärmeproduktion einer Milchkuh bei Lebendmassen von 500 – 800 kg und Milchleistungen von 5 – 50 kg EKM/Tag die in Tabelle 10 ausgewiesene Wärmeproduktion.

Tabelle 10

Tägliche Wärmeproduktion von Kühen bei verschiedenen Lebendmassen und Tagesmilchleistungen (Daily heat production of cows with different live weights and milk yields)

EKM kg/d	Energiebedarf (Milch ohne Erhaltung) kEFr	Wärmeproduktion in MJ/Tag				
		aus Milchbildung (ohne Erhaltensbedarf)	aus Milchbildung + Erhaltung			
			500kg LM	600kg LM	700kg LM	800kg LM
5	1,4	9,2	60,7	70,3	76,0	83,7
10	2,8	18,5	70,0	79,6	85,3	93,0
15	4,3	27,8	79,3	88,9	94,6	102,3
20	5,7	37,0	88,5	98,1	103,8	111,5
25	7,1	46,2	97,7	107,3	113,0	120,7
30	8,6	55,5	107,0	116,6	122,3	130,0
35	10,0	64,8	116,3	125,9	131,6	139,3
40	11,4	74,0	125,5	135,1	140,8	148,5
45	12,8	83,2	134,7	144,3	150,0	157,7
50	14,2	92,5	144,0	153,6	159,3	167,0

Tabelle 11

Wärmeproduktion in der Trockenstehzeit, 600 kg LM (Heat production in the dry period, 600 kg lw)

Tage vor dem Abkalben	Energie- bedarf kEFr	Wärmeproduktion, MJ/Tag			Wärmeproduktion in der Periode MJ
		Erhaltung 1	Konzeption 2	Summe 1 + 2	
60-41	4,4	61,1	71,4	132,5	2.650
40-21	5,3	61,1	125,0	186,1	3.722
20-1	5,5	61,1	136,8	197,9	3.958
Summe in 60 Tagen					10.330

Für die Berechnung der Wärmeproduktion in der Trächtigkeit (Trockenstehzeit) wurden die Tagesnormen für den Energiebedarf einer Kuh mit 600 kg LM zugrunde gelegt.

Tabelle 12 zeigt die Wärmeproduktion während der Laktationsperiode von 308 Tagen.

Tabelle 12

Wärmeproduktion in 308 Tagen Laktationsperiode (Heat production in a lactation period of 308 days)

Jahres- Leistung kg EKM	Ø von 308 Tagen Tagesleistung kg EKM	Wärmeproduktion, MJ in 308 Tagen Lebendmasse der Kühe (kg)			
		500	600	700	800
4.000	13	23.300	26.250	28.000	30.400
6.000	19	26.700	29.600	31.400	33.800
8.000	26	30.600	33.600	35.300	37.700
10.000	32,5	34.400	37.350	39.100	41.500
12.000	39,0	38.200	41.000	42.800	45.300

Die Wärmeproduktion pro Jahr als Summe der Wärmeproduktion in der Laktations- und Trächtigkeitsperiode (Trockenstehzeit) ist in Tabelle 13 ausgewiesen.

Tabelle 13

Wärmeproduktion, MJ/Jahr (Heat production, MJ/year)

Jahresleistung kg EKM	Wärmeproduktion, MJ/Jahr (%) Lebendmasse der Kühe (kg)			
	500	600	700	800
4.000	33.000 (100)	37.000 (100)	38.000 (100)	40.000 (100)
6.000	37.000 (112)	40.000 (108)	41.000 (108)	44.000 (110)
8.000	41.000 (124)	44.000 (119)	45.000 (118)	48.000 (120)
10.000	45.000 (136)	48.000 (130)	50.000 (132)	52.000 (130)
12.000	48.000 (145)	51.000 (138)	53.000 (139)	55.000 (138)

Den Werten für die Wärmeproduktion in Tabelle 13 liegt die faktorielle Betrachtungsweise zugrunde, d.h. es wird die bei den partiellen Leistungen anfallende Wärme berechnet und zusammengefasst.

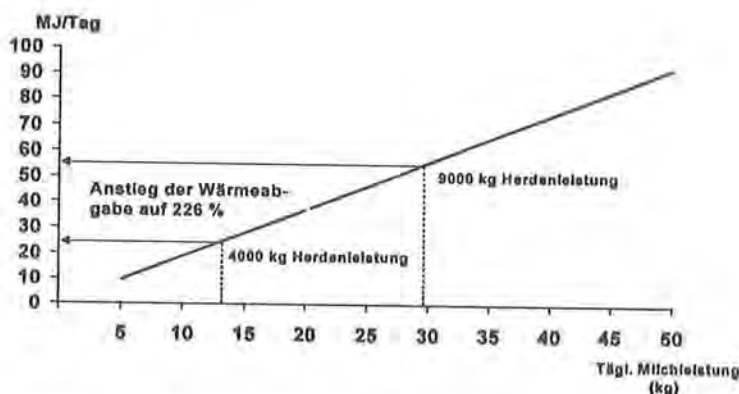


Abb.: Wärmeproduktion von Kühen durch Milchbildung in Abhängigkeit von der Tagesleistung (Heat generated by milk forming of cows in dependence on milk yield)

Wärmeabgabe und Haltung

Einleitend wurde darauf hingewiesen, dass die Wärmeregulation in Milchviehställen mit steigender Leistung der Kühe schwieriger wird. Diese Problematik wird anhand

der täglichen Wärmeproduktion bei unterschiedlichen Melkdurchschnitten und damit unterschiedlichen jährlichen Herdenleistungen mit der folgenden Darstellung demonstriert (Abb.).

Der mittlere tägliche Melkdurchschnitt einer 4.000 kg Herde, wie sie in den 60er und 70er Jahren vielerorts anzutreffen war, liegt bei etwa 13 kg. Diese Leistungshöhe ist mit einer Wärmeabgabe von etwa 24 MJ je Kuh und Tag verbunden. Ein Anstieg auf 9.000 kg Herdenleistung, was einer durchschnittlichen täglichen Milchleistung aller laktierenden Kühe von etwa 29 kg entspricht, bedeutet gleichlaufend eine Erhöhung der Wärmeproduktion auf etwa 55 MJ. Diese Änderung der Wärmeabgabe bedeutet im übertragenen Sinne, dass die erhöhte Energieabgabe der Leistung von 355 Watt entspricht, bzw. bildlich dargestellt entspräche die erhöhte Wärmeabgabe von 2 Kühen dem Effekt von etwa 3 ganztägig brennenden Rotlichtlampen (à 250 W). Hieraus resultieren zwangsläufig Veränderungen bezüglich der Haltung von Hochleistungsherden, zumal die kritische Temperatur bei hohem Nährstoffumsatz zunehmend gegen 0 °C tendiert und somit steigende Temperaturen über 15 °C zu einer zunehmenden physiologischen Belastung der Kühe führen.

Diskussion

Auf der Basis von Ergebnissen zum Energieumsatz von Kühen mit verschiedenem physiologischen Status – Laktation verschiedener Stadien, Trächtigkeit, Trockenperiode, Energieerhaltung – und unterschiedlicher Energie- und Nährstoffversorgung wurden Energiebedarfsnormen im Rostocker Futterbewertungssystem abgeleitet und publiziert. Diese Energiebedarfsnormen wurden für die modellmäßige Berechnung der Wärmeproduktion von Milchkühen bei verschiedenen Leistungen zugrunde gelegt. Mit ansteigender Milchleistung werden entsprechend größere Futtermengen verzehrt. Die Verstoffwechselung der Nährstoffe für die Milchproduktion verläuft nicht verlustlos, sondern die Verwertung der umsetzbaren Energie beträgt nach Untersuchungen in verschiedenen Forschungseinrichtungen im Mittel 60–65% (ES, VAN und NIJKAMP, 1969; ES VAN u.a., 1970; FLATT u.a., 1969; MOE, 1981; SCHIEMANN u.a., 1970, 1972, 1974). 35–40% der umsetzbaren Energie werden im Intermediärstoffwechsel benötigt und werden als Wärme frei. Mit steigender Milchleistung erhöht sich die Wärmeproduktion linear (SCHIEMANN u.a., 1970); der Bedarf für die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur dabei abgesetzt. Zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur muss die darüber hinaus gebildete Wärme abgeführt werden. Die Wärmeabgabe erfolgt dann problemlos, wenn optimale, der Milchleistung angepasste Umgebungstemperaturen vorliegen (GROSSMANN u.a. 1984a; KLEIN und WENIGER, 1986; SÖRENSEN und WENIGER, 1987).

Bei erhöhter, nicht optimaler Umgebungstemperatur, tritt als eine thermoregulatorische Reaktion, ein Rückgang in der Futteraufnahme ein (GROSSMANN u.a., 1984b; JENTSCH u.a., 1994; KAISER, 1992). Wiederkäuer selektieren dann das Futter nach der Verwertungshöhe bzw. der Wärmebildung, d.h. es wird vor allem die Grobfutteraufnahme reduziert. Als Langzeitfolge der verminderten Futteraufnahme tritt Rückgang in der Milchleistung ein. Aus der hohen Wärmeproduktion von Hochleistungskühen können Schlussfolgerungen und Ableitungen für die Haltung von Milchkühen mit unterschiedlichen Jahresleistungen getroffen werden. Deshalb sollten Milchviehställe für Hochleistungsherden mit ausreichenden First- und Traufhöhen versehen sein, wobei in Abhängigkeit von der

Außentemperatur offene Stallseitenwände, im Bedarfsfall verschließbar (Curtains), vorzusehen sind. Bei Altbauten sind dazu entsprechende Veränderungen erforderlich. Derartig ausgeführte Ställe vermindern Wärmestaus und führen aufgrund eines hohen Luftaustausches zu sinkenden Emissionen und gesteigertem Wohlbefinden der Kühe.

Literatur

- AERTS, J.V.; COTTYN, B.G.; BRABANDER, D.L.:
Measurement and prediction of digestibility and energy value. Systems in use in the main european countries to predict the digestibility and energy value of feeds for dairy cows. Int. dairy fed. bull. Brussels 196 (1986), 47-49
- AUTORENKOLLEKTIV:
Rostocker Futterbewertungssystem (ehemals DDR-Futterbewertungssystem), 7. Auflage, 1989, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag
- DENISOV, N.J.:
Untersuchungsergebnisse über die energetische Bewertung von Rationen und über Fütterungsnormen für Milchkühe auf der Basis der umsetzbaren Energie. Sitzungsberichte Dt. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin XVII, Heft 6 (1970), 31-54
- ES, VAN, A.J.H.; NIJKAMP, H.J.:
Energy Carbon and Nitrogen Balance Experiments with Lactating Cows. In: Energy Metabolism of Farm Animals (K.L. BLAXTER/ J. KIELANOWSKI/ G. THORBEC Eds.) Proc. 4th Symposium, Warsaw, EAAP-Publ. 12 (1969), 209-212
- ES, VAN, A.J.H.; NIJKAMP, H.J.; VOGT, J.E.:
Feed Evaluation for Dairy Cows. In: Energy Metabolism of Farm Animals (A. SCHÜRCH/ C. WENK Eds.) Proc. 5th Symposium, Vitznau, Switzerland, EAAP-Publ. 13 (1970), 61-64
- FLATT, W.P.:
Energy metabolism results with lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 49 (1966), 230-237
- FLATT, W.P.; MOE, P.W.; MUNSON, A.W.; COOPER, T.:
Energy Utilization by High Producing Dairy Cows II. Summary of Energy Balance Experiments with Lactating Holstein Cows. In: Energy Metabolism of Farm Animals (K.L. BLAXTER/ J. KIELANOWSKI/ G. THORBEC Eds.) Proc. 4th Symposium, Warsaw, EAAP-Publ. 12 (1969), 235-238
- GROSSMANN, R.; STEINHAUFF, D.; WENIGER, J.H.:
Reaktionen von unterschiedlich akklimatisierten laktierenden Kühen auf eine Wärmebelastung. 1. Mitt.: Leistung und Thermoregulation. Z. Tierz. Züchtungsbiol. 101 (1984a), 182-191
- GROSSMANN, R.; STEINHAUFF, D.; WENIGER, J.H.:
Reaktionen von unterschiedlich akklimatisierten laktierenden Kühen auf eine Wärmebelastung. 2. Mitt.: Energieaufnahme und Energiebedarf. Z. Tierz. Züchtungsbiol. 101 (1984b), 305-312
- HOFFMANN, L.; JENTSCH, W.; WITTENBURG, H.; SCHIEMANN, R.:
Die Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion 5. Mitt.: Zusammenfassende Auswertung der im Oskar-Kellner-Institut durchgeführten Milchviehversuche zur Abhängigkeit der Energieverwertung von der Nährstoffzusammensetzung der Rationen. Arch. Tierernähr. 22 (1972), 721-742
- HOFFMANN, L.; SCHIEMANN, R.; JENTSCH, W.; HENSELER, G.:
Die Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion. 10. Mitt.: Energienormen für Milchkühe. Arch. Tierernähr. 24 (1974), 245-261
- JENTSCH, W.; DERO, M.; LÖHRKE, B.; SCHOLZE, H.; MATTHES, H.-D.:
Studies on thermoregulatory heat production in cattle with differing adaptive states. In: Energy Metabolism of Farm Animals (J.F. AGUILERA, Ed.) Proc. 13th Symposium, EAAP-Publ. 76 (1994), 359-362
- JENTSCH, W.; WITTENBURG, H.; SCHIEMANN, R.:
Die Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion. 4. Mitt.: Untersuchungen über die Verwertung der Futterenergie bei Rapsölsatz. Arch. Tierernähr. 22 (1972), 697-720
- KAISER, D.:
Nährstoffverdaulichkeit und Wärmeproduktion beim Wiederkäuer unter Wärmebelastung und bei unterschiedlichem Nährstoffangebot. Dissertation TU Berlin (1992)
- KLEIN, H.G.F.; WENIGER, J.H.:
Auswirkungen einer Temperaturbelastung während der Dauer der ersten Laktation auf Leistung und Thermoregulation bei Kühen der Rasse Deutsche Schwarzbunte. 2. Mitt.: Einfluß der Temperaturbelastung auf Merkmale der Thermoregulation in Abhängigkeit von der Höhe der Milchleistung. Z. Tierz. Züchtungsbiol. 103 (1986), 297-306

- MATHIAS, J.; WENIGER, J.H.:
Untersuchungen zum Energieumsatz von laktierenden Kühen unter Wärmebelastung. 5. Mitt.: Zum Einfluß von Meßzeitpunkt und Meßhäufigkeit zur Bestimmung der täglichen Wärmeproduktion vom laktierenden Rind. *Züchtungskunde* 62 (1990), 129-140
- MOE, P.W.:
Energy metabolism of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 64 (1981), 1120-1139
- MOE, P.W.; TYRELL, H.F.; FLATT, W.P.:
Energetics of body tissue mobilization. *J. Dairy Sci.* 54 (1971), 548-553
- SCHIEMANN, R.; HENSELER, G.; JENTSCH, W.; WITTENBURG, H.:
Die Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion. 8. Mitt.: Energieumsatzmessungen an Hochleistungskühen im Frühstadium der Laktation. *Arch. Tierernähr.* 24 (1974), 105-137
- SCHIEMANN, R.; JENTSCH, W.; HOFFMANN, L.; WITTENBURG, H.:
Die Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion. 1. Mitt.: Untersuchungen an Tieren mit unterschiedlichem Leistungspotential. *Arch. Tierernähr.* 20 (1970), 227-251
- SCHIEMANN, R.; JENTSCH, W.; WITTENBURG, H.:
Zur Abhängigkeit der Verdaulichkeit der Energie und der Nährstoffe von der Höhe der Futtermittelaufnahme und der Rationszusammensetzung bei Milchkühen. *Arch. Tierernähr.* 21 (1971), 223-240
- SCHIEMANN, R.; JENTSCH, W.; WITTENBURG, H.:
Die Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion. 3. Mitt.: Untersuchungen über die Verwertung der Futterenergie bei differenter Nährstoffzusammensetzung. *Arch. Tierernähr.* 22 (1972), 675-695
- SÖRENSEN, B.; WENIGER, J.H.:
Untersuchungen zum Energieumsatz von laktierenden Kühen unter Wärmebelastung. 2. Mitt.: Ergebnisse zum Energieumsatz in verschiedenen Abschnitten der Laktation sowie Beziehungen zu weiteren thermoregulatorisch relevanten Funktionsparametern. *Züchtungskunde* 59 (1987), 307-315

Eingegangen: 13.06.2001

Akzeptiert: 16.10.2001

Anschriften der Verfasser

Dr. habil. WERNER JENTSCH, Dr. MICHAEL DERNO
Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere
Forschungsbereich Ernährungsphysiologie „Oskar Kellner“
Wilhelm-Stahl-Allee 2
D-18196 Dummerstorf

Prof. Dr. habil. OTTFRIED WEIHER
Institut für Tierproduktion
Wilhelm-Stahl-Allee 2
D-18196 Dummerstorf

E-Mail: derno@fbn-dummerstorf.de