



## **Endbericht**

Untersuchung und Bewertung  
baulicher und technischer Maßnahmen  
zur Reduzierung des Hitzestresses  
bei Milchkühen

A/13/11

Projektlaufzeit: 01.07.2013 – 31.03.2016

Projektkoordination: Jan Harms  
Tel.: 089 / 99141-320  
E-Mail: Jan.Harms@lfl.bayern.de

Leitung Haltung: Bernhard Haidn  
Tel.: 089 / 99141-330  
E-Mail: Bernhard.Haidn@lfl.bayern.de

Jan Harms  
Tel.: 089 / 99141-370  
E-Mail: Jan.Harms@lfl.bayern.de

Projektbearbeiter: Stephanie Geischer  
Tel.: 089 / 99141-394  
E-Mail: Stephanie.Geischer@lfl.bayern.de

Johannes Zahner  
Tel.: 089 / 99141-373  
E-Mail: Johannes.Zahner@lfl.bayern.de

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Zielstellung</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Stand des Wissens</b> .....	<b>11</b>
3.1 Tierphysiologie.....	11
3.1.1 Wärmeregulation Rind .....	11
3.1.2 Definition Hitzestress .....	14
3.1.3 Erfassung und Darstellung von Hitzestress .....	15
3.1.4 Folgen von Hitzestress .....	17
3.1.5 Maßnahmen zur Minderung von Hitzestress .....	19
3.2 Technik.....	21
3.2.1 Ventilatoren zur Lüftung .....	22
3.2.2 Ventilatoren zur Kühlung.....	22
3.2.3 Kühlung durch Verdunstungskälte.....	23
<b>4 Hitzestressentwicklung in Bayern</b> .....	<b>30</b>
4.1 Material und Methode .....	30
4.2 Ergebnisse .....	31
<b>5 Tierphysiologie</b> .....	<b>36</b>
5.1 Versuchsaufbau .....	37
5.2 Parameter zur Ermittlung der Hitzestressbelastung .....	37
5.2.1 Physiologische Parameter .....	37
5.2.2 Leistungsparameter .....	38
5.2.3 Verhaltensparameter.....	39
5.2.4 Versuchstechnik .....	40
5.2.5 Datenerfassung und Auswertung .....	41
5.3 Ergebnisse .....	41
5.3.1 Evaluierung des Pedometersystems .....	41
5.3.2 Klimawerte .....	43

5.3.3	Tierparameter .....	47
5.4	Diskussion und Schlussfolgerungen .....	52
<b>6</b>	<b>Technik .....</b>	<b>54</b>
6.1	Ventilatorentest .....	54
6.1.1	Versuchsaufbau .....	55
6.1.2	Ergebnisse .....	56
6.1.3	Praktische Einbauempfehlungen zum Einbau von Ventilatoren.....	56
6.2	Praxiserhebung.....	57
6.2.1	Zielstellung möglicher Gegenmaßnahmen zur Reduzierung von Hitze stress .....	58
6.3	Erprobung auf Versuchs- und/oder Pilotbetrieben.....	58
6.3.1	Milchviehstall Grub (LfL, Landkreis Ebersberg) .....	58
6.3.2	Betrieb 1 .....	60
6.3.3	Betrieb 2 .....	61
6.4	Beregnungsanlage .....	62
6.4.1	Material und Methode .....	62
6.4.2	Einsatzzeitraum in Bayern .....	62
6.4.3	Ergebnisse Marktanalyse.....	64
6.4.4	Umsetzung in die Praxis.....	69
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>72</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>78</b>

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Kenndaten der Wärmeproduktion und Wasserdampfabgabe bei Hochleistungskühen (DLG MERKBLATT 336, 2005) .....	11
Abb. 2: Möglichkeiten des Wärmeaustausches mit der Umgebung (KRAMER et al., 1998).....	12
Abb. 3: THI-Temperatur-Feuchtigkeits-Index „alt“ nach THOM (1959) .....	15
Abb. 4: THI-Temperatur-Feuchtigkeits-Index „neu“, berechnet nach THOM (1959), modifiziert nach BURGOS-ZIMBELMAN (2008).....	16
Abb. 5: THI-Entwicklung bei dynamischer relativer Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur.....	17
Abb. 6: Senkung der gefühlten Temperatur durch bewegte Luft (BARNWELL, 2002).....	23
Abb. 7: h-x-Diagramm nach Mollier.....	25
Abb. 8: Komponenten einer Berechnungsanlage.....	27
Abb. 9: Übersicht der Wetterstationen .....	30
Abb. 10: Durchschnittliche Anzahl an Stunden in Bayern mit Hitzestress im Außenbereich .....	32
Abb. 11: Entwicklung des Zeitraums [h/a] unter Hitzestressbedingung seit 1989 unter Berücksichtigung der Temperaturveränderung durch das Stallgebäude .....	34
Abb. 12: Durchschnittliche Anzahl an Stunden mit Hitzestress im Stall an den untersuchten Standorten .....	35
Abb. 13: Stunden mit Hitzestress der Wetterstation 16 .....	36
Abb. 14: Stunden mit Hitzestress der Wetterstation 80 .....	36
Abb. 15: Stunden mit Hitzestress der Wetterstation 85 .....	36
Abb. 16: Versuchstier mit Polar Herzfrequenzmessgerät .....	38
Abb. 17: Pedometer am Vorderbein einer Kuh im AMS-Stall .....	39
Abb. 18: Anordnung der Strömungsmesssensoren in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub.....	40
Abb. 19: Anordnung der Videokameras (rot) und deren Erfassungsfeld (blau) in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub.....	41
Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der tatsächlichen (schwarz) und relativen (grau) Abweichung der Liegezeit von Pedometer und Videobeobachtung für 361 einzelne Liegephasen .....	42
Abb. 21: Boxplot der Lufttemperatur im AMS-Stall Grub während der drei Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15).....	44
Abb. 22: Boxplot der relativen Luftfeuchte im AMS-Stall Grub während der drei Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15).....	45
Abb. 23: Boxplot des THI im AMS-Stall Grub während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, Hso = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, Hsm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15).....	46

---

Abb. 24: Verlauf des THI im Milchviehstall Grub (grün) und dem Außenbereich (blau) während der thermoneutralen Versuchsphase (TN) und der Hitzestressperiode ohne Ventilatoren (HS_ohne) 2014 .....	47
Abb. 25: Boxplot der Atemfrequenz der 24 Versuchskühe während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15). Der rot markierte Bereich zeigt die Spannweite der physiologischen Atemfrequenz. ....	48
Abb. 26: Atemfrequenz von Kuh 625 während der thermoneutralen Phase (TN, blau) und der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz (HS_ohne, grün) 2014.....	48
Abb. 27: Boxplot der Körpertemperatur der 24 Versuchskühe während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15). Die rote Linie entspricht der Obergrenze der physiologischen Körpertemperatur.....	49
Abb. 28: Boxplot der Herzfrequenz der 24 Versuchskühe während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15). Der rot markierte Bereich entspricht der physiologischen Herzfrequenz.....	50
Abb. 29: Boxplot der täglichen Grundfutteraufnahme [kg FM] der 24 Versuchskühe während der drei Versuchsphasen 2014 (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren).....	51
Abb. 30: Boxplot der täglichen Milchleistung der 24 Versuchskühe während der drei Versuchsphasen 2014 (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren).....	51
Abb. 31: Tägliche Liegedauer der 24 Versuchskühe während der drei Versuchsphasen 2014 (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren).....	52
Abb. 32: Versuchsstand für Ventilatorentests .....	56
Abb. 33: Einbauempfehlung für Ventilatoren in Längsrichtung.....	57
Abb. 34: Anordnung und Strömungsrichtung der Ventilatoren in der AMS-Gruppe des Milchviehstalls in Grub.....	59
Abb. 35: Variante 1: Anordnung der Ventilatoren in Querrichtung am Betrieb 1.....	60
Abb. 36: Variante 2: Anordnung der Ventilatoren in Längsrichtung .....	60
Abb. 37: Anordnung der Ventilatoren in Längsrichtung, Betrieb 2.....	61
Abb. 38: Eingebauter Ventilator mit Selbstbaulösung der Aufhängung am Betrieb 2 .....	62
Abb. 39: Sinnvoller Einsatzzeitraum einer Beregnungsanlage seit 1989 .....	63
Abb. 40: Sinnvoller Einsatz einer Beregnungsanlage unter Berücksichtigung der Temperaturveränderung durch das Stallgebäude .....	63
Abb. 41: Laufzeit Kuhdusche [h], Wetterstation Steinbeßen (16).....	64
Abb. 42: Laufzeit Kuhdusche [h], Wetterstation Rothenfeld (80).....	64
Abb. 43: Einschalttemperatur der Beregnungsanlagen in den untersuchten Betrieben (n=10) .....	65

---

Abb. 44: Ausstattung der Berechnungsanlagen (n=14) .....	66
Abb. 45: Anbringung der Berechnungsanlagen im Stall .....	67
Abb. 46: Investitionsbedarf der Anlage .....	68
Abb. 47: Kuhdusche im Cuccettenbereich des Milchviehstalls in Grub.....	70
Abb. 48: Prototyp der Steuerung der Kuhdusche.....	71

---

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Einflussgrößen auf den Wärmetransport zwischen Tier und Umwelt (BLUM, 2003).....	14
Tab. 2: Anzahl der Stunden mit Hitzestress im Außenbereich.....	32
Tab. 3: Anzahl der Stunden in Bayern mit Hitzestress im Stall.....	34
Tab. 4: Durchschnitt, Minimum und Maximum der erfassten Klimaparameter während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15). .....	78
Tab. 5: Durchschnitt, Minimum und Maximum der erfassten physiologischen Parameter während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15). .....	79
Tab. 6: Durchschnitt, Minimum und Maximum der erfassten Leistungsparameter während der Versuchsphasen 2014(TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren).....	80



## Abkürzungsverzeichnis

AF	Atemfrequenz
AMS	Automatisches Melksystem
BCS	Body condition score
bzw.	beziehungsweise
bpm	beats per minute (Herzschläge pro Minute)
cm	Zentimeter
d	Tag
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
EKM	Eiweiß korrigierte Milch
€	Euro
evtl.	eventuell
FM	Frischmasse
H	Stunde
HF	Herzfrequenz
HS	Hitzestress
HS_ohne / HSo	Hitzestresssituation ohne Ventilatoreinsatz
HS_mit / HSm	Hitzestresssituation mit Ventilatoreinsatz
i. d. R.	in der Regel
K	Kelvin
kg	Kilogramm
l	Liter
LfL	Landesanstalt für Landwirtschaft
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde
min	Minute
MJ	Mega-Joule
MPR	Milch-Prüfring Bayern
PC	Personal Computer
RH	relative Luftfeuchte
s	Sekunde
Std.	Stunde
T	Temperatur
THI	Temperature-Humidity-Index
TN	Thermoneutrale Phase
W/m <sup>2</sup>	Watt pro Quadratmeter
z. B.	zum Beispiel
°C	Grad Celsius

## 1 Einleitung

Während der Sommermonate sind in den letzten Jahren immer öfter Extremsituationen mit Temperaturen über 30 °C auch in unseren Breitengraden zu beobachten (KLIMABERICHT BAYERN, 2012). Diese Folgen der Klimaerwärmung werden in den kommenden Jahren noch häufiger anzutreffen sein, da Experten für Deutschland bis zum Jahr 2055 einen weiteren Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur um bis zu 2,4 K erwarten (WERNER und GERSTENGARBE, 2007). Diese Ereignisse bedeuten nicht nur für uns Menschen eine zusätzliche Belastung, sondern auch für die wärmesensiblen Rinder.

Sinkende Futteraufnahme, sinkende Milchleistung, geringere Fruchtbarkeit sowie erhöhte Krankheitsanfälligkeit, insbesondere für Mastitiden, sind nur einige Anzeichen, die Landwirte bei ihren Milchkühen während der heißen Sommermonate beobachten können (DLG MERKBLATT 336, 2005).

Sind die Tiere in ihrem Wohlbefinden durch die hohen Temperaturen beeinträchtigt, kann dies den Landwirt wirtschaftlich bis zu 400 € pro Kuh und Jahr kosten (DUSSERT und PIRON, 2012).

Vor allem aufgrund fehlender Milchleistung und niedriger Fruchtbarkeit während der Sommermonate rückte das Problem des Hitzestresses bei Milchkühen in den letzten Jahren immer deutlicher in den Fokus der Landwirte. Oftmals fehlt ihnen jedoch das Wissen über die Ursache der Entstehung des Hitzestresses sowie über geeignete Maßnahmen und deren Anwendung, um den Hitzestress der Tiere zu vermindern.

## 2 Zielstellung

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, das Auftreten von Hitzestress bei Milchkühen unter bayerischen Klimabedingungen zu untersuchen, sowie geeignete Gegenmaßnahmen in Form baulicher und technischer Lösungen zu finden und diese zu evaluieren.

Dabei sollen auf baulicher Seite vor allem die Ausrichtung der Ställe bei Neubauten sowie die Verwendung verschiedener Dachaufbauten genauer beleuchtet werden. Auf technischer Seite steht vor allem der Einsatz von Ventilatoren zur Kühlung der Tiere im Vordergrund, da diese sowohl bei Neubauten auch als in Bestandsgebäuden eingesetzt und zu einer Linderung der Hitzebelastung führen können.

Auf der Seite des „Tieres“ sollen die Auswirkungen von Hitze auf Kühe näher beleuchtet werden. Hierzu werden die physiologischen, die leistungsphysiologischen und die ethologischen Parameter während der für die Tiere thermoneutralen Bedingungen und unter Hitzestressbedingungen untersucht. Zudem wird die Hitzestressversuchsphase aufgegliedert in zwei Teile, einmal mit Ventilatoreinsatz und eine Phase ohne Ventilatoreinsatz, um eine mögliche positive Wirkung durch den Einsatz von Ventilatoren zur Minderung der Hitzestressbelastung darstellen zu können.

Die im Projekt enthaltenen Ergebnisse sollen dazu dienen, Landwirte sowie auch die Berater vor Ort auf die bestehende Hitzestresssituation in Bayern aufmerksam zu machen und sie für dieses Thema zu sensibilisieren. Des Weiteren sollen den Landwirten praktische Wege aufgezeigt werden, die ihnen helfen sollen, die für sie individuell richtige Lösungsmöglichkeit des Hitzestressproblems zu finden und umzusetzen.

Dazu werden Beratungsunterlagen erstellt, Workshops/Infotage und Vorführungen zur Demonstration organisiert, die den landwirtschaftlichen Beratern helfen sollen, den Landwirt bei der Umsetzung der Maßnahmen zu unterstützen.

### 3 Stand des Wissens

#### 3.1 Tierphysiologie

##### 3.1.1 Wärmeregulation Rind

Milchkühe produzieren aufgrund ihrer hohen Milchleistung und der damit verbundenen hohen Stoffwechsellistung viel Körperwärme. Die Wärmeproduktion einer Hochleistungskuh mit einer Jahresleistung von 10.000 kg Milch beträgt bei 20 °C Umgebungstemperatur etwa 1.730 W, wovon 1.120 W als sensible Wärme abgegeben werden können. Steigt die Umgebungstemperatur auf 30 °C an, sinkt die Wärmeproduktion geringfügig auf 1.650 W, jedoch können nur noch 540 W in Form von sensibler Wärme abgegeben werden (Abb. 1).

Umgebungstemperatur in °C	Gesamtwärme- produktion in Watt	Wärmeabgabe (sens. Wärme) in Watt	Wasserdampfproduktion (latente Wärme) in g/h
-10	ca. 3500	ca. 2800	ca. 1054
0	ca. 2200	ca. 1800	ca. 650
10	1800	1400	600
20	1730	1120	880
30	1650	540	1640
35	1490	60	2100

Berechnung nach DIN 18910 für Kühe mit 10.000 kg Milchleistung pro Jahr

DLG-Merkblatt 336

Abb. 1: *Kenndaten der Wärmeproduktion und Wasserdampfabgabe bei Hochleistungskühen (DLG MERKBLATT 336, 2005)*

Diese erzeugte Körperwärme muss bei Bedarf über den Weg der sensiblen (trockenen) oder evaporativen bzw. latenten (feuchten) Wärmeabgabe an die Umgebung abgegeben werden (Abb. 2).

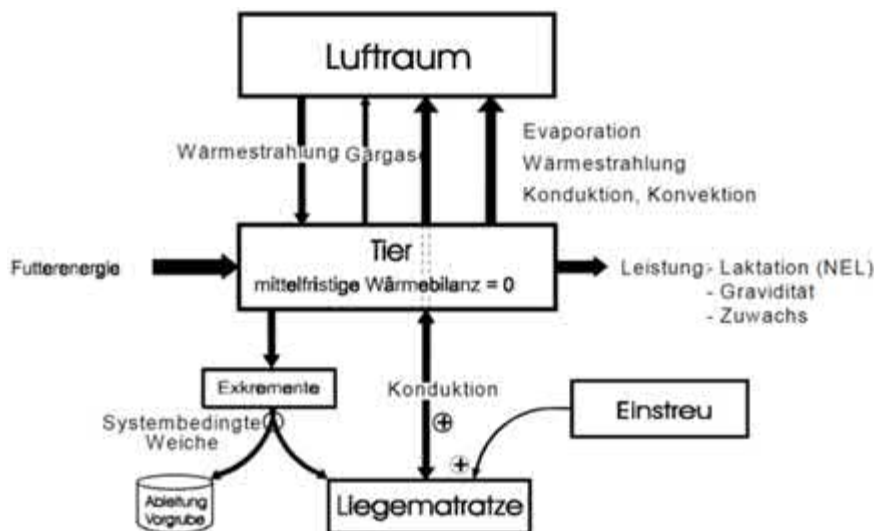


Abb. 2: Möglichkeiten des Wärmeaustausches mit der Umgebung (KRAMER et al., 1998)

Die trockene oder sensible Wärmeabgabe umfasst die Konduktion, die Konvektion und die Radiation. Bei der Konduktion oder Leitung kommt es zu einer direkten Energieübertragung aus wärmeren in kältere Schichten, also beispielsweise vom Tier an einen kühleren Untergrund (BLUM, 2003; JESSEN, 2005). Der Wärmeaustausch durch Konvektion (Strömung) erfolgt durch Übernahme der abgegebenen Wärme durch ein Medium wie Luft oder Wasser, das diese Wärme abtransportiert. Diese Form der Wärmeabgabe ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen dem Medium und der Körperoberfläche und kann beispielsweise durch Erhöhung der Luftgeschwindigkeit ( $> 0,2$  m/s) unterstützt werden (NICHELMANN, 1971; BLUM, 2003; JESSEN, 2005). Bei der Radiation oder Strahlung erfolgt die Wärmeabgabe über langwellige Infrarotstrahlen ( $5-20 \mu$ ) (LYHS, 1971; Blum, 2003; JESSEN, 2005). Dabei steht in geschlossenen Räumen der langwelligen Wärmeabstrahlung von der Oberfläche eines Tieres eine Wärmeeinstrahlung gegenüber, die von Strahlungstemperatur der Wände, Decken und ihrer Emissionszahl sowie von der Größe der beteiligten Flächen, die für den Wärmeaustausch zwischen Tier und Raum wichtig sind, abhängig ist (LYHS, 1971; JESSEN, 2005). Diese Wärmeeinstrahlung lässt sich wie folgt berechnen:

$$R = EF * SK * (TO^4 * TW^4)$$

Dabei ist:

R = Wärmeabgabe durch Strahlung,

EF = Emissionsfaktor aus Emissionszahl und Fläche von Raum und Tier,

SK = Strahlungskonstante,

$TO^4$  = Oberflächentemperatur des Tieres hoch

$TW^4$  = Wandtemperatur

Für geschlossene Räume ergibt sich dabei, aufgrund der Stefan-Boltzmann-Konstanten, eine Wärmeabgabe von etwa 5 W je  $m^2$  Körperoberfläche, bei einer Temperaturdifferenz von 1 K zwischen Fell und umgebenden Wandflächen oder in die Gegenrichtung (JESSEN, 2000). Mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz lässt sich der von einem Körper abgestrahlte Wärmestrom wie folgt berechnen:

$$\dot{Q} = \frac{\partial Q}{\partial t} = \varepsilon \sigma A T^4$$

Wobei:

$Q$  = Wärmestrom bzw. Wärmeleistung

$\varepsilon$  = Emissionsgrad: Die Werte liegen zwischen 0 (perfekter Spiegel) und 1 (idealer Schwarzer Körper)

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4} \quad (\text{Stefan-Boltzmann-Konstante})$$

$A$  = Oberfläche des abstrahlenden Körpers

$T$  = Temperatur des abstrahlenden Körpers [Kelvin]

Demnach muss  $\varepsilon$  der abstrahlenden Flächen bekannt sein, um den Wärmestrom bzw. die Strahlungsleistung bei bestimmten Temperaturen zu bestimmen.

Für unterschiedliche Materialien ist  $\varepsilon$  unter folgenden Internetadressen angegeben:

<http://www.imn.htwk-leipzig.de/~ebersb/bauphysik/lehrblatt/lehrblatt2.pdf>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Emissionsgrad>

Die Differenz zwischen emittierter und absorbierter Wärmestrahlung ergibt sich aus:

$$P_{\text{netto}} = P_{\text{emittiert}} - P_{\text{absorbiert}}$$

Sie ist aufgrund des Stefan-Boltzmann-Gesetzes proportional zur Fläche des zu betrachtenden Körpers (z. B. Kuh), dem Emissionsgrad der äußeren Strahlungsquelle (z. B. Dach) sowie dem Temperaturunterschied beider:

$$P_{\text{netto}} = A\sigma\varepsilon(T^4 - T_0^4)$$

Damit lässt sich eine Bilanzierung der Wärmeeinstrahlung auf die Kuh unter definierten Verhältnissen vornehmen.

Unter Praxisbedingungen sind meist mehrere äußere Strahlungsquellen zu betrachten. Ferner müssen für die Temperaturunterschiede Annahmen gemacht werden, so dass sich erhebliche Abweichungen der Berechnung von den tatsächlichen Werten ergeben können. Deshalb sollte die modellmäßige Berechnung immer durch praktische Messungen überprüft werden.

Im Freien hingegen kann der Wärmeabgabe über langwellige Infrarotstrahlen eine erhebliche Wärmefangnahme über kurzwellige (0,3–3  $\mu$ ) solare Strahlung gegenüberstehen, obwohl diese nur teilweise absorbiert wird, beispielsweise wegen der Reflexion bei weißem Fell (JESSEN, 2000; BLUM, 2003; JESSEN, 2005).

Ab ca. 20°C kann der Temperaturgradient zwischen Haut und Umgebung nicht mehr erhöht werden, was die Grenze der trockenen Wärmeabgabe darstellt und hin zu feuchter Wärmeabgabe führt (NIELMANN, 1971). Die „feuchte“ Wärmeabgabe oder Evaporation geschieht durch unmerkliches Verdunsten (Perspiratio insensibilis) von Wasser über Haut, Schleimhaut und Lungenbläschen, das auf einem rein physikalischen Vorgang beruht, der unabhängig von der Umgebungstemperatur ist und vom Tier nicht modifiziert werden kann. Ein weiterer Weg ist die Verdunstung von Feuchtigkeit auf der Haut (Schwitzen, ca. 60 % beim Rind, Schweißdrüsen nur auf behaarter Haut) beziehungsweise über die Atemwege (forcierte Atmung, Hecheln, ca. 40 % beim Rind) (NIELMANN, 1971; JESSEN, 2000; BLUM, 2003; JESSEN, 2005). Ein Rind besitzt im Durchschnitt 760 Schweißdrüsen pro cm<sup>2</sup> Hautoberfläche. Dabei handelt es sich ausschließlich um apokrine Drüsen (NIELMANN, 1971). Die Schweißdrüsen sind vermehrt im Bereich des Schulterblattes zu finden. Distal des Karpal- und Tarsalgelenkes sowie am Schwanz sind keine Schweißdrüsen vorhanden (NIELMANN, 1971). Die Menge des sezernierten Schweißes steigt mit zunehmendem Alter,

jedoch haben die Schweißdrüsen im Allgemeinen, verglichen mit anderen Tierarten wie Pferden, eine eher geringe Leistung, da sie schlecht mit Blut versorgt werden.

Die Verdunstungskühlung ist relativ unabhängig von der Lufttemperatur, jedoch muss hier der Wasserdampf-Partialdruck auf der Haut bzw. der Schleimhaut höher sein als in der umgebenden Luft (JESSEN, 2000; JESSEN, 2005). Dabei kann die Verdunstungsrate enorm von der Windgeschwindigkeit beeinflusst werden (LYHS, 1971). Bei der Evaporation über die Atemluft kommt es durch das Hecheln zu einer Erhöhung der Ventilation des Totraumes, wobei die alveoläre Ventilation und somit der CO<sub>2</sub>-Partialdruck konstant bleiben (BLUM, 2003; JESSEN, 2005). Steigt jedoch die alveoläre Ventilation durch vermehrtes Hecheln bei schwerer Wärmebelastung, kann in der Folge eine respiratorische Alkalose (Störung des Säure-Basen-Haushaltes mit einem Anstieg des pH-Wertes im Blut über 7,45) auftreten, die das Tier zusätzlich belastet (JESSEN, 2000). Auch der Energieaufwand erhöht sich bei schnellem Atmen um etwa 7 %, während er bei starkem Hecheln, also einer sehr schnellen Atmung mit offenem Maul, bis 25 % über dem Erhaltungsbedarf liegt (BLUM, 2003).

Tab. 1 zeigt die Einflussgrößen, die sowohl auf Seiten des Tieres als auch von der Umgebung auf den Wärmetransport wirken.

Art der Wärmeabgabe	Tier	Umgebung
<b>Radiation</b> (Strahlung)	Mittlere Strahlungstemperatur der Oberfläche; Reflexion; Emission	Mittlere Strahlungstemperatur; Sonnenstrahlung; Reflexion
<b>Konvektion</b> (Strömung)	Oberflächentemperatur; Fläche für Konvektion; Art der Oberfläche	Lufttemperatur; Windgeschwindigkeit; Windrichtung
<b>Konduktion</b> (Leitung)	Oberflächentemperatur; Kontaktfläche	Bodentemperatur; Wärmeleitfähigkeit; Wärmekapazität
<b>Evaporation</b> (Verdunstung)	Benetzungsgrad der Hautoberfläche	Windgeschwindigkeit; Windrichtung

Tab. 1: Einflussgrößen auf den Wärmetransport zwischen Tier und Umwelt (BLUM, 2003)

Ein hoher Wasserdampfgehalt der Luft, vor allem in Verbindung mit hohen Umgebungstemperaturen (schwül-warm), senkt die Wärmeabgabe enorm, so dass die Grenzen der Regelung bereits bei leichter Belastung erreicht sind (JESSEN, 2005).

### 3.1.2 Definition Hitzestress

Die thermoneutrale Zone einer Milchkuh, also der Bereich der Umgebungstemperatur, innerhalb dessen Kühe ihre Körpertemperatur mit minimalen regulatorischen Maßnahmen aufrechterhalten können, liegt zwischen 4 und 16 °C (DLG-MERKBLATT 336, 2005; BRADE, 2013). Über diesem Temperaturbereich beginnt die Milchkuh mithilfe physiologischer Regelmechanismen über sensible oder evaporative Wege, die überschüssige Körperwärme an die Umgebung abzugeben. Ab einer bestimmten Umgebungstemperatur jedoch kann die von der Kuh erzeugte Stoffwechselwärme nicht mehr in ausreichendem Maße bzw. nur durch erhöhte physiologische und unterstützende Verhaltensreaktionen an die Umgebung abgegeben werden. Es entsteht eine Belastungssituation für das Tier, die als Hitzestress bezeichnet wird. Ab welchem Zeitpunkt eine Hitzestresssituation entsteht, ist neben der Lufttemperatur und den tierbezogenen Faktoren wie Milchleistung, Alter, Trächtigkeitsstadium auch von weiteren Klimafaktoren abhängig. Zu diesen gehören die relative

Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit, aber auch die direkte Wärmestrahlung durch die Sonne.

### 3.1.3 Erfassung und Darstellung von Hitzestress

Ein System, das den Grad der Hitzestressbelastung auf ein Tier einfach erfassen und anzeigen kann, ist der Temperatur-Luftfeuchte-Index (Temperature-Humidity-Index, THI), der 1959 von THOM entwickelt wurde, um das thermale Wohlbefinden des Menschen abzuschätzen. 1964 wurde der THI von BERRY ET AL. auf Rinder übertragen. Anfang der 1990er Jahre wurden die THI-Werte durch das Livestock Conservation Institute in keine, milde, moderate oder schwere Hitzestressbelastung für Rinder eingeteilt (BURGOS-ZIMBELMAN, 2008). In Abb. 3 ist die Tabelle zur Abschätzung der Hitzestressbelastung anhand des vorliegenden THI-Wertes nach THOM zu sehen. Diese Einteilung der Grenzwerte für Hitzestress wurde und wird in der Literatur und auch in der Praxis zur Beurteilung des Schweregrades der Hitzestressbelastung eingesetzt. BURGOS-ZIMBELMAN (2008) betrachtete diese Grenzwerte näher und stellte fest, dass sie nicht mehr auf die Belastungen bei den aktuellen Milchleistungen anwendbar sind. Daher setzten sie neue Grenzwerte fest und senkten den Schwellenwert des Beginns von Hitzestress (BURGOS-ZIMBELMAN, 2008).

Temperatur (°C)	relative Luftfeuchtigkeit (%)																	
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
20	63	64	64	64	64	65	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68
21	64	65	65	65	66	66	66	67	67	67	68	68	68	68	69	69	69	70
22	65	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72
23	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	73
24	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
25	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
26	69	70	70	71	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	79
27	70	71	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81
28	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82
29	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
30	73	74	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
31	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88
32	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	83	84	85	86	87	88	89	90
33	76	77	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	90	91
34	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
35	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
36	78	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	94	95	96	97
37	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	97	99

kein Stress
  milder Stress
  Hitzestress
  starker Hitzestress

Abb. 3: THI-Temperatur-Feuchtigkeits-Index "alt" nach THOM (1959)

Abb. 4 zeigt den TH-Index mit den neuen Grenzwerten. Sie bilden die Stressbelastung der Tiere besser ab und zeigen, dass bereits bei niedrigeren Temperaturen und einer geringeren relativen Luftfeuchte eine Hitzestressbelastung für das Tier auftritt, was der höheren Milchleistung und somit der höheren Stoffwechselleistung und der damit anfallenden höheren Körperwärmeproduktion geschuldet ist.

TH-Index nach Zimbelmann und Collier 2009		Luftfeuchtigkeit [rel %]																
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Temperatur [°C]	16	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	61	61	61	61
	17	61	61	61	61	61	61	61	61	62	62	62	62	62	62	62	62	63
	18	62	62	62	62	62	62	62	63	63	63	63	64	64	64	64	64	64
	19	63	63	63	63	63	64	64	64	64	65	65	65	65	66	66	66	66
	20	64	64	64	64	65	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68
	21	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68	68	69	69	69	70
	22	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72
	23	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	73
	24	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
	25	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
	26	70	70	71	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	78	78	79
	27	71	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	79	79	80	81
	28	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82
	29	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
	30	74	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
	31	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88
	32	76	76	77	78	79	80	81	82	83	83	84	85	86	87	88	89	90
	33	77	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	90	91
34	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	
35	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	
36	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	94	95	96	97	
37	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	97	99	
38	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99	100	

  kein Hitzestress  
   milder Hitzestress  
   mäßiger Hitzestress  
   starker Hitzestress  
   Gefahr

**Auswirkungen auf die Milchkuh:**

THI	Stressniveau	Symptome
unter 68	kein Hitzestress	
69 - 71	milder Hitzestress	- Aufsuchen von Schattenplätzen - Erhöhte Atmungsrate - Erweiterung der Blutgefäße - Erste Auswirkung auf die Milchleistung
72 - 79	mäßiger Hitzestress	- Erhöhte Speichelproduktion - Erhöhte Atmungsrate - Erhöhte Herzfrequenz - Rückgang der Futtermittelaufnahme - Erhöhte Wasseraufnahme - Rückgang der Milchproduktion - Rückgang der Fruchtbarkeit
80 - 89	starker Hitzestress	- Unwohlsein auf Grund der ansteigenden Symptome
Über 90	Gefahr	Todesfälle können auftreten

Abb. 4: THI-Temperatur-Feuchtigkeits-Index „neu“, berechnet nach THOM (1959), modifiziert nach BURGOS-ZIMBELMAN (2008)

Die relative Luftfeuchtigkeit spielt bei der Berechnung des THI bei steigender Lufttemperatur eine immer wichtiger werdende Rolle. Dies kann Abb. 5 entnommen werden.



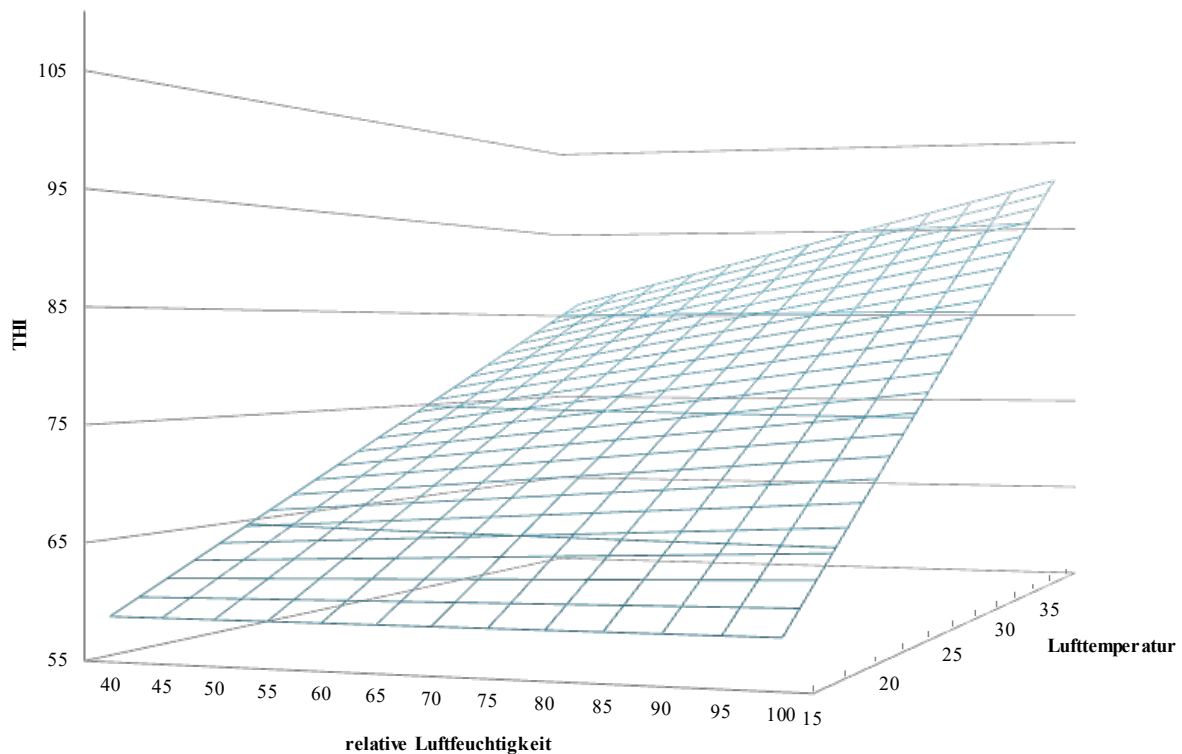


Abb. 5: THI-Entwicklung bei dynamischer relativer Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur

### 3.1.4 Folgen von Hitzestress

Leiden die Kühe unter Hitzestress, versuchen sie ihre körpereigene Wärmeproduktion zu verringern und reduzieren dazu die Futteraufnahme, um den Stoffwechsel zu entlasten. Gleichzeitig steigt jedoch ihr Erhaltungsbedarf um bis zu 30 % (BURGOS-ZIMBELMAN, 2008), so dass weniger Energie zur Milchproduktion zur Verfügung steht und die Milchleistung abfällt (FUQUAY, 1981; WEST, 2003). Ein Absinken der Milchproduktion ist jedoch erst mit 2–3 Tagen Verzögerung nach Absinken der Futteraufnahme festzustellen (DLG MERKBLATT 336, 2005). Dann jedoch kann es pro erhöhter THI-Einheit zu einer geschätzten Milchmengenreduktion von 0,32 kg kommen (WEST, 2003), d. h. bei 10-15 THI-Punkten mehr sinkt die Milchmenge um ca. 3 bis 5 kg. Laut BURGOS-ZIMBELMAN (2008) sinkt die Milchproduktion während der Monate, in denen Hitzestress auftritt, zwischen 10 und 23 % ab.

Können die Tiere ihre stoffwechselbedingte Wärme nicht mehr in ausreichendem Maße an die Umwelt abgeben, steigt die Körpertemperatur der Tiere (physiologische Obergrenze: 39,0 °C). Dabei handelt es sich nicht um Fieber, sondern um eine Hyperthermie, also eine Erhöhung der Körpertemperatur ohne Sollwertverstellung. Der Anstieg der Körpertemperatur folgt dabei der Erhöhung des THI, mit zeitlicher Verzögerung. Lagen die Tiere, wurde eine starke Zunahme der Körpertemperatur beobachtet, da den Kühen weniger Körperoberfläche für konvektive oder evaporative Kühlung zur Verfügung steht (BURGOS-ZIMBELMAN, 2008). Die Erhöhung der Körpertemperatur um 0,55 K führte in der Veröffentlichung von WEST (2003) zu einer Reduktion der produzierten Milchmenge um 1,8 kg.

Neben dem Anstieg der Körpertemperatur erhöht sich auch die Atemfrequenz von physiologischen 20 – 40 Atemzügen pro Minute auf zum Teil über 100 Atemzüge pro Minute, wobei 80 – 90 Atemzüge pro Minute auf eine Hitzestresssituation hinweisen (BURGOS-ZIMBELMAN, 2008). Die Erhöhung der Atemfrequenz dient dabei einer vermehrten Abgabe der Körperwärme über evaporativem Wege. Dieser Weg des Wärmeverlustes wird jedoch

durch die Wasserdampfsättigung der umgebenden Luft begrenzt (DLG MERKBLATT 336, 2005).

Ein weiterer physiologischer Parameter zur Darstellung von Hitzestress ist die Herzfrequenz. Die Messung der Herzfrequenz ist eine der gebräuchlichsten, nicht-invasiven Methoden zur Erfassung physiologischer Stressparameter (JANZEKOVIC et al., 2010). Die Herzfrequenz von Rindern liegt etwa bei 70–90 bpm (beats per minute) und kann bei akutem Stress auf 90–120 bpm ansteigen (EBERT, 2009).

Durch Messung der Herzfrequenz kann indirekt die Aktivität des autonomen Nervensystems bestimmt werden (PALME, 2012). Die Herzaktivität steht unter sympathischer und parasymphathischer Kontrolle. Einflüsse auf deren Gleichgewicht, die durch Stressoren ausgelöst werden, ändern die Herzfrequenz und deren Variabilität (FIEGUTH et al., 2013). Dabei ist zu beachten, dass die Herzfrequenz von verschiedenen Einflüssen abhängen kann, wie dem Individuum, dem Laktationsverlauf, der fortlaufenden Messung oder dem Zeitpunkt der Melkung. Dabei ist der Einfluss auf die Herzfrequenz immer durch die individuelle Reaktion einer Kuh beeinflusst. So bedingt eine höhere Milchproduktion einen höheren Bedarf an Nahrungsbestandteilen aus der Futtermittelration, was zu einer erhöhten Verdauung und einem daraus bedingten höheren Stoffwechsel führt, was wiederum die Herzfrequenz beeinflusst. Auch steigt und fällt die Herzfrequenz von Säugetieren bei jeder Atembewegung, unabhängig von der Körpermasse (JANZEKOVIC ET AL., 2010).

Die Herzfrequenz kann über Abhören des Herzschlages über ein Phonendoskop, ein EKG oder verschiedene Monitore ermittelt werden (VON BORELL ET AL., 2007; EBERT, 2009). Herzfrequenz-Monitore können chirurgisch implantiert werden oder extern angebracht werden. In der Studie von JANZEKOVIC ET AL. (2010) wurde gezeigt, dass telemetrische Geräte zur Messung der Herzfrequenz beim Menschen ebenso dazu geeignet sind, die Signale von Tieren, die sich frei umher bewegen oder fixiert sind, zu übertragen. Im Moment bietet nur eine Firma kommerziell telemetrische Herzfrequenzmessgeräte im Tierbereich an, die Polar Electro aus Finnland (VON BORELL ET AL., 2007). Ein telemetrisches Messgerät besteht dabei aus einem Sensor, der vom Herzen ausgehende Impulse registriert, einer übertragenden Einheit und einer Datensammelstelle mit Datenauswertung (EBERT, 2009). Bei den extern angebrachten Geräten ist zu beachten, dass Puls-Monitoring-Systeme durch die Dicke und die variable Durchlässigkeit des Fells und der Bewegung beeinträchtigt werden (LEFCOURT ET AL., 1999).

Auch die Erfassung des Kortisolspiegels kann dazu beitragen, das Stressniveau der Tiere darzustellen. Glucocorticosteroide, wie Kortisol, werden in der Nebennierenrinde gebildet. Sie wirken auf den Stoffwechsel (Glukosekonzentration erhöht, Proteinsynthese erniedrigt, etc.), den Kreislauf (Erhöhung des Blutdrucks), die Verdauung (Erhöhung der Magensaftproduktion), das Immunsystem (Verringerung von Entzündungs- und allergischer Reaktionen, Reduzierung der Immunabwehr), die Psyche, das Verhalten und viele weitere Körperfunktionen. Daher dienen Glucocorticosteroide als Parameter für Reaktionen auf akute oder chronisch intermittierende Belastungen, die innerhalb von Minuten bis Stunden messbar sind (KNIERIM, 1998). Neben der Bestimmung der Kortisolkonzentration im Blut, dessen Probennahme an sich bereits den Kortisolwert durch zusätzlichen Stress verfälschen kann, ist eine weitere Möglichkeit, den Kortisolwert einer Kuh nicht-invasiv, durch die Messung von Kortisol-Metaboliten im Kot zu bestimmen. Da Glucocorticosteroide in der Leber metabolisiert und durch intestinale Bakterien-Enzyme weiter umgebaut werden (PALME UND MÖSTL, 1996), gelangen die Kortisolmetaboliten über die Galle aus der Leber in den Darm und werden über den Kot ausgeschieden (LEXEN ET AL., 2008). Kotproben bieten den Vorteil, dass sie ohne Einfluss auf das Tier leicht gesammelt werden können. Die Passagezeit der Ingesta beträgt etwa zwölf Stunden bei Wiederkäuern, wobei die Zeitverzögerung

rung durch das Individuum und andere Faktoren, wie die Futtermenge, beeinflusst werden kann. LEXEN ET AL. (2008) fanden in ihrer Studie Zeitverzögerungen zwischen 7 und 18 Stunden bei Schafen und führten dies auf unterschiedlich vorhandene Futtermengen zurück. Daher ist die Kenntnis der Verzögerungszeit in Kombination mit dem Ziel einer Studie grundlegend für den Versuchsaufbau (PALME, 2012).

Neben physiologischen Parametern ändert sich auch das Verhalten der Kühe als Folge von Hitzestress. So sinkt die Dauer der Liegeperioden während heißer Tage, jedoch steigt deren Anzahl, da liegende Tiere zunehmend Probleme haben, ihre Körpertemperatur ausreichend zu regulieren. Im Gegenzug steigt die lokomotorische Aktivität der Tiere an, da sie aktiv eine thermisch weniger belastete Umwelt aufsuchen. Eine Folge der häufigeren Liegeunterbrechung sowie der erhöhten Aktivität ist eine erhöhte Unruhe im Stall (TOBER ET AL., 2011). Dabei ist auch eine Konzentration der Tiere um die Tränkebecken festzustellen. Zum einen um die Wasseraufnahme während Hitzestressperioden zu erhöhen, zum anderen scheint hier ein kühleres Mikroklima aufgrund der Verdunstungskälte zu herrschen (TUCKER & SCHÜTZ, 2009). Die Zeiten der Futtermenge werden in die kühleren Abend- und Nachtstunden verlagert.

### 3.1.5 Maßnahmen zur Minderung von Hitzestress

Bereits ab Temperaturen über 15 °C muss laut TOBER & LOEBSIN (2013) von einer Situation ausgegangen werden, bei der die Wärmeabgabe der Tiere einer Unterstützung bedarf. Auch ZIMBELMAN ET AL. (2009) geben an, dass eine Kühlung der Tiere bereits ab einem THI von 65 erforderlich ist, falls der Tagesdurchschnitt des THI bei 68 liegt.

Möglichkeiten zur Minderung von Hitzestress können in vier Bereichen ansetzen: dem Management, der Haltung, der Fütterung und der Züchtung (BRADE, 2013). Auch durch stallbauliche und technische Lösungen lassen sich Hitzestress-Situationen entschärfen (BRADE, 2013).

Auf Seiten des Managements spielt vor allem die Fütterung eine zentrale Rolle. Dabei sollte an warmen Tagen die Grundfütterung mindestens zweimal täglich oder, wenn dies nicht möglich ist, abends in frisch gemischtem Zustand erfolgen (BRADE, 2013). Da bei Hitzestress bevorzugt das angebotene Kraftfutter gefressen wird und es somit zu einer abnehmenden Strukturwirksamkeit der Ration kommt, mit der Gefahr einer entstehenden Pansenazidose, ist es wichtig, den Grundfütterverzehr der Kühe hoch zu halten. Hier empfiehlt sich der Einsatz einer hochqualitativen, schmackhaften Rohfaserquelle. Um die Energieversorgung sicherzustellen, sollte auf pansengeschützte Fette zurückgegriffen werden. Auch der Einsatz von Lebendhefen kann eine Erhaltung beziehungsweise Wiederherstellung der Pansenfunktion bewirken sowie eine Verbesserung des Pansen-pH und der Futtereffizienz. Zudem sollte die Mineralstoffversorgung angeglichen werden, da durch vermehrtes Schwitzen ein erhöhter Verlust an Natrium und Kalium auftritt, welcher das Immunsystem negativ beeinflussen kann (DUSSERT & PIRON, 2012;). Neben der Fütterung ist vor allem die Versorgung mit sauberem Trinkwasser in ausreichender Menge entscheidend, da die Tiere an heißen Tagen bis zu 150 l Wasser aufnehmen können (BRADE, 2013).

Hinsichtlich der Tierzucht wäre eine Selektion auf Hitzestresstoleranz anzustreben. Jedoch geht dies einher mit einer geringeren Produktivität (COLLIER & ZIMBELMAN, 2007). Es zeigt sich aber, dass Rasseunterschiede bezüglich Hitzestresstoleranz vorhanden sind. So sind Brahman oder Zebu sowie deren Kreuzungstiere hitzetoleranter als Bos taurus Rassen, was sich anhand anatomischer Unterschiede hinsichtlich der Beschaffenheit von Haut, Schweißdrüsen und Haarkleid äußert (BRADE, 2013). Aber auch innerhalb der Bos Taurus Rassen zeigen sich Unterschiede. So sind Jersey Kühe toleranter gegenüber Hitzestress als beispielsweise Holstein-Friesian Kühe (RUSHEN ET AL., 2008). Bereits WILLIAMS

ET AL. (1960) wiesen darauf hin, dass Kühe, die bei hohen Lufttemperaturen noch eine konstante, physiologische Körpertemperatur aufweisen, als erstrebenswerter, hitzetoleranter Typ gelten.

Um jedoch das Entstehen einer Hitzestresssituation zu vermeiden beziehungsweise hinauszuzögern, sollte aus stallbaulicher Sicht, am besten bereits vor Bewirtschaftung eines Stalles, alle baulichen Maßnahmen veranlasst werden, die den natürlichen Luftwechsel steigern und den Wärmeeintrag in den Stall vermindern (LOEBSIN ET AL., 2012). Der optimale Stall für Hochleistungskühe ist nach SHOSHANI & HETZRONI (2013) ein Laufstall mit Längsachse senkrecht zur vorherrschenden Windrichtung, ein offener First mit einer Mindesthöhe über 4,7 m bei Nord-Süd- bzw. über 5,0 m bei Ost-West-Orientierung. Auf lichtdurchlässige Platten im Dachbereich sollte verzichtet werden, um ein zusätzliches Aufheizen des Stallbereiches zu vermeiden (LOEBSIN ET AL., 2012) und ebenso sollten die Liegeflächen nicht direkt von der Sonne bestrahlt werden (FAT-BERICHT 620, 2004). Aber auch bei gut ausgerichteten Stallgebäuden haben Messungen gezeigt, dass die höchsten Luftströmungsraten direkt an den Stallöffnungen zu messen waren und zur Stallmitte hin abnahmen auf unter 1 m/s (MAČUHOVÁ ET AL., 2008). Zudem zeigte sich, dass gerade bei heißem Wetter die natürlichen Kühlmethode nicht ausreichend sind, um die gewünschten Bedingungen im Stall zu erreichen (CIGR-BERICHT, 2006).

Daher sind weitere technische Kühlmöglichkeiten wie Ventilatoren erforderlich, um die Hitzestressbelastung von Rindern zu reduzieren. Dabei ist zusätzlich zu beachten, dass bei latenter Wärmeabgabe an warmen Tagen bis zu 35 l Flüssigkeit pro Tier und Tag an die Umgebung abgegeben werden, die zusätzlich aus dem Stall befördert werden muss, um die Hitzestresssituation durch hohe Temperaturen nicht zusätzlich durch hohe Luftfeuchteraten zu verschärfen (BRADE, 2013). Durch eine technische Erhöhung der Luftgeschwindigkeit kann, neben einer Reduzierung der Luftfeuchte und der Schadstoffbelastung, ein zusätzlicher Kühleffekt für die Tiere erzielt werden, da der schützende Luftfilm im Haarkleid zerstört wird und der Wärmeübergang pro Grad Temperaturdifferenz zwischen der Tieroberfläche und der Luft erhöht wird (MAČUHOVÁ ET AL., 2008; BVET, 2009). Generell kann dabei gesagt werden, dass Rinder gegenüber hohen Luftgeschwindigkeiten weniger empfindlich sind als andere Nutztiere oder der Mensch und sie bei hohen Lufttemperaturen Luftgeschwindigkeiten von bis zu 5 m/s gut vertragen und auch benötigen um Hitzestress entgegenzuwirken (MAČUHOVÁ ET AL., 2008). Auf die Möglichkeit der Unterstützungskühlung durch Ventilatoren wird im Folgenden noch intensiver eingegangen.

Eine weitere technische Kühlmöglichkeit ist der Einsatz von Sprinkler- oder Vernebelungsanlagen. Sie basieren auf der Verdunstungskühlung von mechanisch zugeführtem Wasser (CIGR-BERICHT, 2006). Beim Beregnungs- oder Sprinklersystem wird die Tieroberfläche direkt mit Wasser besprüht und durch die Verdunstung das Tier direkt gekühlt. Dabei ist aus thermodynamischer Sicht die beste Leistung zu erreichen, wenn das Fell und die Haut des Tieres gut durchnässt sind. Das Vernebelungssystem basiert dagegen auf dem Versprühen von Wasser als kleine Tropfen, meist durch Hochdruckdüsen, die direkt in der Umgebungsluft verdunsten und so zu einer Reduzierung der Lufttemperatur führen. Die Tiere und der Boden bleiben dabei trocken. Die beiden Systeme könnten durch einen zusätzlichen Einsatz von Ventilatoren in ihrer Effizienz gesteigert werden (CIGR-BERICHT, 2006). Der Nachteil beim Einsatz von Wasser zur Verdunstungskühlung liegt in der Erhöhung der relativen Luftfeuchte der Umgebung, so dass hier schnell die Grenzen der latenten Wärmeabgabe der Tiere überschritten werden und es zu einer Verschärfung der Hitzestresssituation kommt (CIGR-BERICHT, 2006).

Auch die Gestaltung der Liegefläche spielt eine große Rolle, da die Tiere hier über Konduktion Wärme an eine kältere Kontaktfläche abgeben können und somit die Liegezeiten

erhöht werden können. Gut geeignet dafür sind Beton (allerdings zu hart und nicht verformbar) oder Sand, da beide Materialien sowohl kurz-, als auch langfristig viel Wärme ableiten. Bei Gummimatten ist zwar eine kurzfristige gute Wärmeableitung gegeben, jedoch nimmt diese bei längeren Liegezeiten ab. Die niedrigste Wärmeableitung weisen Tiefstreu- oder Strohmattentzen auf, da es durch die Selbsterwärmung der Matratze eher zu einer weiteren Wärmebelastung für das Tier kommen kann (FAT-BERICHT 620, 2004). Daher sollte bei der Gestaltung der Liegeflächen sichergestellt werden, dass im Sommer eine ausreichende Wärmeableitung gegeben ist, um für die Tiere ausreichende Liegezeiten von mindestens 12 Stunden pro Tag sicherzustellen. Ein neuer Ansatz kann dabei das „Conductive Cooling“ System der Firma GEA sein, bei dem die Liegeflächen durch darunter verlaufende Kühlwasserleitungen aktiv abgekühlt werden.

### 3.2 Technik

Die Durchlüftung der heute überwiegend als Offenställe ausgeführten Gebäude wird zwar immer besser (hohe Traufen mit ganzflächigen Curtains), jedoch werden die notwendigen Luftgeschwindigkeiten am Tier in vielen Fällen vor allem mit zunehmender Gebäudebreite nicht erreicht (HAIDN ET AL., 2006). Die Situation wird durch Wettersituationen mit wenig bzw. keiner Windbewegung und/oder erheblichem Wärmeeintrag infolge einer fehlenden Wärmedämmung über das Dach, Lichtplatten/ -firsten in den Dachflächen oder südseitig ausgerichteten Außenwänden noch verschärft.

Zur Beurteilung der Hitzebelastung und der Steuerung evtl. vorhandener Lüfter wird häufig nur die Lufttemperatur herangezogen. Die Strahlungswärme und die Luftfeuchte bleiben dagegen, ebenso wie die am Tier erreichte Luftgeschwindigkeit, regelmäßig unberücksichtigt.

Hinsichtlich einer baulichen Optimierung sollte das Gebäude nach derzeitigem Wissensstand mit den Traufseiten zu den Hauptwindrichtungen (i. d. R. Westen bzw. Osten) ausgerichtet sein, um so an möglichst wenigen Tagen zusätzliche Energie zur Erzeugung der notwendigen Luftgeschwindigkeiten im Stall aufwenden zu müssen. Aufgrund örtlicher Gegebenheiten ist dies nicht immer möglich. Zusätzlich hat die Installation von PV-Anlagen einen wesentlichen Einfluss auf die Gebäudeausrichtung.

Die Auswirkung unterschiedlicher Eindeckungsmaterialien auf die Stalltemperatur wurde ansatzweise, z. B. für unterschiedlich eingefärbte Dacheindeckungen, untersucht (HAAKE ET AL., 2003). Eine systematische Untersuchung und Gegenüberstellung unterschiedlicher Dachaufbauten hinsichtlich des Wärmeeintrags ist bisher jedoch nur in Teilbereichen verfügbar (ROJANO ET AL, 2015).

Technische Lösungsansätze zur Lüftung der Ställe oder Kühlung der Tiere in Form von Ventilatoren sind vorhanden. Simulationsprogramme für die Beratung und Planung von Milchviehställen sind derzeit am Markt nicht verfügbar. Wichtig wäre hier eine Einschätzung des Einflusses der Wurfweiten durch verschiedene Stalleinbauten, wie Bugschwellen, Mauern, Abtrennungen oder Stützen.

Erfahrungen zum Einsatz von technischen Möglichkeiten zur Reduktion der gefühlten Wärme für Milchkühe kann Berichten beispielsweise aus den USA oder Israel entnommen werden. Gerade in Ländern mit jahreszeitlich kontinuierlich hohen Außentemperaturen beziehungsweise langen Hitzeperioden wurde bereits viel zu Auswirkungen von Hitzestress auf die Leistungsfähigkeit von Tieren geforscht, da sich erhebliche wirtschaftliche Vorteile durch die Verbesserung des Stallklimas erzielen lassen. Daher sind gerade diese Regionen führend bei der Erforschung, Erprobung und dem Einsatz sowie der ständigen Verbesse-

rung technischer Kühlmöglichkeiten von Milchkühen. Da in diesen Regionen viele Kühe im Freiland gehalten werden, wurden deshalb auch verschiedene Beschattungsmöglichkeiten untersucht. Des Weiteren werden hier eine Vielzahl an Ventilationsmodellen oft in Kombination mit Sprinkler- oder Vernebelungsanlagen eingesetzt. Während in sehr ariden Gebieten, wie in den Vereinigten Arabischen Emiraten, häufig Vernebelungsanlagen zur Luftkühlung alleine ausreichend sind, ist in humiden Gebieten, wie dem Süden der USA, eine Kombination von Sprinkleranlagen und Ventilatoren nötig, da ein Abkühlungseffekt durch Verdunstung aufgrund der hohen relativen Luftfeuchtigkeit nur begrenzt möglich ist (ARMSTRONG, 1994). Allerdings lassen sich diese Ergebnisse nicht unmittelbar auf die klimatischen und baulichen Bedingungen in Bayern übertragen.

Beim Einsatz von Ventilatoren werden grundsätzlich zwei verschiedene Zielsetzungen verfolgt, zum einen die Lüftung und zum anderen die Kühlung. Diese Einsatzbereiche müssen auf Grund ihrer unterschiedlichen Herangehensweise voneinander getrennt betrachtet werden, was häufig in der Praxis nicht geschieht.

### **3.2.1 Ventilatoren zur Lüftung**

Zur Reduktion der relativen Luftfeuchtigkeit im Stall kann neben den klassischen natürlichen Lüftungskonzepten zusätzlich auf Ventilatoren zurückgegriffen werden. Hier kann von einer klassischen Zwangslüftung gesprochen werden. In der DIN 18910 werden Luftwechselraten für den Milchviehbereich angegeben. Diese Werte sind für geschlossene Gebäudehüllen festgelegt und können nicht für Außenklimaställe angewendet werden. Da in der Regel aber im Stall höhere Luftfeuchtigkeiten als außen vorherrschen, ist es trotzdem sinnvoll, zusätzlich „frische“ Luft mit geringerer rel. Feuchte in den Stall einzubringen um die Hitzebelastung zu reduzieren. Über die tatsächliche Verteilung der Frischluft im Stallraum gibt es derzeit noch keine Untersuchungen. Neben der Zuluftführung muss auch die Abluftführung gewährleistet sein. Bei vorhandenem Gegendruck durch z. B. Wind an der Abluftöffnung kann das Lüftungskonzept zum Erliegen kommen.

Zur Optimierung der Frischluftverteilung im Gebäude werden verstärkt sog. Schlauchlüftungssysteme angeboten. Dabei wird durch einen Ventilator die Frischluft in einen Gewebeslauch mit Luftöffnungen eingebracht, durch die die Luft gleichmäßig im Raum verteilt wird. Auch bei diesen Systemen muss neben der Zuluftdimensionierung die Abluftführung berücksichtigt werden. Hierzu besteht weiterhin Forschungsbedarf.

### **3.2.2 Ventilatoren zur Kühlung**

Als zweite Möglichkeit können Ventilatoren zum Kühlen der Tiere verwendet werden. Der Abb. 6 können mögliche Abkühleffekte bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten entnommen werden. Dabei muss festgehalten werden, dass es sich bei den Werten um die gefühlte Temperatur handelt.

Temperatur [°C]	relative Luftfeuchtigkeit [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]					
		0	0,508	1,016	1,524	2,032	2,540
35,0	50	35,0	32,2	26,6	24,4	23,3	22,2
	70	38,3	35,5	30,5	28,8	26,1	24,4
32,2	50	32,2	29,4	25,5	23,8	22,7	21,1
	70	35,5	32,7	28,8	27,2	25,5	23,3
29,4	50	29,4	26,6	24,4	22,7	21,1	20,0
	70	31,6	30,0	27,2	25,5	24,4	23,3
26,6	50	26,6	24,4	22,2	21,1	18,9	18,3
	70	28,3	26,1	24,4	23,3	20,5	19,4
23,9	50	23,9	22,8	21,1	20,0	17,7	16,6
	70	25,5	24,4	23,3	22,2	20,0	18,8
21,1	50	21,1	18,9	18,3	17,7	16,6	16,1
	70	23,3	20,5	19,4	18,8	18,3	17,2

Abb. 6: Senkung der gefühlten Temperatur durch bewegte Luft (BARNWELL, 2002)

**Großraumdeckenventilatoren** werden in der Praxis gerne auf Grund ihrer geringen Leistungsaufnahme ( $W/m^3$  umgewälzte Luft) und ihres geringen Schalldruckpegels eingesetzt. Eine Untersuchung zur Luftströmung (TOBER, LOEBSIN, SANFTLEBEN, 2011) hat ergeben, dass eine kühlende Wirkung durch ihre Luftbewegung allerdings stark variiert und oftmals die Mindestluftgeschwindigkeit von 2 m/s auf dem Tier nicht erreicht wird. Die durchschnittliche Luftgeschwindigkeit wurde hier mit 0,92 m/s angegeben. Des Weiteren wurde festgestellt, dass in freigelüfteten Ställen oftmals der Winddruck erheblichen Einfluss auf die Wirksamkeit hat. Durch eine falsche Anordnung der Ventilatoren steigt zusätzlich das Risiko, dass das vorgelegte Futter und auch die Laufgänge schneller abtrocknen. Die Vorteile dieses Ventilatorentyps werden eher in kleineren, geschlossenen Räumen, wie z. B. im Vorwartebereich gesehen. Deshalb wird im Rahmen dieses Projekts nicht weiter auf die Verwendung von Großraumventilatoren eingegangen.

**Axialventilatoren** werden auf Grund ihres hohen Wirkungsgrades zur Ventilierung von Kühen im Milchviehstall eingesetzt. Durch sie können die nötigen Windgeschwindigkeiten auf dem Tier erzeugt werden, weshalb sie als Stand der Technik anerkannt werden. Auf dem Markt ist eine Vielzahl an Ventilatoren für den Einsatz im Milchviehstall vorhanden. Eine objektive Beurteilung der Einsatzfähigkeit der einzelnen Ventilatoren kann derzeit nicht getroffen werden, da Prüfprotokolle seitens der DLG nicht mehr aktuell oder auf Grund fehlender Tests nicht verfügbar sind. Des Weiteren werden im Standard-Prüfverfahren der DLG einige Größen, die für die freie Lüftung interessant sind, nicht erfasst, bzw. ist das Prüfverfahren nicht übertragbar. Bei den Herstellern kann ein Wissensdefizit hinsichtlich des Einsatzes ihrer Ventilatoren festgestellt werden. Auf Grund dieser Tatsachen ist eine unabhängige Prüfung der auf dem Markt verfügbaren Ventilatoren anzustreben, um eine objektive Aussage zur Praxistauglichkeit geben zu können.

### 3.2.3 Kühlung durch Verdunstungskälte

Bei den Berechnungsanlagen wird zwischen Niederdruck- und Hochdruckanlagen unterschieden. Beide Methoden arbeiten grundsätzlich nach dem gleichen Prinzip. Durch das Verdunsten von Wasser entsteht Verdunstungskälte, die einen Abkühlungseffekt erzielt.

Der Übergang des Wassers von flüssigem zu gasförmigem Aggregatzustand wird als Verdampfen bezeichnet. Bei höheren Temperaturen erfolgt dieser Vorgang schneller als bei niedrigeren Temperaturen. Die schnellsten Wassermoleküle fliegen durch die Wasseroberfläche und verdunsten in dem darüber liegenden Raum. Die Wassermoleküle rücken dabei

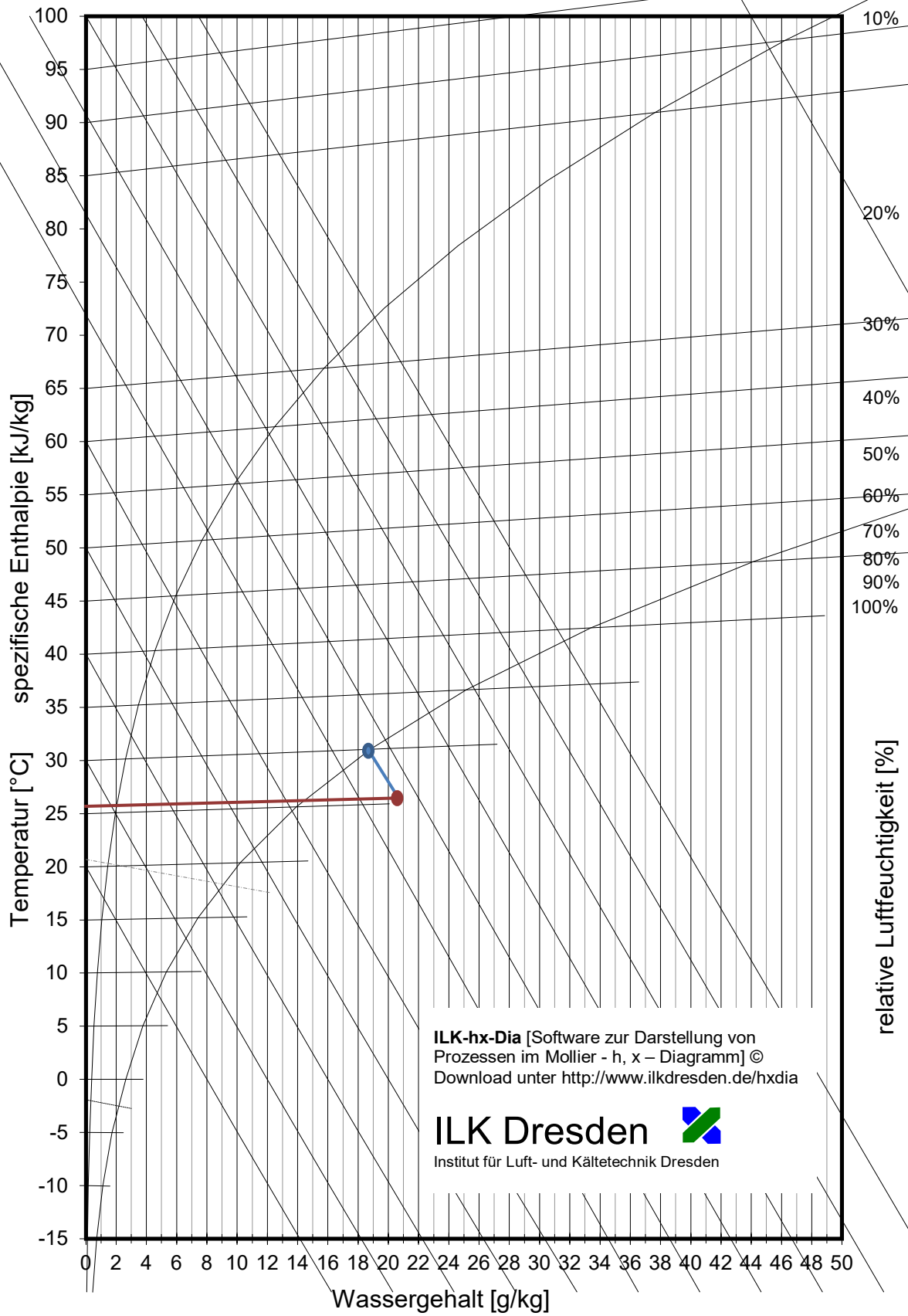
weit auseinander. Die zwischen ihnen wirkende Anziehungskraft muss überwunden und dabei die Luft weggeschoben werden (BADER, OBERHOLZ, 2002). Dafür wird Energie in Form von Wärme benötigt, die der Umgebung entzogen wird und dadurch zur Abkühlung der Umgebungsluft führt (KRUISZ, HITZENBERGER, 2011). Je trockener Luft, desto besser wirkt die Verdunstungskühlung.

### 3.2.3.1 Hochdruckanlage

Im Vergleich zu Niederdruckanlagen kühlen Hochdruckanlagen die Umgebungsluft ab und bewirken auf diese Weise einen Kühleffekt. Über sehr feine Wassertropfen, die gleich nach dem Austreten aus den Düsen wieder verdampfen, kühlt die Luft ab. Im Gegensatz zu Niederdrucksystemen wird die Wärme nicht dem Tierkörper, sondern der Umgebungsluft entzogen (DLG MERKBLATT 336; JONES, STALLINGS, 1999). Hochdruckanlagen werden bevorzugt in Gegenden mit geringerer Luftfeuchtigkeit eingesetzt (WEST, 2003). In Regionen mit höherer relativer Luftfeuchtigkeit, wie zum Beispiel Kentucky, kann es anstatt der Abkühlung zu einem Saunaeffekt im Stall kommen (TURNER, WARNER, CHASTAIN, 1997). Des Weiteren steigt die Gefahr, dass in Regionen mit hoher Luftfeuchtigkeit das Futter beziehungsweise die Stalleinrichtung nass werden, da die Tropfen nicht schnell genug verdunsten können (JONES, STALLINGS, 1999).

Bei Hochdruckanlagen, die Wasser in die Luft einbringen, kann als Richtgröße angenommen werden, dass pro Kelvin Abkühlung der Umgebungstemperatur durch die Verdunstung, die relative Luftfeuchtigkeit um fünf Prozentpunkte steigt. Bei einer zu hohen Ausgangsluftfeuchtigkeit ist das Abkühlungspotential durch das schnelle Erreichen des maximalen Sättigungsgrads (Taupunkt) sehr gering. Zur Veranschaulichung des maximalen Abkühlungseffekts durch Wasserverdunstung wird das h-x-Diagramm (Abb. 7) herangezogen. Beispielhaft ist hier eine Ausgangssituation von 30 °C und 70 % rel. Luftfeuchtigkeit dargestellt (Blaue Markierung). Durch Verdunstung kann hier die Temperatur um weniger als 5 K gesenkt werden, bis der Taupunkt erreicht wird (rote Markierung). Daher ist es ratsam, die Anlage mit einem Feuchtefühler auszustatten, der den Wassereintrag dann unterbindet (DLG MERKBLATT 336).





ILK-hx-Dia [Software zur Darstellung von  
 Prozessen im Mollier - h, x - Diagramm] ©  
 Download unter <http://www.ilkdresden.de/hxdia>

**ILK Dresden**   
 Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden

Abb. 7: h-x-Diagramm nach Mollier

Hochdruckanlagen sind grundsätzlich nicht so effektiv wie Niederdruckanlagen, es sei denn, zur Verneblung wird zusätzlich ein Ventilator eingesetzt. In diesem Fall sind beide Methoden gleichwertig (COLLIER, DAHL, VANBAALE, 2006). Die Düsen sollten direkt an den Ventilatoren angebracht werden, damit diese die Tropfen gleich nach dem Austreten verteilen. Sowohl die Beregnungslage als auch die Ventilatoren können tagsüber kontinuierlich laufen, sofern dabei die kritische rel. Luftfeuchte nicht überschritten wird (JONES, STALLINGS, 1999).

Grundsätzlich werden bei Hochdruckvernebelungsanlagen zwischen dem sogenannten Vernebler (Fogger) und der Sprühberegnung (Misters) unterschieden.

Beim Vernebler sind die Wassertröpfchen kleiner als bei der Sprühberegnung. Durch diese Größe verdunsten die Tropfen schneller. Wird die Methode der Sprühberegnung verwendet, kann es aufgrund der größeren Tropfen zu Problemen mit der Verdunstung kommen. Vor allem in Regionen mit hoher Luftfeuchtigkeit ist die Tropfengröße hier zu groß. Dadurch können das Fell der Tiere, die Liegeflächen oder das Futter nass werden. Das Haarkleid der Kuh wird jedoch nicht vollständig feucht. Die Konsequenz ist die Bildung einer Luftschicht zwischen nassem Fell und trockener Haut. Diese Luftschicht verschlechtert die Wärmeabgabe durch das Tier und die Hitzebelastung nimmt zu (JONES, STALLINGS, 1999).

Eine Hochdruckanlage soll über verschiedene Komponenten verfügen (siehe auch Abb. 8):

- Hochdruckpumpe
- Eine Zeitschaltuhr mit einem 24 Stunden Timer
- Ein Thermostat
- Einen fünf Mikrometer Filter
- $\frac{3}{4}$  Zoll PVC Leitung (WORLEY, 2009)
- Feuchtesensor.

Durch den Luftfeuchtigkeitssensor soll eine zu hohe Luftfeuchtigkeit im Stall vermieden werden. Die Anlage schaltet automatisch ab, wenn die eingestellte Luftfeuchte erreicht ist (DLG MERKBLATT 336).

Es muss genügend Wasser vorrätig sein und ein ausreichender Luftwechsel ist im Stall erforderlich. Bei Hochdruckanlagen beträgt der Druck 200 psi (13,8 bar). Eine  $\frac{3}{4}$  Zoll PVC-Leitung eignet sich, den Druck des Wassers in der Leitung konstant zu halten (WORLEY, 2009). Der Einsatz von Hochdruckanlagen empfiehlt sich vor allem in offenen Ställen mit hohen Decken, damit eine ausreichende Luftzirkulation gewährleistet ist. Seitenwände unterbrechen die Abluftströmung und beeinflussen den Abkühlungseffekt negativ. Es entstehen feuchte Bedingungen (JONES, STALLINGS, 1999).

Die Filter der Düsen sind täglich zu kontrollieren und zu reinigen (JONES, STALLINGS, 1999), um die Düsen vor Verschmutzungen durch Rost oder Sand zu schützen (HOLMES, MASSIE 1996).

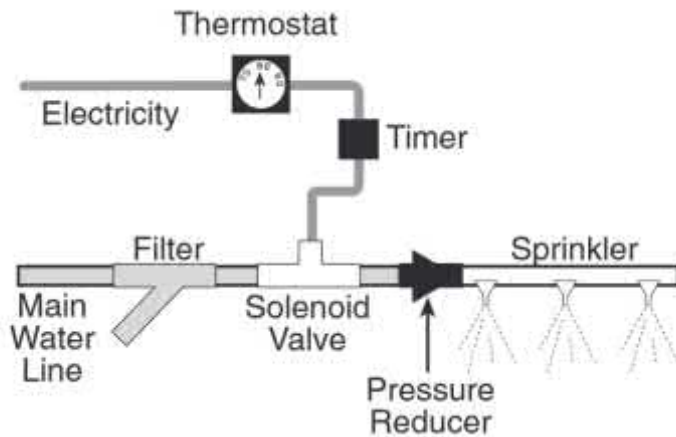


Abb. 8: Komponenten einer Beregnungsanlage

Hochdruckanlagen sind wartungsaufwändiger. An die Technik sind höhere Anforderungen gestellt, so muss zum Beispiel der Druck aufrechterhalten werden. Zudem müssen die Düsen täglich überprüft werden, um sicher zu stellen, dass diese nicht verkalken. Es empfiehlt sich, vorgereinigtes Wasser zu verwenden. (JONES, STALLING, 1999; DLG MERKBLATT 336). Bei beiden Systemen werden umgerechnet ca. elf bis 19 Liter Wasser je Kuh und Tag benötigt (JONES, STALLINGS, 1999).

### 3.2.3.2 Niederdruckanlagen

Niederdruckanlagen, auch Kuhduschen genannt, verteilen das Wasser großtropfig. Das Fell der Kühe wird durch die Beregnung nass. Zur Verdunstung wird dem Tier Wärmeenergie entzogen, dies wiederum bewirkt einen Abkühlungseffekt (STALLING, JONES, 1999; DLG MERKBLATT 336,).

Anders als bei Hochdruckanlagen müssen hier weitere Parameter zur Bestimmung des Abkühleffekts herangezogen werden.

Beim Einsatz einer Beregnungsanlage sollte die Umgebungstemperatur nach BRAY & BETHARD nicht unter 25,6 °C liegen. Andere Wissenschaftler sind der Meinung, dass die Temperatur bei mindestens 23 °C liegen sollte. Werden die 23 °C unterschritten, die Kühe aber dennoch beregnet, kann Kältestress entstehen (TUCKER, SCHÜTZ, 2009).

Beregnungsanlagen können in ariden und humiden Regionen eingesetzt werden (TURNER, WARNER, CHASTAIN, 1997). Zwar wird in Gegenden mit niedriger Luftfeuchtigkeit die größte Wirkung erzielt, aber auch in Gebieten mit hoher Luftfeuchte gibt es einen Abkühlungseffekt (ARMSTRONG 1994).

Durch den gleichzeitigen Einsatz von Beregnungsanlage und Ventilator kann die Abkühlungswirkung noch zusätzlich verbessert werden (WORLEY, 2009). Bei einer Anbringung im Fressbereich erhöht dies z. B. die Futteraufnahme stärker, als der alleinige Einsatz einer Beregnungsanlage (ARMSTRONG, 1994).

Zu beachten gilt, dass beim Einsatz einer Beregnungsanlage weder Futter noch Liegeflächen befeuchtet werden dürfen (HOLMES, MASSIE, 1997). Ebenso soll das Euter bei der Beregnung trocken bleiben (WORLEY, 2009).

Es empfiehlt sich, aufgrund der höheren Luftfeuchtigkeit in der Nacht, die Tiere nur tagsüber der Beregnungsanlage auszusetzen. Daher sollte die Anlage frühestens drei Stunden nach der Morgendämmerung angeschaltet und zwei Stunden vor der Abenddämmerung

wieder ausgeschaltet werden (JONES, STALLINGS, 1999). Dies bezieht sich vor allem auf Anlagen ohne Feuchtefühler bzw. fehlender automatischer Steuerung.

Kühe werden intervallweise beregnet. Die Tiere zehn Sekunden lang zu beregnen bewirkt einen geringeren Effekt als sie 20 bzw. 30 Sekunden lang zu beregnen. Zwischen einer 20 oder 30-sekündigen Beregnung besteht allerdings kein Unterschied (WEST, 2003). Empfohlen wird eine eineinhalb Minuten dauernde Beregnung und anschließend 15 Minuten Pause (COLLIER, DAHL, VANBAALE, 2006). Diese 15-Minuten-Intervalle ohne Beregnung haben sich bewährt (JONES, STALLING, 1999; DLG MERKBLATT 336), da das Fell in dieser Zeit vollständig bis zur Haut durchnässt wird (ARMSTRONG, 1994). Eine längere bzw. exzessive Beregnung fördert den Abkühlungseffekt nicht zusätzlich, sondern verschwendet Wasser (HOLMES, MASSIE, 1996). Während der Beregnungszeit kann ein Liter Wasser pro Quadratmeter versprüht werden (DLG MERKBLATT 336).

Zu berücksichtigen ist bei der Anbringung immer, dass ein Teil des Wassers nicht verdunstet, sondern abläuft. Das Wasser muss somit abfließen können (JONES, STALLINGS, 1999). Entstehen Pfützen kann dies wiederum Klauenprobleme verursachen (WORLEY, 2009).

Eine Niederdruckanlage benötigt:

- eine Zeitschaltuhr
- ein elektronisch gesteuertes Magnetventil
- einen Druckregler
- ein Thermostat (WORLEY, 2009)
- einen Luftfeuchtigkeitssensor (DLG MERKBLATT 336)

Bei der Größe der Leitung muss die Anzahl der Sprinkler, deren Durchflussrate, die Länge der Leitung, ebenso wie die Fläche, die beregnet werden muss, beachtet werden (WORLEY, 2009). Das System muss in der Lage sein, die benötigte Durchflussrate aufrechtzuerhalten. Bei Niederdruckanlagen stellt dies ein geringeres Problem dar (TURNER, WARNER, CHASTAIN, 1997).

Bei Niederdruckanlagen liegt die Druckempfehlung bei 20 bis 25 psi (1,3 bis 1,7 bar). Mit steigendem Druck nimmt die Tropfengröße ab und die Gefahr der Abdrift steigt. Das Fell und die Haut der Kuh kann nicht mehr vollständig durchnässt werden und der Kühleffekt verringert sich. Pro Minute stößt die Düse einer Niederdruckanlage zwischen 0,8 bis 1,9 l Wasser aus, was für den gewünschten Effekt ausreichend ist. Gleichzeitig wird aber Pfützenbildung durch zu große Wassermassen vermieden (TURNER, WARNER, CHASTAIN, 1997).

Wird die Beregnungsanlage mit Ventilatoren kombiniert, sind die Düsen auch hier direkt unterhalb des Ventilators anzubringen (JONES, STALLINGS, 1999).

Niederdruckanlagen werden vorwiegend in wärmeren Gegenden mit gleichzeitig höherer Luftfeuchtigkeit verwendet, wie es beispielsweise im Osten und mittleren Westen der Vereinigten Staaten von Amerika der Fall ist (TURNER, WARNER, CHASTAIN, 1997).

### 3.2.3.3 Einsatzorte

Es stehen verschiedene Einsatzorte von Beregnungsanlagen im Stall zur Verfügung: So ist es möglich eine Beregnungsanlage entlang des Futtertisches, in Laufgängen, im Wartebereich oder am Melkstandausgang anzubringen (ARMSTRONG, 2000). Unter einem Dach besteht ebenso die Option, eine Sprinkleranlage zu montieren (JONES, STALLINGS, 1999). Während beim Futtertisch Halbkreisdüsen (180° Beregnungswinkel) am geeignetsten sind, können in den Laufgängen sowie im Wartebereich auch Kreisdüsen (360° Beregnung) verwendet werden. Bei einer Installation der Sprinkler muss dem Abstand der Düsen von-

einander Beachtung geschenkt werden. Die Entfernung der einzelnen Düsen voneinander entspricht dabei am besten dem Radius der geplanten Beregnung der einzelnen Düsen (TURNER, WARNER, CHASTAIN, 1997).

Bei Beregnungsanlagen im Bereich des Futtertischs zeigen Untersuchungen, dass sich die Kühe eine längere Zeit dort aufhalten als an einem Futtertisch ohne Sprinkler. Sowohl die Fresszeit als auch die Aufenthaltsdauer ist höher (CHEN, SCHÜTZ, TUCKER, 2013).

Der Wartebereich wird von Kühen meist als stressiger Bereich empfunden, sogar bei moderaten Temperaturen. Häufig entsteht im Wartebereich im Sommer Hitzestress (ARMSTRONG, 1994). Um die Bedingungen für die Kühe zu verbessern, kann eine Beregnungsanlage zusammen mit Ventilatoren installiert werden. Dadurch wird der Bereich abgekühlt und für die Tiere komfortabler (ARMSTRONG, 2000; DLG MERKBLATT 336). Dabei muss sichergestellt werden, dass die Euter der Tiere trocken bleiben um keine Einbußen bei der Melk- und Euterhygiene hervorzurufen.

Eine Beregnungsanlage am Ausgang des Melkbereichs anzubringen, dient zur Abkühlung der Kuh nach dem Melkvorgang. Dabei wird die Anlage über eine Lichtschranke aktiviert und durchnässt das Fell des Tieres. Es werden bei dieser Methode der Beregnung 30 Liter pro Minute benötigt. Dabei soll sowohl der Rücken als auch die Seiten der Kuh befeuchtet werden, während der Kopf und das Euter trocken bleiben (COLLIER, DAHL, VANBAALE, 2006). Die Feuchtigkeit des nassen Felles verdunstet auf dem Weg zurück zum Laufstall (ARMSTRONG, 2000). Nach STALLINGS & JONES (1999) soll eine Beregnungsanlage am Melkstandausgang die Kühe ermutigen, nach dem Melken zum Fressen zu gehen.

#### 3.2.3.4 Wasservorrat und -qualität

Das Wasser kann aus verschiedenen Quellen gezogen werden. Nach TURNER, WARNER & CHASTAIN kann sowohl Wasser aus einem Teich, Brunnen oder anderen Reserven des Betriebes verwendet werden. Werden solche Möglichkeiten genutzt, muss die Anlage mit einem Filter ausgestattet sein und/oder eine vorherige Behandlung des Wassers stattgefunden haben.

Die Qualität des verwendeten Wassers hinsichtlich Hygiene wird bis dato in der Literatur nicht weiter behandelt. Nach Aussagen seitens der Tiermedizin sind hier aber negative Effekte auf Stall- und Melkhygiene zu erwarten.

Zu klären bleibt auch, ob allgemein durch die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit im Stall die Stallhygiene negativ beeinflusst wird.

## 4 Hitzestressentwicklung in Bayern

### 4.1 Material und Methode

Zur Einschätzung wie viele Stunden im Jahr eine Hochleistungskuh tatsächlich an Hitzestress leidet, wurden Klimadaten von fünf bayerischen Klimastationen herangezogen. Als Quelle dienen die Klimastationen des Bayerischen Wetternetzes (FACHSERVICE, AGRARMETEOROLOGIE BAYERN). Die Klimadaten wurden auf den Stationen Hohenroth, Hiltersdorf, Häringhof, Steinbeißern und Rothenfeld erhoben (Siehe Abb. 9). Gemessen werden unter anderem Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit.

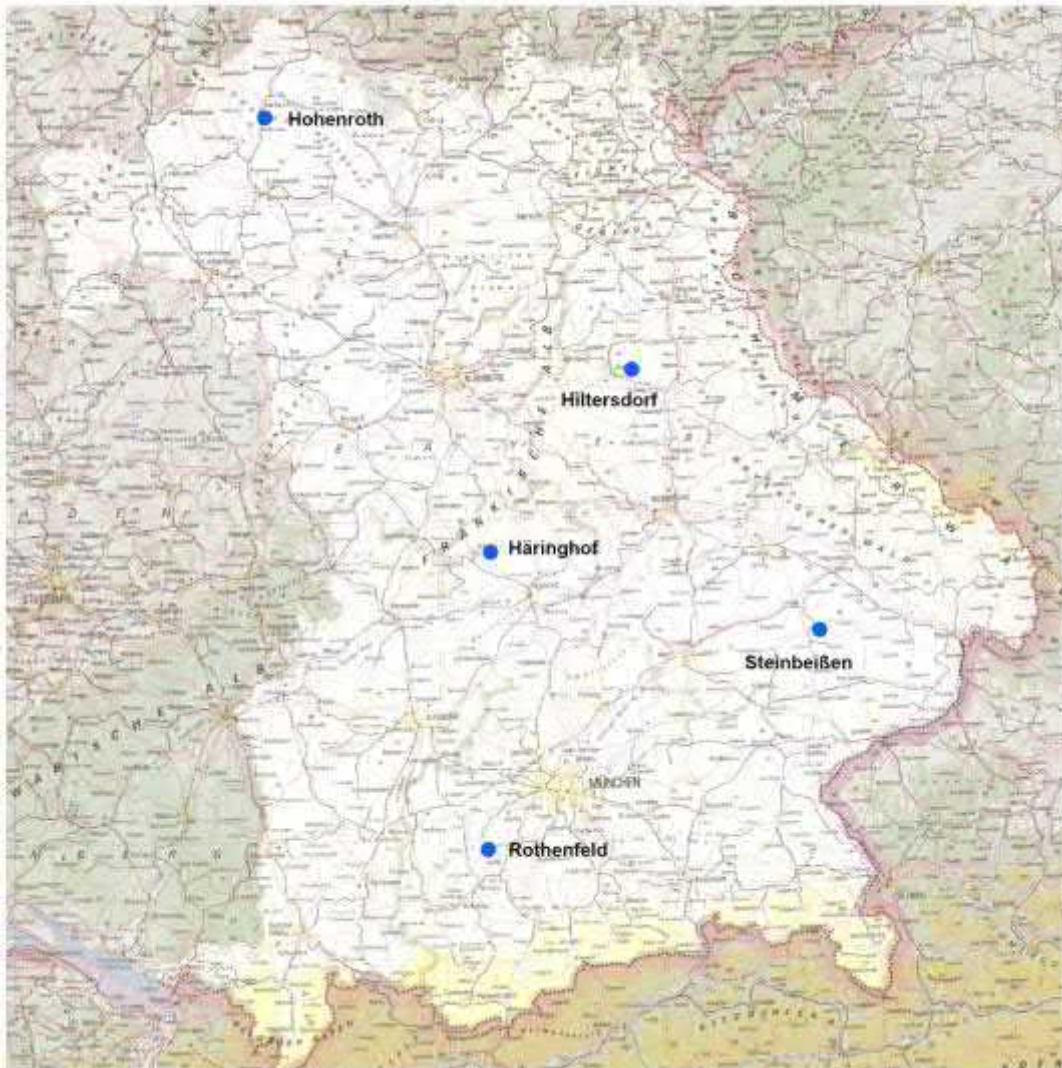


Abb. 9: Übersicht der Wetterstationen

Für die Wetterstationen Häringhof und Steinbeißern liegen Daten seit 1989, für Hohenroth, Hiltersdorf und Rothenfeld seit 1990 vor. Die Datenerhebung erfolgt stündlich über den ganzen Tag.

Aus den Stundenwerten Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit wurde der TH-Index errechnet, der zur Einschätzung herangezogen wurde, wie viele Stunden eine Kuh pro Jahr an Hitzestress leidet. Als Grenzwert wurde ein THI von 68 festgelegt. Aufgrund der Häufung fehlender Werte innerhalb eines Jahres wurden zum Teil ganze Jahre verworfen. Fehlten Temperatur und/oder Luftfeuchtigkeit in den Monaten Januar, Februar, März, November oder Dezember wurden diese Jahre mit berücksichtigt. Fanden jedoch Messungen

über mehrere Tage für die Monate Mai, Juni, Juli und August nicht statt, wurde das ganze Jahr nicht gewertet. Aus diesem Grund weist die Auswertung teilweise Lücken auf.

Da nach Messungen im Milchviehstall Grub (Außenklimastall, Giebelausrichtung Ost-West, kleinformatische Dacheindeckung mit Holzunterdach) die Temperatur an heißen Tagen zwei Kelvin über der Außentemperatur liegt, wurde in einem nächsten Schritt die Temperatur um zwei Kelvin erhöht und wiederum der TH-Index errechnet. Im Falle eines unvollständigen Datensatzes wurde der Stundenwert verworfen. Eine Anpassung der an der Wetterstation gemessenen relativen Luftfeuchtigkeit an die Stallverhältnisse wurde nicht vorgenommen.

## 4.2 Ergebnisse

Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl an Jahresstunden an denen die Tiere unter Hitzestress litten. Temperaturanpassungen werden dabei noch nicht berücksichtigt.

Wetterstation	10	16	65	80	85	
Jahr	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	
1989	387	459				10 Häringdorf
1990	301	456	422	363	459	16 Steinbeßen
1991	381	915	513	433	568	65 Hiltersdorf
1992	521	662	618	536	656	80 Rothenfeld
1993	319	454	367	396	482	85 Hohenroth
1994	387	628			702	
1995	634	629	548	374	645	
1996	322	442	379	186	308	
1997	480	595	590	223	572	
1998	493	570	469	313		
1999	504	543	575	223	492	
2000	579	566	624	324	491	
2001	510	507	352	462		
2002	495	652	625	440	528	
2003	983	1051		880	1008	
2004	409	527		403	492	
2005	523	654	554	432	473	
2006	754	754	757	470	712	
2007	629	684	624	500	527	
2008		735	640	538	581	
2009	603	647	614	542	559	
2010	569	493	560	580	494	
2011	451	729	586	580	561	
2012	614	727	769	560	577	
2013	559	761	616	455	571	
2014	471	527	559	411	501	
Mittelwert	515	630	562	443	563	

Tab. 2: Anzahl der Stunden mit Hitzestress im Außenbereich

Die Auswertung zeigt, dass sich zwischen den Jahren und den Standorten der Wetterstationen teilweise erhebliche Unterschiede ergeben. Die Anzahl der Stunden pro Jahr an denen eine Kuh unter Hitzestress litt, lag im Untersuchungszeitraum zwischen 223 und 1051 Stunden.

In Abb. 10 wird für Bayern die durchschnittliche Anzahl an Stunden pro Jahr mit Hitzestressbedingungen im Außenbereich mit den Spannweiten der Stationen angegeben. Im Mittel der Jahre litt eine Kuh in Bayern an 543 Stunden pro Jahr unter Hitzestress. Aufgrund der Klimaprognosen, die ein Ansteigen der Jahresdurchschnittstemperatur prognostizieren, ist mit einem weiteren Ansteigen der Hitzestresssituation in den nächsten Jahren zu rechnen.

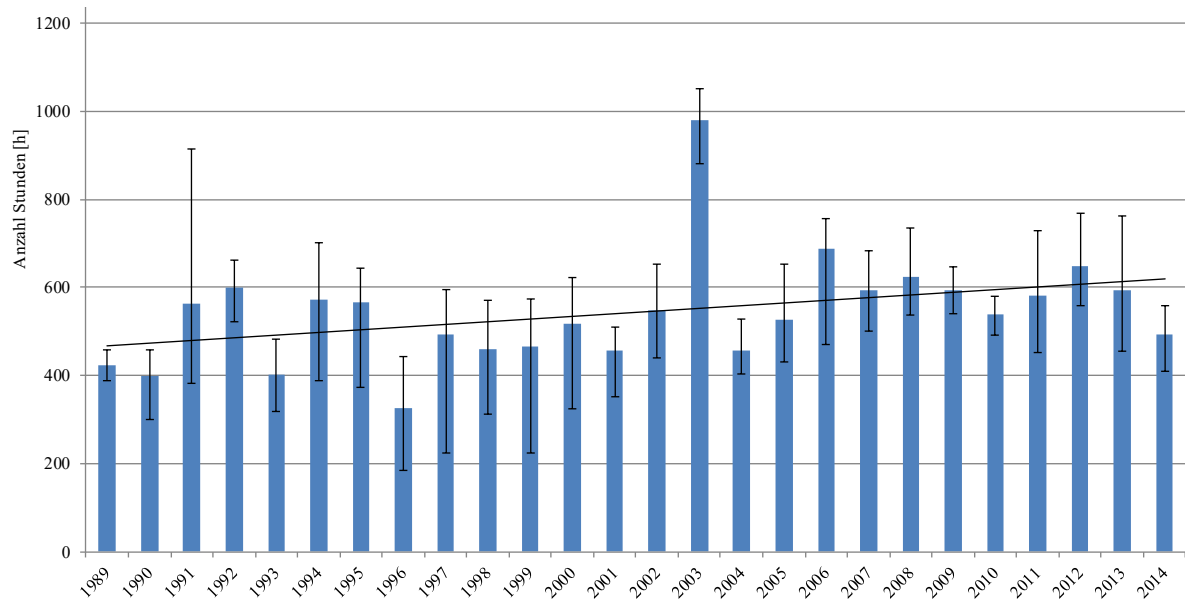


Abb. 10: Durchschnittliche Anzahl an Stunden in Bayern mit Hitzestress im Außenbereich

Unter der Voraussetzung, dass die Temperatur in einem Stallgebäude durchschnittlich um ca. 2 K höher ist als außerhalb eines Stalles, wurden die entsprechenden Werte ebenfalls für die angehobenen Temperaturwerte berechnet.



Tab. 3 zeigt die neuen Werte durch die Erhöhung der Temperatur.

Wetterstation	10	16	65	80	85	
Jahr	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	
1989	718	734				10 Häringdorf
1990	549	798	673	630	792	16 Steinbeifen
1991	656	1282	797	744	930	65 Hiltersdorf
1992	896	1087	1025	960	1054	80 Rothenfeld
1993	605	832	630	731	806	85 Hohenroth
1994	617	943			1057	
1995	963	963	866	657	973	
1996	585	735	640	377	571	
1997	843	934	970	573	965	
1998	827	898	768	624		
1999	882	979	951	533	849	
2000	980	947	1024	648	886	
2001	863	837	625	770		
2002	867	997	999	768	963	
2003	1439	1483		1308	1414	
2004	732	852		701	844	
2005	867	988	884	729	723	
2006	1204	1164	1161	788	1125	
2007	1067	1085	1020	926	968	
2008		1140	1078	865	1060	
2009	1056	1111	1030	903	1004	
2010	897	855	878	863	799	
2011	782	1169	1004	993	982	
2012	1064	1216	1212	944	1007	
2013	915	1144	991	769	964	
2014	812	929	924	707	868	
Mittelwert	834	967	879	744	904	

Tab. 3: Anzahl der Stunden in Bayern mit Hitzestress im Stall

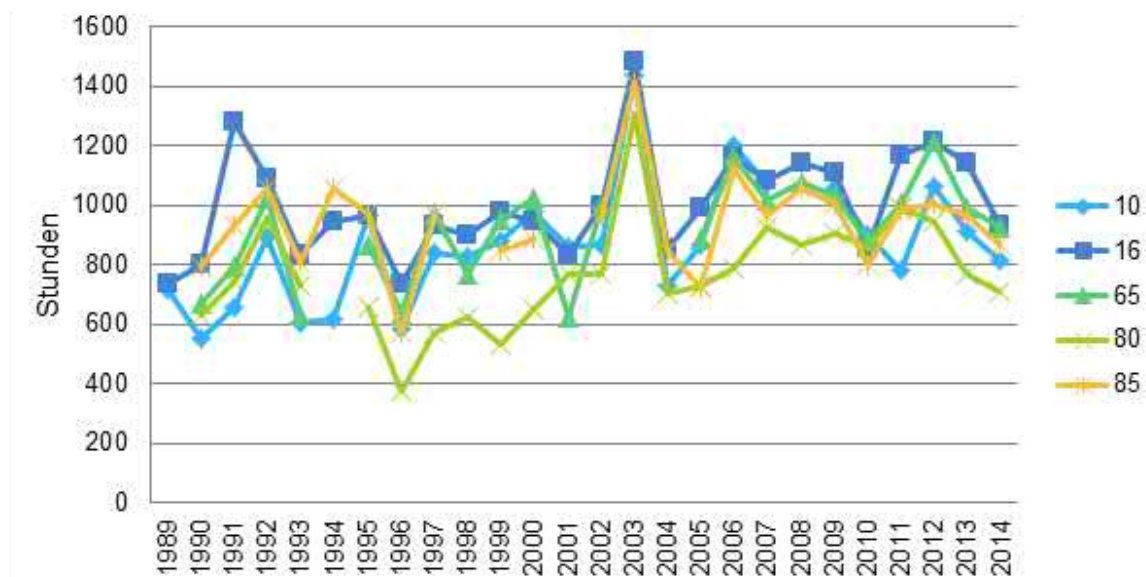


Abb. 11: Entwicklung des Zeitraums [h/a] unter Hitzestressbedingung seit 1989 unter Berücksichtigung der Temperaturveränderung durch das Stallgebäude

Im langjährigen Mittel war die Hitzebelastung mit 630 Stunden Hitzestress in Steinbeißern (16) am höchsten. Bei der Betrachtung der letzten zehn Jahre, lag der Mittelwert bei 658 Stunden Hitzebelastung. Steinbeißern (süd-östlich in Bayern) ist die östlichste Wetterstation der fünf ausgewerteten Stationen. In Rothenfeld (80), der südlichsten Station in Bayern, wurde die niedrigste Hitzebelastung festgestellt. Im Mittel betrug sie 443 Stunden und im Mittel der letzten zehn Jahre 497 Stunden. Beide Stationen zeigen, dass die Hitzebelastung in den letzten zehn Jahren zugenommen hat. Insgesamt zeigten vier der fünf Wetterstationen diesen Trend, einzige Ausnahme war die Wetterstation in Hohenroth. Hier waren die Stunden mit Hitzestress im Mittel der letzten zehn Jahre um 13 Stunden geringer als im langjährigen Mittel. Hohenroth ist die nördlichste Wetterstation. Die Tiere leiden hier laut Berechnung seit 1990 durchschnittlich etwa 563 Stunden pro Jahr an Hitzestress. Als Grenzwert wurde hier ein THI von 68 angenommen.

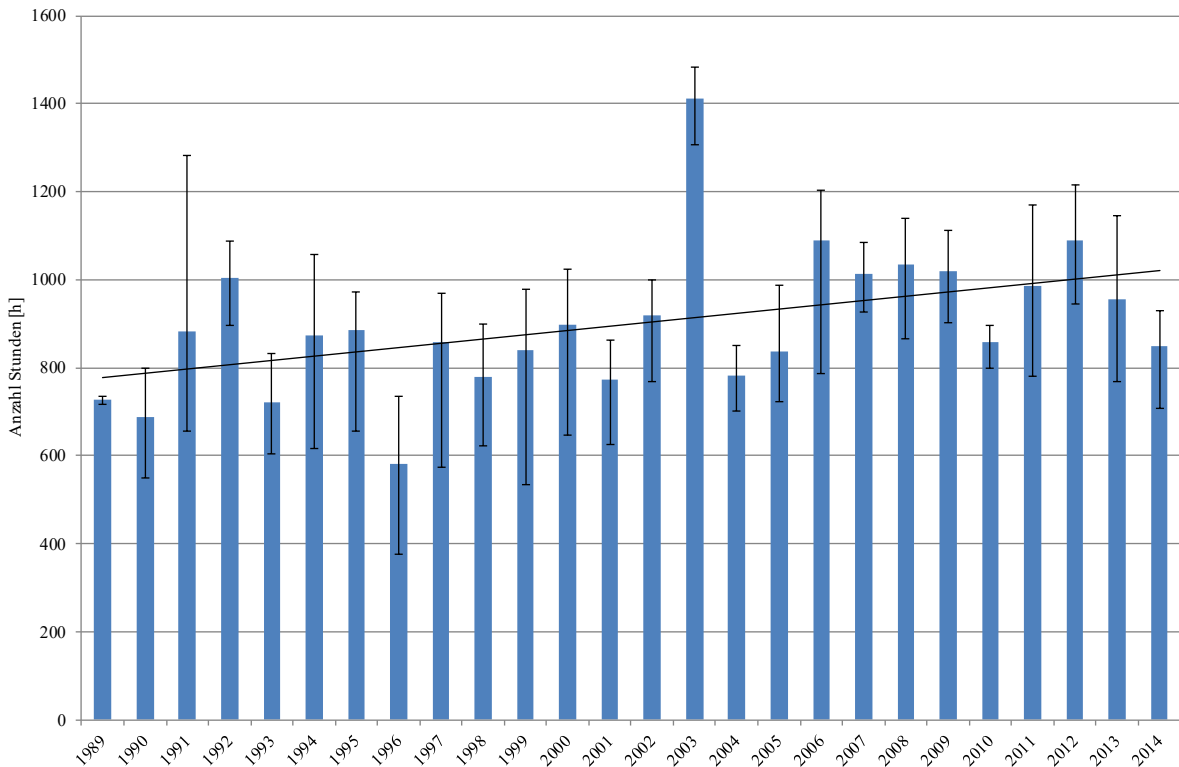


Abb. 12: Durchschnittliche Anzahl an Stunden mit Hitzestress im Stall an den untersuchten Standorten

Durch die theoretische Erhöhung der Temperatur um zwei Kelvin steigt die durchschnittliche Anzahl an Stunden mit Hitzestress deutlich an. Im Mittel der Jahre erhöht sich der Wert um 357 Stunden auf 900 Stunden pro Jahr.

Um einen Eindruck zu erhalten, wie sich die Hitzebelastung weiter entwickelt, wurde für die Standorte Steinbeßen und Rothenfeld ein Diagramm mit linearem Trend erstellt.

Sowohl die Station mit niedrigster Hitzebelastung als auch diejenige mit größter Hitzebelastung zeigen eine steigende Regressionsgerade. Die gleiche Tendenz ist bei den Stunden pro Jahr für einen sinnvollen Einsatz einer Beregnungsanlage zu beobachten.

Einzige Ausnahme ist die Wetterstation Hohenroth (85). Die Regressionsgerade zeigt bei dieser Station kaum eine Steigung.

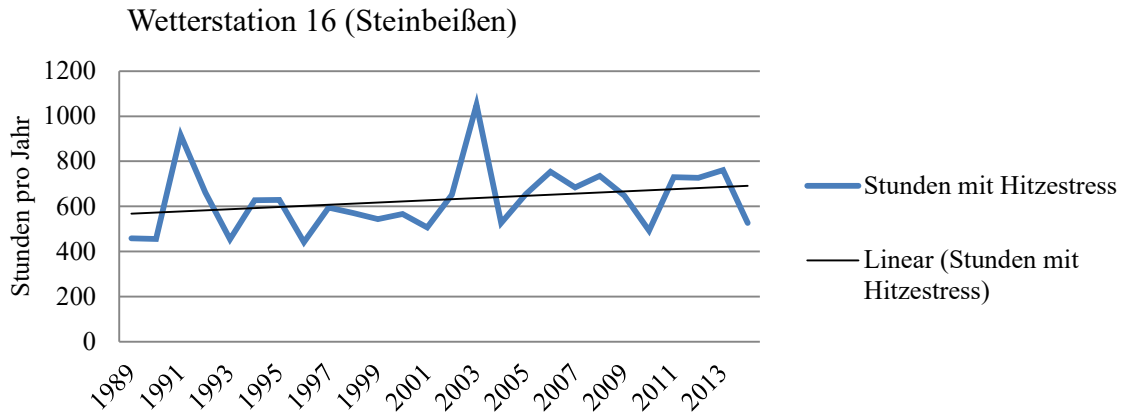


Abb. 13: Stunden mit Hitzestress der Wetterstation 16

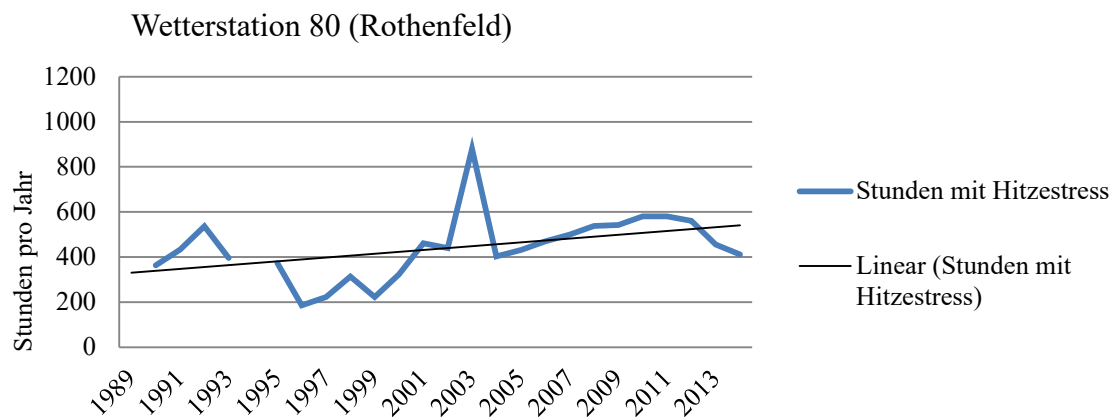


Abb. 14: Stunden mit Hitzestress der Wetterstation 80

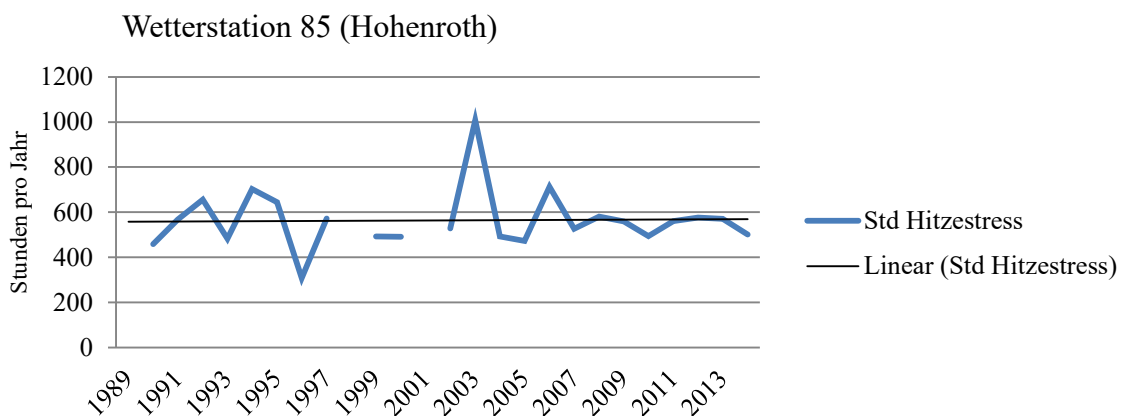


Abb. 15: Stunden mit Hitzestress der Wetterstation 85

## 5 Tierphysiologie

Um die Literaturangaben, die im ersten Teil des Berichts zusammengefasst werden, auf die bayerischen Klima- und Rasseverhältnisse übertragen zu können, wurden die im folgenden aufgeführten Hitzestress-Parameter in einer Untersuchung über mehrere Versuchsphasen validiert. Diese Untersuchungen fanden in der AMS-Herde des Versuchsbetriebs der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub statt.

## 5.1 Versuchsaufbau

Der Versuch war während der Sommermonate 2014 und 2015 in je drei Phasen gegliedert. Als Tiere standen die Kühe der AMS-Herde in Grub zur Verfügung. Aus dieser wurden in jeder Versuchsphase je 8 Tiere der Früh-, Mittel- und Spätlaktation zufällig ausgewählt. Die Früh-laktation umfasste dabei die ersten 100 Laktationstage, die Mittellaktation den 101. – 180. Laktationstag und die Spätlaktation jene ab dem 181. Laktationstag.

Erfasst wurden jeweils physiologische, Leistungs- und Verhaltens-Parameter während folgender Versuchsphasen:

- Erste Versuchsphase unter thermoneutralen Bedingungen als Kontrolle (12. - 14.05.2014 und 19. - 23.05.2015),
- Zweite Versuchsphase unter Hitzestressbedingungen (03. - 07.07.2014 und 10. - 14.07.2015),
- Dritte Versuchsphase unter Hitzestressbedingungen, aber zusätzlichem Einsatz von Ventilatoren zur Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Stall, um eine Kühlwirkung für die Tiere zu erreichen (01. - 05.08.2014 und 10. - 14.06.2015).

## 5.2 Parameter zur Ermittlung der Hitzestressbelastung

Bei den Versuchstieren wurden je Versuchsphase folgende physiologischen, Leistungs- und Verhaltens-Parameter erfasst:

### 5.2.1 Physiologische Parameter

Als physiologischer Parameter wurde zum einen die Herzfrequenz über die Polar Equine Herzfrequenzmessgeräte, RS 800 (Polar Electro, Finnland) gemessen. Diese Herzfrequenzmessgeräte bestanden aus einem Brustgurt, der um den Tierrumpf, kurz hinter dem Ellbogen verlief und zwei Elektroden, eine unterhalb des Ellenbogens und die zweite im Abstand von 50 bis 60 cm oberhalb davon im Bereich des rippengestützten Brustkorbes, integriert hatte. Zwischen den beiden Elektroden war der Sender (WearLink w.i.n.d) angebracht. Die Auflagestellen der Elektroden wurden geschoren und mit ausreichend Ultraschall-Gel (Henry Schein) angefeuchtet. Zum Schutz des Gurtes und des Senders waren diese mit einem elastischen Gummideckengurt aus dem Pferdesportbereich (Fa. Loesdau) versehen. Datenempfänger war die Polar-Sportuhr RS 800, die am Deckengurt in einer Schutzhülle angebracht war, da sie laut Hersteller maximal einen Meter vom Sender entfernt sein durfte (Abb. 16). Von der Polar-Sportuhr konnten die Daten nach jeder Versuchsphase per Infrarot-Verbindung auf den PC übertragen werden. An der Polar-Sportuhr wurde, neben der aktuellen Uhrzeit sowie dem Datum, die Messung der Herzfrequenz alle 60 s eingestellt, so dass pro Minute ein Wert gespeichert wurde.



Abb. 16: Versuchstier mit Polar Herzfrequenzmessgerät

Die Atemfrequenz wurde während des Versuchszeitraumes von 8 bis 20 Uhr stündlich erfasst. Dazu wurden die Flankenbewegungen der Tiere für 15 Sekunden visuell gezählt und anschließend extrapoliert, um die Atemfrequenz als Atemzüge pro Minute zu erhalten.

Die Rektaltemperatur wurde von 8 bis 20 Uhr alle zwei Stunden gemessen. Dafür wurde ein Thermometer (Scala Veterinärthermometer SC 12, Scala Electronic, Stahnsdorf) etwa sieben Zentimeter tief in das Rektum des Tieres eingeführt. Das Thermometer erfasst, laut Hersteller, den Messbereich von 32,0 bis 43,9 °C, mit einer Messgenauigkeit von  $\pm 0,1$  °C, zwischen 35,5 °C und 42,0 °C, bei einer Umgebungstemperatur von 18 bis 28 °C.

Die Kortisol-Konzentration der Tiere sollte nach PALME ET AL. (2013) aus dem Kot der Rinder erfasst werden. Dazu wurden morgens von jeder Versuchskuh rektal Kotproben entnommen und in ein beschriftetes Kotröhrchen gefüllt. Die Kotproben wurden umgehend bei -20 °C eingefroren. Sie sollten nach Ende des Versuches an das Labor des Instituts für Medizinische Biochemie an der Veterinärmedizinischen Universität in Wien zur Bestimmung des Kortisolwertes gesandt werden. Jedoch sagte dieses Labor die bereits zugesagte Kotkortisolmessung kurzfristig ab und es konnte im deutschsprachigen Raum kein weiteres Labor gefunden werden, dass diese Messungen ebenfalls anbietet, so dass die Bestimmung der Kotkortisol-Konzentration entfallen musste.

### 5.2.2 Leistungsparameter

Die Tiere werden über ein Automatisches Melksystem (AMS) der Firma DeLaval gemolken. Dieses erfasst durchgehend die Milchleistung jeder einzelnen Melkung und kann über das Herdenmanagementprogramm (Delpro) abgerufen werden. Aus diesen Daten kann mit zeitanteiliger Zuteilung die tägliche Milchleistung sowie die Anzahl der täglichen Melkungen berechnet werden.

Neben der Milchleistung wird im Stall fortlaufend die Futterraufnahme erfasst. Die Grundfutteraufnahme wird als Frischmasse über die Wiegetröge (Versuchstechnik LfL, Weihenstephan) aufgezeichnet. Die abgerufene Kraftfuttermenge wird automatisch im Melkroboter und in der Kraftfutterabrufstation erfasst und dokumentiert (De Laval DairyPro).

### 5.2.3 Verhaltensparameter

Als Verhaltensparameter konnten das Aktivitäts- und Liegeverhalten der Milchkühe erfasst werden. Dazu wurden die Tiere der Versuchsherde mit Pedometern der Firma ENGS (Israel) ausgestattet (Abb. 17). Diese Pedometer bieten den Vorteil, dass sie neben der bereits üblichen Aktivitätsmessung über einen zusätzlichen Lagesensor auch die Liegeperioden der Kühe erfassen können. Die Pedometer bestehen aus einem Datenlogger in einem starren Plastikgehäuse (69 mm x 51 mm x 27 mm) mit einem Gewicht von 75 g. Sie werden oberhalb des Fesselgelenkes, lateral am Metacarpus mit Hilfe des dazugehörigen Bandes befestigt. Die erhobenen Daten wurden alle sechs Minuten über die im Stall installierte Antenne abgerufen und über einen Receiver an das zugehörige Managementprogramm EcoHerd weitergeleitet. In diesem Programm können neben den veröffentlichten Rohdaten auch bereits ausgewertete Daten sowie Aktivitäts- und Liegegraphiken abgerufen werden. Neben der Antenne im Stall ist unterhalb der Futtertischkante im Fressbereich der Kühe eine weitere Magnetspulenantenne angebracht, durch die über die Pedometer der Aufenthalt der Tiere am Fressplatz erfasst wurde, sobald sich diese in einem Abstand von maximal 40 cm von der Kante des Futtertisches entfernt aufhielten.



Abb. 17: Pedometer am Vorderbein einer Kuh im AMS-Stall

Um die Genauigkeit dieser Pedometer hinsichtlich der Darstellung der Liegezeiten zu evaluieren, wurden die von ihnen aufgezeichneten Liegezeiten mit visuell erfassten Liegezeiten verglichen. Dazu wurden die Differenzzeiten zwischen den über Video visuell erfassten Liegezeiten und den vom Pedometersystem angezeigten Liegephasen berechnet und ausgewertet.

## 5.2.4 Versuchstechnik

### 5.2.4.1 Stalltechnik

Neben der bereits vorhandenen Technik im Stall, wie dem AMS und den Wiegetrögen wurden weitere technische Hilfsmittel im Stall installiert.

Im AMS-Stall der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub wurden über den Liegeboxenreihen Ventilatoren der Firma Ziehl-Abegg angebracht. Diese werden THI abhängig gesteuert. Dazu wird innerhalb des Stalles die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte an zwei Stellen (östliche Seite der Besuchertribüne und in der Mitte des westlichen Teils der doppelreihigen Liegeboxen) mit Sensoren der Firma Schönhammer GmbH gemessen. Weitere Details zur Anordnung und Steuerung der Ventilatoren finden sich in Kapitel 6.3.

Um die Luftströmung im Stall darzustellen wurden 13 Hitzedrahtanemometer (Fa. Schmidt) gleichmäßig im Stall auf 2,35 m Höhe über den Liegeflächen verteilt (Abb. 18). Sie erfassen jede Minute richtungsunabhängig die Luftströmung in m/s.

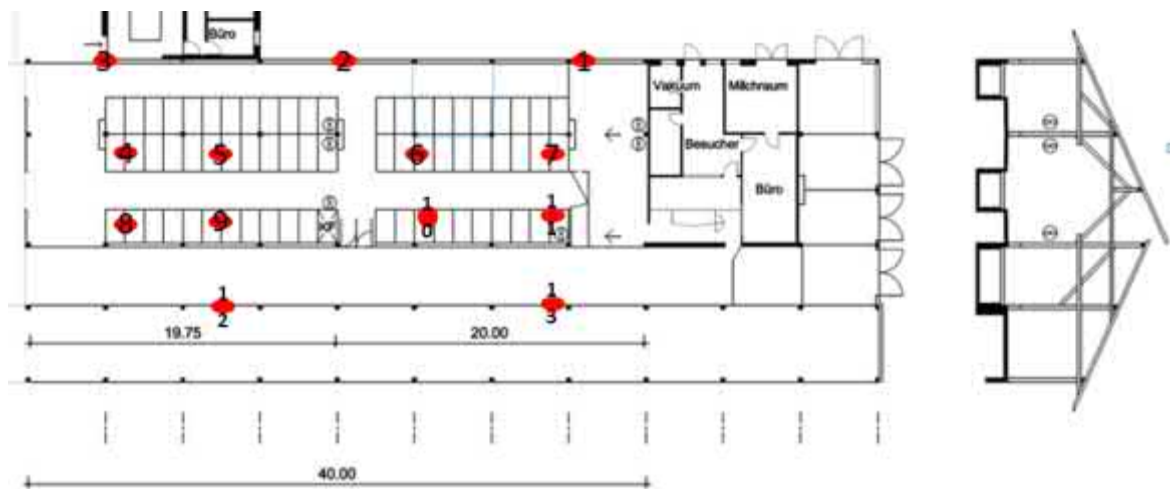


Abb. 18: Anordnung der Strömungsmesssensoren in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub

Außerdem wurden zwei Videokameras installiert (Fa. Mobotix), um einen Großteil des Stalles zu überwachen (Abb. 19). Dies ermöglichte, das Liegeverhalten einzelner markierter Tiere zu erfassen und mit den Pedometerdaten abzugleichen. Zudem konnten bei Auffälligkeiten der Proben gezielt Veränderungen und Aktivitäten im Stall, wie die Liegeboxenpflege, nachvollzogen werden.





Abb. 19: Anordnung der Videokameras (rot) und deren Erfassungsfeld (blau) in der AMS-Gruppe, Milchviehstall Grub

Zur Erfassung der Außenklimawerte wurde eine Wetterstation etwa dreißig Meter südlich vom Stall montiert. Hier werden viertelstündlich die Lufttemperatur [°C], die relative Luftfeuchte [%], die Windgeschwindigkeit [m/s] und die Windrichtung sowie die Globalstrahlung [W/m<sup>2</sup>] aufgezeichnet. Alle Werte werden, mit Ausnahme der Globalstrahlung (2,1 m), in zehn Meter Höhe gemessen.

### 5.2.5 Datenerfassung und Auswertung

Die Daten für die Atemfrequenz- und Körpertemperatur-Messung wurden manuell erfasst und in Microsoft Excel eingepflegt. Die Daten für die Milchleistung und die Futteraufnahme sowie die Pedometerdaten und Klimawerte wurden aus den jeweiligen Managementprogrammen in einer Datenbank gesammelt, teilweise beim Export in einer csv-Datei verrechnet und anschließend in MS Excel importiert. Die Bearbeitung und Auswertung der Daten erfolgte daraufhin mit Microsoft Excel.

Aus den Klimaparametern Lufttemperatur und relative Luftfeuchte wurde der Temperature-Humidity-Index anhand folgender Formel errechnet:

$$THI = (0,8 * T) + \left[ \left( \frac{RH}{100} \right) * (T - 14,4) \right] + 46,6$$

Mit: T = Stall-/Außentemperatur,

RH = relative Stall-/Außenluftfeuchte

## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 Evaluierung des Pedometersystems

361 einzelne Liegeperioden von insgesamt 32 verschiedenen Kühen konnten während der Versuchszeiträume mittels Videoaufzeichnung und ENGS-Pedometer erfasst werden. Die durchschnittliche Liegezeit pro individuellem Liegeereignis lag bei der Videobeobachtung bei

77 min (Standardabweichung  $\pm 69$  min, Maximum 404 min, Minimum 5 min). Die errechnete durchschnittliche Liegedauer je Liegephase der Pedometer betrug 79 min (Standardabweichung  $\pm 71$  min, Maximum 408 min, Minimum 6 min). Die durchschnittliche Abweichung der Liegezeiten der Pedometer von der tatsächlichen Liegedauer pro Liegephase, beobachtet über die Videoaufzeichnung, lag bei 4 min mit einer Standardabweichung von  $\pm 8$  min.

Wie in Abb. 20 zu sehen ist, wurden die Abweichungen der Liegedauern zwischen Pedometer und Videoaufzeichnung in Minutenklassen eingeteilt. Dabei lagen 5,3 % der Liegezeiten je Liegephase innerhalb einer Differenz von einer Minute. In 82,3 % der Fälle wurde die tatsächliche Liegedauer von den ENGS-Pedometern überschätzt, bei 12,5 % kam es zu einer Unterschätzung. Die von den Pedometern erfassten Liegezeiten wichen von der tatsächlich beobachteten Liegezeit durchschnittlich um 5 % ( $\pm 14$  %) ab. Die Hauptursache für die Überschätzung der tatsächlichen Liegezeit durch die Pedometer ist in der fehlenden Aufzeichnung kurzer Liegeunterbrechungen zu finden. So konnten bei den Videoaufzeichnungen 485 einzelne Liegephasen beobachtet werden, von den Pedometern wurden hingegen nur 374 Liegephasen für denselben Zeitraum aufgezeichnet. Zudem lässt das Übertragungsintervall von 6 Minuten mit den zusammengefassten Daten zeitliche Abweichungen nach oben und unten zu.

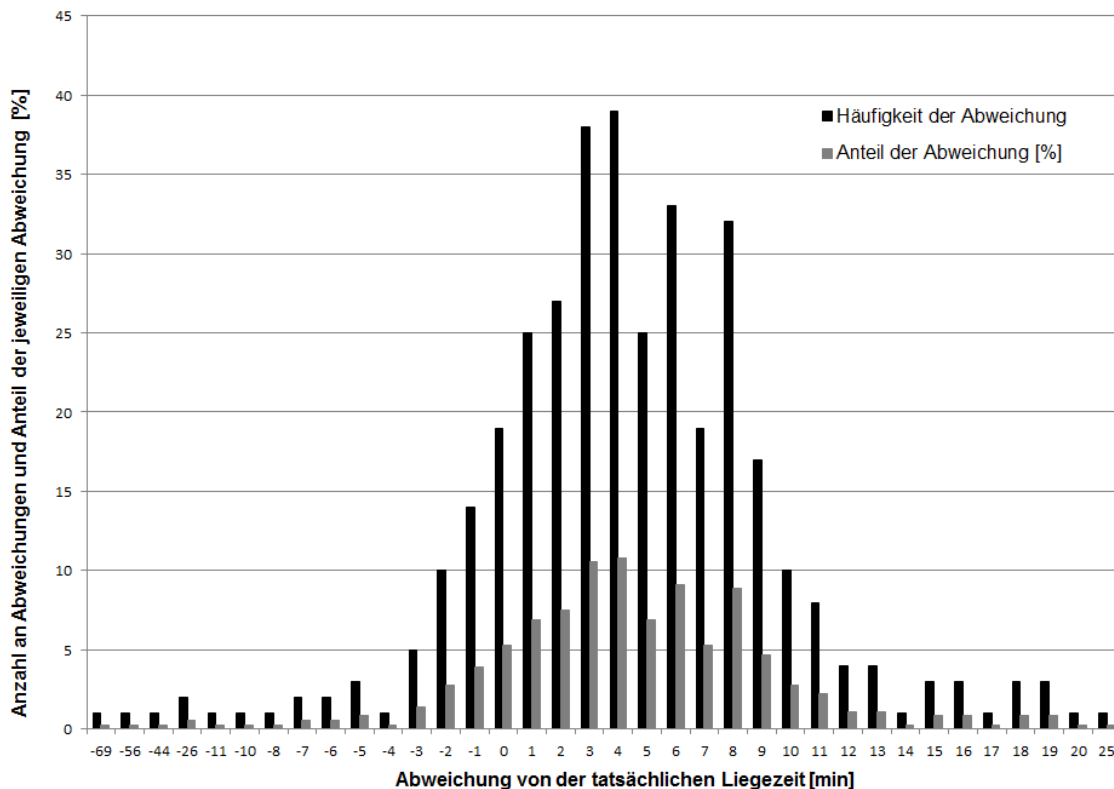


Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der tatsächlichen (schwarz) und relativen (grau) Abweichung der Liegezeit von Pedometer und Videobeobachtung für 361 einzelne Liegephasen

Da nur ein Teil des Liegebereiches mit Hilfe von Videoaufzeichnungen beobachtet werden konnte, war es nur für 4 Tiere möglich, die Tagesdaten von insgesamt 12 Tagen zu evaluieren. Die durchschnittliche tägliche Liegezeit betrug bei der Videobeobachtung 688 min. (Standardabweichung  $\pm 151$  min., Maximum 1078 min., Minimum 583 min.). Die errechnete durchschnittliche Liegezeit pro Tag betrug bei den Pedometern 702 min. (Standardabweichung  $\pm 141$  min., Maximum 1096 min., Minimum 607 min.).

Die durchschnittliche Differenz der täglichen Liegezeit je Kuh zwischen ENGS-Pedometer und Videoaufzeichnung lag bei 22 min ( $\pm 32$  min). Somit betrug die relative tägliche Abweichung der von den Pedometern erfassten täglichen Liegezeit von der tatsächlichen Liegezeit aus der Videobeobachtung 3,3 % mit einer Standardabweichung von  $\pm 4,5$  %.

Über die Videobeobachtung wurden im Mittel 12 ( $\pm 3$ ) einzelne Liegephasen je Tag ermittelt. Die maximale Anzahl an Liegephasen lag bei 16, die minimale bei 8 pro Tag. Die durchschnittliche Liegezeit je Liegephase betrug 51 min. (Standardabweichung  $\pm 39$  min, Maximum 200 min, Minimum 5 min). Im Gegensatz dazu wurden von den ENGS-Pedometern im Mittel nur 9 ( $\pm 1$ ) Liegephasen pro Tag erfasst. Die maximale Anzahl an Liegephasen pro Tag lag bei 12, die minimale Anzahl bei 7 pro Tag. Die durchschnittliche Liegezeit pro Liegephase betrug 60 min. (Standardabweichung  $\pm 65$  min, Maximum 357 min, Minimum 7 min). Somit wurden von den Pedometern im Durchschnitt 3 ( $\pm 2$ ) Liegephasen pro Tag weniger erfasst als tatsächlich beobachtet wurden, was wiederum auf die fehlende Erkennung kurzer Unterbrechungen zwischen einzelnen Liegephasen einer Liegeperiode zurückzuführen ist. Bei der Betrachtung von Tageswerten ist eine Überschätzung der tatsächlichen Liegezeit durch die Pedometer zu finden. Grund hierfür ist wiederum das Übertragungsintervall der zusammengefassten Daten von 6 Minuten.

Um einen besseren Vergleich zwischen Pedometern und Videobeobachtungen zu erhalten, wurden die kurzen Unterbrechungen zwischen den einzelnen Liegephasen, die vom Pedometer nicht erfasst wurden, außer Acht gelassen und die Liegephasen zu längeren Liegeperioden zusammengefasst. Damit lag die mittlere Anzahl an Liegeperioden pro Tag sowohl bei der Videobeobachtung als auch bei den Pedometern bei 7 ( $\pm 1$ ). Die durchschnittliche Abweichung der von den Pedometern gemessenen täglichen Liegezeit (ohne Unterbrechung) lag im Vergleich zur tatsächlichen Liegezeit ebenso wie bei der Erfassung der einzelnen Liegephasenunterbrechungen bei 22 min. Die Standardabweichung betrug  $\pm 19$  min. Durch Herausrechnen der kurzzeitigen Unterbrechungen der Liegeperioden konnte die relative Abweichung der Pedometer von der tatsächlichen Liegezeit auf 2,9 % ( $\pm 2,5$  %) gesenkt werden.

Es zeigt sich auch hier, dass die Überschätzung der tatsächlichen Liegezeit pro Tag nicht allein auf die fehlende Erkennung kurzzeitiger Liegezeitunterbrechungen zurückzuführen ist, sondern auch dem Übertragungsintervall von 6 Minuten geschuldet ist. Die geringe prozentuale Abweichung der Pedometer-Liegezeiten von den tatsächlichen Liegezeiten pro Tag sowohl mit, als auch ohne Einbeziehung der Liegeunterbrechungen, zeigt, dass das Pedometersystem hinsichtlich der Beurteilung täglicher Liegezeiten gut eingesetzt werden kann.

### 5.3.2 Klimawerte

Die Lufttemperatur im Stall lag während der beiden Hitzestressphasen deutlich über den Werten während der thermoneutralen Phase (Abb. 21). Dabei herrschten während den Hitzestressphasen vergleichbare Lufttemperaturen. Die einzelnen Durchschnitts-, Minimum- und Maximumwerte können der Tab. 4 im Anhang entnommen werden.

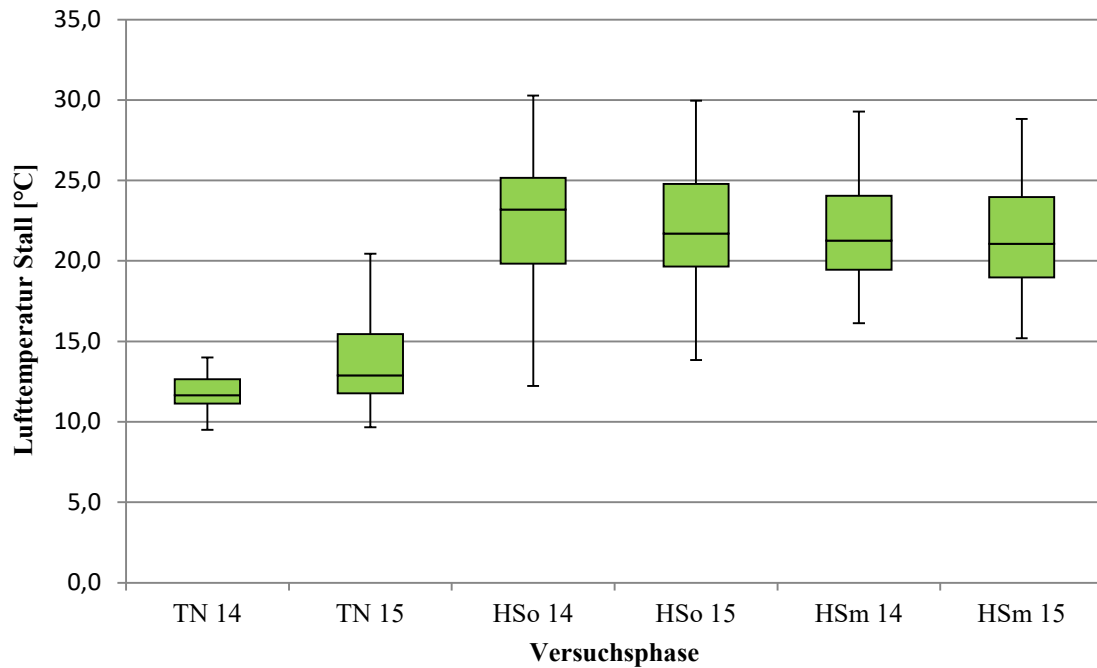


Abb. 21: Boxplot der Lufttemperatur im AMS-Stall Grub während der drei Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15)

Bei der relativen Luftfeuchte im Stall zeigten sich während der drei unterschiedlichen Versuchsphasen keine großen Differenzen (Abb. 22). Während der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz lagen sie geringfügig unter den Werten der thermoneutralen und der Hitzestressphase mit Unterstützungslüftung durch die Ventilatoren. Die einzelnen Werte (Durchschnitt, Minimum und Maximum) sind im Anhang Tab. 4 zu finden.

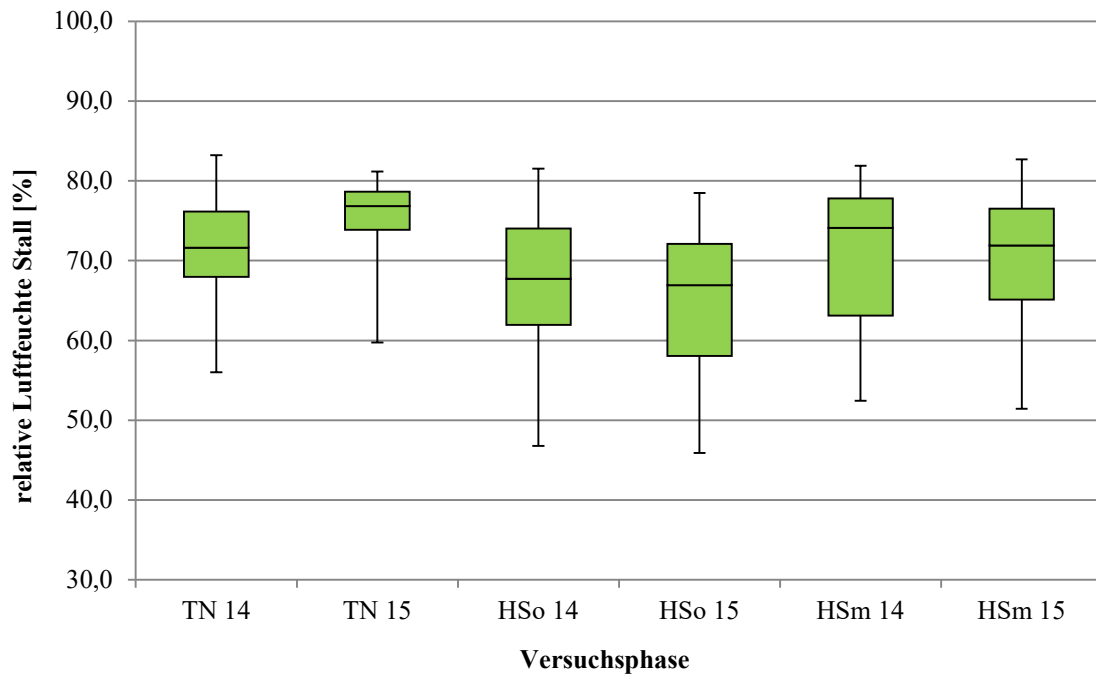


Abb. 22: Boxplot der relativen Luftfeuchte im AMS-Stall Grub während der drei Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15)

Aus den beiden Parametern Lufttemperatur und Luftfeuchte wurde der THI nach oben angegebener Formel berechnet. Hier zeigt sich, dass dieser während den Versuchsphasen mit Hitzestress deutlich über den Werten der thermoneutralen Phasen liegt (Abb. 23). Auch hier lagen während der Hitzestressphasen ähnliche THI – Werte vor, die eine Vergleichbarkeit der Phasen zulassen. Durchschnitt, Minimum und Maximum der einzelnen Versuchsphasen sind aus Tab. 4 im Anhang zu entnehmen.

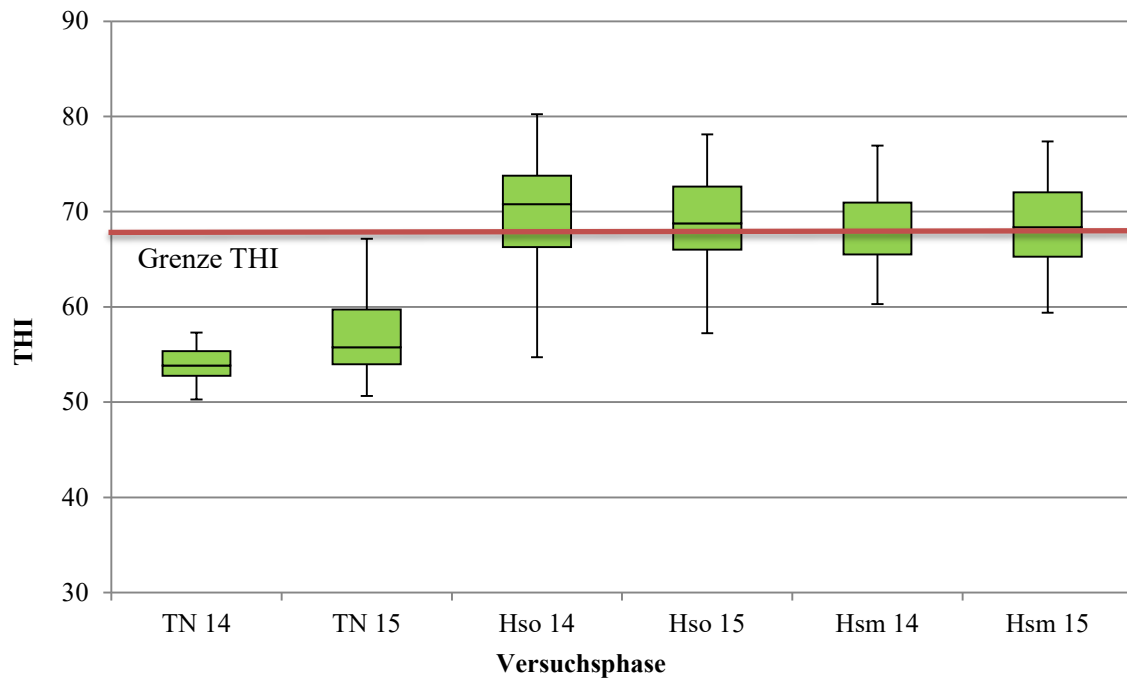


Abb. 23: Boxplot des THI im AMS-Stall Grub während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, Hso = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, Hsm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15)

Im Jahr 2014 wurde der THI im Stall mit dem THI im Außenbereich während der thermoneutralen Versuchsphase und der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz verglichen (Abb. 24). Dabei zeigte sich, dass der THI im Stall etwas zeitverzögert dem THI im Außenbereich folgt. Zudem liegt der Stall – THI in der Regel über dem THI im Außenbereich.

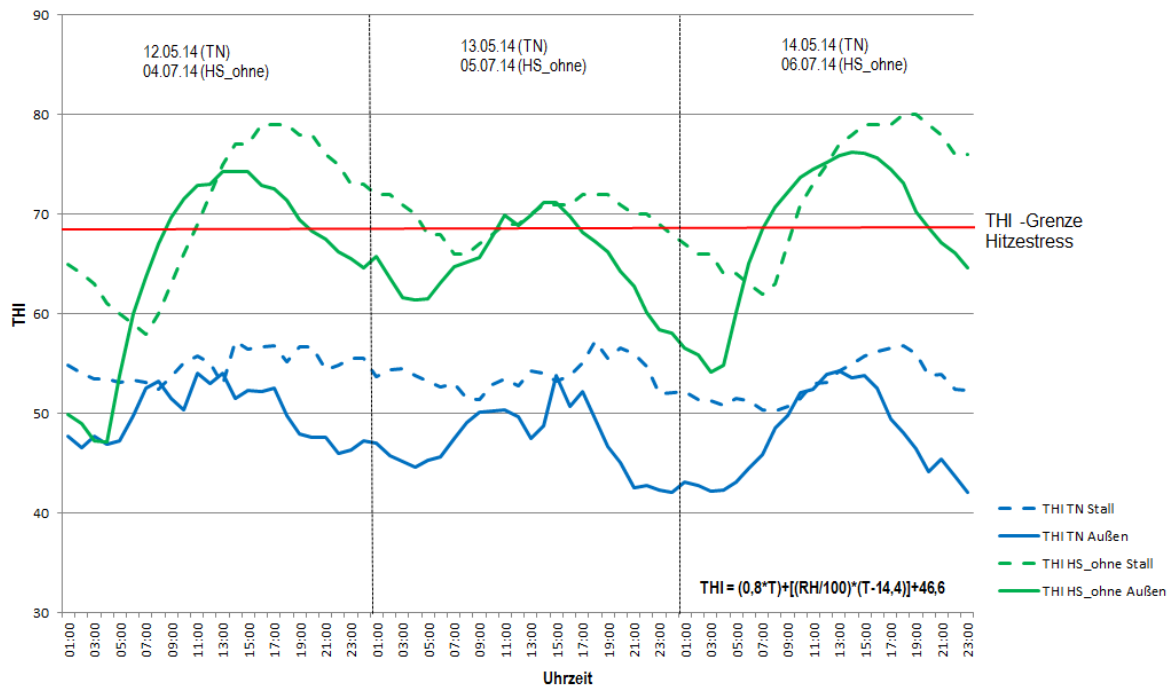


Abb. 24: Verlauf des THI im Milchviehstall Grub (grün) und dem Außenbereich (blau) während der thermoneutralen Versuchsphase (TN) und der Hitzestressperiode ohne Ventilatoren (HS\_ohne) 2014

### 5.3.3 Tierparameter

#### 5.3.3.1 Physiologische Parameter

##### Atemfrequenz

Die Atemfrequenz der Tiere reagierte sehr schnell auf ansteigende Stalltemperaturen und den THI im Stall und stieg zum Teil auf Werte weit oberhalb der physiologischen Obergrenze von 40 Atemzügen pro Minute an (Abb. 25). Die Werte für den Durchschnitt, das Minimum und das Maximum der einzelnen Versuchsphasen sind Tab. 5 im Anhang zu entnehmen.

In Einzelfällen zeigt sich ein sehr deutlicher Anstieg der Atemfrequenz während der Hitzestressphase mit Einzelmessungen oberhalb von 100 Atemzügen pro Minute, wie Abb. 26 zeigt. Im Verlauf kann auch ein Abfall der Atemfrequenz während der kühleren Nachtstunden und ein erneuter Anstieg während des Tages beobachtet werden.

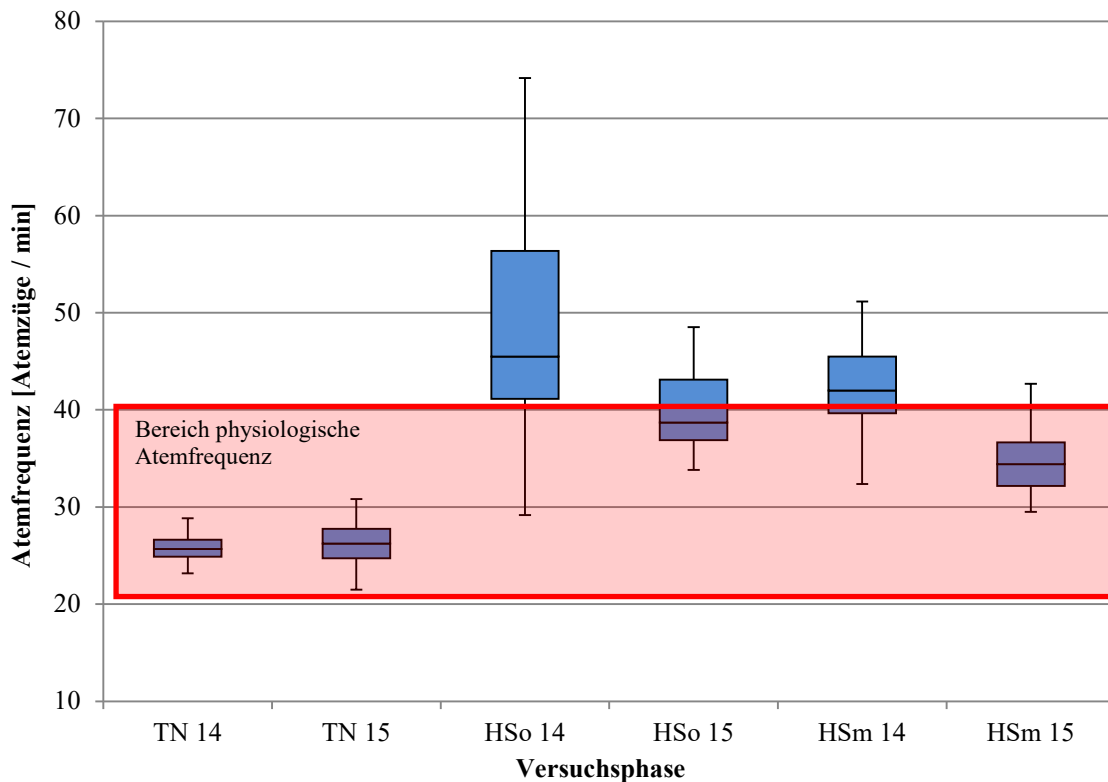


Abb. 25: Boxplot der Atemfrequenz der 24 Versuchskühe während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15). Der rot markierte Bereich zeigt die Spannweite der physiologischen Atemfrequenz.

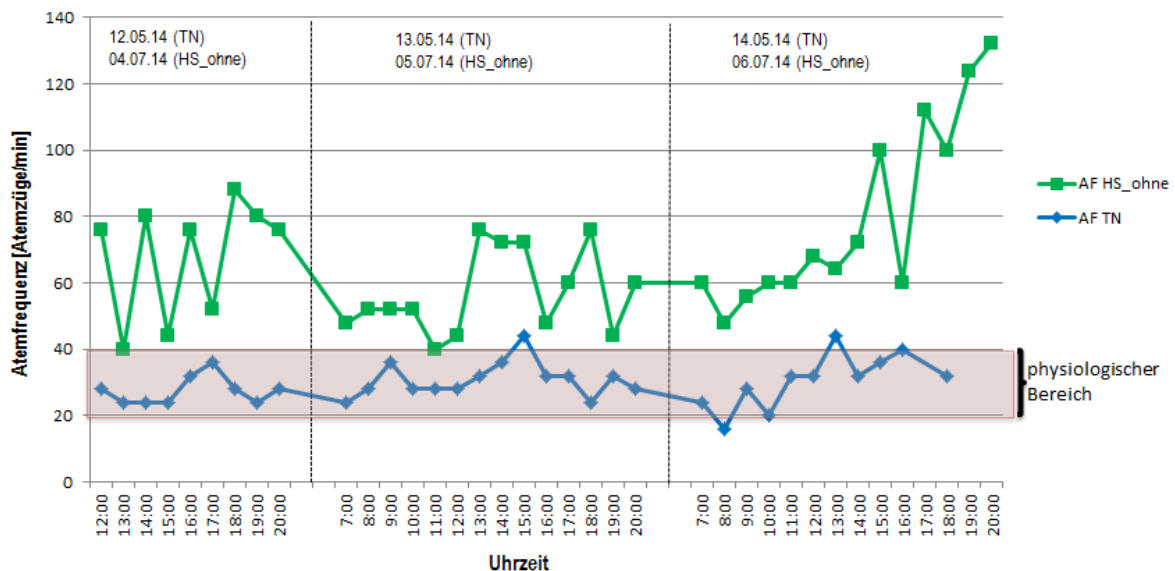


Abb. 26: Atemfrequenz von Kuh 625 während der thermoneutralen Phase (TN, blau) und der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz (HS\_ohne, grün) 2014

### Körpertemperatur

Die Körpertemperatur lag während der Hitzestressphasen sowohl ohne auch als mit Ventilatoreinsatz tendenziell höher als während der thermoneutralen Phase. Dabei wurde die



physiologische Obergrenze von 39 °C jedoch nur in Einzelfällen überschritten (Abb. 27). Der Durchschnitt, das Minimum und das Maximum der einzelnen Versuchsphasen sind in Tab. 5 (Anhang) zu finden.

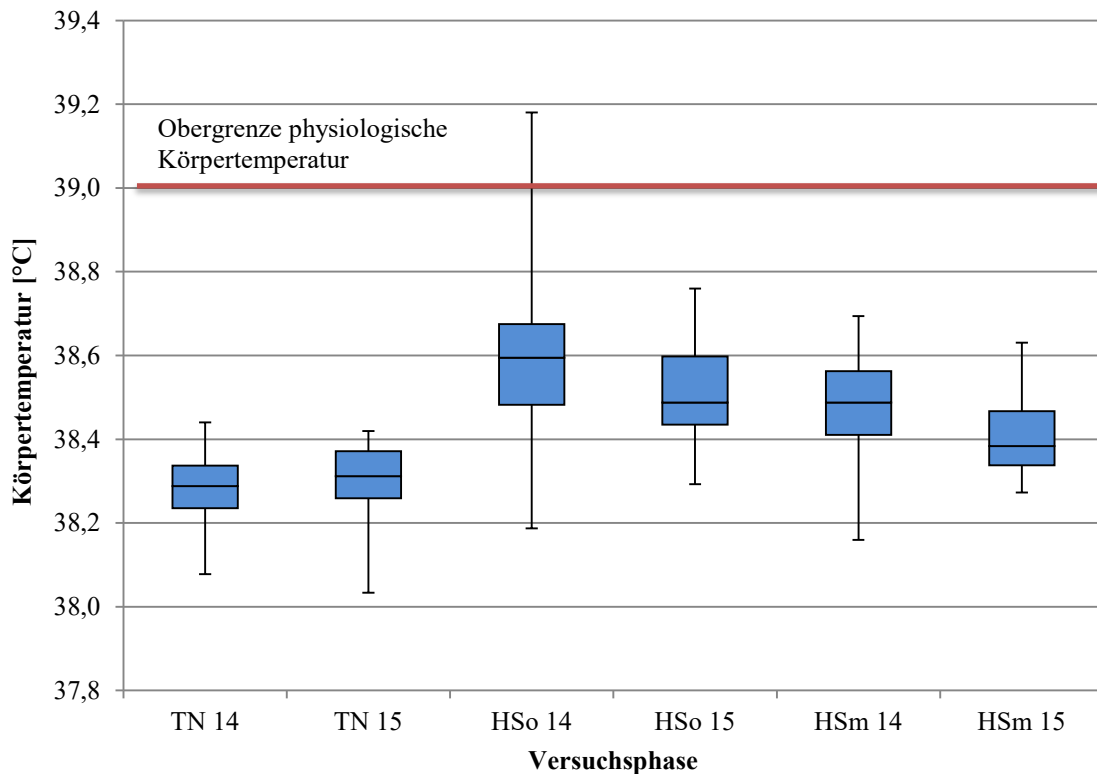


Abb. 27: Boxplot der Körpertemperatur der 24 Versuchskühe während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15). Die rote Linie entspricht der Obergrenze der physiologischen Körpertemperatur.

### Herzfrequenz

Die Herzfrequenz zeigte keine deutlichen Differenzen während der verschiedenen Versuchsphasen. Generell schien sie 2014 etwas höher zu liegen. Die physiologische Grenze von 70 – 90 bpm (beats per minute = Schläge pro Minute) wurde jedoch während der Hitzestressphasen nur in Einzelfällen überschritten (Abb. 28). Auch hier sind die einzelnen Werte (Durchschnitt, Minimum und Maximum) im Anhang Tab. 5 zu finden.

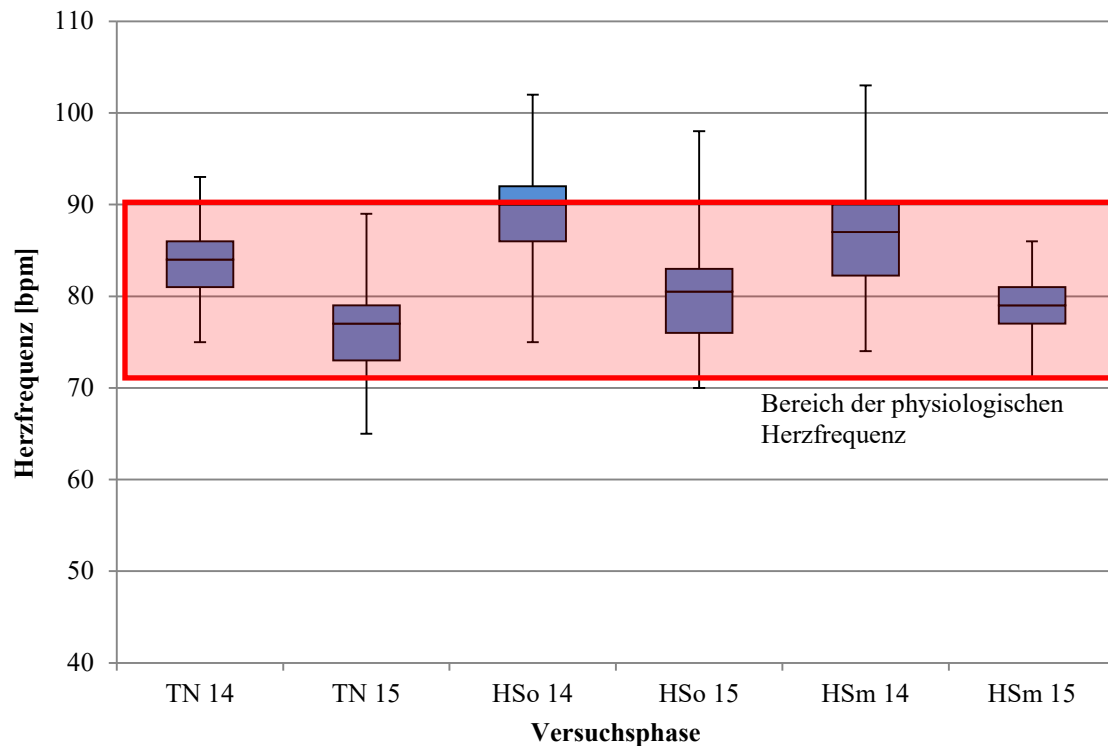


Abb. 28: Boxplot der Herzfrequenz der 24 Versuchskühe während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15). Der rot markierte Bereich entspricht der physiologischen Herzfrequenz.

### 5.3.3.2 Leistungsparameter

Als Leistungsparameter wurde neben der täglichen Milchleistung auch die Futteraufnahme erfasst. Ausgewertet wurde hier nur die tägliche Grundfutteraufnahme, bestehend aus einer Teil-Misch-Ration (TMR) aus den Wiegetrögen, da beim Kraftfutter die aufgenommene Menge je Tier nicht eindeutig ermittelt werden konnte. An der Kraftfutterabrufstation kam es regelmäßig zu Verdrängungen durch ranghöhere Tiere, die dann das von der vorherigen Kuh abgerufene Kraftfutter aufnahmen.

Es zeigt sich, dass die Grundfutteraufnahme der Kühe während der thermoneutralen Phase 2014 mit 39,55 kg Frischmasse (FM) pro Tag deutlich unter der aufgenommenen Futtermenge während der Hitzestressphasen 2014 mit durchschnittlich 46,90 kg FM/d (HSo) bzw. 44,92 kg FM/d (HSm) lag. Das Minimum und Maximum finden sich im Anhang in Tab. 6.

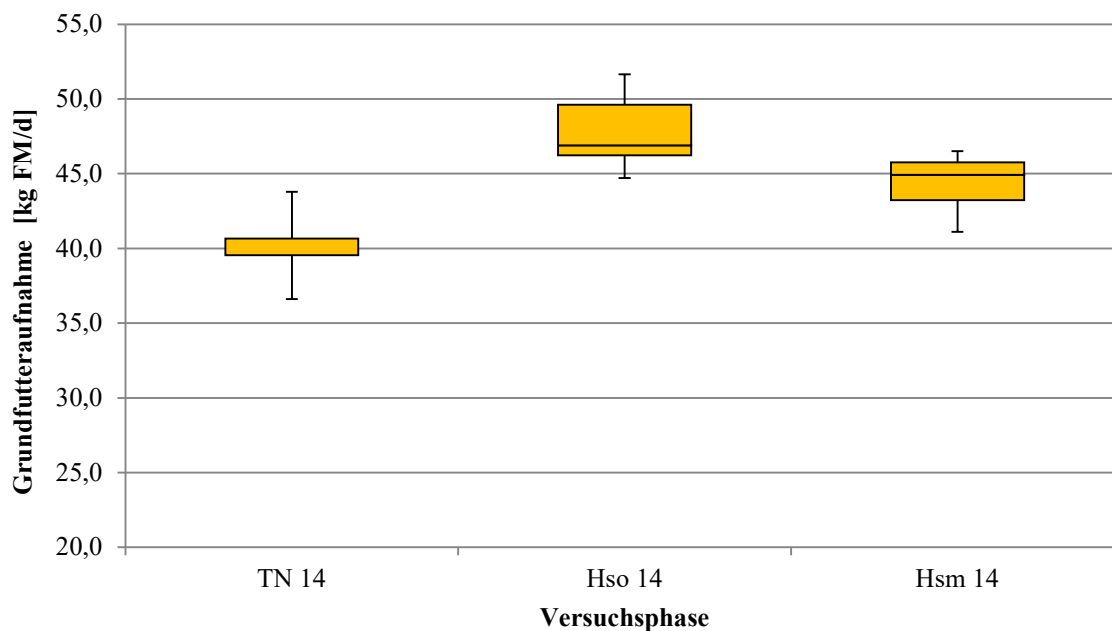


Abb. 29: Boxplot der täglichen Grundfutteraufnahme [kg FM] der 24 Versuchskühe während der drei Versuchsphasen 2014 (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren)

Die Milchleistung der Kühe wurde über das AMS bei jeder Melkung erfasst und mit Hilfe des Melkzeitpunkts und den Milchmengen pro Tag berechnet. Im Versuchsjahr 2014 lag die durchschnittliche Milchleistung pro Tier mit durchschnittlich 31,0 kg Milch pro Tag höher als während der Hitzestressphasen mit durchschnittlich 30,6 kg/d (HSo) bzw. 30,1 kg (HSm) (Abb. 30). Die Werte für Minimum und Maximum können Tab. 6 im Anhang entnommen werden.

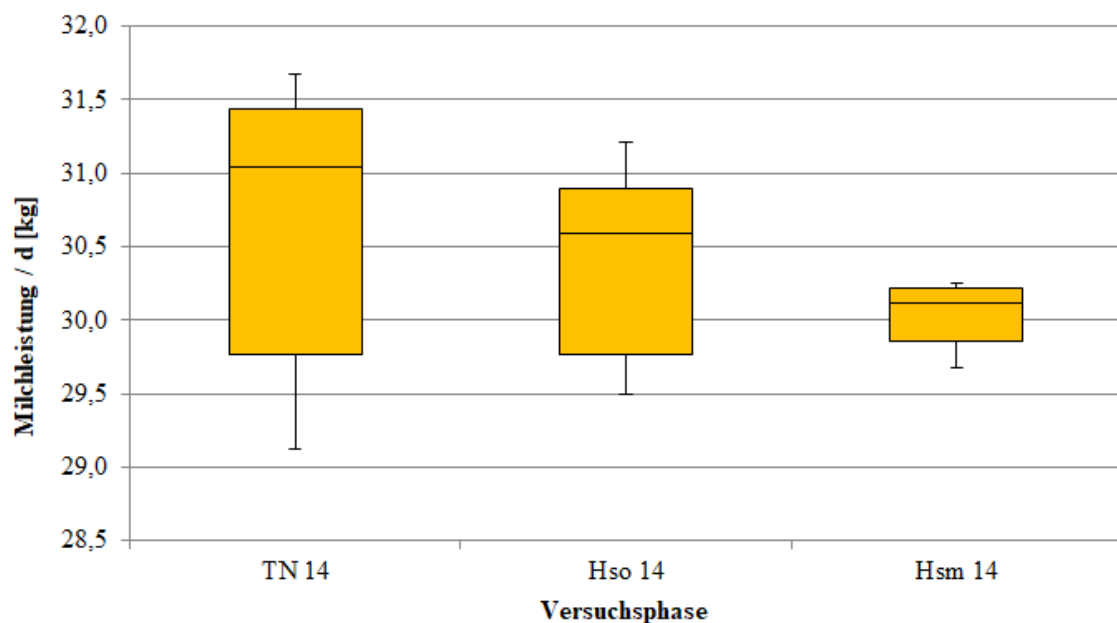


Abb. 30: Boxplot der täglichen Milchleistung der 24 Versuchskühe während der drei Versuchsphasen 2014 (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren)

### 5.3.3.3 Verhaltensparameter

Als Verhaltensparameter wurde die tägliche Gesamtliegedauer je Kuh mit den Pedometern der Firma ENGS aus Israel erfasst.

Wie Abb. 31 zeigt, lagen die Tiere 2014 während der thermoneutralen Phase durchschnittlich 11,7 Stunden pro Tag, mit einer Spannweite von 10,7 bis 12,9 Stunden. Während der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz betrug die mittlere Tagesliegedauer 11,7 Stunden. Im Minimum lagen die Tiere 11,1 Stunden, im Maximum 11,9 Stunden pro Tag. Während der Hitzestressphase mit dem Einsatz der Ventilatoren im Stall war die mittlere Liegedauer je Tag 11,0 Stunden, mit einem Minimum von 10,3 Stunden Liegedauer pro Tag und einem Maximum von 11,7 Stunden pro Tag.

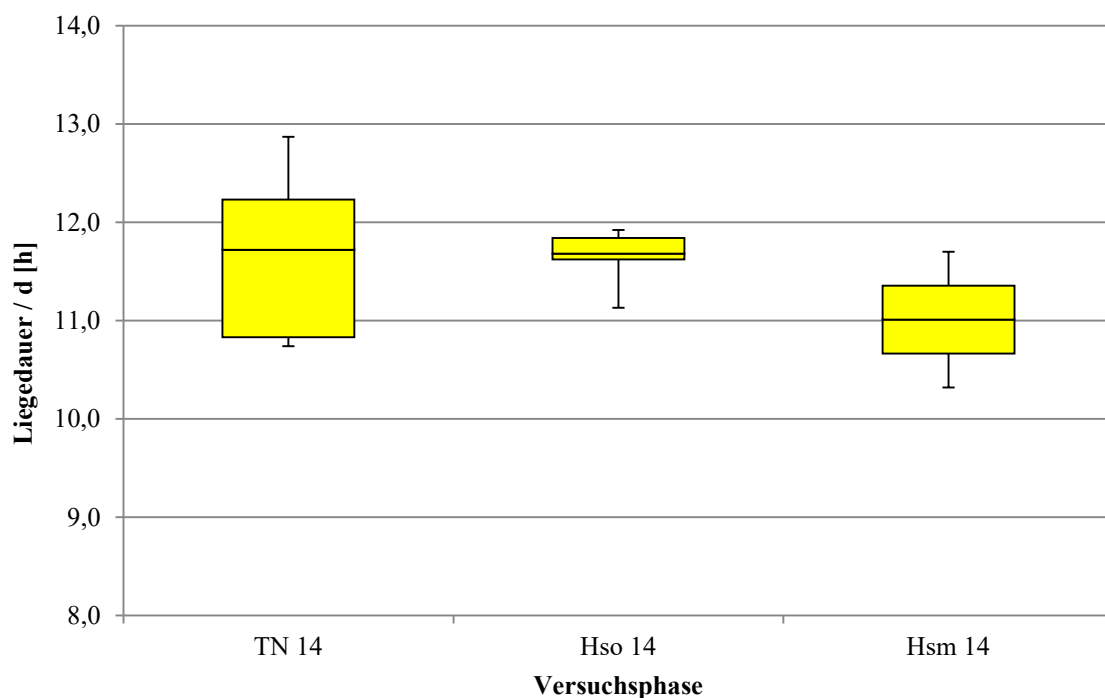


Abb. 31: Tägliche Liegedauer der 24 Versuchskühe während der drei Versuchsphasen 2014 (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren)

## 5.4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Wie aus den Ergebnissen der Temperaturmessung im AMS-Stall in Grub während der Sommermonate 2014 und 2015 hervorgeht, waren bei der Stalltemperatur deutliche Unterschiede zwischen der thermoneutralen Phase und den Hitzestressphasen zu erkennen. Während der beiden Hitzestressphasen unterschied sich die mittlere Stalltemperatur kaum voneinander, sie lag mit über 20 °C im Tagesdurchschnitt deutlich oberhalb der in der Literatur angegebenen thermoneutralen Zonen von 4 – 16 °C (DLG-MERKBLATT 336, 2005; BRADE, 2013) und es kann davon ausgegangen werden, dass die erhöhten Temperaturen, insbesondere die Tageshöchstwerte, bei den Tieren einen deutlichen Stress auslösen kann. Dies unterstreicht auch der durchschnittliche THI Wert während der Hitzestressphasen, der mit Werten von > 68 oberhalb bzw. an der von BURGOS-ZIMBELMAN (2008) festgelegten Grenze für das Auftreten von Hitzestress liegt.

Die relative Luftfeuchte im Stall ging zwar während der Hitzestressphasen zurück, lag jedoch auch hier immer noch in einem Bereich von 70 % relativer Luftfeuchte, so dass ein

Einsatz von Kuhduschen zur Abkühlung der Tiere nur in sehr begrenztem Umfang möglich gewesen wäre. Denn eine hohe relative Luftfeuchte, vor allem im Zusammenhang mit einer hohen Umgebungstemperatur schränkt die natürliche Wärmeabgabe der Tiere stark ein, so dass eine Belastung durch Hitzestress bereits früher oder in höherem Maße eintritt (JESSEN, 2005).

Bei der Betrachtung der Schwankungsbreite des THI zeigt sich, dass dieser während der Hitzestressphasen zwar im Durchschnitt an der THI-Grenze von 68 für den Beginn von Hitzestress liegt, aber im Maximum deutlich darüber ansteigt, bis zu einem Wert von 80, was laut BURGOS-ZIMBELMAN (2008) bereits einer starken Hitzestressbelastung entspricht. Auch der Vergleich des THI im Stall und im Außenbereich zeigt, dass eine Hitzestressbelastung im Stall bereits früher als im Außenbereich zu erwarten ist, was vor allem der höheren relativen Luftfeuchte im Stall geschuldet ist, da die Tiere während der evaporativen Wärmeabgabe viel Wasser durch Verdunstungskühlung an die Umgebung abgeben.

TOBER UND LOEBSIN (2013) und auch ZIMBELMAN ET AL. (2009) empfehlen ab einer Umgebungstemperatur von 15 °C bzw. einem THI von 65 bei einem Tagesdurchschnitts-THI von 68 eine Unterstützung der Kühe bei der Wärmeabgabe, so dass auch unter bayerischen Klimabedingungen der Einsatz von technischer Unterstützungskühlung empfehlenswert ist. Dabei ist zu beachten, dass in dem vorliegenden Versuch die Hitzestressphasen nicht während der Extremsituationen im Sommer gemessen wurden, sondern eher unter gemäßigten Bedingungen, um eine Vergleichbarkeit der beiden Hitzestressphasen zu gewährleisten. Umso mehr ist daher anzuraten, die Tiere während der Sommermonate bei der Wärmeabgabe zu unterstützen.

Bei den physiologischen Parametern ergab vor allem die **Atemfrequenz** einen guten Hinweis auf das Vorliegen von Hitzestress, da sie bei einer unterschiedlichen Hitzestressbelastung der einzelnen Kühe relativ zeitnah, ohne Verzögerung anstieg. Wie die Ergebnisse zeigen, lag die Atemfrequenz während der Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, vor allem im Jahr 2014 deutlich über der physiologischen Obergrenze von 40 Atemzügen pro Minute, was die Stresssituation, unter der die Tiere während der Sommermonate litten, noch einmal verdeutlicht. Bei Einsatz von Ventilatoren während einer Belastungssituation durch Hitze ist zu folgern, dass die Atemfrequenz im Durchschnitt niedriger liegt und damit der Stress für die Tiere geringer ist als bei einer Hitzestressbelastung ohne Ventilatoreinsatz. Jedoch ist sie meist auch dann immer noch oberhalb des physiologischen Bereichs. Dies lässt den Schluss zu, dass der Einsatz von Ventilatoren helfen kann, die Wärmebelastung der Kühe zu reduzieren und dass daher, nach Prüfung der örtlichen Gegebenheiten, der Einsatz von Ventilatoren während der Sommermonate anzuraten ist.

Auch die **Körpertemperatur** gibt einen Hinweis auf die Hitzestressbelastung der Tiere, da sie bei den Versuchstieren während der Hitzestressphasen über den Werten der Thermoneutralen Phase lag und ein Anstieg der Körpertemperatur ein Hinweis dafür sein kann, dass die Kuh ihre Körperwärme nicht mehr in ausreichendem Maße an die Umgebung abgeben kann. Auch ließ sich beobachten, dass die Körpertemperatur während der Hitzestressphasen mit dem Einsatz von Ventilatoren geringfügig geringer war, als während der Hitzestressphase ohne Ventilatoren, so dass auch hier der Unterstützungseffekt der Ventilatoren bei der Abgabe von Körperwärme unterstrichen wird.

Bei der **Herzfrequenz** lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Hitzestressphasen und der thermoneutralen Phase finden. Jedoch war sie im Durchschnitt während der Thermoneutralen Phase tendenziell etwas geringer als unter den Hitzestressbedingungen, was wiederum auf die Belastung der Tiere bei Hitzestress hinweist. Auch die im Durchschnitt geringeren Werte während der Hitzestresssituation mit Ventilatoreinsatz, im Ver-

gleich zu denjenigen ohne, lassen einen Rückschluss auf den positiven Effekt der Ventilatoren zur Verringerung der Belastungssituation zu.

Während in der Literatur (DLG MERKBLATT 336, 2005; BURGOS-ZIMBELMAN, 2008) ein Rückgang der **Futteraufnahme** unter Hitzestressbedingungen zu finden war, konnte dies in dieser Versuchsanstellung nicht bestätigt werden. Ursachen könnten bei der Futterqualität liegen. Ferner könnte die Futteraufnahme von weiteren Versuchen, die zu dieser Zeit parallel in der AMS-Herde in Grub stattfanden, beeinflusst worden sein. Zudem könnte auch die Versuchsphase von 5 Tagen zu kurz gewesen sein, um einen ausreichenden Einfluss auf die Futteraufnahme nachzuweisen, da in anderen Untersuchungen (BRADE, 2013) ein zeitverzögerter Rückgang der Futteraufnahme zu beobachten war.

Die **Milchleistung** hingegen lag während der Hitzestressphasen um durchschnittlich 0,4 (HSo) bis 0,9 (HSm) kg pro Tag (1,3 % (HSo) bzw. 2,9 % (HSm)) niedriger als während der thermoneutralen Phase. Dieser Effekt deckt sich mit den Angaben aus der Literatur (FUQUAY, 1981; WEST, 2003; DLG MERKBLATT 336, 2005; BURGOS-ZIMBELMAN, 2008).

Ebenso änderte sich das **Verhalten** der Tiere. Ihre tägliche Liegedauer ging im Durchschnitt während der Hitzestressphasen gegenüber der thermoneutralen Phase zurück. Dies weist darauf hin, dass die Tiere im Liegen, gerade in den Tiefboxen, größere Probleme hatten ihre Körperwärme in ausreichendem Maße an die Umgebung abzugeben und sie auch aktiv nach angenehmeren Plätzen im Stall, z. B. vor Stallöffnungen oder in der Nähe des Wassertroges suchten (TUCKER UND SCHÜTZ, 2009; TOBER ET AL., 2011).

Somit lässt sich nach unserem Versuch sagen, dass die Kühe auch unter bayerischen Klimabedingungen während der Sommermonate an Hitzestress leiden. Dabei wurden in diesem Versuch Bedingungen verglichen, bei denen nur milder bis mäßiger Hitzestress vorlag, um für die Hitzestressphasen vergleichbare Voraussetzungen zu schaffen. Bei Betrachtung der Sommermonate 2015 mit ihren mehrere Wochen anhaltenden Hitzeperioden mit Temperaturen über 30 °C kann davon ausgegangen werden, dass sich unter diesem, gegenüber den vorgestellten Untersuchungen, deutlich ungünstigeren Klima die Belastungssituation für die Tiere nochmals verschärft. Somit ist auch unter bayerischen Klimabedingungen eine Unterstützung der Kühe bei der Wärmeabgabe unerlässlich und kann entscheidend zum Tierwohl beitragen. Dies zeigen gerade die physiologischen Stressparameter in unserem Versuch, die bei Einsatz von Ventilatoren eine Abmilderung der Stresssituation erkennen ließ. Vor allem die Atemfrequenz kann als guter und praktisch einfach einsetzbarer Maßstab dienen, um Hitzestress bei den Tieren zu erkennen und darauf durch den Einsatz technischer Kühlmöglichkeiten zu reagieren.

## 6 Technik

### 6.1 Ventilatorentest

Zur Einschätzung der derzeit auf dem Markt verfügbaren Technik wurde eine umfassende Analyse der am Markt zur Verfügung stehenden Ventilatoren durchgeführt. Hierbei konnte teilweise auf Ergebnisse aus dem Projekt „Kleine Maßnahmen Tierwohl“ (gefördert durch das StMELF, Förderkennzeichen A/13/31) zurückgegriffen werden, da dort eine entsprechende Angebotseinholung zur Kostenkalkulation erfolgte.

Bei der Bearbeitung dieser Fragestellung zeichnete sich ab, dass die vorliegenden Prüfberichte der DLG nicht den aktuellen Stand der Lüfertechnik widerspiegeln. Da eine Prüfung der neuen Lüfter durch die DLG für die Hersteller mit hohen Kosten verbunden ist, haben die Hersteller derzeit wenig Interesse, ihre Ventilatoren prüfen zu lassen. Neutrale

Aussagen zu den einzelnen Ventilatoren können nur nach einer Prüfung in einem Labor/Versuchsstand getroffen werden. Die Angaben der Hersteller allein sind zur Beurteilung der Eignung im Stall nicht zufriedenstellend.

Deshalb wurde in einer Halle in Grub ein Messstand aufgebaut, um Werte zu den einzelnen Ventilatoren zu erhalten.

### 6.1.1 Versuchsaufbau

Als Versuchshalle wurde die östliche Halle des Forums in Grub gewählt. Die allseits geschlossene Halle weist eine Länge von 36,4 m, eine Breite von 12,0 m und eine durchschnittliche Höhe von 6,1 m auf. Durch das große Gebäudevolumen ohne Einbauten, die das Strömungsverhalten beeinflussen könnten, und die geschlossene Hülle, können nahezu freigelüftete Situationen simuliert werden, ohne dass eine Beeinflussung durch die Umwelt stattfindet.

#### 6.1.1.1 Aufbau

Die Ventilatoren werden in einem Gestell so befestigt, dass sie mit der Unterkante des Ventilatorrahmens 2,7 m über dem Boden hängen. Diese Höhe ergibt sich aus einer Forderung seitens der Berufsgenossenschaft, dass Ventilatoren ohne Schutzkorb in mindestens dieser Höhe befestigt werden müssen, um ein Hineinfassen durch Personen zu verhindern. Um eine Vergleichbarkeit der Tests zu erhalten, werden bei den Tests von Ventilatoren mit Schutzkorb diese Einstellungen beibehalten.

Durch ein Seil werden die Ventilatoren in einem Winkel von 15°, 20° und 25° nach vorne geneigt.

#### 6.1.1.2 Messung der Leistungsaufnahme

Der Stromverbrauch wird über einen Zeitraum von 60 Minuten erfasst. Dazu dient ein handelsüblicher Stromzähler (DHZ 5/65 SO 4/400 1, Firma NZR)

#### 6.1.1.3 Messung der tatsächlichen Drehzahl

Die tatsächliche Drehzahl der Ventilatoren wird über ein berührungslos arbeitendes, optisches Messgerät erfasst. (Digital-Tachometer, Firma Hornel)

#### 6.1.1.4 Messung der Luftgeschwindigkeiten

Zur Erfassung der Luftgeschwindigkeiten wurde ein Strömungssensor (SS 20.011, Firma Schmidt) in einer Höhe von 41 cm über dem Boden angebracht. Die Datenaufzeichnung erfolgte über einen Datenlogger (Combilog LT 1021, Firma Theodor Friedrichs). Die Messungen erfolgten im Intervall von 10 Sekunden, diese Werte werden dann vom Logger zu Minutenmittelwerten zusammengefasst, diese wiederum zu 20-Minuten-Werten gemittelt wurden. Die Anordnung der Messfühler kann der Abb. 32 entnommen werden.

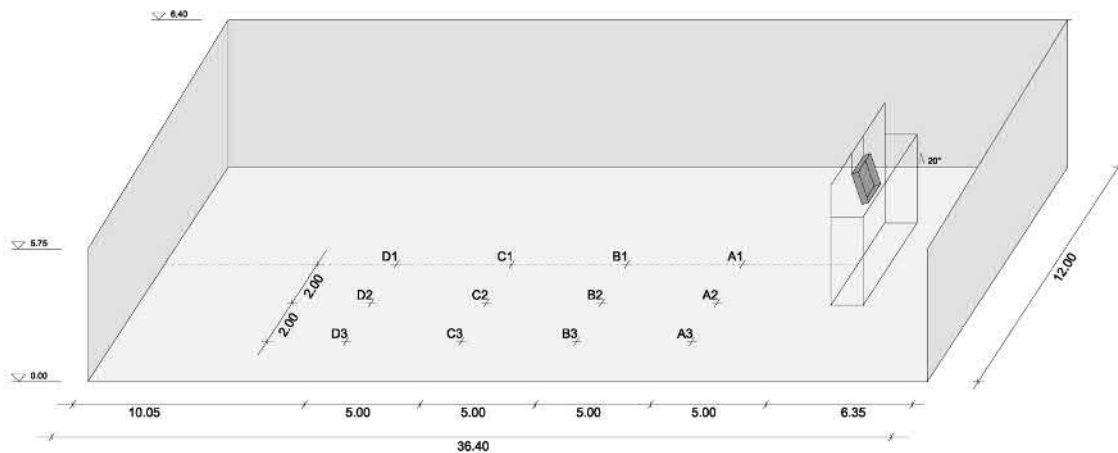


Abb. 32: Versuchsstand für Ventilatorentests

#### 6.1.1.5 Messung des Schalldruckpegels

Die Messung des Schalldruckpegels wurde in 7 m Entfernung zum Ventilator in einem Winkel von  $45^\circ$  zur Hauptwurfriktion des Ventilators gemessen (2318/ZI 0054, Firma Brüel & Kjær). Es wurden 10-Sekundenwerte gemessen, die dann vom Logger zu 5-Minuten-Mittelwerten zusammengefasst wurden. Jeweils fünf 5-Minutenmittelwerte wurden wiederum zusammengefasst.

#### 6.1.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen wurden für jeden Ventilator zu einem Datenblatt zusammengefasst. Die Ergebnisse der Messungen wurden im Vorfeld mit den Herstellern besprochen. Als zusätzliches Resultat dieser Gespräche wird eine Weiterentwicklung einiger Ventilatoren vorgenommen.

Die Datenblätter können unter:

<http://www.lfl.bayern.de/ilt/tierhaltung/118024/index.php>

kostenlos abgerufen werden. Ebenso ist eine Printversion erhältlich.

Die bereits erfassten Ventilatoren können der folgenden Tabelle entnommen werden. Weitere Messungen sind geplant.

Hersteller	Bezeichnung	Durchmesser
Abbi Aerotec	Abbi-Fan 140-XG	122 cm
Vostermans	Multifan 4D130-3PG-55	130 cm
Vostermans	Multifan 8D92-3PG-25	92 cm
Vostermans	Multifan 4E40-6PP-40	40 cm
Vostermans	Multifan 4E50-6PP-40	50 cm
Ziehl-Abegg	FFowlet-FF091-6DQ.6F.A3P2	91 cm
Ziehl-Abegg	FFowlet-FF063-6DQ.4I.A5R2	63 cm
Ziehl-Abegg	FFowlet-FF063-ZIQ.DG.A5P1	63 cm

#### 6.1.3 Praktische Einbauempfehlungen zum Einbau von Ventilatoren

##### Positionierung der Ventilatoren im Stall

Als optimale Positionierung der Ventilatoren wird die Anordnung über den Liegeboxenreihen gesehen. Als wohl wichtigster Vorteil hierbei ist, dass die Kühlung der Tiere so dort



erfolgt, wo sich die Tiere am längsten aufhalten sollen. Des Weiteren wird weitestgehend verhindert, dass die Laufflächen durch den Ventilator beeinflusst werden. Dies hat zwei wichtige Vorteile: Zum einen werden die Laufflächen nicht noch zusätzlich abgetrocknet, was sich negativ auf den Reinigungsaufwand auswirken kann. Zum anderen werden die Emissionen von Schadgasen weniger begünstigt. Derzeit sind verschiedene Ventilatoren auf dem Markt verfügbar, die eine geringe Wirkungsbreite aufweisen und so ihre Wirkung auf den Liegebereich konzentrieren können. Allerdings muss auch hier eine Weiterentwicklung stattfinden, um den Wirkungsbereich noch stärker auf den Liegeboxenbereich fokussieren zu können.

Der Abstand der Ventilatoren zueinander ist stark abhängig von der Wurfweite des Ventilators, der Einbauhöhe und dem Neigungswinkel. Die Grunddaten können den Prüfberichten der Ventilatoren entnommen werden. Die Einbauhöhe wird mit Unterkante Ventilatorrahmen auf 2,70 m festgelegt. Bei dieser Einbauhöhe ist kein Schutzkorb vorgeschrieben. Bei niedrigerer Einbauhöhe ist ein Schutzkorb unerlässlich. Der Verzicht eines Schutzkorbes hat den Vorteil, dass Reinigungsarbeiten am Ventilator erleichtert werden. Der erste Ventilator sollte direkt in die Giebelwand oder 2,50 m von der Giebelwand entfernt eingebaut werden, um den Gegendruck („Ansaugwiderstand“) möglichst gering zu halten. Bei dieser Ausführung kann zusätzlich frische Außenluft in den Stall eingebracht werden. Hier muss der Ventilator dann gegen Niederschlag geschützt werden.

Der Einbauwinkel wird mit 15-25° angegeben. Der Winkel ist von der Einbauhöhe und der Wurfweite abhängig. Hier sollte der Winkel individuell unter Zuhilfenahme einer Rauchkanone angepasst werden, so dass der Luftstrom leicht auf die Tiere auftrifft und nicht nur darüber hinwegstreicht (vgl. Abb. 33)

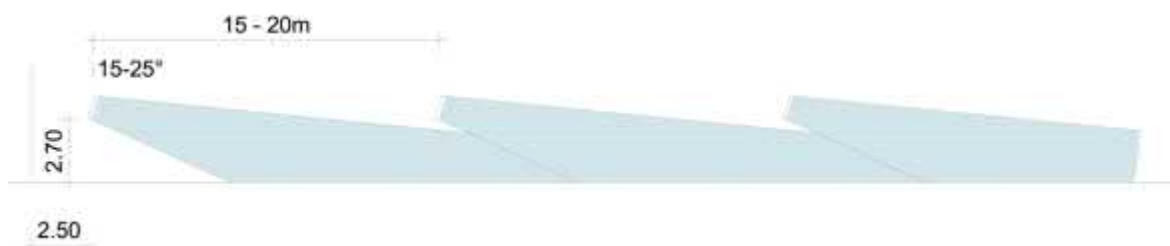


Abb. 33: Einbauempfehlung für Ventilatoren in Längsrichtung

## 6.2 Praxiserhebung

Um den Status Quo in der Praxis zu erheben, wurden verschiedene Praxisbetriebe besucht, dabei wurde bewusst auch auf Erfahrungen außerhalb Bayerns zurückgegriffen. Im Zuge eines fachlichen Austauschs mit Fachkollegen aus der Beratung und Forschung an der Landesanstalt für Landwirtschaft Sachsen fand eine Exkursion auf zwei Betriebe statt, die mit unterschiedlichen Konzepten zur Kühlung der Tiere durch erhöhte Luftbewegung ausgestattet worden sind.

**Betrieb I** arbeitete mit einer klassischen Längsausrichtung der Ventilatoren, wobei hier Frischluft an den Giebelwänden angesaugt wurde. Die paarweise angeordneten Ventilatoren waren so eingerichtet, dass sich die Liegeflächen der Kühe im vollen Wirkungsbereich befanden. Bei diesem Betrieb lag ein besonderes Augenmerk auf dem sinnvollen Einsatz von Ventilatoren im Wartebereich und im Melkhaus.

**Im Betrieb II** wurden zwei verschiedene Ventilationskonzepte verfolgt. Zum einen wurden Ventilatoren mit Luftströmung in Längsausrichtung eingebaut. Zum anderen wurden

diese durch einige Großraumventilatoren mit vertikaler Luftströmung ergänzt. Diese sog. Deckenventilatoren waren jeweils über den Futterachsen installiert.

Auf beiden Betrieben wurden kleinere Rauchversuche durchgeführt, um die Wirkungsweise der Ventilatoren visuell darstellen zu können. Darüber hinaus wurde die Luftgeschwindigkeit im Wurfkegel der Ventilatoren mit einem Handgerät gemessen. Dabei war festzustellen, dass die Axialventilatoren die nötigen Luftgeschwindigkeiten im Tierbereich erzeugen konnten, während bei den Großraumventilatoren nur ein sehr geringer Effekt im Tierbereich zu verzeichnen war.

### **6.2.1 Zielstellung möglicher Gegenmaßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress**

Als bauliche Möglichkeiten zur Reduzierung von Hitzestress werden in der Literatur im Wesentlichen zwei Ansatzpunkte beschrieben. Neben der Optimierung der Durchströmung der Gebäude spielt auch die Qualität des Dachaufbaus hinsichtlich Wärmedurchgang eine entscheidende Rolle. Diese und weitere Punkte werden in einem Folgeprojekt (A/15/29 Untersuchung und Bewertung baulicher Maßnahmen zur Reduzierung des Hitzestresses bei Milchkühen) bearbeitet.

Im Bereich der Stalltechnik stehen folgende Gegenmaßnahmen zur Verfügung:

#### **Mechanische Unterstützungslüftung**

Um die oben beschriebenen praktischen Erfahrungen zu vertiefen, wurden bayerische Betriebe mit Großraumventilatoren besucht. Auch hier ließ sich bei offenen Stallgebäuden nur ein sehr geringer Effekt auf die Luftgeschwindigkeit im Tierbereich feststellen, da wegen fehlender Wände keine ausreichende Luftbewegung erzeugt wird. Studien zu diesem Thema bestätigen diese Aussage (LÖBSIN, 2011). Eine Empfehlung zum Einbau von Großraumventilatoren zur Kühlung der Tiere ist daher derzeit in offenen Stallgebäuden nicht sinnvoll. In geschlossenen Baukörpern (Altgebäude, Wartebereich, Melkstand) hingegen werden durchaus positive Effekte erwartet. Weitere Untersuchungen dazu werden angestrebt.

## **6.3 Erprobung auf Versuchs- und/oder Pilotbetrieben**

### **6.3.1 Milchviehstall Grub (LfL, Landkreis Ebersberg)**

Im Sommer 2013 wurden im Gruber Milchviehstall Ventilatoren eingebaut. Derzeit laufen sechs Ventilatoren der Firma Ziehl-Abegg AG, die über eine Prototypensteuerung der Firma Schönhammer gesteuert werden. Als Steuergrößen werden Stalltemperatur und Luftfeuchtigkeit, die an zwei Stellen im Stall gemessen werden, herangezogen und analog zum TH-Index miteinander verrechnet.

Zusätzlich wurde eine Wetterstation nahe des Milchviehstalls errichtet, um die Außenklimabedingungen erfassen zu können. Gemessen werden in 10 m Höhe die Parameter Lufttemperatur und -feuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und -richtung, Niederschlag und die Globalstrahlung auf 2,10 m Höhe.

Im Inneren des Stalls werden, wie bereits erwähnt, Lufttemperatur und -feuchtigkeit an zwei Stellen aufgezeichnet, zusätzlich wurden an 13 Stellen 2,35 m über den Liegeboxen Strömungssensoren installiert, um die Auswirkungen der Ventilatoren auf die Luftgeschwindigkeit nahe dem Tierbereich messen zu können.

Der Energieverbrauch der Ventilatorenanlage wird erfasst, um auch zu den Fragestellungen der Betriebswirtschaft entsprechende Angaben machen zu können.

Bereits beim Einbau der Ventilatoren stellte sich heraus, dass einige Detailfragen seitens der Hersteller nicht beantwortet werden können und in der Literatur sogar falsch dargestellt werden. Zum Beispiel konnte nicht auf eine standardisierte Aufhängung der Ventilatoren zurückgegriffen werden, da diese auf dem Markt derzeit nicht verfügbar ist. Des Weiteren musste festgestellt werden, dass seitens der Berufsgenossenschaft keine Vorschrift zum sicheren Anbringen der Ventilatoren zur Verfügung stand. Auch der Winkel, mit dem der Ventilator nach vorne geneigt werden soll, wurde in der Literatur zu gering angegeben.

Ebenso ergaben sich bei der Entwicklung der Steuerung verschiedene Fragestellungen. So musste der Regelbereich der Steuerung neu definiert werden, da dazu in der Literatur keine Angaben zu finden waren.

Zur Untersuchung dieser Problemstellungen, die sich im Rahmen dieses Projekts ergeben haben, erschien der Milchviehstall Grub als am besten geeignet, da durch die räumliche Nähe ein schnelles Reagieren auf neue Situationen gewährleistet war. Des Weiteren eignet sich dieser Standort sehr gut, um praxisnah die Aus- und Weiterbildung zu forcieren.

Die im Milchviehstall Grub eingebauten Ventilatoren stammen von der Firma Ziehl-Abegg AG, Modell FF091-ZIQ.DG.A3P1 (EC-Motor, Owllet-Flügel), die über jeder Liegebuchtenreihe in Reihe angeordnet sind, um eine optimale Luftbewegung zu ermöglichen. Der Abstand zwischen den einzelnen Ventilatoren in der Reihe beträgt 15 bzw. 20 m, mit Ausrichtung in Ost-West-Richtung (Abb. 34).

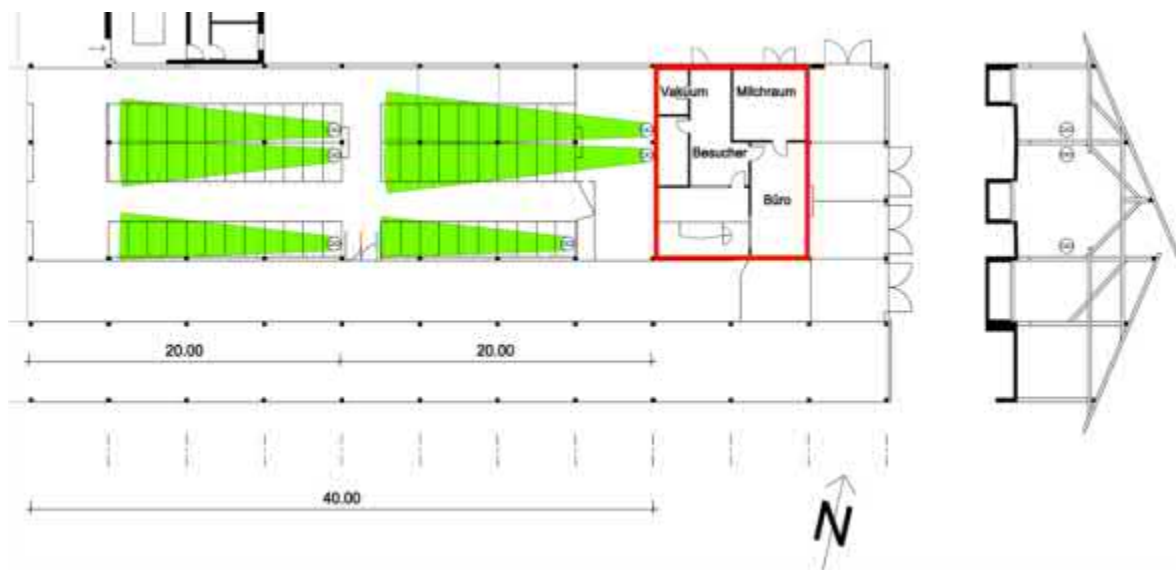


Abb. 34: Anordnung und Strömungsrichtung der Ventilatoren in der AMS-Gruppe des Milchviehstalls in Grub

Die Ventilatoren werden über ein THI-abhängiges Steuerungsmodul der Firma Schönhammer Lüftungstechnik automatisch geregelt. Dabei schalten sich die Ventilatoren ab einem THI von 68 mit 60 % Drehzahl an und drehen ab einem THI von 72 mit maximaler Leistung. Dieses Steuerungssystem erfasst als Grundlage für die Berechnung des THI sowohl Lufttemperatur als auch die relative Luftfeuchte an einer Stelle im Stall einmal pro Minute.

## 6.3.2 Betrieb 1

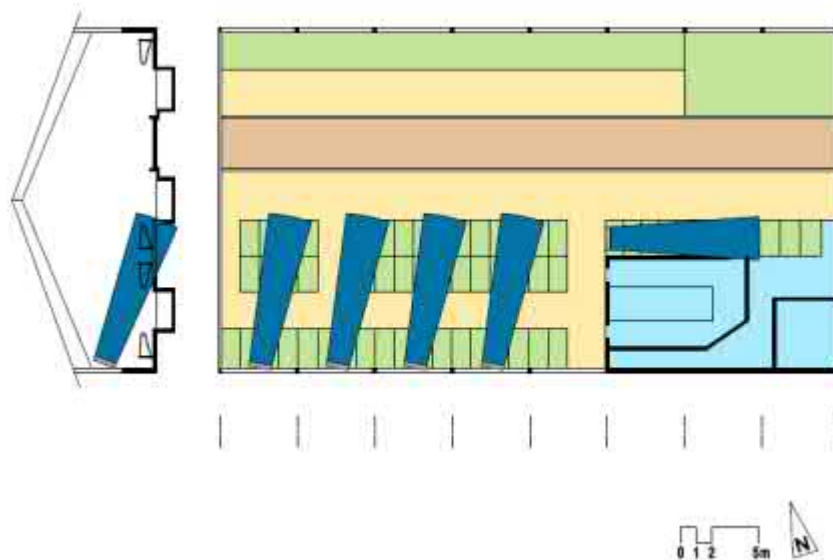


Abb. 35: Variante 1: Anordnung der Ventilatoren in Querrichtung am Betrieb 1

Der vorliegende Betrieb ist als dreireihiger Milchviehstall mit integriertem Melkhaus ausgeführt. Als erste Variante wurde ein System mit Querlüftung diskutiert, da die Ventilatoren in Hauptwindrichtung (hier Süd-West) arbeiten könnten (Abb. 35). Außerdem kann über die offene Traufwand leicht Außenluft angesaugt werden. Ein weiterer Vorteil bei dieser Ausrichtung ist, dass die Ventilatoren an der Peripherie des Stalles angebracht werden und dadurch die Sicht in den Stall nicht durch zusätzlich Einbauten behindert wird. Allerdings zeigte sich, dass die Ventilatoren (Abbi Fan 140-XG) eine sehr schmal gerichtete Wirkungsbreite haben, so dass nicht alle Liegeboxen (vor allem Wandliegeboxen direkt unter den Ventilatoren) vom Luftstrom erreicht werden. Bei dieser Anordnung kann also die Leistung der Ventilatoren nicht voll ausgeschöpft werden.

Daher wurde im nächsten Schritt eine Längsanordnung der Ventilatoren in Erwägung gezogen (Abb. 36). Die geschlossene Giebelwand auf der Westseite hatte dabei keinen größeren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Anlage.

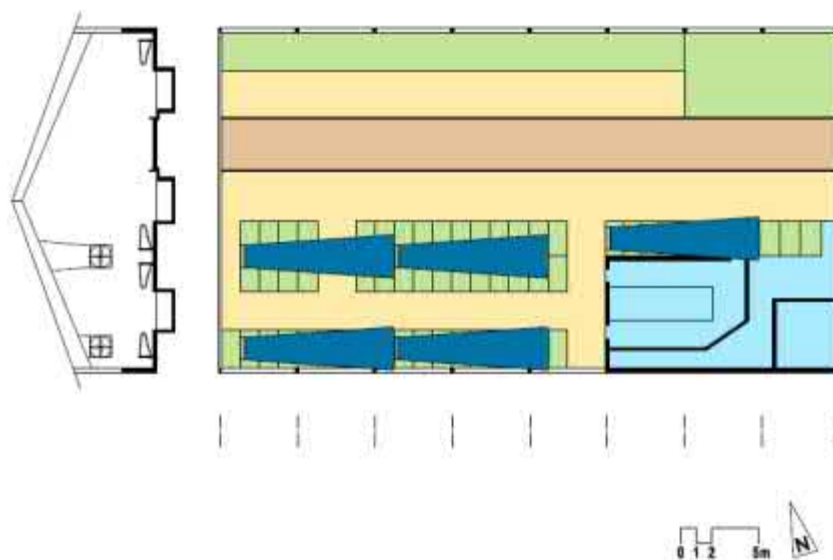


Abb. 36: Variante 2: Anordnung der Ventilatoren in Längsrichtung

Bei dieser Ausrichtung der Ventilatoren über den Liegeboxenreihen kann der Wirkungsbereich der Ventilatoren wesentlich besser ausgenutzt werden, da die Wandliegeboxenreihe hier ebenfalls vom Luftstrom der Ventilatoren erfasst werden. Die Anzahl der benötigten Ventilatoren bleibt gleich bzw. kann, je nach Wurfweite, noch weiter reduziert werden.

### 6.3.3 Betrieb 2

Dreireihiger Milchviehstall mit seitlichem Melkhaus

Auf dem Betrieb 2 wurde auf Grund der wenigen Einbauten in der Liegehalle eine Längslüftung favorisiert (Abb. 37). Die Installation erfolgte im Frühjahr 2014.

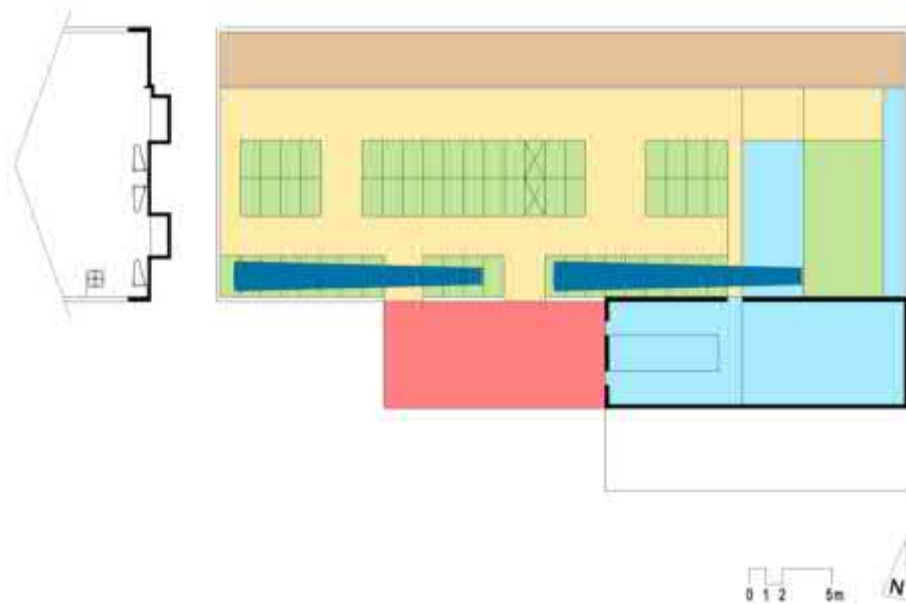


Abb. 37: Anordnung der Ventilatoren in Längsrichtung, Betrieb 2

Um den Investitionsbedarf möglichst gering zu halten, hatte sich der Betriebsleiter entschlossen nur zwei Ventilatoren mit einer Steuerung zu montieren, die als Steuergröße die Lufttemperatur verwendet. Weitere vier Ventilatoren über den gegenständigen Liegeboxenreihen sollen folgen.



Abb. 38: Eingebauter Ventilator mit Selbstbaulösung der Aufhängung am Betrieb 2

## 6.4 Beregnungsanlage

Die aufgezeigten Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmeabgabe durch Optimierung des Luftstroms im Tierbereich sind nicht bei allen Stallgebäuden wirkungsvoll, ausreichend und/oder bringen im Verhältnis zum Aufwand einen angemessenen Nutzen. Weitere Maßnahmen müssen deshalb in Betracht gezogen werden. Die kostengünstige Variante zum Abkühlen der Tiere ist die Verdunstungskälte (TURNER, WARNER, CHASTAIN, 1997), die mit Hilfe einer Beregnungsanlage erzeugt werden kann.

### 6.4.1 Material und Methode

Die Angaben aus der Literatur (siehe Kapitel 3.2.3) müssen auf bayerische Verhältnisse überprüft werden, da sich hier z. B. hinsichtlich vorherrschender Luftfeuchtigkeiten große Unterschiede ergaben.

Um einen Einblick über die derzeitige Nutzung von Beregnungsanlagen zu erhalten, wurde eine Umfrage in 14 Betrieben durchgeführt. Die Betriebe wurden mit Hilfe des LKV Bayern e.V. und einen Hersteller für Kuhduschen zufällig ausgewählt. Einziges Auswahlkriterium war der Besitz einer Beregnungsanlage. Die Befragung erfolgte schriftlich über einen Fragebogen Ende April 2015. Für die Beantwortung wurden zehn Minuten eingeplant.

Für die Datenauswertung wurden die Antworten des Fragebogens erfasst und verglichen. Es wurden dabei alle beantworteten Fragebögen berücksichtigt. Zudem wurden auch eigene Ergänzungen der Landwirte mit in die Auswertung eingebracht.

### 6.4.2 Einsatzzeitraum in Bayern

Folgendes Diagramm zeigt, wie sich die sinnvolle Nutzung von Beregnungsanlagen pro Jahr in den letzten 20 Jahren verändert. Zugrunde gelegt wurden dafür die Werte der Wetterstationen aus Kapitel 4. Die Y-Achse gibt an, wie viele Stunden pro Jahr eine Anlage sinnvoll gewesen wäre. Unterstellt wurden dabei eine Temperatur von min. 23 °C und eine maximale Luftfeuchtigkeit von 70 %.

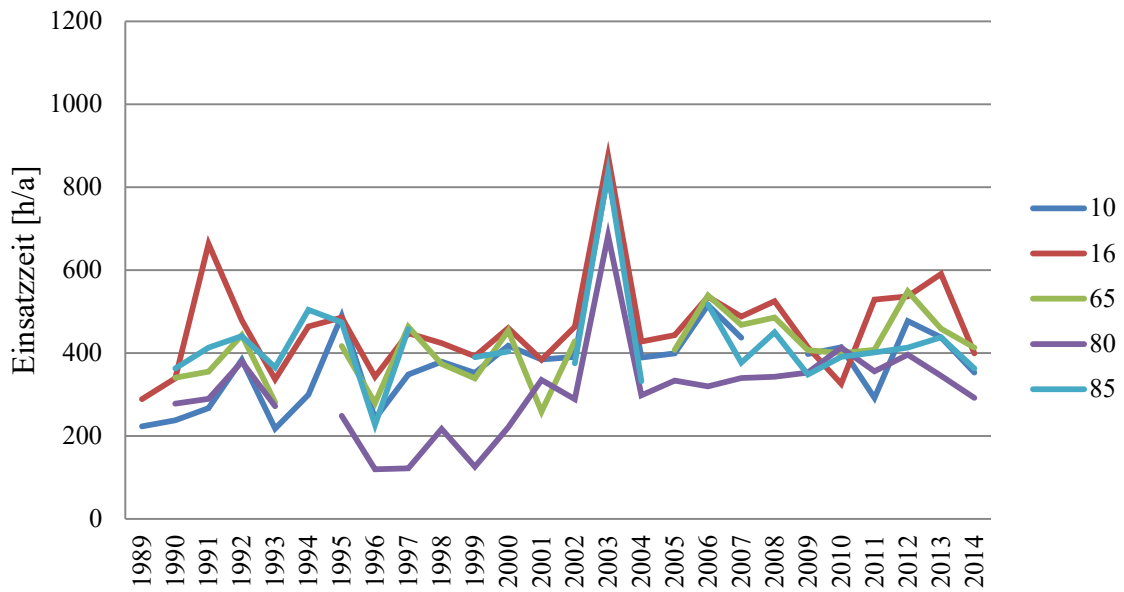


Abb. 39: Sinnvoller Einsatzzeitraum einer Beregnungsanlage seit 1989

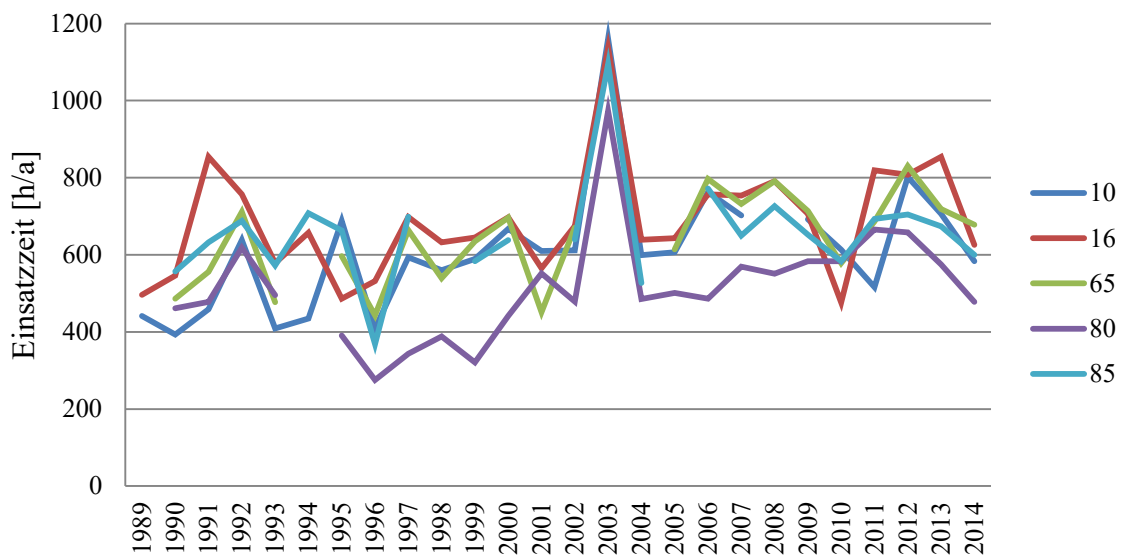


Abb. 40: Sinnvoller Einsatz einer Beregnungsanlage unter Berücksichtigung der Temperaturveränderung durch das Stallgebäude

Seit dem Jahr 2000 liegt die Stundenzahl pro Jahr für den sinnvollen Einsatz einer Beregnungsanlage, ausgegangen von den Daten der Klimastationen, bei über 200 Stunden. Wird die Temperaturerhöhung durch den Stall zusätzlich berücksichtigt, liegt der Wert bei über 400 Stunden.

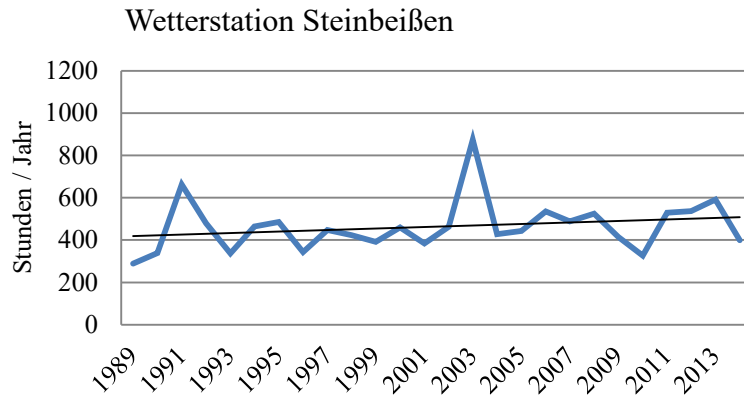


Abb. 41: Laufzeit Kuhdusche [h], Wetterstation Steinbeifen (16)

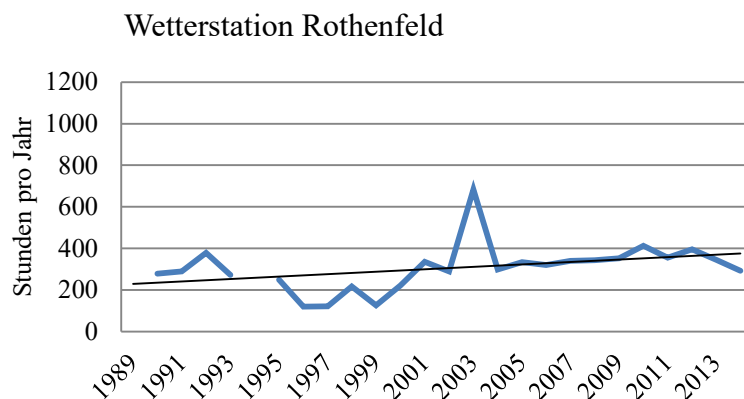


Abb. 42: Laufzeit Kuhdusche [h], Wetterstation Rothenfeld (80)

### 6.4.3 Ergebnisse Marktanalyse

Ab welcher Temperatur die Beregnungsanlage genutzt wird, variierte in den 14 befragten Betrieben. Vier Betriebe nutzten die Kuhdusche unter 20 °C. Bei fünf Betrieben schaltet sich die Beregnungsanlage automatisch mit dem Erreichen der voreingestellten Stalltemperatur ein, wogegen auf den anderen acht Betrieben die Sprinkler per Hand bedient werden. Vier Betriebe nutzen die Beregnungsanlage nachts.

Der häufigste Einsatzort der Anlagen war in den Laufgängen und im Fressbereich. Die dritthäufigste Variante war, dass die Sprinkler direkt im Melkstand montiert waren. Zehn Betriebe gaben an, dass alle Kühe die Beregnungsanlage nutzen. Ein Betrieb gab an, die Kühe würden die Sprinkler kaum mehr nutzen (Einbaujahr des Betriebes: 2006).

Drei Betriebe beziehen das Wasser aus dem kommunalen Wasseranschluss, acht Betriebe verfügen über einen Brunnen und ein Betrieb nutzt für die Beregnungsanlage das Wasser aus der Regenwasserzisterne. Ein Betrieb gab eine eigene Quelle für die Beregnungsanlage an und ein weiterer Betrieb nutzt das Wasser aus einem Wasserverband.

Die meisten Betriebe überprüften die Düsen auf Verschmutzungen und Verkalkungen. Drei Betriebe überprüfen den Filter. Ebenso wird der Druck von drei Betrieben kontrolliert.

Probleme, wie feuchte Bedingungen oder Schimmel im Stall, Pfützenbildung, Mastitiden und Atemwegserkrankungen, sind laut Angaben in keinem Betrieb entstanden.



Die teuerste Anlage wurde für 2000 € eingebaut. Bei dieser Frage gaben die Betriebe zum Teil gar keine Antwort an und begründeten dies, mit dem Vorhandensein der nötigen Materialien.

Alle Betriebe empfehlen eine Beregnungsanlage weiter, wobei ein Betrieb diese nur in Kombination mit Ventilatoren empfiehlt.

In fünf (von sieben) Hochdruckanlagen ist eine Intervallschaltung eingebaut, während nur in lediglich einer Niederdruckanlage eine Intervallschaltung vorhanden ist (Abb. 44). Die Dauer der Beregnung bzw. der Pausen weichen bei den einzelnen Betrieben voneinander ab. Bei den Hochdruckanlagen variiert die Vernebelung von drei bis sieben Sekunden bis hin zu 30 Sekunden. Die Pausen betragen dabei zwischen einer und fünf Minuten. Bei den Niederdruckanlagen verfügt nur ein Betrieb über eine Intervallschaltung. Laut Angaben werden die Kühe 60 Minuten beregnet, danach folgt eine zehnminütige Pause. Kein Betrieb nutzt die Intervallschaltung derzeit optimal, da bei zu kurzer Beregnung das Potenzial der Anlage nicht vollständig ausgeschöpft wird (WEST, 2003) und eine zu lange Beregnung lediglich Wasser verschwendet (HOLMES, MASSIE, 1996). Des Weiteren empfiehlt sich eine Intervallschaltung bei Niederdruckanlagen, da Zeit benötigt wird, in welcher das Fell trocknen kann (ARMSTRONG, 1994). Da bei einer Hochdruckanlage das Tier gar nicht nass werden soll, ist eine Intervallschaltung überflüssig.

Ventilatoren sind in acht Betrieben vorhanden, in sechs werden sie in Kombination mit der Beregnungsanlage eingesetzt. Eine automatisierte Kombination ist in keinem Betrieb vorhanden. Bei Beregnungsanlagen ist es immer anzuraten, diese in Kombination mit einem Ventilator zu nutzen. Im Optimalfall befinden sich die Düsen direkt unter dem Ventilator (COLLIER, DAHL, VANBAAL, 2006; JONES, STALLINGS, 1999).

Ab welcher Temperatur die Beregnungsanlage genutzt wird, variiert unter den Betrieben. Das folgende Diagramm zeigt auf, ab welchen Temperaturen die Anlagen genutzt wurden.

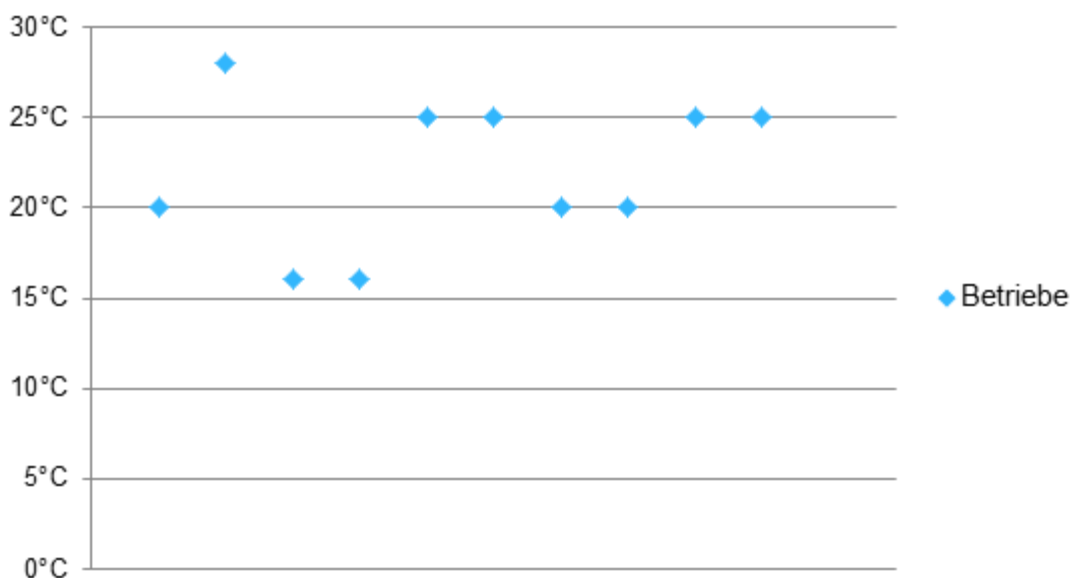


Abb. 43: Einschalttemperatur der Beregnungsanlagen in den untersuchten Betrieben ( $n=10$ )

Acht Betriebe schätzen die Temperatur beim Einsatz. Ein Betrieb gab keinen Temperaturbereich an. Grund hierfür ist, dass die Beregnungsanlage für die Minderung der Fliegenbelastung eingesetzt wird und nicht an eine Temperatur gebunden ist.

Nach TUCKER & SCHÜTZ (2009) besteht, wenn die Tiere der Beregnung nicht ausweichen können, bei sieben Betrieben die Gefahr von Kältestress, da die Betriebe die Temperaturgrenze von 23 °C unterschreiten. Die Nutzung der Anlage unter solchen Bedingungen führt zum Anstieg der Körpertemperatur. Die Kuh versucht vermutlich den Wärmeverlust zu minimieren, welcher beim Einsatz unter 23 °C entsteht (CHEN, SCHÜTZ, TUCKER, 2008 NACH KENDALL, 2007). Die sechs weiteren Betriebe nutzen die Anlage erst ab 25 °C beziehungsweise 28 °C. Nach dem THI besteht hier bereits leichter Hitzestress. Ein Einsatz ab 23 °C könnte womöglich das Auftreten von Hitzestress vermeiden bzw. diesen frühzeitig abmildern.

Drei Betriebe geben an, die Anlage auch zur Minimierung der Fliegenbelastung zu verwenden. Ein Versuch zeigte bereits, dass durch eine Beregnungsanlage das Schwanzschlagen sowie Tritte des Rindes um die Hälfte reduziert werden. Bei dem Versuch wurden aber die Tiere zirka 90 Minuten lang vor dem Melken beregnet und nicht währenddessen (KENDALL, VERKERK, WEBSTER, TUCKER, 2007).

Eine Übersicht über die Ausstattung der eingebauten Anlagen gibt folgendes Diagramm wieder. Die X-Achse gibt die Anzahl der Betriebe an die über eine entsprechende Ausstattung verfügen.

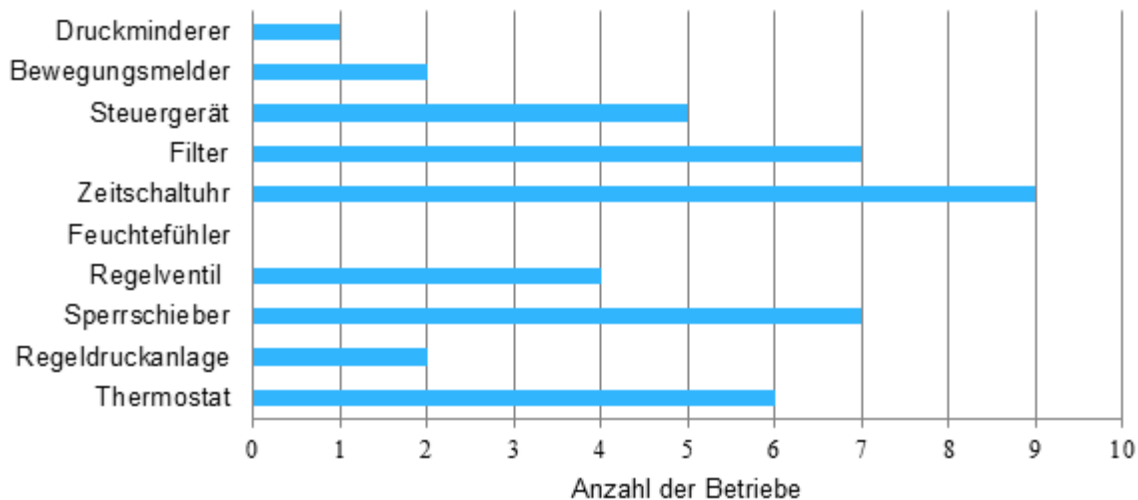


Abb. 44: Ausstattung der Beregnungsanlagen (n=14)

Am häufigsten finden sich Steuerungen der Anlagen über eine Zeitschaltuhr, gefolgt von einem Filter und einem Sperrschieber. Ein Feuchtefühler zum Messen der Luftfeuchtigkeit wurde in keinem der Betriebe eingebaut, ist allerdings für jede Anlage zu empfehlen (DLG MERKBLATT 336).

Nur drei Betriebe geben an, den Druck der Anlagen zu überprüfen. Besonders bei Hochdruckanlagen sollte die Anlage regelmäßig überprüft werden, da falscher Druck, Verkalkungen oder Verschmutzungen in der Düse die Vernebelung negativ beeinträchtigen können. Fällt der Druck zu stark ab, führt dies zu einer Beregnung anstatt zu einer Vernebelung. Die Tiere sowie Liegeflächen oder Futter können dadurch nass werden.

Ein weiterer Punkt des Fragebogens richtet sich auf die Anbringung der Anlagen. Folgendes Diagramm zeigt, wo die Betriebe die Anlagen installiert haben. Bei Anlagen im Melkstand wird differenziert nach Melkstandeingang, im Melkstand selbst und Melkstandausgang.

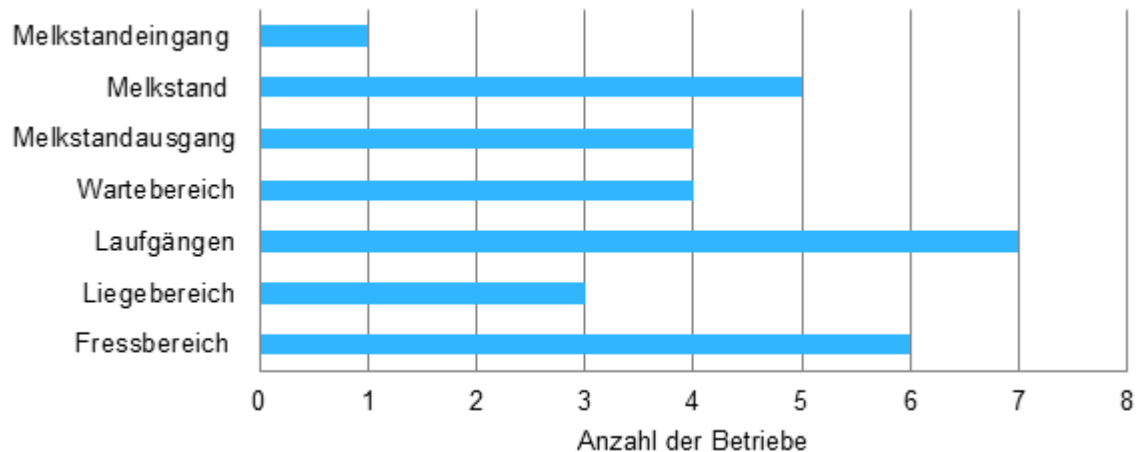


Abb. 45: Anbringung der Beregnungsanlagen im Stall

Eine Anbringung im Laufbereich unterstützt eine kontinuierliche Kühlung des Stalles. Dadurch wird der Anstieg der Körpertemperatur der Tiere tagsüber minimiert (WEST, 2003).

Versuche zeigten, dass sich Kühe bevorzugt im Fressbereich aufhalten, wenn dieser mit einer Beregnungsanlage ausgestattet ist, unabhängig davon, ob sie momentan beregnet werden oder nicht (CHEN, SCHÜTZ, TUCKER, 2013). Milchleistung sowie die Reproduktionsrate sind höher (ARMSTRONG, 1994).

Durch den Einsatz einer Anlage im Wartebereich ist die Körpertemperatur des Tieres um bis zu 1,7 K geringer als in einem ungekühlten Wartebereich. Die Leistung der Kühe ist im Vergleich um 0,79 kg/Tag höher (ARMSTRONG, 1994).

Ziel einer Beregnungsanlage am Melkstandausgang ist, den Rücken und die Seiten der Kuh zu durchnässen. Dies erzielt eine zusätzliche Abkühlwirkung von 15 bis 25 Minuten je nach Wetterbedingungen. Wichtig hierbei ist, dass sowohl Ohren als auch das Euter trocken bleiben (COLLIER, DAHL, VANBAALE, 2006).

Fünf Betriebe bauten die Beregnungsanlagen direkt im Melkstand ein. Im Fragebogen wurde nicht erfragt, ob Euter oder Ohren während des Beregnens nass werden. Drei Betriebe installierten die Sprinkler im Melkstand um die Fliegenbelastung zu reduzieren.

Die Kosten der Anlage lagen zwischen keine Angaben, dieser Betrieb gab an alle Materialien bereits besessen zu haben, und 2000 €.

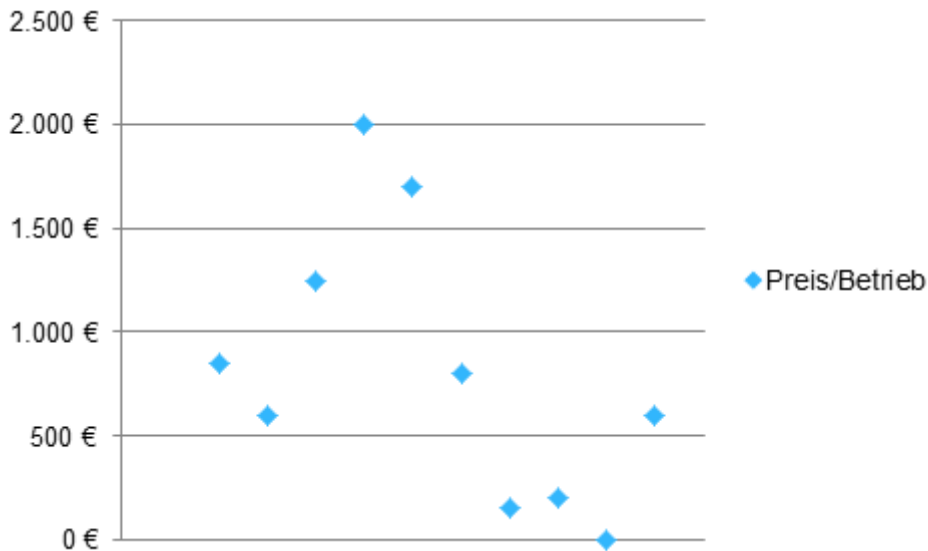


Abb. 46: Investitionsbedarf der Anlage

ARMSTRONG beschreibt eine Hochdruckanlage als kostenintensiver als eine Niederdruckanlage, jedoch benötigt die Niederdruckanlage zehnmal mehr Wasser.

In einem 48-Kuh-Betrieb und einer jährlichen Nutzung von zirka 800 Stunden liegen die Investitionskosten bei 33,50 \$ pro Kuh. Insgesamt liegt der Investitionsbedarf bei 1610 \$ (derzeit ca. 1460 €). Laufende Kosten, die durch das Wasser entstehen, sind dabei noch nicht berücksichtigt (TURNER, WARNER, CHASTAIN, 1997). Zwei Betriebe überschreiten diesen Betrag. Sie investierten für die Anlage 1700 € und 2000 €. Der Betrieb mit 2000 € Investitionskosten installierte die Anlage im Fressbereich, in den Laufgängen, im Wartebereich und am Melkstandausgang. Die Anlage startet automatisch und verfügt über ein Thermostat, eine Zeitschaltuhr, einen Filter und ein Steuergerät. Der Umfang der Nutzung im Stall, die Ausstattung und den Einbau durch einen Hersteller kann der Grund für die hohen Kosten sein. Der zweite Betrieb hingegen nutzt die Anlage nur im Fress- und Liegebereich. Sie ist ausgestattet mit einem Thermostat, ebenso einer Zeitschaltuhr und einem Sperrschieber und wird per Hand bedient. Zusätzlich ließ der Betrieb noch eine Regelpumpe einbauen zum Beimischen von effektiven Mikroorganismen. Dennoch scheint der Preis der Anlage sehr hoch.

Bei den sechs Betrieben, die eine Eigenkonstruktion eingebaut haben, lagen die Investitionskosten bei bis zu 600 €. Ursache für diese Streubreite ist zum einen die Ausstattung der Anlage sowie das Vorhandensein der Materialien zum Einbau.

Alle 14 Betriebe empfehlen den Einbau einer Beregnungsanlage weiter. Ein Betrieb empfiehlt die Anlage nur in Kombination mit Ventilatoren. Probleme seien nirgends aufgetreten.

Die Umfrage in den Praxisbetrieben zeigt, dass Beregnungsanlagen bereits eingesetzt werden und einen Nutzen erzielen, jedoch bestehen große Unterschiede zwischen wissenschaftlichen Erkenntnissen und praktischem Einsatz. Die Umfrage in 14 Betrieben ist zu klein, um genauere Erkenntnisse zum derzeitigen Einsatz zu gewinnen, aber es können erste Tendenzen abgeleitet werden. Bei einer Umfrage empfiehlt es sich auch, einen gezielteren Fragebogen für Hochdruckanlagen und einen für Niederdruckanlagen auszuarbeiten, da sich die Methoden unterscheiden. Eine detailliertere Befragung ist dadurch möglich. Zudem sollten Betriebe persönlich besichtigt werden. Dabei wäre es sinnvoll, Messungen zur Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit durchzuführen. Bei einem Gespräch mit den

Landwirten kann auf mögliche Probleme hingewiesen werden, die auf die Beregnungsanlage zurückzuführen sind. Im Fragebogen gab kein Betrieb Probleme an, es ist allerdings fraglich, ob tatsächlich keine Probleme vorhanden sind oder diese der Landwirt nicht im Zusammenhang mit der Beregnungsanlage sieht.

Der Einsatz von Beregnungsanlagen ist in Bayern noch ausbaufähig, Anbieter sind kaum vorhanden. Hersteller, die sich auf bereits wissenschaftlich gewonnene Erkenntnisse beziehen, werden benötigt. Die derzeit genutzten Anlagen schöpfen das Potenzial nicht vollständig aus. Die in den Betrieben eingesetzte Intervallberegnung weicht vom derzeitigen Kenntnisstand stark ab und es entsteht der Eindruck, als würde diese willkürlich eingesetzt werden. Viele Betriebe zeigen bereits Interesse an einem Einbau einer Beregnungsanlage, vor allem in neugebauten Ställen. Ein Betrieb rät, eine Kuhdusche in jeden neugebauten Stall zu installieren. Jedoch zeigt die Auswertung des Fragebogens auch, dass sich Betriebe oder Hersteller wenig mit der Thematik der Beregnungsanlage auseinandergesetzt haben, da die Technik stark hinterherhinkt.

#### 6.4.4 Umsetzung in die Praxis

Um die Ergebnisse der Literaturrecherche mit der Praxis abgleichen zu können, wurde am Standort Grub im Cuccettenbereich eine Kuhdusche installiert. Hier wurde eine Niederdruckanlage errichtet, die mit vier Kegeldüsen der Firma Lechler arbeitet. Die Einbauhöhe der Düsen liegt bei 2,6 m über dem Spaltenboden. Insgesamt wird damit eine Ganglänge von sechs Metern beregnet. Die Anlage wird durch Leitungswasser gespeist.

Um den Einsatz zu optimieren, wurde eine Steuerung (Abb. 48) entwickelt, die alle Parameter, die aus der Literatur bekannt waren, verarbeiten kann.

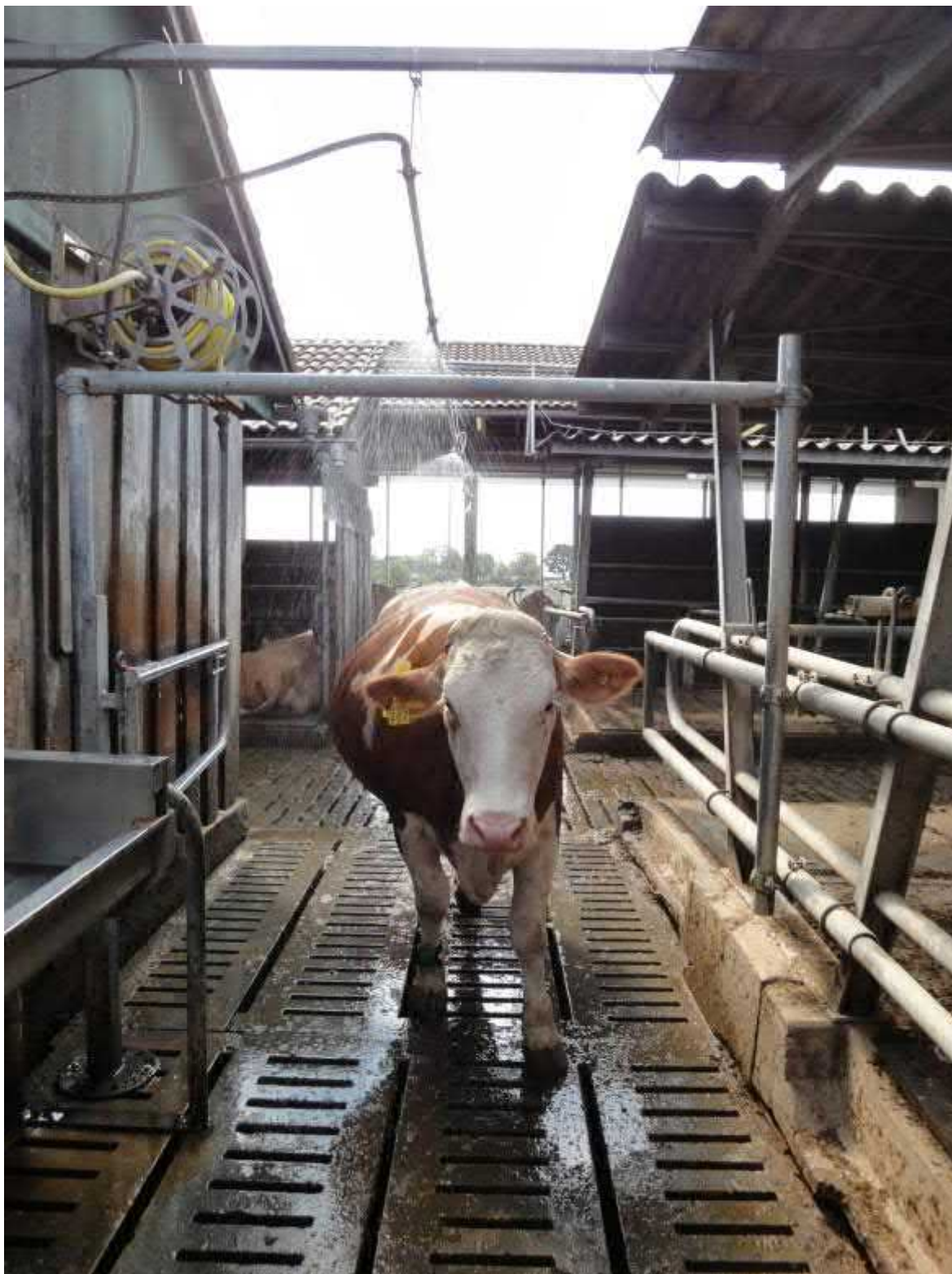
Als Steuerungsgrößen wurden folgende Parameter herangezogen:

- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Bewegung
- Zeitintervall

Ab einer Temperatur von 23 °C beginnt die Anlage zu arbeiten, wobei die rel. Luftfeuchtigkeit max. 70 % betragen darf. Die Anlage wird über einen handelsüblichen Bewegungsmelder aktiviert, damit sie nur dann in Betrieb geht, wenn auch ein Tier zum Beregnen anwesend ist. Durch diese Steuergröße kann der Wasserverbrauch reduziert werden. Des Weiteren wurde eine Intervallschaltung integriert. Einer 3-minütigen Beregnung folgt eine 12-minütige Pause.

Der Prototyp besteht neben der eigentlichen Steuerung aus einem Druckminderer und einem steuerbaren Absperrhahn.

Die Kuhdusche im Gruber Milchviehstall wurde während der Sommermonate 2015 stark in Anspruch genommen. Es zeigten sich dabei allerdings einige Punkte, die weiter untersucht werden müssen. Zum einen ist eine 12-minütige Pause zu lange, die Tiere haben wohl zu wenig Geduld, um zwölf Minuten auf das erneute Einsetzen der Dusche zu warten. Zum anderen muss vermehrt Augenmerk auf den Ort der Installation bzw. die Sprühwinkel der Düsen gelegt werden. Die Tiere haben kein Interesse daran, dass der Kopf beregnet wird. Wichtiger wäre es, die Beregnung eher punktuell zu gestalten, so dass die Tiere eine Möglichkeit haben, nur die präferierten Körperregionen beregnen zu lassen. Des Weiteren dürfen bei laufendem Betrieb der Kuhdusche keine Übergänge zu anderen Funktionsbereichen blockiert werden.



*Abb. 47: Kuhdusche im Cuccettenbereich des Milchviehstalls in Grub*



*Abb. 48: Prototyp der Steuerung der Kuhdusche*

## Literaturverzeichnis

- ARMSTRONG, D.V. (1994): Heat Stress Interaction with Shade and Cooling, *Journal of Dairy Science* 77, S. 2044 –
- ARMSTRONG, D.V. (2000): Methods to Reduce Heat Stress for Dairy Cows, *Heart of America Dairy Management Conference*  
[http://www.bae.uky.edu/ext/livestock/dairy/PDFs/KSU\\_heatstress.pdf#page=12](http://www.bae.uky.edu/ext/livestock/dairy/PDFs/KSU_heatstress.pdf#page=12) (Stand 23.7.2015)
- BADER, F., OBERHOLZ H.-F. (2002): Physik in einem Band, S. 238f., Dorn Bader Schroedel in Hannover
- BARNWELL, R, ROSSI, A. (2002): Maximizing performance during hot weather, *Cobb-Vantress, Inc. Technical focus, 1-2002*, Pittsburgh, Texas
- BRADE, W. (2013): Milcherzeugung unter den Bedingungen des Klimawandels – Möglichkeiten zur Vermeidung oder Minderung des Hitzestresses. In: *Berichte über Landwirtschaft* 91/3
- BRAY D. R., BETHARD G. (2000): Dry Cow Cooling, *Heart of America Dairy Management Conference*  
[http://www.bae.uky.edu/ext/livestock/dairy/PDFs/KSU\\_heatstress.pdf#page=12](http://www.bae.uky.edu/ext/livestock/dairy/PDFs/KSU_heatstress.pdf#page=12) (Stand 4.2015)
- BLUM, J.W. (2003): Bioklimatologie der Haustiere; Vorlesungsskript Tierhaltung, Univ. Bern, 4. Semester
- BURGOS-ZIMBELMANN, R. (2008): Management Strategies to Reduce Effects of Thermal stress on Lactating Dairy Cattle. Dissertation, University of Arizona, Department of Animal Science
- BVET (2009): Stallklimawerte und ihre Messung in der Rinderhaltung. Fachinformation Tierschutz Nr. 6.5.\_(1)-d, Hrsg.: Bundesamt für Veterinärwesen, Schweiz
- CHEN J. M., SCHÜTZ K. E., TUCKER C. B. (2013): Dairy cows use and prefer feed bunks fitted with sprinklers, *Journal Dairy Sci.* 96: 5035- 5045  
<http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302%2813%2900430-X/pdf>  
Abrufdatum: 13.7.2015
- CIGR-BERICHT (2006): Animal Housing in Hot Climates: A multidisciplinary view. Hrsg.: CIGR Section II Working Group in cooperation With EurAgEng, Campinas, Brasilien
- COLLIER R. J., DAHL G. E., VANBAALE M. J. (2006): Major Advances Associated with Environmental Effects on Dairy Cattle, *J. Dairy Sci.* 89: 1244-1253  
<http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302%2806%2972193-2/pdf> (Stand 15.5.2015)
- COLLIER R. J. AND ZIMBELMAN, R.B. (2007): Heat Stress Effects on Cattle: What We Know and What we don't Know. In: *Proceedings of the 22nd Annual Southwest Nutrition and Management Conference*, Arizona, S. 76 - 83
- DIN 18910 (2003): Wärmeschutz geschlossener Ställe, Wärmedämmung und Lüftung, Teil 1: Planung und Berechnungsgrundlagen für geschlossene und zwangsbelüftete Ställe



- DLG MERKBLATT 336 (2005): Vermeidung von Wärmebelastungen für Milchkühe. Hrsg.: DLG e.V., Stand 07/2005
- DUSSERT, L., PIRON, A. (2012): Live yeast could help reduce the impact of heat stress on dairy production. [www.lallemandanimalnutrition.com/wp-content/uploads/2012/06/International-Dairy-Topics\\_Live-yeast\\_062012.pdf](http://www.lallemandanimalnutrition.com/wp-content/uploads/2012/06/International-Dairy-Topics_Live-yeast_062012.pdf) (Stand 22.07.2014)
- EBERT, K.-W. (2009): Herzfrequenzmessung beim Milchvieh - Parameter zur Beurteilung des Wohlbefindens. Diplomarbeit Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät.
- FAT-BERICHT 620 (2004): Minimalställe für Kühe bewähren sich. Hrsg.: Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Ettenhausen, Schweiz
- FIEGUTH, L., NIMER, K., LOCHER, L., REHAGE, J. (2013): Evaluierung eines telemetrischen Herzfrequenzmonitors zur Stresserfassung bei Milchkühen. Abstract der 10. Buiatrik Tagung 2013; Klinik für Wiederkäuer LMU München
- FUQUAY, J.W. (1981): Heat Stress as it Affects Animal Production. *Journal of Animal Science*, Vol. 52, No. 1, S. 164 – 174
- GASTEINER J. (2014): Hitzestress bei Milchkühen, Lehr- und Versuchszentrum für Landwirtschaft, Raumberg-Gumpenstein, <http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/finish/1905-nutztierschutztagung-2014/16737-hitzestress-bei-milchkuehen.html> (Stand 15.12.2014)
- JANZEKOVIC, M., VINDIS, P., STAJNKO, D., BRUS, M. (2010): Polar Sport Tester for Cattle Heart Rate Measurements. In: *Advanced Knowledge Application in Practice*, Igor Fuerstner (Ed.), ISBN: 978-953-307-141-1, InTech; Available from: <http://intechopen.com/books/advanced-knowledge-application-in-practice/polar-sport-tester-for-cattle-heart-rate-measurements> (Stand 28.07.2014)
- HAAKE, K.-W., BOCKISCH F.-J. (2003): Untersuchungen zu Auswirkungen der Dachflächen- und Wandgestaltung auf Temperaturentwicklungen im Gebäude, Tagungsband zur 6. Tagung Bau, Technik und Umwelt 2003, S. 200-205, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt
- HADN, B., MAČUHOVÁ, J. (2008): Wärmeregulation bei Milchkühen und Möglichkeiten der freien Lüftung zur Vermeidung von Hitzestress. In: *LfL-Information, Hitzestress im Milchviehstall*
- HARNER J. P., SMITH J. F., BROOK M., MURPHY J. P. (1999): Sprinkler System for Cooling Dairy Cows at a Feed Line, Kansas State University, <http://www.ksre.ksu.edu/bookstore/pubs/MF2401.pdf> (Stand: April 2015)
- HOLMES B. J., MASSIE L. R. (1996): Spray cooling Dairy cows, University of Wisconsin-Madison, <http://cdp.wisc.edu/pdf/spray.pdf>, (Stand: 16.7.2015)
- INSTITUT FÜR LUFT- UND KÄLTETECHNIK (2015): Mollier hx-Diagramm, Excelanwendung, <http://www.ilkdresden.de/leistungen/softwareentwicklung/detail/mollier-hx-diagramm/> (abgerufen: 04.12.2015)
- JESSEN, C. (2000): Wärmebilanz und Thermoregulation. In: von Engelhardt, W., Breves, G. (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*, S. 446 – 460; Enke Verlag, Stuttgart

- JESSEN, C. (2005): Temperatur: Adaption und Regulation. In: Penzlin, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Tierphysiologie, S. 445 – 474; Elsevier Verlag, München
- JONES, G. M., STALLINGS C. C. (1999): Reducing Heat Stress for Dairy Cattle Reduzierung von Hitzestress bei Kühen, Dairy Publication 404- 200, Virginia Cooperative Extension, [http://hydrofun.net/pdf/dairy\\_misting.pdf](http://hydrofun.net/pdf/dairy_misting.pdf) (Stand 22.4.2015)
- KENDALL P. E, VERKERK G. A., WEBSTER J. R., TUCKER C. B. (2007): Sprinkler and Shade Cool Cows and Reduce Insect-Avoidance Behavior in Pasture-Based Dairy System, J. Dairy Sci. 90: 3671-3680, <http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302%2807%2971823-4/pdf> (Stand 14.7.2015)
- KLIMABERICHT BAYERN (2012): Der Klimawandel in Bayern – Auswertung regionaler Klimaprojektionen. Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt
- KNIERIM, U. (1998): Wissenschaftliche Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Tiergerechtheit. In: KTBL-Schrift 377, Beurteilung der Tiergerechtheit von Haltungssystemen, Landwirtschaftsverlag Münster, S. 40 – 50
- KÖHLER, C. (2011): Nicht ins Schwitzen kommen, dlz primus Rind, Juli 2011
- KRAMER, A.J., HAIDN, B., SCHÖN, H. (1998): Untersuchungen zur Verfahrenstechnik „naturnaher“, eingestreuter Stallsysteme unter besonderer Berücksichtigung der Eigenschaften und Wirkungsweisen von Einstreumaterialien auf das Funktionieren des Haltungsverfahrens. Endbericht für die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Landtechnik Weihenstephan
- KRUIZ C., HITZENBERGER R. (2011): Physik verstehen, 2. Auflage, S. 115, UTB Wien
- LEFCOURT, A.M., EREZ, B., VARNER M.A., BARFIELD, R., TASCH, U. (1999): A noninvasive radiotelemetry system to monitor heart rate for assessing stress responses of bovines, Journal of Dairy Science 82; S. 1179 – 1187
- LEXEN, E., EL-BAHR, S.M., SOMMERFELD-STUR, I., PALME, R., MÖSTL, E. (2008): Monitoring the adrenocortical response to disturbances in sheep by measuring glucocorticoid metabolites in the faeces. Wien. Tierärztliche Monatsschrift 95; S. 64 – 71
- LOEBSIN C., FIEDLER M., TOBER O., HOFFMANN G., HEMPEL S., AMON T. (2014): Minderungsmöglichkeiten von Hitzestress am Beispiel von Zusatzlüftung, Arbeitsgruppe „Stallklima und Emissionen“ der Arbeitsgruppe Tierhaltung, Dummerstorf [http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA\\_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Tierproduktion/Milcherzeugung/Broschuere\\_Stallklima/BroschreAGStallklima\\_end.pdf](http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Tierproduktion/Milcherzeugung/Broschuere_Stallklima/BroschreAGStallklima_end.pdf) (Stand 18.3.2015)
- LOEBSIN, C., SAMER, M., SCHRÖTER, K. (2011): Hitzestress bei Milchrindern – Möglichkeiten der Minderung, Tagungsband zur 10. Tagung Bau, Technik und Umwelt 2011, S. 292-299, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt
- LOEBSIN, C., TOBER, O., FIEDLER, M. UND SCHRÖTER, K. (2012): Hitzestress bei Milchrindern und Möglichkeiten der Minderung. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 49, S. 64 - 72
- LYHS, L. (1971): Grundlagen der Thermoregulation und des Wärmehaushaltes. In: Lyhs L. (Hrsg.), Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere; S. 13 – 36; Gustav Fischer Verlag, Jena

- MAČUHOVÁ, J., ENDERS, S., PEIS, R., GUTERMANN, S., FREIBERGER, M., HAIDN, B. (2008): Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklimaställen für Milchvieh. Hrsg.: Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Freising, (LfL-Schriftenreihe 8/2008, ISSN: 1611-4159)
- MAUST, L.E., MCDOWELL, R.E., HOOVEN, N.W. (1972): Effect of Summer Weather on Performance of Holstein Cows in Three Stages of Lactation. *Journal of Dairy Science* Vol. 55, No. 8, S. 1133 – 1139
- MÖSTL, E., PALME, R. (2002): Hormones as indicators of stress. *Domestic Animal Endocrinology* 23, S. 67 – 74.
- N.N. (2013): Emissionsgrad. <http://de.wikipedia.org/wiki/Emissionsgrad> (abgerufen: 13.08.2014)
- N.N. (2014): Schwarzer Körper. [http://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzer\\_K%C3%B6rper](http://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzer_K%C3%B6rper) (abgerufen: 13.08.2014)
- N.N. (2014): Stefan-Boltzmann-Gesetz. <http://de.wikipedia.org/wiki/Stefan-Boltzmann-Konstante> (abgerufen: 13.08.2014)
- N.N.: Emission von Wärmestrahlung. <http://www.imn.htwk-leipzig.de/~ebersb/bauphysik/lehrblatt/lehrblatt2.pdf> (abgerufen: 13.08.2014)
- NICHELMANN, M. (1971): Der Wärmehaushalt beim Rind. In: Lyhs L. (Hrsg.), *Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere*; Gustav Fischer Verlag, Jena; S. 37 – 103
- PALME, R., MÖSTL, E. (1996): Measurement of cortisol metabolites in faeces of sheep as a parameter of Cortisol concentration in blood. *Proceedings of the 1st International Symposium on Physiology and Ethology of Wild and Zoo Animals, Berlin, Suppl. II*, S. 192 – 197
- PALME, R. (2012): Monitoring stress hormone metabolites as a useful, non-invasive tool for welfare assessment in farm animals. *Animal Welfare* 21, S. 331 – 337
- PALME, R., TOUMA, C., ARIAS, N., DOMINCHIN, M.F., LEPSCHY, M. (2013): Steroid extraction: Get the best out of faecal samples. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* 100, S. 238 – 246
- PELTZER A. (2008): Trends bei Bau und Ausrüstung von Milchviehställen, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/technik/bauberatung/stallbau-milchvieh.html>, (Stand: 30.3.2015)
- RICHTER, WERNER, BÄHR, VAN DEN WEGHE (1992): *Grundwerte der Tiergesundheit und Tierhaltung*, 3. Überarbeitete Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- ROJANO, F., BOURNET, P-E., ROBIN, P., HASSOUNA, M., CHOI, C., KACIRA, M. (2015): Analyse der Dynamik von Wärme- und Stoffübertragung in einem natürlich belüfteten Stall mit CFD, KTBL-Tagungsband zur 12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Darmstadt
- RUSHEN, J., DE PASSILLÉ, A.M., VON KEYSERLINK M.A.G. AND WEARY, D.M. (2008): The welfare of cattle. Springer Verlag, S. 142 - 180

- Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklimaställen für Milchvieh. Hrsg.: Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Freising, (LfL-Schriftenreihe 8/2008, ISSN: 1611-4159)
- SHOSHANI, E. AND HETZRONI, A. (2013): Optimal barn characteristics for high-yielding Holstein cows as derived by a new heat-stress model. *Animal* 7 (1), S. 176 - 182
- THOM, E.C. (1959): The discomfort index. *Weatherwise* 12:57, S. 59
- TOBER, O., LOEBSIN, C., SANFTLEBEN, P. (2011): Untersuchungen telemetrisch erfassbaren Verhaltens sowie ausgewählter physiologischer und Stallklimaparameter bei Hochleistungskühen unter den Bedingungen moderner Außenklima-Laufstallhaltung zur Schaffung von Managementhilfen und Optimierung der Tierumwelt. Forschungsbericht 2011, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Mecklenburg Vorpommern
- TOBER, O. UND LOEBSIN, C. (2013): Das Verhalten von laktierenden Milchkühen in einem Außenklima-Laufstall in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 126 (9), S. 388 - 393
- TUCKER, C., SCHÜTZ, K. (2009): Behavioral Response to Heat Stress: Dairy Cows Tell the Story. [www.cals.arizona.edu/ans/swnmc/Proceedings/2009/02Tucker\\_09.pdf](http://www.cals.arizona.edu/ans/swnmc/Proceedings/2009/02Tucker_09.pdf) (abgerufen: 28.07.2014)
- TURNER L. W., WARNER R. C., CHASTAIN J. P. (1997): Micro-Sprinkler and Fan Cooling for Dairy Cows: Practical Design Considerations, University of Kentucky, <http://www2.ca.uky.edu/agc/pubs/aen/aen75/aen75.pdf>, (Stand April 2015)
- VON BORELL, E., LANGBEIN, J., DESPRÉS, G., HANSEN, S., LETERRIER, C., MARCHANT-FORDE, J., MINERO, M., MOHR, E., PRUNIER, A., VALANCE, D., VEISSIER, I. (2007): Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals – A review. *Physiology and Behavior* 92, S. 293 – 316.
- WEST, J.W. (2003): Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* Vol. 86, No. 6, S. 2131 – 2144
- WERNER, P.C., GERSTENGARBE, F.W. (2007): Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten. In: *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke, Ausblicke* -. Hrsg.: Endlicher W. und Gerstengarbe F.-W., S. 56 – 59
- WORLEY J. W. (2009): Cooling Systems for Georgia Dairy Cattle, The University of Georgia, Cooperative Extension, <http://athenaeum.libs.uga.edu/bitstream/handle/10724/12111/B1172.pdf?sequence=1>, (Stand: 20.5.15)
- WILLIAMS, J.S., SHRODE, R.R., LEIGHTON, R.E. AND RUPEL, I.W. (1960): A Study of the Influence of Solar Radiation on Physiological Response of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 43, S. 1245 - 1254
- ZENTNER E. (2014): Hitzestress bei Rindern - Bauliche und technische Lösungsmöglichkeiten, Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
- ZIMBELMAN, R.B., RHOADS, R.P., RHOADS, M.L., DUFF, G.C., BAUMGARD, L.H. AND COLLIER, R.J. (2009): A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing

Dairy Cows. Vortrag auf der Southwest Nutrition and Management Conference, Savoy, Illinois

## Anhang

Versuchsphase	TN 14	TN 15	HSo 14	HSo15	HSm14	HSm15
<b>Lufttemperatur [°C]</b>						
Durchschnitt	11,7	12,9	23,2	21,7	21,3	21,1
Minimum	9,5	9,7	12,2	13,8	16,1	15,2
Maximum	14,0	20,4	30,3	30,0	29,3	28,8
<b>Relative Luft- feuchte [%]</b>						
Durchschnitt	71,6	76,8	67,7	66,9	74,1	71,9
Minimum	56,0	59,7	46,8	45,9	52,4	51,4
Maximum	83,2	81,2	81,5	78,5	81,9	82,7
<b>THI</b>						
Durchschnitt	54	56	71	69	68	68
Minimum	50	51	55	57	60	59
Maximum	57	67	80	78	77	77

Tab. 4: Durchschnitt, Minimum und Maximum der erfassten Klimaparameter während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15).

Versuchsphase	TN 14	TN 15	HSo 14	HSo15	HSm14	HSm15
<b>Atemfrequenz [Atemzüge / min]</b>						
Durchschnitt	26	26	46	39	42	34
Minimum	23	22	29	34	32	30
Maximum	29	31	74	49	51	43
<b>Körpertemperatur [°C]</b>						
Durchschnitt	38,3	38,3	38,6	38,5	38,5	38,4
Minimum	38,1	38,0	38,2	38,3	38,2	38,3
Maximum	38,4	38,4	39,2	38,8	38,7	38,6
<b>Herzfrequenz [bpm]</b>						
Durchschnitt	84	77	90	81	87	79
Minimum	75	65	75	70	74	71
Maximum	93	89	102	98	103	36

Tab. 5: Durchschnitt, Minimum und Maximum der erfassten physiologischen Parameter während der Versuchsphasen (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren) in den Jahren 2014 (14) und 2015 (15).

<b>Versuchsphase</b>	<b>TN 14</b>	<b>HSo 14</b>	<b>HSm14</b>
<b>Grundfutteraufnahme</b> [kg FM / d]			
Durchschnitt	39,55	46,90	44,92
Minimum	36,61	44,71	41,10
Maximum	43,79	51,64	46,50
<b>Milchleistung</b> [kg / d]			
Durchschnitt	31,0	30,6	30,1
Minimum	29,1	29,5	29,7
Maximum	31,7	31,2	30,3

Tab. 6: *Durchschnitt, Minimum und Maximum der erfassten Leistungsparameter während der Versuchsphasen 2014 (TN = Thermoneutrale Phase, HSo = Hitzestressphase ohne Ventilatoreinsatz, HSm = Hitzestressphase mit dem Einsatz von Ventilatoren)*