

## Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen

### 5. Hochleistungskühe und Klimawandel

Klaus Walter\* and Franz-Josef Löpmeier\*\*

#### Zusammenfassung

Hochleistungskühe sind schon heute vor Klimastress zu schützen. Da die Klimatologen einen auf lange Sicht anhaltenden Anstieg der Temperaturen vorhersagen, wird dessen Bedeutung für die Milchviehhaltung analysiert.

Die Leistungsminderung sowie Reduzierung der Futteraufnahme der Kuh wird mittels des „temperature humidity index“ (THI) bemessen. Daher sind die 10 meistgenannten THI in das Simulationsprogramm „Milchproduktion der Zukunft“ ebenso wie die umfassenderen Ansätze von West et al. (2003) und St-Pierre et al. (2003) integriert. In Verbindung mit den tatsächlichen Wetterdaten, aber auch den Temperatur- und Luftfeuchtwerten der Klimaprojektionsmodelle (CLM, ReMo, Star und WetReg), lassen sich für die vergangenen 50 Jahre geringe und für die kommenden 50 bzw. 100 Jahre spürbare Einbußen bei der Milchleistung und der Futteraufnahme sowie beim monetären Erfolgsmaßstab „Einnahmen aus Milch minus Futterkosten“ nachweisen. Diese Verluste fallen je nach THI unterschiedlich hoch aus.

Die vergleichsweise hohen Unterschiede zwischen den Standorten Bremerhaven, Hannover, Augsburg und Cottbus erhöhen den Wettbewerbsvorteil der milderen küstennahen Regionen.

Sollten sich die Klimaprojektionen als zutreffend erweisen, entwickelt sich der Hitzestress zu einem zusätzlichen Hindernis für die Milchviehhaltung.

*Schlagerworte: Klimastress, Temperature Humidity Index, Milchproduktion, Standortvorteil*

#### Summary

#### The feeding and husbandry of high performance cows

#### Part 5. High performance cows and climate changes

High performance cows must now be protected against climate stress. Since climatologists predict a continuing increase in temperatures over the long term, the significance of this increase is analyzed for dairy cow husbandry.

The reduction in performance as well as the feed intake of the cow is measured on the basis of the „temperature humidity index“ (THI). The ten most frequently named THI are integrated in the simulation program „Milk Production in the Future“, as well as the more comprehensive approaches by West et al. (2003) and St-Pierre et al. (2003). Actual weather data, temperature and humidity values from the climate projection models (CLM, ReMo, Star and WetReg), show slight losses in milk performance and feed intake for the past fifty years, and tangible losses in performance, intake and financial success as measured in „Income from Milk minus Feed Costs“ for the coming 50 to 100 years. These losses vary according to the THI considered.

The comparably high differences between the Bremerhaven, Hannover, Augsburg and Cottbus sites increase the competitive advantage of the mild coastal regions.

Should the climate projects prove to be true, the heat stress develops as an additional obstacle for dairy cattle husbandry.

*Keywords: Heat stress, temperature humidity index, dairy cattle, regional competitive advantage*

\* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig; klaus.walter@vti.bund.de

\*\* Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

## 1 Einleitung und Ziele

Nach Schätzungen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) werden steigende Temperaturen von der weltweiten natürlichen und anthropogenen Treibhausgasproduktion ausgelöst, längere Hitze-, Regen- und Trockenperioden die landwirtschaftliche Produktion prägen. Ansteigende Temperaturen könnten die Milchproduktion indirekt durch veränderte Futterqualitäten und zeitweise eingeschränkte Futterverfügbarkeit belasten.

Für die Bewertung der Zuträglichkeit von klimatischen Bedingungen wird der „Temperature Humidity Index“ (THI) eingesetzt. Die unterschiedlichen Ansätze zur Bemessung des THI werden in Verbindung mit den von Klimatologen erwarteten Veränderungen des Klimas analysiert.

Zunächst werden alle Funktionen zur Berechnung des THI für heutige und zukünftig erwartete Klimabedingungen vergleichend nebeneinander gestellt und die von einigen Autoren genannten Minderungen der Milchleistung und der Futteraufnahme kalkuliert.

Eine Bewertung des Hitzestresses mittels THI wird vorrangig genutzt, um herdenbezogene Resultate zu erzielen. Daneben gibt es Ansätze, die anhand von Gewicht, Kondition, Leistung, Trächtigkeit, Rasse etc. den tierspezifischen Energie- und Nährstoffbedarf bestimmen und daraus die individuelle Wärmeentwicklung ableiten, um unter Berücksichtigung des umgebenden Klimas die abzugebende Wärme zu ermitteln.

Tabelle 1:  
Ansätze zur Berechnung des „Temperature Humidity Index“ (THI)

Autor	Jahr	Formel zur Berechnung des THI
Thom	1959	$THI_1 = [0,4 \cdot (T_{db} + T_{wb})] \cdot 1,8 + 32 + 15$
Bianca	1962	$THI_2 = (0,15 \cdot T_{db} + 0,85 \cdot T_{wb}) \cdot 1,8 + 32$
Bianca	1962	$THI_3 = (0,35 \cdot T_{db} + 0,65 \cdot T_{wb}) \cdot 1,8 + 32$
NRC	1971	$THI_4 = (T_{db} + T_{wb}) \cdot 0,72 + 40,6$
NRC	1971	$THI_5 = (0,55 \cdot T_{db} + 0,2 \cdot T_{dp}) \cdot 1,8 + 49,5$
NRC	1971	$THI_6 = (1,8 \cdot T_{db} + 32) - (0,55 - 0,0055 \cdot RH) \cdot (1,8 \cdot T_{db} - 26)$
Youssef	1985	$THI_7 = T_{db} + 0,36 \cdot T_{dp} + 41,2$
Ravagnolo und Misztal <sup>1</sup>	2000	$THI_8 = 0,8 \cdot (T_{Max} + 32) - (0,55 - 0,0055 \cdot RH_{Max}) \cdot (T_{Max} - 26)$
Mader et al.	1999	$THI_9 = 0,8 \cdot T_{db} + [(RH/100) \cdot (T_{dp} - 14,4)] + 46,4$
Robinson	2006	$THI_{10} = (49 + 0,75 \cdot T_{Max} + 0,2 \cdot RH_{Max}) \cdot 0,65 + (49 + 0,75 \cdot T_{Min} + 0,2 \cdot RH_{Min}) \cdot 0,35$
$T_{db}$	= Trockentemperatur (dry bulb temperature)	
$T_{dp}$	= Taupunkttemperatur (dew point temperature)	
$T_{wb}$	= Feuchttemperatur (wet bulb temperature)	
$T_{Max}$	= Maximum der Tagestemperatur	
$T_{Min}$	= Minimum der Tagestemperatur	
RH	= relative Feuchte (%)	
$RH_{Max}$	= relative Feuchte (%) zum Zeitpunkt des Maximum der Tagestemperatur	
$RH_{Min}$	= relative Feuchte (%) zum Zeitpunkt des Minimum der Tagestemperatur	
$THI_2, THI_4, THI_6$ wurden zunächst für Menschen konzipiert (Bohmanova et al., 2007)		

<sup>1</sup> Ravagnolo und Misztal nennen zusätzlich einen auf den minimalen Temperaturen basierten Ansatz  $THI_{Min} = 0,8 \cdot (T_{Min} + 32) - (0,55 - 0,0055 \cdot RH_{Min}) \cdot (T_{Min} - 26)$ . Dieser THI bleibt hier unberücksichtigt.

## 2 Literatur und Lösungsansatz

In vielen Ländern führen periodisch oder ganzjährig hohe Temperaturen und Luftfeuchten zu Belastungen für Haus- und Nutztiere. Unter hiesigen Bedingungen stellen die klimatischen Rahmenbedingungen nur an wenigen Tagen oder Wochen ein Hemmnis für die Milchproduktion dar, nicht zuletzt weil die Monate Juli und August zwar die höchsten Temperaturen aufweisen, gleichzeitig aber für die meisten Kühe das Ende der Laktation bedeuten. Steigen jedoch im Zuge des Klimawandels die Temperaturen und der Milchmarkt erwartet ein kontinuierliches Angebot, dann werden die Milchproduzenten statt saisonaler eine kontinuierliche Abkalbung anstreben und dem Problem der Beeinträchtigung der Leistung mehr Aufmerksamkeit widmen (müssen).

In diesem Beitrag werden keine Ergebnisse aus Versuchen sowie betrieblichen Erhebungen etc. mit Klimadaten abgeglichen, sondern für ausgewählte Standorte in Deutschland die am häufigsten genannten THI berechnet und einander gegenübergestellt. Dabei werden die Klimadaten variiert, um eine Vorstellung über den Einfluss des vom IPCC (2007) erwarteten Temperaturanstieges auf die Milchproduktion zu gewinnen.

### 2.1 Literatur

Bohmanova et al. (2007) und Dikmen et al. (2009) vergleichen einige der in Tabelle 1 aufgelisteten Schätzformeln

zur Berechnung des THI, um deren Eignung zur Bestimmung der regionalen Belastung von Milchkühen zu evaluieren. Dikmen et al. (2009) gelangen zu dem Schluss, dass die Trockentemperatur dem THI nahezu gleich kommt, wenn die Rektaltemperatur von laktierenden Milchkühen der Rasse HF unter subtropischen Bedingungen geschätzt werden soll.

Bohmanova et al. (2007) führen aus, dass den THI spezifische Schwellenwerte zuzuordnen sind und dass in feuchteren Klimaten die Indices mit höherer Gewichtung der Luftfeuchte sowie in arideren Klimazonen ein THI mit stärkerem Einfluss der Trockentemperatur zu bevorzugen sind.

West et al. (2003) testeten den „time lag“ zwischen hohen Temperaturen bzw. THI und der Leistungs- und Futteraufnahmedepression. Im Vergleich zu zeitgleicher Betrachtung führen zwei und auch drei Tage Zeitverzug zu geringfügig besseren statistischen Prüfmaßen bei der Erklärung des Rückganges von Leistung und Futteraufnahme. Weiterhin ergeben sich für die Milchkühe der Rasse Jersey bei steigenden Temperaturen geringere Leistungseinbußen als bei den Holstein-Frisian, deren Tagesleistungen im Versuch um sechs kg Milch höher liegen.

Bohmanova et al. (2007) und Dikmen et al. (2009) stützen ihre Arbeiten auf eine Vielzahl von Studien, die für diesen Themenkomplex zusätzliche Aspekte und Details liefern.

Die Ausführungen von West et al. (2003) zeigen über längere Zeiträume einheitliche Temperaturen und Luftfeuchten wie sie in (semi)ariden und tropischen Klimaten anzutreffen sind. Deutschland erlebt dagegen häufige Wetterwechsel, die auch bei den verschiedenen Szenarien des Klimawandels die Regel darstellen.

In Tabelle 1 werden die am häufigsten zitierten Ansätze zur Berechnung des THI aufgelistet und bei allen Modellrechnungen kalkuliert.

Abbildung 1 zeigt die Tageswerte der in Tabelle 1 aufgelisteten THI für den Standort Braunschweig und das Kalenderjahr 2003. Aus den Klimadaten werden Trocken- und Feuchttemperatur, sowie Taupunkt mittels der vom DWD (1997) herausgegebenen Unterlagen errechnet, in die Funktionen eingesetzt und grafisch dargestellt.

Die Graphen in Abbildung 1 machen deutlich, dass

- in den kühleren Zeiträumen (Winter, Frühjahr und Spätherbst) große Unterschiede<sup>2</sup> bestehen und
- bei hohen Temperaturen und Luftfeuchten erkennbare Differenzen zwischen den einzelnen THI zu verzeichnen sind.

Es ist zu berücksichtigen, dass die in Tabelle 1 genannten Autoren von jeweils eigenen Schwellenwerten ausgehen und darüber hinaus die THI Werte unterschiedlich wichten. Für den Standort Braunschweig gab es im Jahr 2003 eine Reihe von Tagen mit einem THI über 70, vereinzelt sogar über 80, an denen ein deutlicher Hitzestress bei laktierenden Kühen auftrat.

Alle hier zitierten Versuche beziehen sich auf Durchschnittsleistungen von über 25 kg Milch je Kuh und Tag. Bei geringeren Leistungen werden höhere Schwellenwerte und geringere Depressionen unterstellt. Für Trockensteher treffen die temperaturunempfindlicheren Vorgaben der Mastrinder zu, das lässt sich aus den einzeltierbezogenen Energie- und Wärmebilanzmodellen des NRC (2001) und von Paul (1990) ableiten.

Abbildung 1 zeigt, dass der Schwellenwert von 70 bis 72 THI Punkten in den ersten vier und den letzten zwei Monaten des Jahres sporadisch und nur von THI<sub>4</sub> überschritten wird. Einige THI können rein rechnerisch wegen der hohen Konstante von über 40 und der positiven Beziehung zu den verschiedenen temperaturabhängigen Kennzahlen nur bei ganztägig starkem Frost unter 50 bis 60 Punkte absinken.

In Abbildung 2 werden ebenfalls für 2003 die THI von Emden und Kempten gegenübergestellt. Der küstennahe Standort Emden weist kurzzeitig Anfang Juni und Mitte Juli und für 10 Tage im August THI Werte von über 80 auf. Der Standort Kempten im Allgäu erreicht dieses Niveau fast durchgängig von der zweiten Juniwoche bis Ende August. Die THI von Braunschweig (Abbildung 1) liegen zwar über denen aus Emden, fallen aber deutlich günstiger aus als die im Allgäu. Neben den großräumigen Differenzen ergeben sich für den Einzelbetrieb zusätzliche Vor- oder Nachteile durch eine geschützte bzw. exponierte Lage. Bei Sommerstallhaltung können die stallspezifischen Temperatur- und Luftfeuchtwerte zu Abweichungen von den Klimadaten der Wetterstation führen.

<sup>2</sup> Diese Unterschiede sind jedoch unbedeutend, weil erst oberhalb eines THI von 70 bis 72 ein negativer Einfluss auf die Leistungsbereitschaft zu erwarten ist (siehe Tabelle 2).

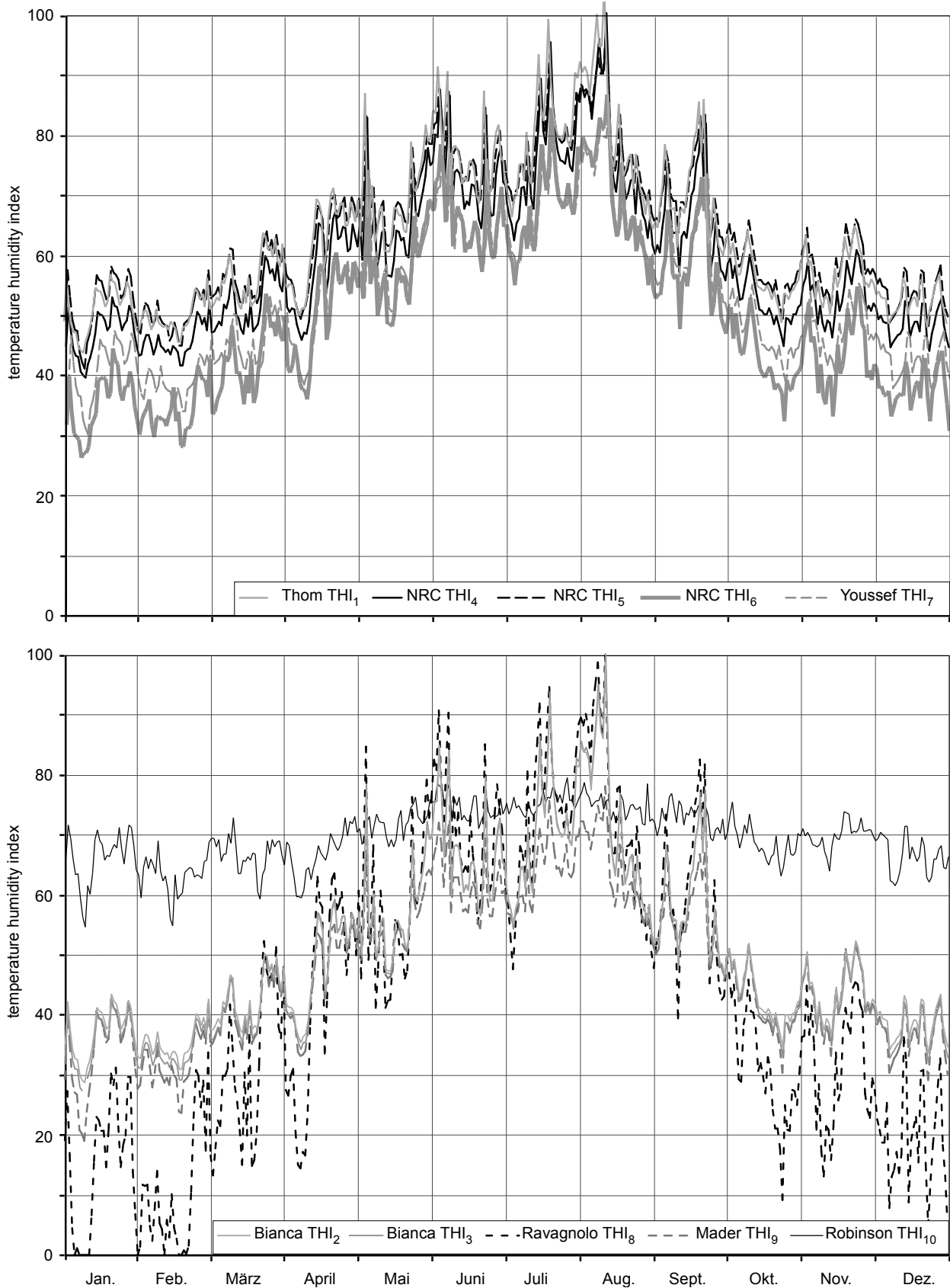


Abbildung 1:  
Tageswerte der in Tabelle 1 aufgelisteten THI für den Standort Braunschweig 2003

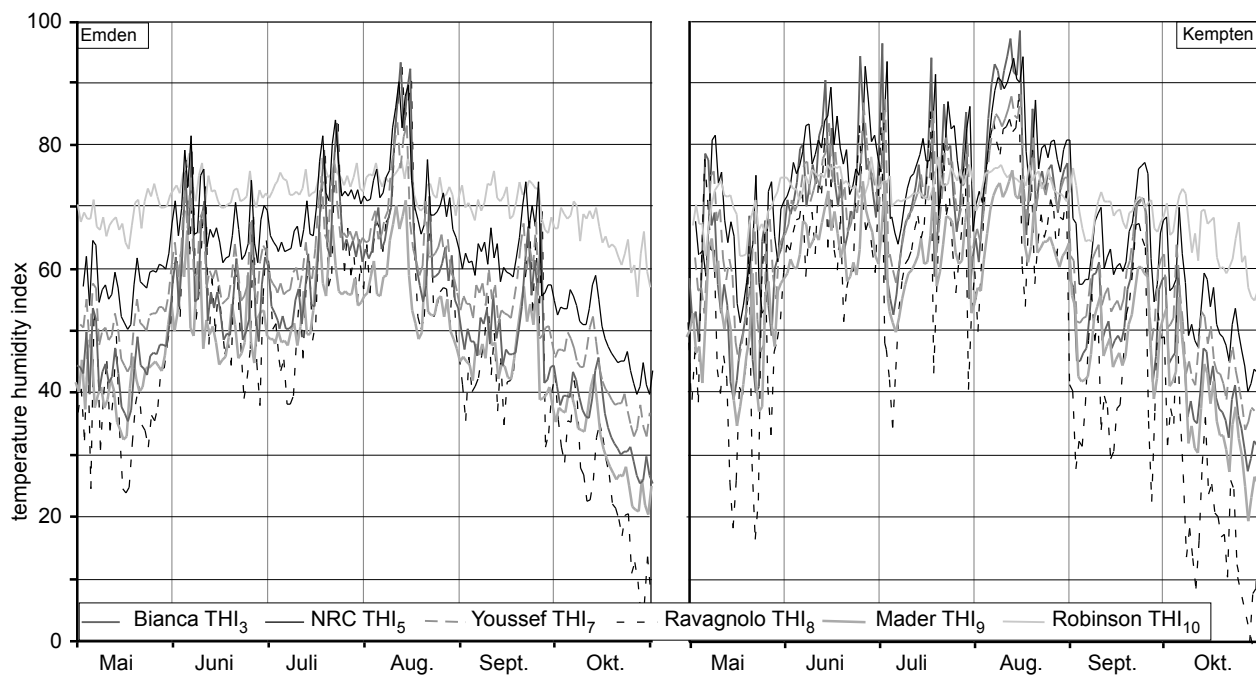


Abbildung 2:

Tageswerte ausgewählter THI der Standorte Kempten und Emden für die Monate Mai bis Oktober 2003

## 2.2 Bedeutung von Luftfeuchte und Temperatur

Die in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten THI Graphen vermitteln nur schwer ihr Beziehungsgefüge, weil tatsächliche Klimadaten zu Grunde liegen. Daher werden die Temperatur und die Luftfeuchte systematisch variiert und die zugehörigen THI berechnet (Abbildung 3).

Abbildung 3 enthält 10 Teilgrafiken, in denen für jeden in Tabelle 1 genannten Ansatz zur Bestimmung des THI die Temperatur von 10 °C auf 45 °C gesteigert wird. Alternativ wird unterstellt, dass die Differenz zwischen dem Maximum und dem Minimum der Tagestemperatur 10 °C und 30 °C beträgt, um die Bedeutung der Abkühlung in der Nacht zu bestimmen. Zusätzlich werden die Luftfeuchten im Maximum und Minimum der Tagestemperatur mit 50 % und 80 % sowie 90 % und 100 % angesetzt.

Alle THI Graphen steigen mit der Temperatur. Eine große Differenz zwischen maximaler und minimaler Temperatur mindert bei gleichen Tageshöchstwerten den THI. Nur beim THI<sub>10</sub> (Robinson, 2006) führt eine höhere Luftfeuchte grundsätzlich zu einem höheren THI. Bei den anderen Bewertungen von Hitzestress mittels THI ist dieser Zusammenhang uneinheitlich.

Die Graphen der THI<sub>8</sub> (Ravagnolo und Misztal, 2000) und THI<sub>10</sub> (Robinson, 2006) steigen linear mit der Temperatur. Alle übrigen THI Schätzfunktionen weisen eine größere Steigung auf und wachsen zum Teil sogar überproportional mit der Temperatur. Bei einem THI von über

70 Punkten wird Hitzestress unterstellt (Tabelle 2). Dieser Grenzwert wird bei nahezu allen Ansätzen im Bereich von 25 °C bis 30 °C überschritten. Nur beim THI<sub>10</sub> beginnt der kritische Bereich schon ab 20 °C, weil sich Robinson (2006) auf Herden konzentriert, deren Jahresleistungen deutlich über 12.000 kg Milch anzusetzen sind.

Das Simulationsprogramm kalkuliert jeden der 10 Ansätze zur Bestimmung des THI, die Ergebnisse werden im Folgenden jedoch nicht immer detailliert diskutiert. Abbildung 3 verdeutlicht die großen Differenzen zwischen den in Tabelle 1 aufgelisteten Ansätzen zur Bestimmung des THI und den von den Autoren abgeleiteten Belastungen der Tiere.

## 2.3 THI und Leistung sowie Futteraufnahme

In Tabelle 2 werden einige qualitative Bewertungen der Befindlichkeit und Leistungsbeeinflussungen durch Klima anhand der THI genannt. Der Schwellenwert für den Beginn des Klimastresses sowie die Einteilung in Belastungsbereiche ist nicht einheitlich. Diese unterschiedliche Bewertung hat mehrere Ursachen:

- Das Leistungsniveau der Versuchstiere variiert zwischen 20 bis 30 kg Milch je Kuh und Tag, dem entsprechend unterscheidet sich der leistungsbedingte innere Wärmefall.

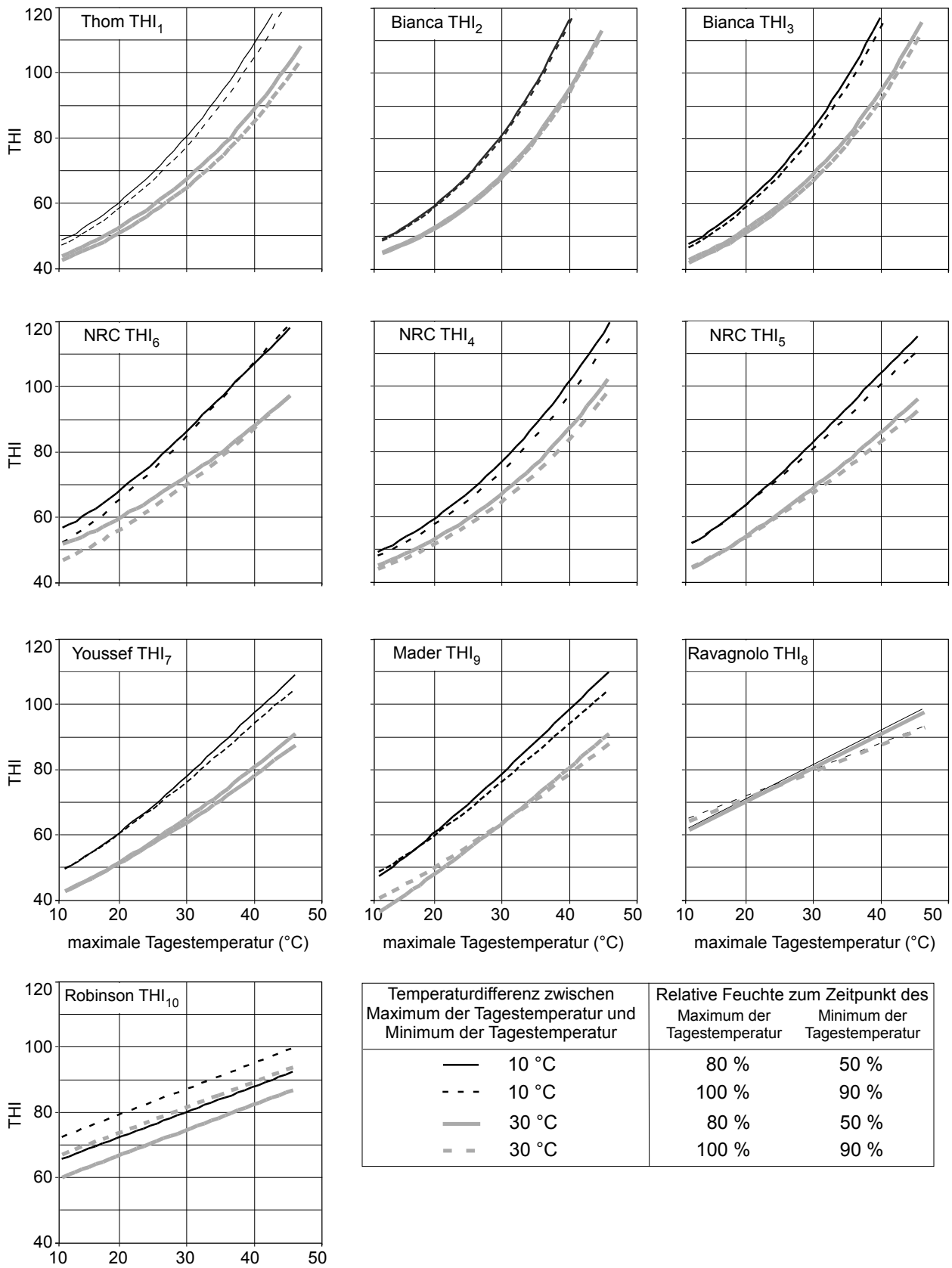


Abbildung 3:  
THI bei systematischer Variation von Temperatur- und Luftfeuchte

Tabelle 2:  
Beziehung zwischen THI und Befindlichkeit

Autor	THI	Schwellenwert	Belastungsbereich		
Armstrong (1994) <sup>1)</sup>	THI <sub>7</sub>	71	geringer Stress 72 – 79	moderater Stress 80 – 89	erheblicher Stress 90 ++
Huhnke (2001) <sup>1)</sup>	THI <sub>7</sub>			Gefahrenbereich 79 – 83	kritischer Bereich 84 ++
Thom (1959) <sup>1)</sup>	THI <sub>3</sub>	69	wenig Komfort 70 – 74	kein Komfort 75 – 79	erheblicher Stress 80 ++
West et al. (2003)	THI <sub>8</sub>	70	Futteraufnahme → Milchleistungsdepression 71 – 81		
Hutjens (2007)	THI <sub>6</sub>	70		belastend 75 – 78	extrem belastend 79 ++
Bohmanova et al. (2007)	THI <sub>5</sub>	72	Hitzestress 73 ++		
Holter et al. (1996) <sup>2)</sup>	THI <sub>8</sub>	70	Futteraufnahmepression 71 – 73	Futteraufnahme → Milchleistungsdepression 74 ++	

<sup>1)</sup> zitiert nach: Bohmanova et al. (2007)  
<sup>2)</sup> zitiert nach: West et al (2003)

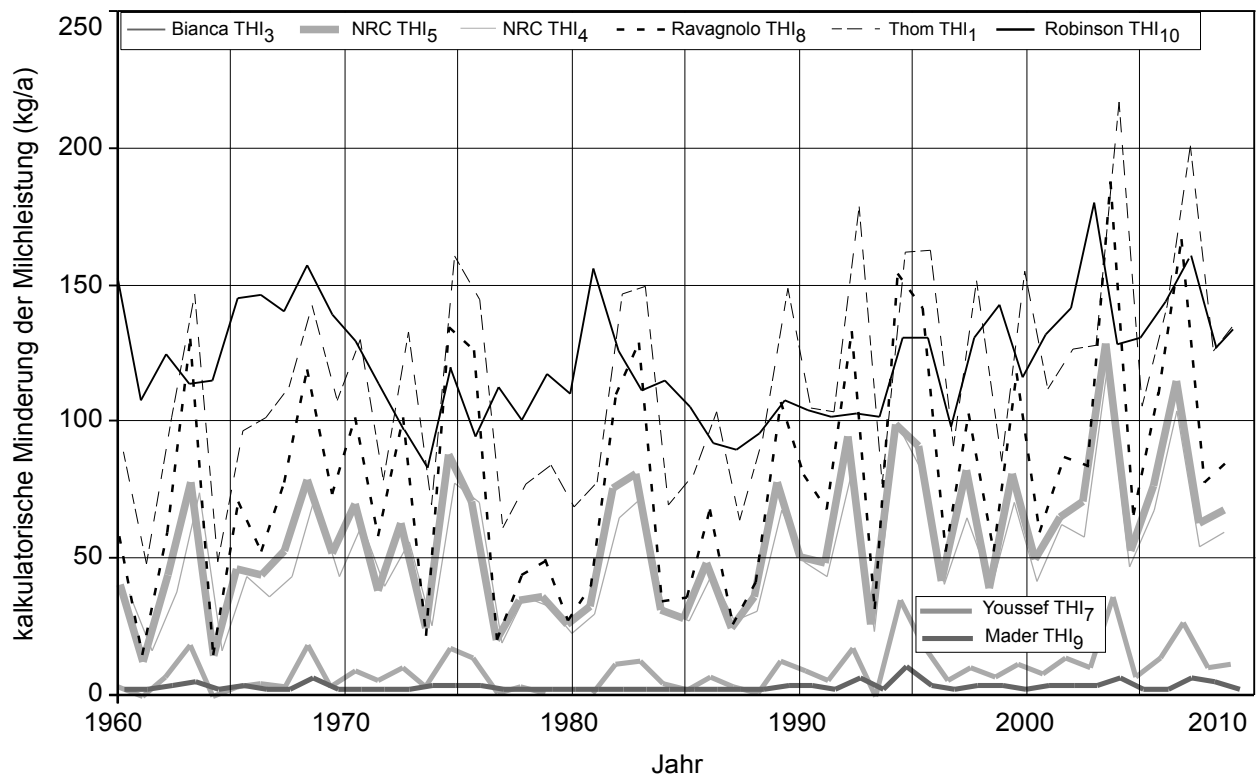


Abbildung 4:  
Kalkulatorische Minderung der Milchleistung für unterschiedliche THI bei 0,2 kg Abschlag je THI Punkt oberhalb des Schwellenwertes von 70, errechnet für Braunschweig und den Zeitraum von 1961 bis 2009

- Hutjens (2007) gibt Empfehlungen für Milchproduzenten und hat dabei Höchstleistungen als Zielvorgabe. Das bedeutet Tagesleistungen von über 50 kg Milch und damit extrem viel „Prozesswärme“, die das Tier an die Umgebung abgeben muss.
- Die Bewertungen basieren auf Versuchsergebnissen mit unterschiedlicher Dauer. Was zu Abweichungen führen muss, wenn sich die von St-Pierre et al. (2003) einbezogene Kumulation der Hitzebelastung aus dem Vormonat als stichhaltig erweist.
- Die Bewertungen stützen sich auf Experimente und Erfahrungen mit Rassen, deren genetische Hitzeanpassung unterschiedlich sein kann.

In Abbildung 4 wird die Minderung der Milchleistung durch Hitzestress abgebildet. Dabei wird oberhalb des Schwellenwertes von 70 THI Punkten ein Abschlag von 0,2 kg Milch je THI Punkt vorgenommen (Bohmanova et al., 2007). Es ergeben sich Leistungsminderungen von 50 bis 100 kg Milch am Beginn des Untersuchungszeitraumes, die dagegen 100 bis 150 kg Milch je Kuh und Jahr betragen, wenn die ungünstigsten Schätzer (Thom, Robinson) zu Grunde gelegt würden. Die Bewertungen von Youssef (1985) und Mader et al. (1999) führen dagegen zu Leistungseinbußen von maximal 30 kg Milch im vergleichsweise „heißen“ Jahr 2003. Bei Herdenleistungen von 5.000 bis 7.000 (1960 bis 1970) ansteigend auf 8.000 bis 9.000 (2000 bis 2008) sind das geringe Verluste. Die mit Krankheiten, Engpässen bei der Futterversorgung oder auch zu geringen Grundfutterqualitäten verbundenen Einbußen erreichen dagegen ungleich höhere Ausmaße.

Alle Autoren berichten übereinstimmend von Minderungen der täglichen Futteraufnahmen. Diese werden als erste grobe Annäherung mit etwa 0,1 kg Trockenmasse (TM) je THI Punkt angegeben. Das führt zusammen mit der Leistungsminderung zu veränderten Aufwands- und Ertragsrelationen, die eine Berücksichtigung der Fütterung und der Differenz aus Einnahmen für Milch und Futterkosten erforderlich machen.

#### 2.4 Der Ansatz von West et al. (2003)

West et al. (2003) schätzen Leistungsdepression und Minderung der Futteraufnahme in Abhängigkeit vom THI (Tabelle 3). Diese Funktionen werden in das Simulationsprogramm „Milchproduktion der Zukunft“ (Walter, 2008) übernommen und stehen damit ebenso wie der nachfolgend genannte Ansatz von St-Pierre et al. (2003) für weitgehende Kalkulationen zur Verfügung.

Tabelle 3:

Beziehung zwischen Klima und Kennzahlen der Milchproduktion nach West et al. (2003)

Kennzahl	Rasse	Formel zur Berechnung
DMI	Holstein Frisian	$= 29,56^3 - 0,85 \cdot (T_t - 0,5 \cdot (T_{t-1} + T_{t-2}))$
	Jersey	$= 29,15 - 0,88 \cdot (T_t - 0,5 \cdot (T_{t-1} + T_{t-2}))$
Milk	Holstein Frisian	$= 29,15 - 0,85 \cdot (THI_t - 0,5 \cdot (THI_{t-1} + THI_{t-2}))$
	Jersey	$= 23,10 - 0,60 \cdot (THI_t - 0,5 \cdot (THI_{t-1} + THI_{t-2}))$
DMI	Futteraufnahme (kg TM)	
Milk	Tagesleistung (kg Milch)	
$0,5 \cdot (T_{t-1} + T_{t-2})$	Mittel der Temperatur der beiden Vortage	
$0,5 \cdot (THI_{t-1} + THI_{t-2})$	Mittel des THI der beiden Vortage	

#### 2.5 Der Ansatz von St-Pierre et al. (2003)

St-Pierre et al. (2003) legen ein Konzept zur Schätzung der ökonomischen Verluste durch Hitzestress in der amerikanischen kommerziellen Tierhaltung vor. Für alle Sparten der Veredlung werden die Beziehungen zwischen Klima und Leistungsparametern (Tagesleistung, Gewichtszuwachs, Reproduktionsleistung, Mortalität etc.) quantifiziert und in eine ökonomische Analyse überführt, die es ermöglicht, die wirtschaftlichen Verluste zu evaluieren. Die von St-Pierre et al. (2003) entwickelten Beziehungen für die Milchproduktion werden in Tabelle 4 wiedergegeben.

Tabelle 4:

Beziehung zwischen Klima und Kennzahlen der Milchproduktion nach St-Pierre et al. (2003)

Kennzahl	Formel zur Berechnung
$DMI_{Loss}$	$0,0345 \cdot (THI_{Max} - THI_{Threshold})^2 \cdot (THI/THI_{Threshold})$
$Milk_{Loss}$	$0,0695 \cdot (THI_{Max} - THI_{Threshold})^2 \cdot (THI/THI_{Threshold})$
PR	$0,20 - 0,0009 \cdot THI_{Loadm}$
$DO_{Loss}$	$35,7 - (184,5 \cdot PR) + (29,38 \cdot PR^2) - 128,8$
CullRate	$100 - 102,7 \cdot (1 - 1,101 \cdot \exp(10,19 \cdot PR))$
Deathrate	$0,000855 \cdot \exp(0,00981 \cdot THI_{Loadm})$
$THI_{Load}$	siehe St-Pierre et al. (2003), Figure 1
$THI_{Duration}$	siehe St-Pierre et al. (2003), Appendix
$THI_{Loadm}$	Monatsdurchschnitt des THILoad
$THI_{Threshold}$	70 für Milchkühe, siehe St-Pierre et al. (2003), table 1
$DMI_{Loss}$	Reduzierung der Futteraufnahme
$Milk_{Loss}$	Reduzierung der Tagesleistung
PR	Veränderung des Anteils trächtiger Kühe
CullRate	Veränderung der Remontierungsrate
Deathrate	Veränderung der Todesrate

<sup>3</sup> In der Abbildung 2, S. 239, nennen West et al. (2003) die Konstante 19,56. Grafik und ergänzende Kalkulationen machen jedoch deutlich, dass hier von 29,56 auszugehen ist.



## 2.6 Vorgehensweise und Kalkulationskonzept

Alle Berechnungen werden mit dem Simulationsprogramm „Milchproduktion der Zukunft“ (Walter, 2008) durchgeführt, das die wichtigsten produktionstechnischen Zusammenhänge berücksichtigt und für diese Analyse um die in den Tabellen 1 bis 4 genannten Bewertungsansätze sowie Klimadaten und Klimaprojektionen erweitert worden ist.

Es wird das Konzept der „guten fachlichen Praxis“ unterstellt; die Kühe sind nicht der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt, ihnen wird ausreichend Schatten und Platz angeboten, so dass die Luft zwischen den Tieren zirkulieren kann.

Die landwirtschaftliche Produktion ist untrennbar und vielschichtig mit dem Wetter verflochten, was letztlich zu einem nicht kalkulierbaren Komplex führt, wenn alle Interdependenzen berücksichtigt werden sollen. Diese Analyse des eng begrenzten Ausschnittes Milchproduktion ist stets unter dieser Prämisse zu sehen.

Für alle Berechnungen wird unterstellt, dass mit Ausnahme des Klimas alle produktionstechnischen und ökonomischen Daten denen des Jahres 2005 entsprechen. Die jüngere Vergangenheit ist durch extreme Schwankungen der landwirtschaftlichen Produktpreise geprägt, die langfristig nicht zu erwarten sind.

Im ersten Schritt wird der direkte Einfluss von Temperatur und Luftfeuchte auf die Milchproduktion kalkuliert und bewertet. Diese Vorgehensweise reflektiert zum einen die Versuchsanstellungen, in denen ebenfalls die Konstanz der übrigen Parameter angestrebt wurde, und sie ermöglicht zum anderen die Isolierung des Klimaeffektes. Die Bedeutung des Klimawandels für die eng mit der Milchviehhaltung verknüpfte Futterproduktion wird zunächst zurückgestellt und soll erst später einbezogen werden.

Alternativen, wie Klimatisierung der Ställe, Anpassung von Kalbeterminen, Begrenzung der Leistungen, angepasste Fütterung aber auch Einkreuzung hitzeresistenter Rassen etc. werden hier nicht kalkuliert, sie bieten jedoch eine Vielzahl von Ansätzen, um trotz Hitzestress eine erfolgreiche Milchproduktion zu erreichen.

In vielen Ländern mit hohen Spitzen- und Durchschnittstemperaturen gibt es hitzeresistentere Lokalrassen, die allerdings geringere Leistungen erzielen. Da die Wirtschaftlichkeit an das Leistungsniveau gekoppelt ist, wird versucht Hochleistungsrassen einzukreuzen oder deren Anforderungen an eine Klimatisierung zu erfüllen.

## 2.7 Klimadaten und Klimaprojektionen

Die Abbildungen 1 bis 4 basieren auf den Originaldaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die wie auch die Daten der Klimaprojektionsmodelle (CLM, ReMo, Star und WetReg), im Internet zur Verfügung stehen.

Walkenhorst und Stock (2009) bieten eine Lese- und Interpretationshilfe für das Konzept der Klimaprojektionen: Ausgehend von einem globalen Klimamodell<sup>4</sup>, das die natürlichen und anthropogenen Einflüsse (Treibhausgase, Aerosole, Landnutzungsänderung etc.) modelliert, werden regionale Klimaszenarien<sup>5</sup> errechnet. Diese sind CLM, ReMo, Star und WetReg. CLM ist ein dynamisches, ReMo ein hydrometeorologisches dynamisches Modell. Star und WetReg sind statistische Schätzer.

Die Klimaprojektionen erlauben eine unterschiedliche regionale Auflösung. Hier wird mit Klimadaten aus dem kleinsten gemeinsamen Raster kalkuliert, das 100 km \* 100 km beträgt.

## 3 Einfluss des Klimas auf produktionstechnische Kennzahlen

Das Leistungsniveau, der Verlauf der Laktation, der Kalbetermin, die Altersstruktur der Herde etc. sind dem Klima unterworfen und lassen sich wie viele andere produktionstechnische Kennzahlen beeinflussen, um den Hitzestress zu mildern.

Die Kontinuität bei der Versorgung mit hochwertigem, vor allem energiereichem Grundfutter, bleibt eine Voraussetzung für hohe Leistungen und für die Erhaltung der Gesundheit. Sollten, wie von den Meteorologen befürchtet, längere Trocken- oder Regenperioden die Futtermittellieferung beeinträchtigen, gilt es angepasste Versorgungskonzepte zu entwickeln.

### 3.1 Erlös – Futterkostendifferenz und Kalbetermin

Zunächst wird die Bedeutung des sommerlichen Hitzestresses für die Leistung unter Berücksichtigung des Kalbetermins kalkuliert. Dabei werden die Temperaturen und Luftfeuchten des Jahres 2005 zu Grunde gelegt. Wäre 2005 kein Tag mit einem THI von über 70 Punkten aufgetreten, so hätte eine Kuh (3. Laktation, 675 kg Lebendgewicht, Holstein Frisian, ganzjährige Verfütterung von konserviertem Grundfutter) eine Jahresleistung von rd. 10.250 kg Milch erreicht.

<sup>4</sup> ECHAM5/MPI-OM bildet die Basis für die Modelle CLM, ReMo und WetReg, ECHAM4 für Star.

<sup>5</sup> Weitere Informationen finden sich im Internet unter (zitiert nach: Walkenhorst und Stock., 2009):

[www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/ueberblick/atmosphaere-im-erdsystem/regionale-klimamodellierung/remo-uba.html](http://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/ueberblick/atmosphaere-im-erdsystem/regionale-klimamodellierung/remo-uba.html)

[www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/clm.html](http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/clm.html)

[www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/star.html](http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/star.html)

[www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/Wetreg.html](http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/Wetreg.html)

Bei einem Kalbetermin im Zeitraum Mitte August bis Mitte September ergibt sich nur eine Differenz von 250 bis 350 kg Milch zur Maximalleistung (Abb. 5). Die Verluste sind in den beiden Folgemonaten nur geringfügig höher. Bei einem Laktationsbeginn im Januar beträgt die Tagesleistung in den „Hitzemonaten“ Juni, Juli und August noch rd. 30 kg, so dass ein hoher THI dann zu entsprechenden Depressionen führt. Begänne die Laktation im April, träfen Hochleistungsphase und hohe THI aufeinander, d. h. höchste physiologische Belastung und maximaler Hitzestress wären gleichzeitig zu verkraften und brächten jährliche Leistungsverluste von rd. 750 kg Milch.

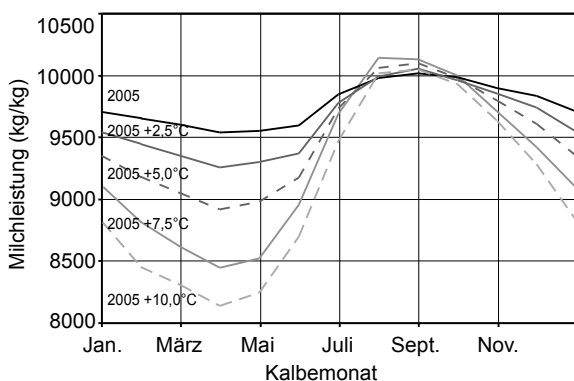


Abbildung 5:

Klimastress und maximal erzielbare Milchleistung in Abhängigkeit vom Kalbetermin, Standort Braunschweig 2005, Hitzestress nach West et al. (2003) und alternativ 2,5, 5,0, 7,5 und 10 °C höhere Tagestemperaturen

Abbildung 5 zeigt die Graphen für den tatsächlichen Temperaturverlauf des Jahres 2005 und für Szenarien, die eine um 2,5, 5,0, 7,5 und 10 °C höhere Tagestemperatur kalkulieren. Dabei werden folgende für das Produktionsverfahren relevante Sachverhalte deutlich:

- Ein Beginn der Laktation direkt nach der sommerlichen Hitzeperiode minimiert die Ausfälle. Es wird dabei angenommen, dass Trockensteher diese Phasen ohne Nachwirkung überstehen.
- Rechnerisch reduziert sich die Leistung um rd. 200 kg Milch je ein Grad Temperaturanstieg, wenn der Kalbetermin in den April, also auf den ungünstigsten Zeitpunkt, verlegt wird.

In Abbildung 6 sind die zugehörigen Erlöse aus Milch abzüglich der Futterkosten (EaM-FuKo) dargestellt. Die Graphen weisen einen ähnlichen Verlauf wie in Abbildung 5 auf. Allerdings erweist sich die Minderung als nahezu doppelt so groß, wenn das Minimum in von Hundert des Maximums ausgewiesen wird.

Im Folgenden wird vorrangig die Differenz von Erlös aus Milch minus Futterkosten ausgewiesen, weil die Abbil-

dungen 5 und 6 eine große Ähnlichkeit der Graphen aufweisen und der monetäre Erfolgsmaßstab die Minderung der Futteraufnahme einschließt.

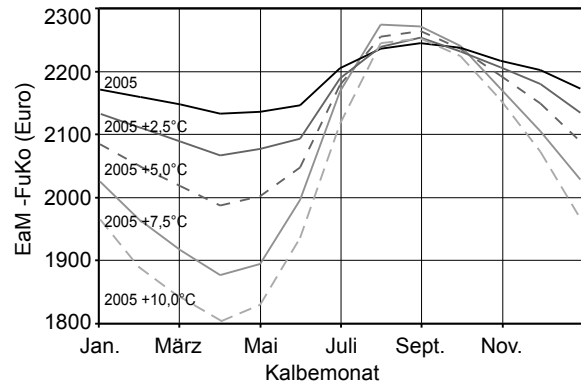


Abbildung 6:

Klimastress und EaM-FuKo in Abhängigkeit vom Kalbetermin, Standort Braunschweig 2005, Hitzestress nach West et al. (2003) und alternativ 2,5, 5,0, 7,5 und 10 °C höhere Tagestemperaturen

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen, dass sich ein großer Spielraum für eine Anpassung an steigende Temperaturen eröffnet. Allein durch die geschickte Wahl des Kalbetermins kann der Hitzestress für die Hochleistungskuh entscheidend gemindert, wenn nicht sogar vermieden werden, selbst wenn die sommerlichen Temperaturen drastisch höher ausfallen. Diese ersten Resultate sollen durch die Einbindung des physiologischen Modells von Paul (1990) verifiziert werden. Das Modell bilanziert die Wärmeproduktion und den Energiebedarf für Wärmetransport und -abgabe. Es berücksichtigt dabei Atemluft, Körperoberfläche und deren Beschaffenheit.

### 3.2 Erlös – Futterkostendifferenz und Alter

Abbildung 7 vergleicht Milchkühe in 1., 2. und 3. Laktation unter der o. g. Prämisse, die den Datenkranz des Jahres 2005 zu Grunde legt und alternativ die Klimadaten der Jahre 1961 bis 2009 für die Simulation nutzt. Wegen des Wachstums weisen die jüngeren Kühe geringere Leistungen und damit auch geringere EaM-FuKo auf. Der Unterschied zwischen den Alternativen ohne und mit Klimaeinfluss zeigt, dass die Erstkalbin die höchste Belastung durch Hitzestress ertragen muss. Die Kuh in 2. Laktation weist höhere Futteraufnahmen auf, benötigt nur noch wenig Energie und Nährstoffe für das noch ausstehende geringe Wachstum und erzielt deutlich günstigere Aufwands- und Ertragsrelationen trotz gleicher klimatischer Konstellationen. Ab der 3. Laktation liegen die Aufwands- und Ertragsrelationen im günstigsten Bereich.

Die Minderung der EaM-FuKo durch Hitzestress hat in den letzten 40 Jahren unwesentlich zugenommen (Abbil-

dung 7), fällt jedoch im Vergleich zu den Verlusten durch Krankheit, Unfruchtbarkeit etc. gering aus (Walter, 2004).

Bei der Bewertung der in Abbildung 7 dargestellten Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass der von West et al. (2003) entwickelte Ansatz zur Bestimmung der Verluste durch Hitzestress im Vergleich zum Ansatz von Mader et al. (1999) sehr hohe und gemessen am Konzept von Ravagnolo und Misztal (2000) geringe Verluste liefert.

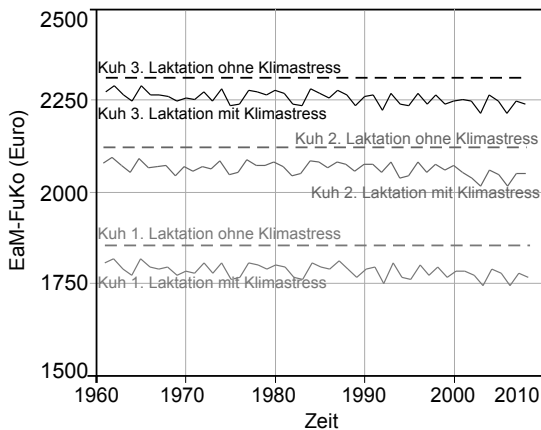


Abbildung 7:  
EaM-FuKo unter Berücksichtigung der Zahl der Kalbungen für den Standort Hannover, Kalbetermin Januar, nach West et al. (2003).

### 3.3 Erlös – Futterkostendifferenz und Dauer der Hitzeperioden

Für die Wettbewerbsfähigkeit der Milchproduktion wird das Klima immer wichtiger, denn es werden steigende Durchschnittstemperaturen, aber auch länger anhaltende Hitzeperioden, heftigere Unwetter etc. prognostiziert. Zur Beurteilung möglicher Standort- und Wettbewerbsvorteile steht die Frage an, ob sich länger gleich bleibende oder täglich wechselnde Temperaturen für die Milchproduktion als zuträglicher erweisen. Daher werden Klimadaten „konstruiert“, die bei gleichen monatlichen Mittelwerten 30, 15 und 7 Tage lang konstant und alternativ täglich wechselnde Temperaturen aufweisen, deren Schwankung 1 bzw. 5 °C betragen (Tabelle 5). Zu Grunde liegen die Klimadaten des Standortes Hannover und des Jahres 2005, die um 5 °C angehoben sind, weil die Originaldaten nur geringe Verluste durch Klimastress zur Folge hatten (siehe Abbildung 4).

In Abbildung 8 werden die Länge der Phasen mit hohen Temperaturen und die Veränderungen der Tageshöchsttemperaturen variiert, um die Bedeutung der von Experten vorhergesagten Hitzeperioden, den intensiveren Wetterwechseln etc. zu evaluieren. Gleichzeitig lassen sich einige der in Abbildung 9 erkennbaren Minderungen erklären, denn die aus den Prognosemodellen abgeleiteten

Temperaturen und Luftfeuchten spiegeln diese Wetterbedingungen wider.

Tabelle 5:  
Klimaszenarien

Szenario	Temperaturverlauf
A	30 Tage konstant
B	15 Tage konstant
C	7 Tage konstant
D	täglicher Wechsel <sup>1)</sup> -1 °C, ±0 °C, +1 °C, -1 °C, ±0 °C, +1 °C, -1 °C ...
E	täglicher Wechsel <sup>1)</sup> -5 °C, ±0 °C, +5 °C, -5 °C, ±0 °C, +5 °C, -5 °C ...
F	zweitägiger Wechsel <sup>1)</sup> -5 °C, -5 °C, ±0 °C, ±0 °C, +5 °C, +5 °C, -5 °C, -5 °C, ±0 °C, ±0 °C ...
G	ohne Klimaeinfluss

<sup>1)</sup> Abweichung vom Mittelwert

Abbildung 8 enthält die Ergebnisse der Simulationen für drei der 10 Ansätze zur Bestimmung der Auswirkungen von Hitzestress für die konstruierten Klimaszenarien (Tabelle 5). Beginnend mit einer angestrebten Milchleistung von 5.000 kg Milch je Jahr wird diese um jeweils 500 kg erhöht, bis der „body condition score“ (bcs) einen kritischen Bereich<sup>7</sup> um 0,5 erreicht hat. Die von allen Autoren im Konnex mit Hitzestress genannte Reduzierung der Leistung und der Futtermittelaufnahme tritt nicht isoliert auf, sondern geschieht in einem komplexen Beziehungsgefüge von physiologischen, produktionstechnischen und ökonomischen Parametern. Die verminderte Futtermittelaufnahme ist in die Abbauprozesse von Körpersubstanz eingebunden und erhöht die daraus entstehende Belastung der Milchkühe. Der Leistungsrückgang führt zu schlechteren wirtschaftlichen Ergebnissen. Daher werden in Abbildung 8 der bcs und die EaM-FuKo für unterschiedliche Leistungsvorgaben und Klimaszenarien dargestellt, wobei die von Youssef (1985), St-Pierre et al. (2003) und West et al. (2003) entwickelten Beziehungen zum Klima unterstellt werden.

Bei einer Anfangsleistung von 5.000 kg Milch kann die Kuh im HF-Typ weitgehend ohne Abbau von Körpersubstanz auskommen. Wegen der um 5 °C erhöhten Temperaturen ergeben sich bei allen Varianten ungünstigere Kennzahlen als beim Szenario „ohne Klimaeinfluss“. Mit steigender Leistungsvorgabe werden diese Differenzen zunehmend größer.

<sup>6</sup> Zur Bedeutung des bcs siehe Walter (2009)

<sup>7</sup> Dieser kritische Bereich stellt keine Fütterungs- oder Haltungsempfehlung für Betriebe dar, sondern dient ausschließlich der besseren Durchdringung dieses Komplexes.

West et al. (2003) mittelt die THI beider Vortage, daher sind bei schnell wechselnden im Vergleich zu den Varianten mit länger gleich bleibenden Temperaturen die dargestellten Unterschiede durchaus zu erwarten.

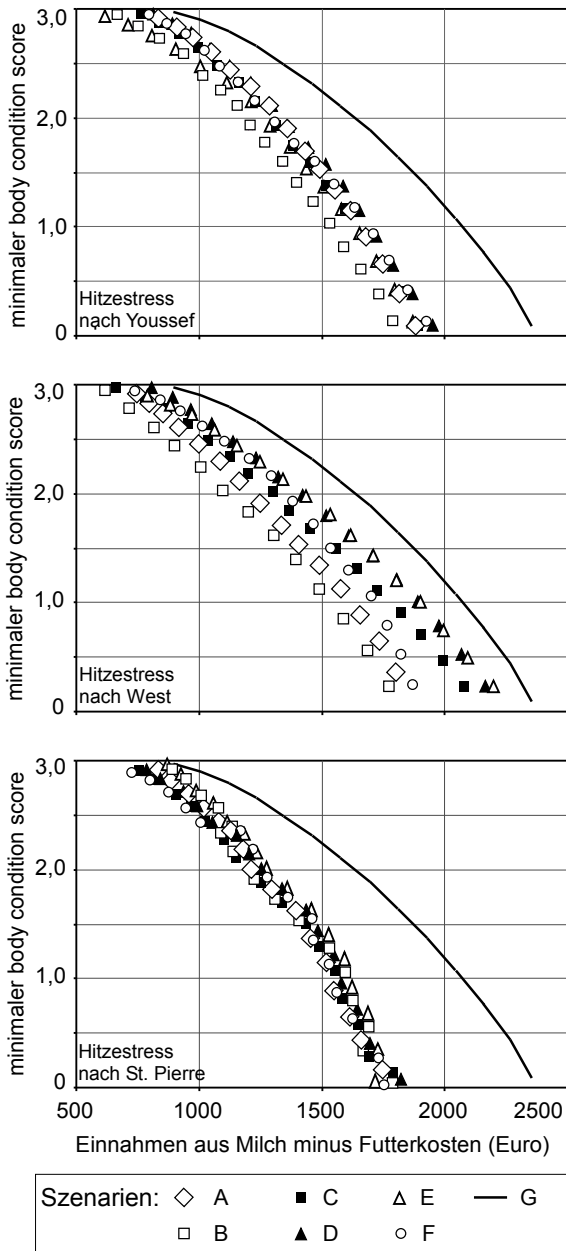


Abbildung 8: EaM-FuKo bei unterschiedlicher Dauer der Hitzeperioden, Kalbtermin Januar

Das von St-Pierre et al. (2003) vorgelegte Konzept zur Bewertung des Hitze stresses enthält eine exponentielle kumulative Komponente, die die letzten 30 Tage einbezieht und damit eine „echte“ Bewertung des vorangegangenen klimatischen Geschehens vornimmt. Deshalb entwickeln sich keine spürbaren Differenzen bei den Klimaszenarien,

gleichwohl führt der von St-Pierre et al. (2003) vorgelegte Ansatz zu den geringsten EaM-FuKo und damit zu den höchsten Belastungen durch Hitze stress.

Die Unterschiede bei den drei in Abbildung 8 dargestellten Ergebnissen zeigen sich auch bei den übrigen sieben Ansätzen zur Bewertung des Klimastresses, so dass unterschiedlichste Interpretationen möglich sind:

- keine der Klimavarianten kann als weniger belastend herausgestellt werden oder
- die bisher entwickelten Ansätze sind als unzureichend anzusehen.

### 3.4 Hitze stress und zusätzlicher Energiebedarf

Das NRC (2001, S. 21) geht von einem zusätzlichen Energiebedarf der Milchkühe von 7 bis 25 % des Erhaltungsbedarfes aus, entsprechend 0,7 bis 2,4 MCal bezogen auf eine Kuh mit 600 kg Lebendgewicht. Dieser Anstieg begleitet die Minderung der Milchleistung und auch die der Futteraufnahme.

Paul (1990) summiert die Wärmeproduktion der Organe, der Muskeln, der Verdauung, der Milchproduktion und bilanziert diese mit der Wärmeabgabe über Haut, Atemluft etc. unter Berücksichtigung der Umgebungstemperatur. Für den u. U. entstehenden Wärmeüberschuss bedarf es einer aktiven, d. h. Energie beanspruchenden Wärmeabgabe, die zwar auch in Beziehung zu Blut- und Lungenvolumina, Atemfrequenz etc. steht, aber ungleich stärker von der entstehenden Prozesswärme, also von der aufgenommenen Energiemenge, bestimmt wird.

Die Ergebnisse aus Modellrechnungen für Kühe mit steigenden Leistungen werden in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt. Zunächst wird der Hitze stress entsprechend den von Youssef (1985) und West et al. (2003) entwickelten Ansätzen kalkuliert und für jeden THI Punkt über den Schwellenwert von THI 70 der Erhaltungsbedarf um je einen Prozentpunkt angehoben<sup>8</sup>. Der Ansatz von Paul (1990) kalkuliert die aus der aufgenommenen Energiemenge entstehende Prozesswärme, daher wird die am Vortag verzehrte Energiemenge zu Grunde gelegt und für jeden THI Punkt oberhalb des Schwellenwertes 3 % abzuführende Energie kalkuliert, für deren Ableitung wiederum ein Zehntel der Energiemenge benötigt wird<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Das NRC (2001) nennt nur die Spanne von 7 bis 25 % des Erhaltungsbedarfes, ohne einen quantitativen Bezug zur Temperatur oder zu einem THI zu nennen. Der hier gewählte Zuschlag von 1 % je THI Punkt stellt eine „freie“ Interpretation der Vorgabe des NRC dar.

<sup>9</sup> Diese Vereinfachung ist aus dem sehr viel komplexeren Ansatz von Paul abgeleitet worden. Für die angestrebte Verknüpfung der beiden Simulationsmodelle reicht das Leistungsvermögen modernster PC bei weitem nicht aus. Erste Tests zeigen, dass 100 Tage nicht binnen Wochenfrist zu berechnen sind.

Abbildung 9 zeigt den zusätzlichen Energiebedarf bei steigenden Leistungen in MJ NEL. In der oberen Bildhälfte wird der Hitzestress nach dem Ansatz von Youssef (1985) kalkuliert. Der zusätzliche Energiebedarf nach NRC (2001) sinkt von 40 auf 25 MJ NEL<sup>10</sup> (das kommt dem Energiebedarf für 12 bzw. 8 kg Milch gleich). Wird der Energiebedarf dagegen entsprechend der anfallenden Prozesswärme bemessen (Paul, 1990), dann steigt der zusätzliche Energieaufwand für die Vermeidung zu hoher Körpertemperaturen mit der Leistung, hier von 80 auf 140 MJ NEL, vergleichbar einem Energiebedarf für 25 und 43 kg Milch. Diese Größenordnung wäre im Vergleich zu den übrigen Hemmnissen und Kostenstellen unbedeutend, würde die Bemessung des Hitzestresses nach West et al. (2003) kombiniert mit dem Ansatz von Paul (1990) (obere Hälfte von Abbildung 9) nicht deutlich höhere Energieansprüche offenbaren.

Dagegen fällt der Energieanspruch für die Wahrung der Körpertemperatur erheblich geringer aus, wenn er entsprechend den Angaben des NRC (2001) am Erhaltungsbedarf orientiert wird. Der Abfall des für die aktive Kühlung benötigten Energiebedarfes erklärt sich aus dem bei steigenden Leistungen höheren Anteil der aus Körpersubstanz erbrachten Leistung, was wiederum ein geringeres Gewicht und damit einen entsprechend niedrigeren Erhaltungsbedarf zur Folge hat. Ein mit steigenden Leistungen sinkender Energieanspruch zur Kühlung widerspricht den Erwartungen und führt zu dem von Paul (1990) entwickelten physiologischen Ansatz, der die Wärmeproduktion des Tieres berücksichtigt, die wiederum eng an die Leistung gebunden ist. Allerdings ergeben sich auch in diesem Ansatz Grenzen für die aktive Abgabe von Wärme, die von der Oberfläche, der Kapazität des Herz-Kreislaufsystems sowie von Größe und Gewicht des Tieres abhängen.

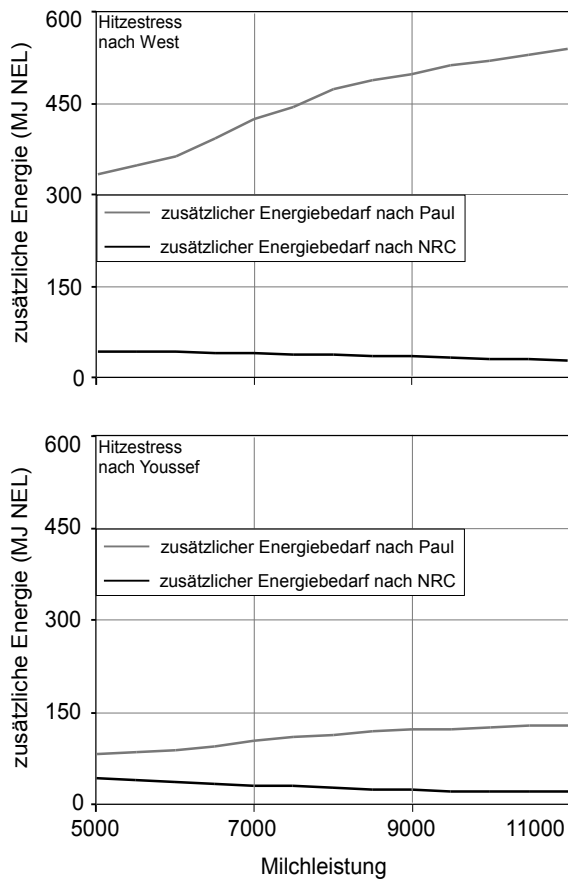


Abbildung 9: Zusätzlicher Energiebedarf bei Hitzestress nach NRC (2001) und Paul (1990), für den Standort Hannover, 2005, Kalbetermin Januar

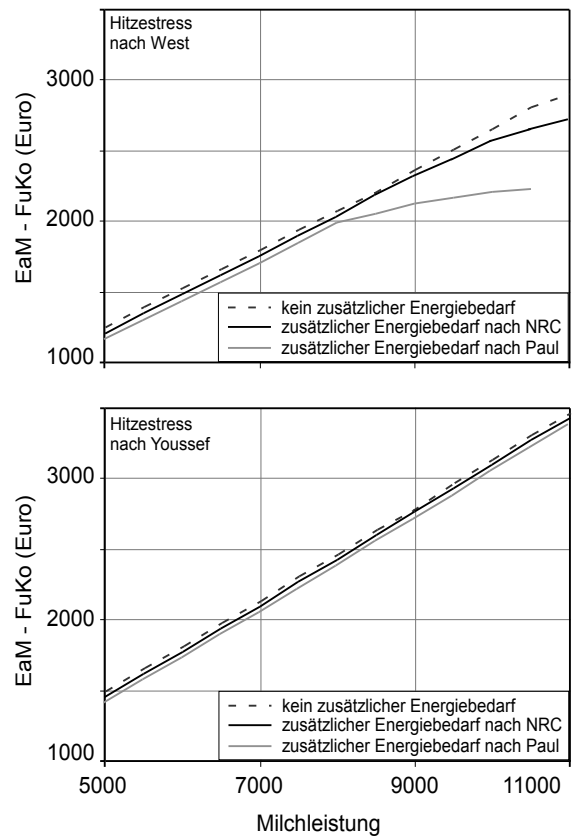


Abbildung 10: Erlös aus Milch minus Futterkosten unter Berücksichtigung des zusätzlichen Energiebedarfs nach NRC (2001) und Paul (1990), für den Standort Hannover, 2005, Kalbetermin Januar

Mittels Simulation lassen sich diese Sachverhalte quantitativ darstellen und für eine Vielzahl von Konstellationen analysieren, weiterführende Antworten sind jedoch an Experimente gebunden.

<sup>10</sup> NEL = Netto Energie Laktation (GfE, 2001)

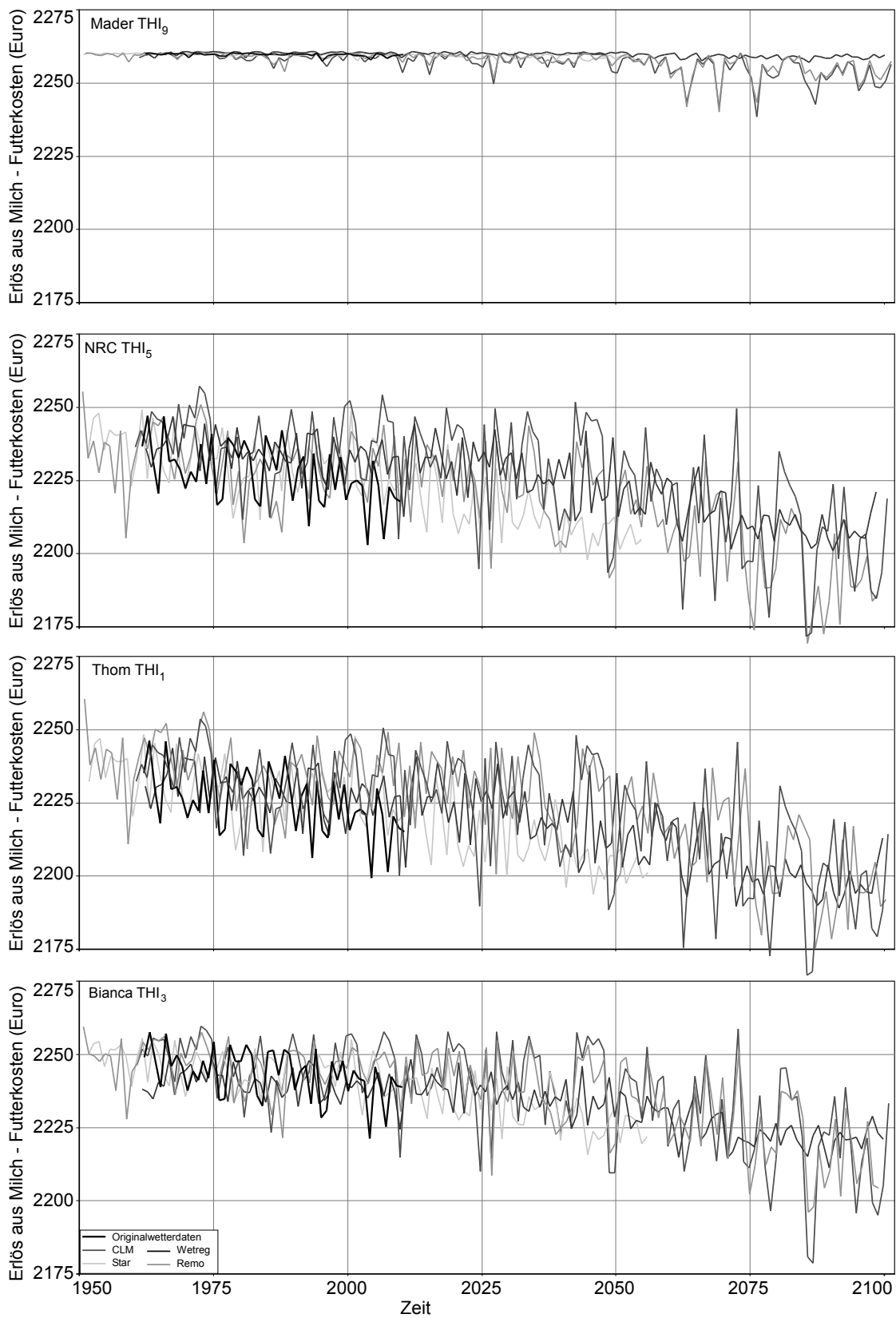


Abbildung 11a:

Langfristige Entwicklung der EaM-FuKo unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wetterprognosen und Ansätzen zur Bewertung von Hitzestress für eine Kuh in 3. Laktation, Standort Hannover

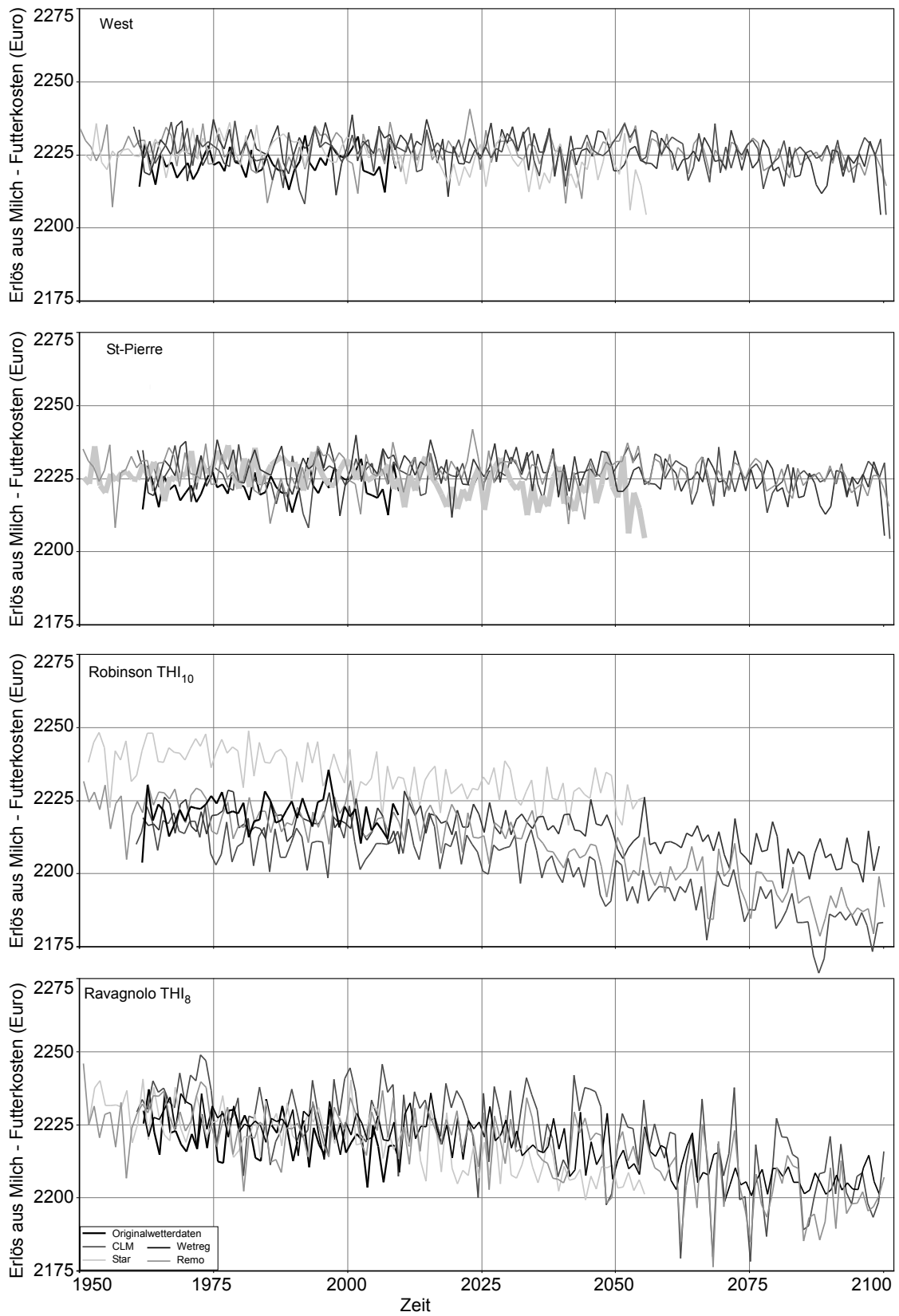


Abbildung 11b:

Langfristige Entwicklung der EaM-FuKo unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wetterprognosen und Ansätzen zur Bewertung von Hitzestress für eine Kuh in 3. Laktation, Standort Hannover

In Abbildung 10 wird die Bedeutung des zusätzlichen Energiebedarfs für die Ableitung der Wärme bei steigenden Leistungen anhand der Differenz aus Einnahmen für Milch und Futterkosten dargestellt. Wird der Hitzestress nach Youssef (1985) kalkuliert, ergeben sich für die zwei Alternativen „zusätzlicher Energiebedarf“ nach NRC (2001) bzw. nach Paul (1990) nahezu gleiche Graphen, die sich zudem kaum von der Variante „ohne zusätzlichen Energiebedarf“ unterscheiden. Wird der Hitzestress dagegen entsprechend dem von West et al. (2003) entwickelten Ansatz kalkuliert, errechnen sich für Leistungen über 9.000 kg Milch erste Einbußen, wenn nach den Grundsätzen des NRC (2001) vorgegangen wird. Wird der von Paul (1990) vorgelegte Ansatz adaptiert, ergeben sich bereits bei Leistungen ab 8.000 kg Milch spürbare Erfolgsdefizite. Weil die Energieversorgung der knappe Faktor ist und damit zum entscheidenden Engpass bei hohen Leistungen bzw. bei der Leistungssteigerung wird, führt ein zusätzlicher Energiebedarf bei Hitzestress neben der Minderung der Futtermittelaufnahme und Milchleistung zur weiteren Schmälerung des wirtschaftlichen Resultats. Bei zukünftigen Experimenten gewinnen energetische Bilanzen an Bedeutung.

#### 4 Konsequenzen des prognostizierten Klimawandels

In Abbildung 7 ist für den Zeitraum von 1960 bis 2010 bereits eine Zunahme der Belastung von Milchkühen durch Hitzestress zu erkennen, die auf einen allmählichen Temperaturanstieg zurückzuführen ist. Die Klimaforschung geht von einem weiteren Anstieg der Temperaturen aus und stützt diese These auf mehrere Klimaprojektionsmodelle.

##### 4.1 Erlös – Futterkostendifferenz und Klimaprojektionen

Die höchstmögliche Leistung und damit die maximalen EaM-FuKo werden stets auf der Basis der produktionstechnischen und ökonomischen Daten des Wirtschaftsjahres 2005 ermittelt, wobei nur das Klima für jedes Jahr im Zeitraum von 1960 bis 2100 eingesetzt wird. Da es mehrere Klimaprognosen gibt, wird diese Simulation mit jedem Datensatz wiederholt. Die in Kapitel 3 deutlich gewordenen Unterschiede bei der Bewertung von Hitzestress erfordern die Berücksichtigung der verschiedenen Ansätze aus Tabelle 1. Der  $THI_2$  von Bianca (1962) bleibt unbeachtet, da er nicht speziell für Milchvieh konzipiert wurde. Die Bewertungen durch das NRC (2001) fallen ähnlich aus, so dass nur der  $THI_4$  grafisch dargestellt wird.

In Abbildung 11 werden die zuvor ermittelten Unterschiede erneut deutlich. So führt der Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100 beim Ansatz von Mader et al. (1999) erst ab 2070 zu geringen Einbußen, wohingegen  $THI_1$  (Thom, 1959),  $THI_3$  (Bianca, 1962),  $THI_5$  (NRC, 2001),  $THI_{10}$

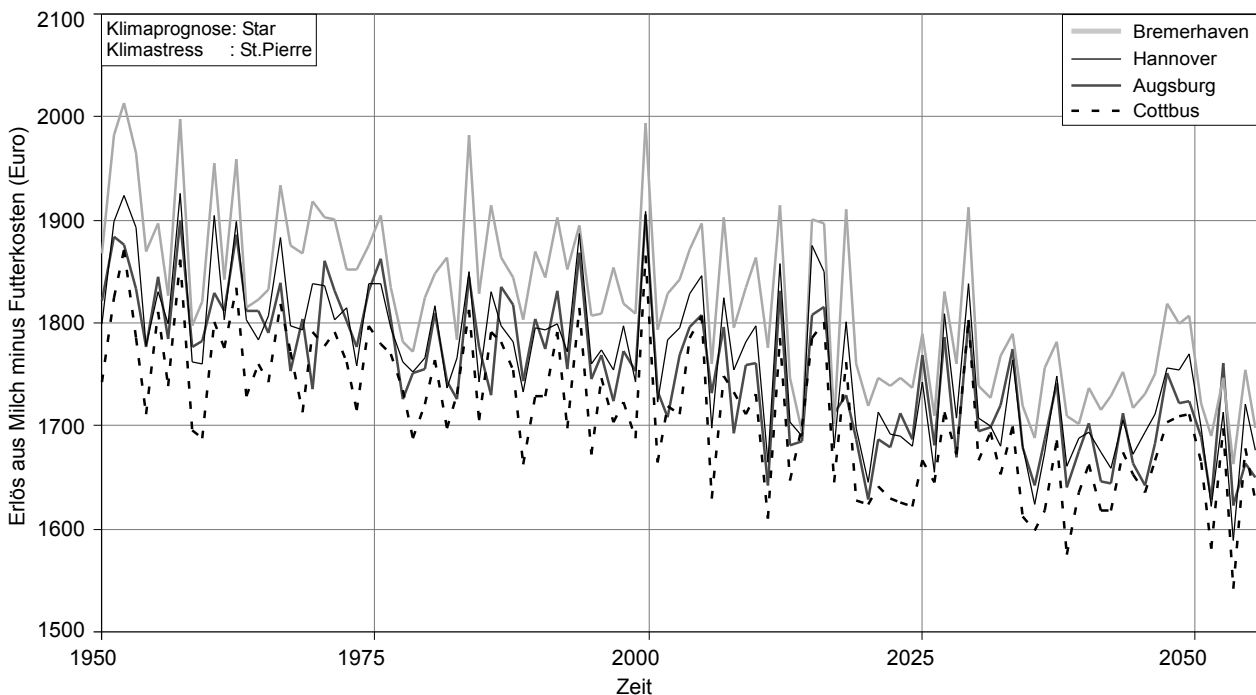


Abbildung 12:  
Langfristige Entwicklung von EaM-FuKo für unterschiedliche Standorte



(Robinson, 2006) und  $THI_g$  (Ravagnolo und Misztal, 2000) Minderungen von bis zu 100 Euro bei den EaM-FuKo<sup>11</sup> offenbaren.

Die Klimastresskonzepte von West et al. (2003) und St-Pierre et al. (2003), dargestellt in Tabellen 3 und 4, nehmen eine Mittelstellung ein, denn es errechnen sich moderate Rückgänge bei den Erfolgskriterien, wenn die verschiedenen Klimaprojektionen zu Grunde gelegt werden.

#### 4.2 Einfluss des Standorts

Abbildung 12 und Tabelle 6 zeigen die EaM-Fuko für die Standorte Augsburg, Bremerhaven, Cottbus und Hannover. Das vom Seeklima beeinflusste Bremerhaven weist die günstigsten klimatischen Bedingungen für die Milchproduktion auf, gefolgt von Hannover und Augsburg. Der Standort Cottbus muss nach diesen Berechnungen einen Standortnachteil von rd. 100 Euro im Vergleich zu Bremerhaven und rd. 50 Euro im Vergleich zu Hannover und Augsburg hinnehmen.

Tabelle 6:

Vergleich der EaM-FuKo für unterschiedliche Standorte (jeweils Mittelwerte von 25 Jahresperioden, siehe Abbildung 12)

Zeitraum	Augsburg	Bremerhaven	Cottbus	Hannover
	EaM-FuKo (Euro)			
1951 – 1976	1819	1891	1764	1830
1976 – 2000	1787	1855	1734	1792
2001 – 2025	1740	1818	1697	1762
2030 – 2055	1690	1744	1643	1697

## 5 Bewertung und Ausblick

Die Kalkulationen zeigen, dass die Einbußen durch Hitzestress in der Vergangenheit im Vergleich zu den Verlusten durch Verfall des Milchpreises, Kostenanstieg, Krankheiten etc. gering ausfielen. Das könnte sich ändern, wenn der in der Vergangenheit festgestellte Anstieg der Temperatur sich in der Zukunft fortsetzt und je nach Projektionsmodell weitere 2 bis 5 °C eventuell sogar 7 °C zunimmt.

Nicht nur die Unterschiede der projizierten Temperaturanstiege erschweren die Quantifizierung der zu erwartenden Verluste durch Hitzestress, sondern auch die deutlich von einander abweichenden Bewertungsansätze. Während die von Mader et al. (1999) vorgelegte Strategie erst bei den ungünstigsten Klimaprojektionen zu geringen

Verlusten führt, offenbaren die von Robinson (2006), Ravagnolo und Misztal (2000), West et al. (2003) und St-Pierre et al. (2003) veröffentlichten Beziehungen zwischen Klima und Leistung sowie Futteraufnahme schon jetzt erkennbar geringere EaM-FuKo. Die Verluste überschreiten die 10-Prozent-Marge bei allen Klimaprognosen und werden, falls sie zutreffen, zu einem ernst zu nehmenden Problem für die Effizienz der Milchproduktion.

Biometrische Ansätze (Paul, 1990; McGovern und Bruce, 2000) machen jedoch deutlich, dass nicht nur die Futteraufnahme und die Leistung sinken, sondern dass ein zusätzlicher Energiebedarf für die „aktive Kühlung“ erforderlich wird. Das NRC (2001) benennt 7 bis 25 % des Erhaltungsbedarfes als Richtwert, wohingegen Paul (1990) einen an der aufgenommenen Futtermenge orientierten Bedarf anführt, der bei hohen Leistungen und Temperaturen sogar ein Vielfaches davon betragen kann. Sollten sich die biometrischen Modelle als zutreffend erweisen, dann erwächst aus dem prognostizierten Temperaturanstieg ein zusätzliches Hindernis bei der Steigerung der Leistung und der Effizienz.

Die hier vorgelegte Analyse der Beziehung zwischen Milchproduktion und Klima ist um die Positionen Jungviehaufzucht und Futterproduktion zu ergänzen, um ganzheitlichen Ansprüchen zu genügen.

## Literatur

- Berman A (2005) Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J Animal Sci* 83:1377-1384
- Bianca W (1962) Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature* 195:251-252
- Bohmanova J, Misztal I, Cole JB (2007) Temperature-humidity indices as indicators of losses due to heat stress. *J Dairy Sci* 90:1947-1956
- Dikmen S, Hansen PJ (2009) Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in the subtropical environment? *J Dairy Sci* 92:105-116
- Deutscher Wetterdienst (1998) Aspirations-Psychrometer-Tafeln : deutsch, englisch, français, espanol. Braunschweig; Wiesbaden : Vieweg, 271 p
- Durbal V (2001) NRC dairy cattle program computations. In: Nutrition requirements of dairy cattle. Washington DC: National Academy Pr
- GfE (2001) Empfehlungen für die Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. Frankfurt a M: DLG Verl, 136 p, Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere
- Helmers M (2005) Optimierungsstrategien zur ökonomischen Bewertung von Grundfutter. Diplomarbeit, Fachhochschule Osnabrück
- Holter J B, West J W, McGilliard M L (1996) Predicting ad libitum dry matter intake and yields of Jersey cows. *J Dairy Sci* 79:912-921
- Hutjens MF (2007) Heat stress strategies [online]. Zu finden in <<http://www.livestocktrail.uiuc.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=9765>
- IPCC (2007) Climate Change : synthesis report [online] zu finden in <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4-syr.pdf>> [zitiert am 01.04.2009]
- Mader TL, Dahlquist JM, Hahn GL, Gaughan JB (1999) Shade and wind barrier effects on summertime feedlot cattle performance. *J Anim Sci* 77:2065-2072
- McGovern RE, Bruce JM (2000) A model of thermal balance for cattle in hot conditions. *J Agric Eng Res* 77:81-92
- NRC (1971) A guide to environmental research on animals. Washington, DC: National Academy Pr

<sup>11</sup> Hitzestress mindert die Effizienz der Milchproduktion durch Leistungsminde- rung, Rückgang der Futteraufnahme etc. (St-Pierre et al., 2003). Diese Effekte interagieren, so dass letztlich nur die EaM-FuKo als Resultierende anbietet.

- NRC (2001) Nutrition requirements of dairy cattle. Washington, DC : National Academy Pr
- Oltenacu PA, Rounsaville TR, Milligan RA, Hintz RL (1980) Relationship between days open and cumulative milk yield at various intervals from parturition for high and low producing cows. *J Dairy Sci* 63:1317–1327
- Paul W (1990) Physiologie der Milchkuh : eine mathematische Systemanalyse. FAL, 290p Landbauforsch Völkensrode SH 116
- Ravagnolo O, Misztal I (2000) Genetic components of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *J Dairy Sci* 83:2126-2130
- Robinson PH (2006) Excel Spreadsheets: PredDMI.xls, NRGREQ.xls [online]. Zu finden in <<http://animalscience.ucdavis.edu/faculty/robinson/Excel/default.htm>> [zitiert am 09.02.2010]
- St-Pierre NR, Cobanov B, Schnitkey G (2003) Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J Dairy Sci* 86:(E. Suppl.):E52-E77
- Thom EC (1959) The discomfort index. *Weatherwise* 12:57-59
- Walkenhorst O, Stock M (2009) Regionale Klimaszenarien für Deutschland : eine Leseanleitung [online]. Zu finden in <<http://d-nb.info/995244707/34>> [zitiert am 09.02.2010]
- Walter K (2004) Analyse der Beziehung zwischen den Kosten für Tierarzt und Medikamente in der Milchviehhaltung und der Produktionstechnik, dem Futterbau, der Arbeitswirtschaft sowie der Faktorausstattung ausgewählter norddeutscher Betriebe. Braunschweig : FAL, 180 p, Landbauforsch Völkensrode SH 270
- Walter K (2008) Das Simulationsprogramm „Milchproduktion der Zukunft“ – methodischer Ansatz und Realisierung: Version 1.2. Braunschweig : FAL, 95 p, Ber Inst Agrartechnol Biosystemtechnik 398
- West JW, Mullinix BG, Berhard JK (2003) Effect of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 86:232-242
- West JW (2003b) Effects of heat stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci* 86:2131-2144
- Youssef MK (1985) Stress physiology in livestock. Boca Raton : CRC Press