

Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklima- ställen für Milchvieh



Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Redaktion: Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Prof. Dürrwaechter-Platz 2, 85586 Poing
E-Mail: TierundTechnik@LfL.bayern.de
Tel.: 089 / 99141-301

1. Auflage Juli / 2008

Druck: Lerchl-Druck, 85354 Freising

Schutzgebür: 15,-- €

© LfL



Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklimaställen für Milchvieh

**Einfluss des Außenklimas auf das Stallklima und
das Liegeverhalten von Milchkühen**

**Juliana Mačuhová, Stefan Enders, Rudolf Peis,
Silvia Gutermann, Martin Freiberger
und Bernhard Haidn**

Inhaltsverzeichnis	Seite
Zusammenfassung	13
Summary	14
1 Einleitung	15
2 Stand des Wissens.....	17
2.1 Stallklimafaktoren	17
2.2 Bedeutung und Auswirkung von Stallklimafaktoren auf Milchkühe.....	17
2.2.1 Temperatur	17
2.2.1.1 Lufttemperatur.....	17
2.2.1.2 Temperatur der Bauteile	18
2.2.1.3 Sonnenstrahlung	18
2.2.2 Luftfeuchtigkeit.....	19
2.2.3 Lüftung und Luftbewegung.....	19
3 Problemstellung und Zielsetzung.....	21
4 Material und Methoden	22
4.1 Betriebe	22
4.2 Erfassung des Außenklimas	23
4.3 Erfassung von Stallklimafaktoren	24
4.4 Erfassung des Öffnungsgrades des Wandverschlusssystems	25
4.5 Erfassung des Tierverhaltens	27
4.6 Datenanalyse und statistische Auswertung	27
5 Ergebnisse und Diskussion	29
5.1 Klimaverhältnisse.....	29
5.1.1 Temperatur	29
5.1.2 Luftfeuchtigkeit.....	36
5.1.3 Temperatur und Luftfeuchtigkeit	38
5.1.3.1 THI und Milchvieh.....	39
5.1.3.2 THI in den untersuchten Betrieben	40
5.1.3.3 THI während der letzten 15 Jahre in den Regionen um die untersuchten Betriebe	42
5.1.4 Wind und Luftströmung im Stall	44
5.1.4.1 Windgeschwindigkeiten während des Untersuchungszeitraums	44
5.1.4.2 Luftbewegung im Stall	49
5.1.4.3 Einfluss der Luftströmung auf das Tier.....	63
5.1.5 Sonnenstrahlung	66

5.2	Liegeboxenbelegung	67
5.2.1	Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung	68
5.2.2	Tägliche Liegeboxenbelegung	69
5.2.3	Liegeboxenbelegung und THI Einfluss.....	73
5.2.3.1	Einfluss des THI und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung	74
5.2.3.2	Einfluss des THI auf die Liegeboxenbelegung während des Tages und in der Nacht	77
5.2.4	Liegeboxenbelegung und Stalltemperatur.....	83
5.2.4.1	Einfluss der Stalltemperatur auf die tägliche Liegeboxenbelegung.....	83
5.2.4.2	Einfluss der Stalltemperatur auf die Liegeboxenbelegung während des Tages und der Nacht.....	84
5.2.5	Temperatur oder THI?	87
6	Schlussfolgerungen (Verfahrenstechnische Einordnung)	90
	Literaturverzeichnis	92

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Wichtige Einflussfaktoren auf Tiergesundheit und Kuhkomfort	15
Abb. 2: Lage der beiden Versuchsbetriebe	23
Abb. 3: Wetterstation vor dem Betrieb A.....	23
Abb. 4: Grundriss des Betriebes A und Verteilung der Sensoren	25
Abb. 5: Grundriss des Betriebes B und Verteilung der Sensoren	25
Abb. 6: Abmessungen der Curtains im Betrieb A.....	26
Abb. 7: Abmessungen der Curtains im Betrieb B.....	26
Abb. 8: Erkennung der Liegeboxenbelegung über Ultraschallsensoren	27
Abb. 9: Durchschnittliche Tagesaußentemperaturen auf den Untersuchungsbetrieben während des gesamten Untersuchungszeitraums	29
Abb. 10: Verlauf der durchschnittlichen Tagesaußen- und -innentemperaturen	30
Abb. 11: Außen- und Innentemperaturverlauf bei Tagesaußentemperaturen unter 0 °C (große Abbildung - der Tagesverlauf während einiger kontinuierlich erfasster Tage, kleine Abbildung - der durchschnittliche Tagesverlauf während aller Tage mit gegebener Tagestemperatur)	32
Abb. 12: Außen- und Innentemperaturverlauf bei Tagesaußentemperaturen von 10 bis 15 °C (große Abbildung - der Tagesverlauf während einiger kontinuierlich erfasster Tage, kleine Abbildung - der durchschnittliche Tagesverlauf während aller Tage mit gegebener Tagestemperatur)	33
Abb. 13: Außen- und Innentemperaturverlauf bei Tagesaußentemperaturen über 20 °C (große Abbildung - der Tagesverlauf während einiger kontinuierlich erfasster Tage, kleine Abbildung - der durchschnittliche Tagesverlauf während aller Tage mit gegebener Tagestemperatur)	34
Abb. 14: Außen- und Innentemperaturverlauf während drei kontinuierlicher Tage bei Tagesaußentemperaturen unter 0 °C auf Betrieb B (A - mit Temperaturen unter 0 °C während des gesamten Tages, B - mit Temperaturen auch über 0 °C während des Tages).....	35
Abb. 15: Durchschnittliche Tagesaußen- und Tagesinnenluftfeuchtigkeit während des Untersuchungszeitraums	37
Abb. 16: Verlauf der Luftfeuchtigkeit während ausgewählter Tage.....	37
Abb. 17: THI-Tagesmittelwert, Tagesminimum, Tagesmaximum und Anzahl der Stunden pro Tag mit einem THI über 72	40
Abb. 18: Verteilung der THI-Werte (innen)	41
Abb. 19: Durchschnittliche Tageswindgeschwindigkeit während des Untersuchungszeitraums	45
Abb. 20: Verteilung der Windgeschwindigkeiten (zehn Minuten Durchschnittswerte)	45
Abb. 21: Windrichtungsverteilung.....	47
Abb. 22: Windgeschwindigkeitsverteilung nach Windrichtung	47

Abb. 23: Windgeschwindigkeitsverteilung sortiert nach durchschnittlicher Tagestemperatur	48
Abb. 24: Windgeschwindigkeitsverteilung nach Temperaturklassen (10-Minutenwerte)	49
Abb. 25: Verteilung von Luftströmung im Stall und Windgeschwindigkeiten (alle Daten)	49
Abb. 26: Regressionen für ausgewählte Sensoren (einer je Reihe), die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb A abschätzen (alle Daten)	51
Abb. 27: Regressionen für ausgewählte Sensoren (einer je Reihe), die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B abschätzen (alle Daten)	52
Abb. 28: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Außenwindgeschwindigkeiten bei geschlossenen Curtains (alle vorhandenen Daten)	54
Abb. 29: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeiten bei geschlossenen Curtains reihenweise im Betrieb A (nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)	55
Abb. 30: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeiten bei geschlossenen Curtains reihenweise im Betrieb B (nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)	55
Abb. 31: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B (alle Daten) a) wenn zumindest ein Curtain nicht ganz geschlossen wurde, jedoch die Curtains nicht ganz offen waren b) wenn alle „Curtains ganz offen“ waren	56
Abb. 32: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B, wenn zumindest ein Curtain nicht ganz geschlossen war, jedoch die Curtains nicht ganz offen waren (nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)	56
Abb. 33: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B, wenn alle Curtains ganz offen waren (nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)	57
Abb. 34: Regressionen für Beispielsensoren (ein für jede Reihe), die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung bei geschlossenen und ganz offenen Curtains im Betrieb B abschätzen	58
Abb. 35: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb A bei Wind aus der Hauptwindrichtung (Westwind) (Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)	59
Abb. 36: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb A bei seitlichem Wind (Nordwind) (Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)	60
Abb. 37: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B bei Wind aus der Hauptwindrichtung (Nordwestwind) (Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)	60

Abb. 38: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B bei seitlichem Wind (Nordostwind) (Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe).....	60
Abb. 39: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit bei Temperaturen über 23 °C (alle Daten)	65
Abb. 40: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb A bei Temperaturen über 23 °C (Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)	65
Abb. 41: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B bei Temperaturen über 23 °C (Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)	65
Abb. 42: Durchschnittliche Liegeboxenbelegung im Tagesverlauf.....	68
Abb. 43: Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung nach Reihen.....	71
Abb. 44: Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung für die Melkstandreihe getrennt für Boxen direkt an der Melkstandwand und die restlichen Boxen.....	72
Abb. 45: Mittlere tägliche Liegeboxenbelegung für einzelne Boxen im Betrieb A.....	72
Abb. 46: Mittlere tägliche Liegeboxenbelegung für einzelne Boxen im Betrieb B.....	73
Abb. 47: Mittlere tägliche Liegeboxenbelegung für einzelne Boxen im Betrieb B (oberer Wert bis 16.06., unterer Wert ab 24.06.)	73
Abb. 48: Tagesmittelwerte für Liegeboxenbelegung und THI innen sowie aktuelle Kuhzahl während der Untersuchungszeiträume.....	74
Abb. 49: Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung im Betrieb B während der gesamten Untersuchungsperiode sowie in den Perioden bis 16. Juni und ab 24 Juni	77
Abb. 50: Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) in Abhängigkeit vom THI-Tagesmittelwert	80
Abb. 51: Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-4:59 Uhr) in Abhängigkeit vom THI-Tagesmittelwert	81
Abb. 52: Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-4:59 Uhr) im Betrieb B in Abhängigkeit vom THI-Tagesmittelwert.....	82
Abb. 53: Verlauf der Stalltemperatur, -Luftfeuchtigkeit und -THI während drei ausgewählter warmer Tage.....	87
Abb. 54: Verlauf von Stalltemperatur, -luftfeuchtigkeit und -THI während drei ausgewählter kalter Tage in beiden Betrieben	88
Abb. 55: Verlauf von Stalltemperatur, -luftfeuchtigkeit und –THI während drei ausgewählter kalter, jedoch sonniger Tage im Betrieb B (Zeitraum: 20.-24.06.2005).....	88

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1:	Rahmendaten der beiden Versuchsbetriebe	22
Tab. 2:	Messbereiche und Genauigkeiten der Sensoren der Wetterstation (Herstellerangaben)	24
Tab. 3:	Vergleich der Außen- und Innentemperatur bei verschiedenen Tagesaußentemperaturen.....	35
Tab. 4:	Vergleich der Außen- und Innentemperatur bei verschiedenen aktuellen Temperaturen	35
Tab. 5:	Relative Innenluftfeuchtigkeit bei verschiedenen Außentemperaturen (alle Daten).....	38
Tab. 6:	Vergleich der relativen Außen- und Innenluftfeuchtigkeit bei verschiedenen Außentemperaturen (paarweise verfügbare Daten).....	38
Tab. 7:	Auswirkung des Temperatur-Feuchtigkeits-Indexes (THI) auf Milchvieh (nach Chase, [19])	39
Tab. 8:	THI für Milchkühe (nach Formel 1 berechnet).....	40
Tab. 9:	Wetterdaten von der Wetterstation Rotenfeld (21 km von Betrieb A entfernt)	43
Tab. 10:	Wetterdaten von der Wetterstation Rohenroth (25 km von Betrieb B entfernt)	43
Tab. 11:	Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb A abschätzen (alle Daten)	50
Tab. 12:	Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B abschätzen (alle Daten)	50
Tab. 13:	Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B bei geschlossenen und ganz offenen Curtains abschätzen (alle Daten)	57
Tab. 14:	Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb A in Abhängigkeit von der Windrichtung abschätzen (alle Daten)	61
Tab. 15:	Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B in Abhängigkeit von der Windrichtung abschätzen (alle Daten)	62
Tab. 16:	Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B bei ganz offenen Curtains in Abhängigkeit von der Windrichtung abschätzen (alle Daten)	62
Tab. 17:	Wärmeabgabe und Wasserdampfabgabe einer Hochleistungskuh (700 kg Lebensgewicht, nicht trächtig, 40 kg Milch pro Tag) [24]	64
Tab. 18:	Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die gefühlte Temperatur [4]	64

Tab. 19: Abkühlungsgröße [W/m ²] bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten und Temperaturen (nach Formel 2 und 3 berechnet)	66
Tab. 20: Liegeboxenbelegung während des Tages und in der Nacht	69
Tab. 21: Durchschnittliche tägliche Liegeboxenbelegung (%) der einzelnen Reihen.....	70
Tab. 22: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung im Betrieb A und B abschätzen.....	75
Tab. 23: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE nach Perioden getrennt für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung im Betrieb B abschätzen	76
Tab. 24: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) abschätzen.....	79
Tab. 25: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) im Betrieb B abschätzen	80
Tab. 26: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-04:59 Uhr) abschätzen.....	81
Tab. 27: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-04:59 Uhr) im Betrieb B abschätzen	82
Tab. 28: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Stalltemperatur und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung abschätzen	83
Tab. 29: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Stalltemperatur und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung im Betrieb B abschätzen	84
Tab. 30: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Innentemperatur und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) abschätzen	85
Tab. 31: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) im Betrieb B abschätzen	85
Tab. 32: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Innentemperatur und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-04:59 Uhr) abschätzen	86
Tab. 33: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Innentemperatur und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-04:59 Uhr) im Betrieb B abschätzen.....	86
Tab. 34: Differenz zwischen Stalltemperaturtagesmittelwert und THI-Tagesmittelwert ohne Konstante nach Stalltemperaturtagesmittelwert sortiert.....	89

Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklimaställen

Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Juliana Mačuhová, Stefan Enders, Rudolf Peis, Silvia Gutermann, Martin Freiberger und
Bernhard Haidn

Zusammenfassung

In den letzten Jahren wurden für Kühe überwiegend Außenklimaställe gebaut, weil sie nicht nur kostengünstiger sind, sondern auch den Anforderungen der Kühe mehr entsprechen. Um auch in frei belüfteten Ställen Einfluss auf das Stallklima nehmen zu können, werden unter anderem flexible Wände in Form von Curtains eingesetzt, deren Öffnungsgrad vielfach automatisch über die Stallinnentemperatur und die Windgeschwindigkeit gesteuert wird. Ziel dieser Arbeit war es, die Zusammenhänge zwischen Wettersituation, Stallklima und dem Öffnungsgrad der Curtains zu untersuchen. Weiterhin sollten die Zusammenhänge zwischen Stallklima (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) und dem Wohlbefinden, in diesem Fall dem Liegeverhalten von Milchkühen, untersucht werden. Dafür wurde das Stallklima (Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftströmung) in zwei 3-reihigen Liegeboxenlaufställen aufgezeichnet. Die aktuelle Wetterlage wurde jeweils über eine in ca. 200 m Entfernung zu den Versuchsställen aufgestellte Wetterstation erfasst. Das Liegeverhalten der Kühe wurde über die Liegeboxenbelegung, gemessen über Ultraschallsensoren, ermittelt.

Das Stallklima, sofern es die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit betrifft, folgte sehr eng und unverzüglich dem Außenklima. Nur im Winter (unter 5 bzw. 10 °C permanent geschlossene Curtains) konnte ein größerer Unterschied zwischen Außen und Innentemperatur beobachtet werden. Da diese Wettersituation lange anhalten konnte und deshalb die Curtains über einen langen Zeitraum geschlossen blieben, scheint die Regulierung der Curtains nur nach Stalltemperatur während kalter Tage für eine optimale Durchlüftung nicht ausreichend zu sein. Die Luftströmung im Stall wurde nur direkt hinter den Curtains wesentlich von der äußeren Luftströmung beeinflusst. Im Liegebereich war jedoch die Luftströmung sehr gedämpft und das sogar bei ganz offenen Curtains. Darum kann während heißer Tage mit einer Verbesserung des Stallklimas durch die natürliche Luftströmung nicht gerechnet werden. Aus Sicht der Kühe benötigen die Wandverschlusssysteme keinen engen und stetigen Regelbereich. Wichtig ist, Schutz bei Unwetter und eine ausreichende Durchlüftung zu gewährleisten. Das Stallklima (in dieser Studie durch den „temperature humidity index“ (THI) getestet) kann das Liegeverhalten der Kühe beeinflussen. Der Einfluss kann jedoch in unterschiedlichen Betrieben unterschiedlich ausgeprägt sein. Während in einem Betrieb der Effekt des THIs auf die tägliche Liegeboxenbelegung sowie auch die Liegeboxenbelegung während des Tages (11-15 Uhr) beobachtet wurde, war im zweiten Betrieb der Effekt nur während der Nacht (21-5 Uhr) vorhanden. War jedoch der Effekt vorhanden, sank die Liegeboxenbelegung mit steigenden THI-Werten. Bei höheren Temperaturen kann zusätzlich zur Belastung durch Hitzestress eine Belastung durch kürzere Liegezeiten auftreten. Das Liegeverhalten der Kühe kann jedoch in Folge vieler anderer Faktoren (wie z.B. das Tier-Liegeboxen Verhältnis, Milchleistung, Boxengestaltung, Position der Boxen und etc.) verändert sein.

Summary

Cold stables are more frequently built in the last years, not only because the investment costs for the building are lower but also because they are more adjust to the requirements of the animals. The curtains, which can be installed at the open side of the stable and can be automatically regulated, can offer certain regulation of climate in the stable. The aim of this study was to test the effect of climate conditions and curtain opening size on microclimate in the cold stables. Moreover, the effect of microclimate conditions on the welfare of dairy cows (lying behaviour) was tested. Therefore, the microclimate (temperature, relative humidity and air stream) was recorded in two 3-row loose housing stables. A meteorological station placed approx. 200 m away from the stable noted current weather conditions. The lying behaviour of cows was recorded using ultrasonic sensors, noting the occupancy of the lying boxes.

Inside temperature and also relative humidity followed closely and promptly the outside conditions. Greater differences between inside and outside temperature could be observed only during winter (permanently closed curtains below 5 resp. 10 °C). However, this weather situation can persist for a long time and as a consequence the curtains remain closed during a long period. Therefore, sufficient ventilation during cold days does not seem to be ensured only by the regulation of the curtains using the stable temperature. The air movement in the stable was influenced by wind speed only directly behind the curtains. The air movement in lying area (along the cubicles) was strongly severely and this even by totally opened curtains. Therefore, during hot days it cannot be counted on an improvement of the stable microclimate by natural air movement. From cows point of view the regulation of the curtain opening do not require a close and constant range of control. It is important to ensure protection against storm as well as sufficient ventilation. The microclimate of the stable (in this study tested by using the temperature humidity index (THI)) can affect the lying behaviour of cows. However, the influence can be pronounced differently in different farms. While in one farm the THI influenced on the daily occupancy of cubicles as well as in the daytime (11-15 o'clock), the effect on other farm could only be observed during the night (21-5 o'clock). However, whenever the effect was observed, the occupancy of cubicles decreased with increasing THI values. Additionally higher temperatures can not only cause load by heat stress but also load by a shorter duration of lying. However, the lying behaviour of the cows can be influenced also by many other factors (e.g. number of animal in relation to number of cubicles, milk production, constitution of cubicles, position of the cubicles and etc..).

1 Einleitung

Eine moderne Milchproduktion hat das Ziel, alle Verfahren im Bereich Haltung, Fütterung, Milchgewinnung, Entmistung, Management und Tierpflege so optimal zu gestalten, damit maximale Leistungen der Tiere mit einem minimalen Aufwand erreicht werden [28].

Die Haltungsbedingungen haben neben Zucht, Fütterung und Herdenmanagement eine wesentliche Bedeutung für hohe Tierleistungen und damit für die Wirtschaftlichkeit in der Milchviehhaltung [75] (Abb. 1). Landwirtschaftliche Nutztiere, die in einem Stall gehalten werden, haben kaum die Möglichkeit, sich einem falsch gebauten Stall oder dem gegebenen Stallklima zu entziehen. Dieses beeinflusst jedoch in hohem Maße Gesundheit, Wohlbefinden und somit die Leistungsfähigkeit der Tiere, welche wiederum wirtschaftliche Bedeutung für den Landwirt hat. Zwar ist den Tieren in gewissem Rahmen eine Anpassung möglich, doch werden sie unter suboptimalen Bedingungen niemals ihre optimale Leistung erbringen.

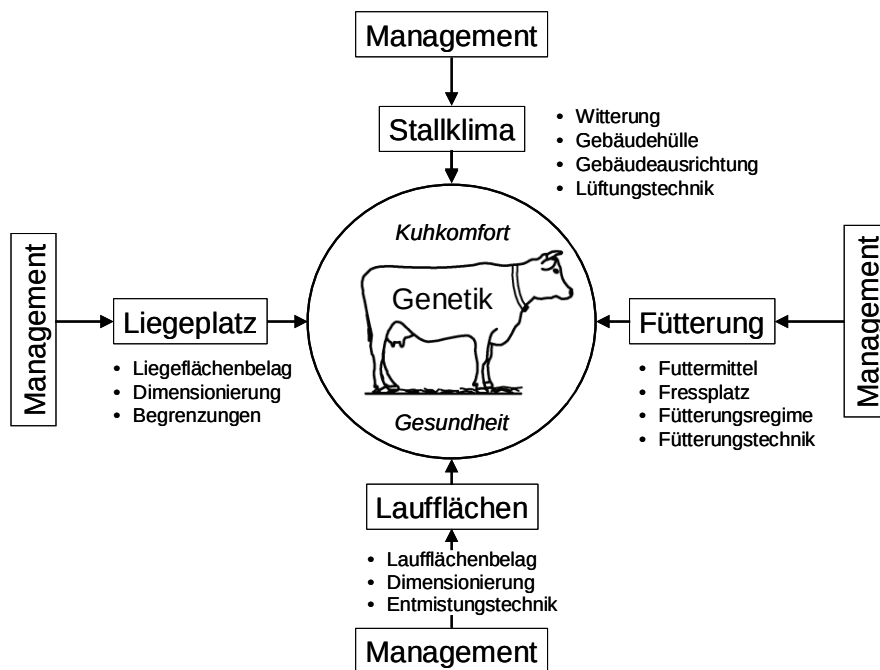


Abb. 1: Wichtige Einflussfaktoren auf Tiergesundheit und Kuhkomfort

In den letzten 10-15 Jahren haben sich Außenklimaställe, meist als Offenfrontställe mit freier Lüftung konzipiert, als Haltungsform für Milchvieh verbreitet. Im Vergleich zu zwangsbelüfteten und wärmegeprägten Gebäuden, in welchen das Stallklima weitestgehend witterungsunabhängig über festgelegte Temperaturkurven und die Lüftungstechnik gesteuert werden kann, spielt in frei belüfteten Außenklimaställen die Witterung eine große Rolle.

Die Bezeichnung „Außenklimastall“ lässt bereits auf eine enge Verbindung zwischen der Witterung und dem Stallklima schließen. Durch fehlende bzw. eine nur im Dach vorhandene Wärmedämmung strahlen die umgebenden Bauteile bei starker Sonneneinstrahlung

in Abhängigkeit von Material und Farbgestaltung erhebliche Wärme in den Stallraum ab [31]. Hingegen treten bei kalten Außentemperaturen große Wärmeverluste im Gebäudeinneren auf. Große Gebäudeöffnungen wie z.B. bei Offenfrontställen führen deshalb zu einer relativ schnellen Annäherung der Innen- an die Außentemperatur.

2 Stand des Wissens

2.1 Stallklimafaktoren

Der Begriff „Stallklima“ wird in der Literatur sehr unterschiedlich definiert. Stolpe und Bresk [69] definieren den Begriff Stallklima als die in einem umbauten Raum auftretende Gesamtheit des thermohygrischen Faktorenkomplexes, einschließlich der Luftschadstoffe sowie der weiteren physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Luft.

Das Stallklima setzt sich aus verschiedenen Faktoren zusammen. Zu den wichtigsten Stallklimafaktoren gehören Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung, Schadgaskonzentration, Staub- und Keimkonzentration sowie Sonneneinstrahlung.

Das Stallklima wird aber nicht nur von abiotischen, sondern auch von biotischen Parametern (wie z.B. Tierart, Größe, Gewicht, Rasse, Alter, Fortpflanzungsstatus, Fütterungsniveau, Akklimatisation und Leistungsniveau) beeinflusst. Der optimale Temperaturbereich, innerhalb dessen die Körpertemperatur ohne Anpassungsreaktionen konstant bleibt (sogenannte thermoneutrale Zone), variiert in Abhängigkeit dieser Faktoren.

Wird dieser optimale Temperaturbereich über- oder unterschritten, kann es zu einer Kälte- bzw. Wärmebelastung durch zu hohen oder zu niedrigen Wärmeentzug kommen [80]. Um die Körpertemperatur konstant zu halten, passen sich die Tiere dieser Belastung auf unterschiedliche Weise an. Dies kann beispielweise morphologisch (durch Haarwachstum oder -wechsel, subkutane Fetteinlagerung), physiologisch (durch Schwitzen, Hecheln, Aufstellen der Haare, Kältezittern, zitterfreie Wärmeproduktion, Veränderungen des Stoffwechsels, der Sekretion von Stresshormonen, der Futteraufnahme und der Leistung) und ethologisch (durch die Wahl der Liege- oder Stehplätze, erhöhte oder verminderte Aktivität sowie Liegen oder Stehen in Gruppen bzw. einzeln) geschehen [80]. Leider können diese Anpassungsprozesse negative Einflüsse auf die Physiologie der Rinder und die Produktion haben. Bei zu großen Abweichungen von der thermoneutralen Zone reichen die tierischen Anpassungsmechanismen jedoch nicht mehr aus und die Körpertemperatur sinkt oder steigt.

2.2 Bedeutung und Auswirkung von Stallklimafaktoren auf Milchkühe

Prinzipiell müssen die Stallklimafaktoren für eine Aussage über ihre Wirkung immer in ihrer Gesamtheit unter Berücksichtigung gegenseitiger Wechselwirkungen betrachtet werden. Dies wird am Beispiel des Menschen deutlich, der bei derselben Temperatur umso eher friert, je stärker der Wind weht (Windchill-Temperatur, gefühlte Temperatur), andererseits aber bei Frostgraden im T-Shirt vor der Skihütte sitzen kann [68]. Daher soll an dieser Stelle die Bedeutung der einzelnen in dieser Untersuchung erfassten Stallklimafaktoren dargestellt werden.

2.2.1 Temperatur

2.2.1.1 Lufttemperatur

Das europäische Rind ist relativ kältetolerant, aber hitzeempfindlich. Es zieht trockene, kalte Umgebung einem feucht warmen Raumklima vor. Tierphysiologisch liegt der optimale Temperaturbereich der Umgebung zwischen +4 und +16 °C [23]. Je höher die Milchleistung ist, desto mehr zieht die Milchkuh niedrigere Temperaturen vor [36]. Inner-

halb der thermoneutralen Zone werden normalerweise minimale physiologische Belastungen und maximale Produktivität erzielt [7]. Wird der optimale Temperaturbereich über oder unterschritten, reagiert das Rind durch physiologische Anpassungsprozesse sowie durch ein verändertes Verhalten. Dabei ist es für die Kühe schwerer auf hohe [45, 48] als auf niedrigere Temperaturen [14, 37, 77] zu reagieren.

Niedrige Temperaturen stellen für gesunde Tiere kaum ein Problem dar. Sogar bei reduziertem Witterungsschutz und kurzfristig schneebedecktem oder nassem Liegebereich können sich die Tiere durch ihr Verhalten an die Klimabedingungen gut anpassen [43]. Unter solchen Bedingungen kann die Grundfutteraufnahme bei Milchvieh steigen. Wenn aber ein kältebedingter Energieverlust nicht mit erhöhter Futteraufnahme kompensiert werden kann, kommt es zu einem Abbau der Fettreserven an verschiedenen Körperstellen [43]. Die Milchleistung wurde sogar bei sehr kaltem Winter (Temperaturen bis $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ beziehungsweise $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$) nicht beeinflusst [12, 46]

Im Stoffwechsel der Rinder fällt viel Wärme an, die durch die Aktivität der Pansenflora und durch die Milchbildung entsteht. Mit steigender Milchleistung wird mehr Körperwärme produziert. Kühe mit einer Milchleistung von 18,5 und 32,6 kg/d produzierten 27,3 bzw. 48,5 % mehr Wärme als trockenstehende Kühe [62]. Diese Wärme muss an die Umgebung abgegeben werden [5]. Wärmeabgabe vom Körper erfolgt durch Konvektion, Leitung, Strahlung und Evaporation. Bei extremer Hitze versucht das Tier durch Schwitzen die Wärmeabgabe zu erhöhen. Dadurch nimmt die Wärmeabgabe durch die Evaporation zu. Eine Einschränkung stellt jedoch das kleine Verhältnis Körpervolumen zu Körperoberfläche dar. Bei Temperaturen über $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist dies für die Kuh fast unmöglich [5] und es kann zu Hitzestress führen.

Eine Hitzebelastung zeigt sich beim Milchrind bereits bei mäßig hohen Umgebungstemperaturen ($>24^{\circ}\text{C}$) durch eine erhöhte Atemfrequenz und Körpertemperatur [33]. Daher steigt die Wasseraufnahme [43] und folglich sinkt die Futteraufnahme sowie auch die Milchleistung [43]. Z.B. betrug bei einer Temperatur von $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40 % die Milchproduktion von Holstein, Jersey und Braunvieh Kühen 97 %, 93 % bzw. 98 % der normalen Milchleistung. Als aber die relative Luftfeuchtigkeit auf 90 % erhöht wurde, sank diese auf nur 69 %, 75 % bzw. 83 % der normalen Milchleistung [8]. Die Hitzebelastung beeinflusst auch die Zusammensetzung der Milch [10]. Die Milch weist einen reduzierten Fett- und Caseingehalt auf. Auch die Reproduktionsleistung sinkt z.B. durch verspäteten Eintritt der Pubertät oder reduzierte Brunstintensität und –dauer sowie häufigeren Aborten [9, 34].

2.2.1.2 Temperatur der Bauteile

Die Temperatur der Bauteile spielt in Milchviehställen nur eine untergeordnete Rolle [46, 47]. Lediglich die Wärmeleitfähigkeit der Liegefläche (Mistmatratze oder Beton) wirkt sich direkt auf die Liegedauer der Kühe aus [47]. Denn die Euterhaut mit einer Oberflächentemperatur von 35°C hat nicht die Fähigkeit, die Temperatur zu regulieren wie die normale Haut [47]. Ist die Isolierung der Liegeflächen zu gering, verkürzt die Kuh ihre Ruhe- und Liegezeiten, um eine hohe Wärmeableitung am Euter zu verhindern [47].

2.2.1.3 Sonnenstrahlung

Die direkte Sonnenstrahlung ist eine zusätzliche starke Hitzebelastung für die Tiere während heißer Tage [1, 44, 52]. Wenn die Kühe keine Möglichkeit haben, der direkten Sonnenstrahlung zu entkommen (z.B. keine Flächen mit Schatten auf der Weide), ertragen sie

hohe Temperaturen schlechter. Andererseits ist die Sonnenstrahlung für die Tiere an kalten Tagen angenehm.

2.2.2 Luftfeuchtigkeit

Nicht nur die tatsächliche Temperatur sondern auch die Luftfeuchtigkeit, kurz Luftfeuchte, beeinflussen den Hitzestress bei Kühen [57]. Obwohl sich unsere landwirtschaftlichen Nutztiere relativ gut an Schwankungen der Luftfeuchtigkeit anpassen können, sollte ein Bereich von 50–80 % relativer Luftfeuchtigkeit im Stall angestrebt werden.

Bei zu hoher Luftfeuchtigkeit und hoher Temperatur (bei so genannter feuchtwarmer Luft) kann es zum „Hitzschlag“ kommen, weil es den Tieren nicht mehr möglich ist, Wärme über Verdunstung (latente Wärme) abzugeben. Dazu fördert ein solches Milieu im Stallgebäude auch die Entwicklung von Bakterien, Parasiten und Schimmelpilzen, wodurch nicht nur die Gesundheit von Tier und Mensch, sondern auch das Gebäude Schaden nehmen kann. Außerdem mindern hohe Luftfeuchtigkeiten (über 90 %) die Isolierfähigkeit des Fells [46]. Dadurch empfinden die Tiere die Temperaturen, vor allem in Verbindung mit höheren Luftgeschwindigkeiten, niedriger [46]. So erhöht sich bei hohen Luftfeuchtigkeiten und niedrigeren Temperaturen die Wärmeabgabe und es kann zur „Unterkühlung“ kommen (Faktor bei der Entstehung der Enzootischen Bronchopneumonie des Rindes).

Aber auch eine zu geringe Luftfeuchtigkeit kann schädlich sein. Eine zu geringe Luftfeuchtigkeit ist oft mit hohen Staubkonzentrationen verbunden und verursacht so einige Zeit nach Betreten des Stalles Hustenreiz. Sinkt die Luftfeuchtigkeit hingegen zu stark ab, trocknen die Schleimhäute aus, was eine höhere Anfälligkeit für Infektionen (Respirationskrankheiten) zur Folge hat.

2.2.3 Lüftung und Luftbewegung

Aufgabe der Lüftung ist es, einen Austausch der Luft und somit die Abfuhr von Raumlasten und die Versorgung mit Frischluft zu gewährleisten. Ziel ist es dabei, sowohl Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit von Tier und Mensch zu erhalten bzw. zu fördern, als auch das Bauwerk vor Schäden zu schützen [18, 35]. Schon bei der Stallbauplanung muss darauf geachtet werden, dass die Ställe eine optimale natürliche Ventilation ermöglichen (Standort, offene, hohe Seitenwände, offener Frist) [57].

Im Sommer sollten Luftwechselraten von 40-60 pro Stunde und im Winter 4-6 Luftwechsel pro Stunde erreicht werden [36]. Luftwechsel ist nötig, da nur mit der Abluft Feuchtigkeit, Hitze und Keime aus dem Stall transportiert werden. Wenn verbrauchte Luft nicht schnell aus dem Stall abfließen kann, sind Probleme bei den Tieren vorprogrammiert. Daher ist bei Ställen mit freier Lüftung darauf zu achten, dass das Gebäude in optimaler Ausrichtung zur Hauptwindrichtung steht, damit frische Luft in das Gebäude strömen kann.

Jedoch reicht bei heißen Temperaturen die natürliche Ventilation im Stall oft nicht aus. Hier kann durch die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Stall ein zusätzlicher Kühleffekt erzielt werden. Bei hohen Temperaturen bewirkt eine erhöhte Luftbewegung, dass die Tiere durch die Zerstörung des schützenden Luftfilmes im Haar- bzw. Federkleid und die Erhöhung des Wärmeüberganges an die Luft, Wärme abgeben können. Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit beispielsweise um 0,5 m/s bei einer Umgebungstemperatur von 21°C bewirkt eine Kühlung um 1,87 °C, bei 27 °C und einer Luftgeschwindigkeit von 1,25 m/s tritt ein Kühleffekt von 3,33 °C ein und bei 30 °C und 2,5 m/s ist mit einem Kühleffekt von 5,56 °C zu rechnen [57].

Zugluft, d.h. gerichtete Strömungen, die partiell auf einen Körperteil treffen und von geringerer Temperatur als die Raumluft sind, kann den Tieren jedoch schaden. Dabei verstärkt der Turbulenzgrad das „Luftzugsempfinden“ [74]. Daher muss ihnen eine zugluftfreie Rückzugsmöglichkeit angeboten werden. Rinder sind jedoch gegenüber hohen Luftgeschwindigkeiten weniger empfindlich als andere Nutztiere oder Menschen. Auf der Weide nehmen Rinder auch bei starkem Wind absolut keinen Schaden [46]. Kühe vertragen Luftgeschwindigkeiten von 3-5 m/s, im Sommer sind sie sogar auf entsprechende Luftbewegung angewiesen, um Hitzestress entgegenwirken zu können [36].

3 Problemstellung und Zielsetzung

Aus wirtschaftlichen Gründen werden zunehmend Außenklima-, Offenfront-, und Offenställe gebaut, da die Energiekosten geringer sind. Jedoch sind die stallklimatischen Bedingungen in solchen Ställen mehr von der Witterung abhängig und wesentlich schwieriger zu steuern.

Um auch in frei belüfteten Ställen Einfluss auf das Stallklima nehmen zu können, werden unter anderem flexible Wände in Form von Curtains eingesetzt, die ihren Öffnungsgrad automatisch gesteuert über die Stallinnentemperatur und die Windgeschwindigkeit, verändern (Wickellüftungen). Das hat für den Landwirt v.a. den Vorteil, dass er nicht bei jeder Wetteränderung vor Ort sein muss. Fraglich ist jedoch, ob sich dadurch für das Wohlbefinden der Milchkühe nennenswerte Verbesserungen ergeben.

Das Stallklima setzt sich aus verschiedenen Faktoren zusammen, die in ihrer Gesamtheit und den gegenseitigen Wechselwirkungen als Umweltfaktor das Wohlbefinden und die Gesundheit von Tier und Mensch im Stall beeinflussen [66]. Der Begriff des Wohlbefindens eines Tieres ist nicht direkt über naturwissenschaftliche Methoden messbar und es muss deshalb auf andere Indikatoren wie Verhalten, Gesundheit, Leistung, Physiologie, Kondition und Hygiene zurückgegriffen werden [76].

Ziel dieser Arbeit war es, die Zusammenhänge zwischen Wettersituation und Stallklima sowie dem Öffnungsgrad der Curtains zu untersuchen.

Weiterhin sollten die Zusammenhänge zwischen Stallklima (Temperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit im Stall) und dem Wohlbefinden, in diesem Fall dem Liegeverhalten von Milchkühen, herausgefunden werden. Es wird angenommen, dass sich Kühe bei extremer Hitze weniger hinlegen und Orte mit hoher Luftbewegung aufsuchen [16], während sie im Winter durch häufigeres Liegen ihre Körperoberfläche zu verringern versuchen und hohe Luftbewegungen meiden [60].

4 Material und Methoden

4.1 Betriebe

Die Untersuchungen wurden in zwei Betrieben des bayerischen Pilotvorhabens für artgerechte Tierhaltung (Goldhofer-Ertl GbR und Grundhof GbR) durchgeführt. Beide Betriebe sind von vergleichbarer Größenordnung, liegen aber in unterschiedlichen Regionen Bayerns. Der erste Betrieb liegt im bayerischen Voralpenland, der zweite in der Rhön (Abb. 2). In Tab. 1 sind die Rahmendaten zu den beiden Betrieben dargestellt.

Tab. 1: Rahmendaten der beiden Versuchsbetriebe

Betrieb	Betrieb A (Goldhofer-Ertl GbR)	Betrieb B (Grundhof GbR)
Stallbeschreibung	Außenklimastall Liegeboxenlaufstall Laufhof	Außenklimastall Liegeboxenlaufstall
Lüftung	Trauf-First-Lüftung Querlüftung 2 offene Längsseiten West: Curtain - automatisch gesteuert über ein Flügelradanemometer auf dem First und 2 Temperatursensoren im Stall Ost: 2,5 m überlückte Schalung und Rest offen	Trauf-First-Lüftung Querlüftung 2 offene Längsseiten beide Seiten mit Curtains - automatisch gesteuert über ein Flügelradanemometer auf dem First und 2 Temperatursensoren im Stall
Anzahl der Liegeboxen	113 (davon 15 Liegeboxen separiert für trockenstehende Kühe)	101
Kuhzahl im Stall während des Untersuchungszeitraums	82-92 (d.h. Tier-Liegeboxen Verhältnis von 0,84 bis 0,94:1)	80-103 (d.h. Tier-Liegeboxen Verhältnis von 0,79 bis 1,02:1)
Milchleistung (ECM/kg)	7185	6582
Melken	2 mal täglich 2 x 8er Fischgrätenmelkstand (6:30 und 17:00)	2 mal täglich 2 x 12er Swingovermelkstand (6:30 und 17:00)
Fütterung	1 mal täglich (nach Morgenmelken) TMR	2 mal täglich (nach oder während Melken) Grundfütteration Kraftfuttermittelvorgabe nach Leistung (2 Kraftfütterstationen)
Meereshöhe (m ü. NN)	650	450
Niederschlag (mm/Jahr)	1200	800
Versuchszeitraum	12.08.2004-17.11.2004	17.02.2005-12.08.2005

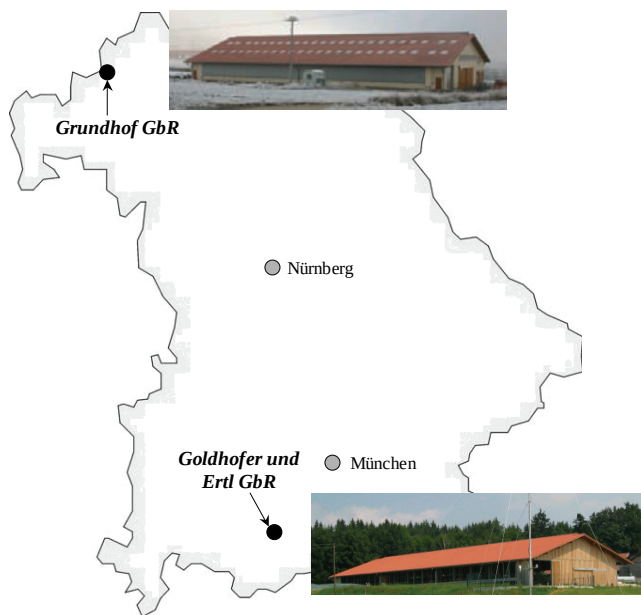


Abb. 2: Lage der beiden Versuchsbetriebe

4.2 Erfassung des Außenklimas

Um die aktuelle Wetterlage aufzuzeichnen, wurde jeweils in ca. 200 m Entfernung zu den Versuchsställen eine Wetterstation aufgestellt (Abb. 3). Der Standort dazu wurde so gewählt, dass das Stallgebäude keinen Einfluss auf die Wetterstation ausübte. Die Wetterstation erfasste Windrichtung und Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe. Des weiteren wurden Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Globalstrahlung (in 2,5 m Höhe) und Niederschlag gemessen (Sensoren der Fa. ALMEMO).



Abb. 3: Wetterstation vor dem Betrieb A

Die Messdaten wurden als 10 Minutenmittelwerte gespeichert. Die Messbereiche und Genauigkeiten der Sensoren der Wetterstation wurden in Tab. 2 zusammengestellt. Außerdem wurde auf der nordsüdlichen Stallaußenwand in ca. 4 m Höhe ein kombinierter Temperatur- und Luftfeuchtesensor (HygroClip-S der Fa. Rotronik SS 20.011) eingesetzt. Der HygroClip-S-Sensor zeichnete stündlich einen Wert für Temperatur und Luftfeuchte auf.

Tab. 2: Messbereiche und Genauigkeiten der Sensoren der Wetterstation (Herstellerangaben)

Sensor	Messbereich	Genauigkeit
Feuchte-/Temperatursensor Typ <i>FHA646AG</i>	Feuchte: 0 bis 100%	$\pm 2\%$
	Temperatur: -30 bis +60°C	-20 bis 0 °C: $\pm 0,4$ °C 0 bis 60 °C: $\pm 0,1$ °C
Druckmessmodul Typ <i>FDA612MA</i>	700 bis 1050 mbar	$\pm 0,5$ % (typisch 0,1 %) von Endwert
Windrichtungsgeber Typ <i>FVA614</i>	0 bis 360°	$\pm 5^\circ$
Windgeber Typ <i>FVA6152</i>	0,5 bis 50 m/s	$\pm 0,5$ m/s oder ± 3 % vom Messwert
Strahlungssensor Typ <i>FLA613 GS</i>	0 bis 1200 W/m ²	absoluter Fehler < 10 %
Niederschlagsgeber Typ <i>FRA916</i>	0,2 mm/Impuls	keine Angabe

Durch während des Versuchszeitraums vereinzelt aufgetretene messtechnische Probleme sind die Daten der Wetterstation nicht für den gesamten Untersuchungszeitraum in beiden Betrieben vorhanden. Im Betrieb A ist die Wetterstation im Untersuchungszeitraum mehrmals ausgefallen und im Betrieb B wurde sie aus technischen Gründen erst fünf Wochen nach Versuchsbeginn aufgebaut. Da der Temperaturunterschied zwischen dem Sensor an der Stallwand und dem der Wetterstation sehr klein war (im Betrieb A $0,5 \pm 0,8$ K und im Betrieb B $0,1 \pm 1,9$ K), wurden für bestimmte Auswertungen die anfänglich fehlenden Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsdaten von der Wetterstation durch die Daten des HygroClip-S-Sensors an der Stallaußenwand ersetzt. So konnte auch diese Datenreihe für die Auswertung genutzt werden.

4.3 Erfassung von Stallklimafaktoren

Zur Erfassung der Luftströmung im Stall wurden 15 Temperatur-Strömungssensoren (Fa. Schmidt; SS 20.011) eingesetzt, die nach dem Prinzip eines Hitzdrahtanemometers arbeiten. Diese Sensoren haben einen Messbereich von 0 bis 20 m/s bei -40 bis $+85^\circ\text{C}$. Dabei tritt laut Hersteller eine relative Messgenauigkeit von $\pm 0,1$ m/s oder ± 3 % vom Messwert auf. Diese Sensoren wurden in drei Messlinien in der Höhe 1,3 bis 1,5 m montiert (zwei Messlinien entlang der Liegeboxenreihen im Tierbereich und eine Messlinie im Bereich der Curtains am Futtertisch). Mittels der Temperatur-Strömungssensoren wurden alle 5 Sekunden Messwerte erfasst und diese zu 10 Minuten-Mittelwerten verrechnet.

Zusätzlich wurden zur Aufzeichnung des Stallklimas auch an zwei zentralen Stellen im Stall HygroClip-S-Sensoren eingesetzt. Hiermit wurde stündlich ein Wert für Temperatur und Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet.

Die genau Lage der HygroClip-S-Sensoren (Temperatur-Luftfeuchtigkeitssensoren) und Strömungssensoren sind im Grundriss von Betrieb A und Betrieb B in Abb. 4 bzw. Abb. 5 dargestellt.

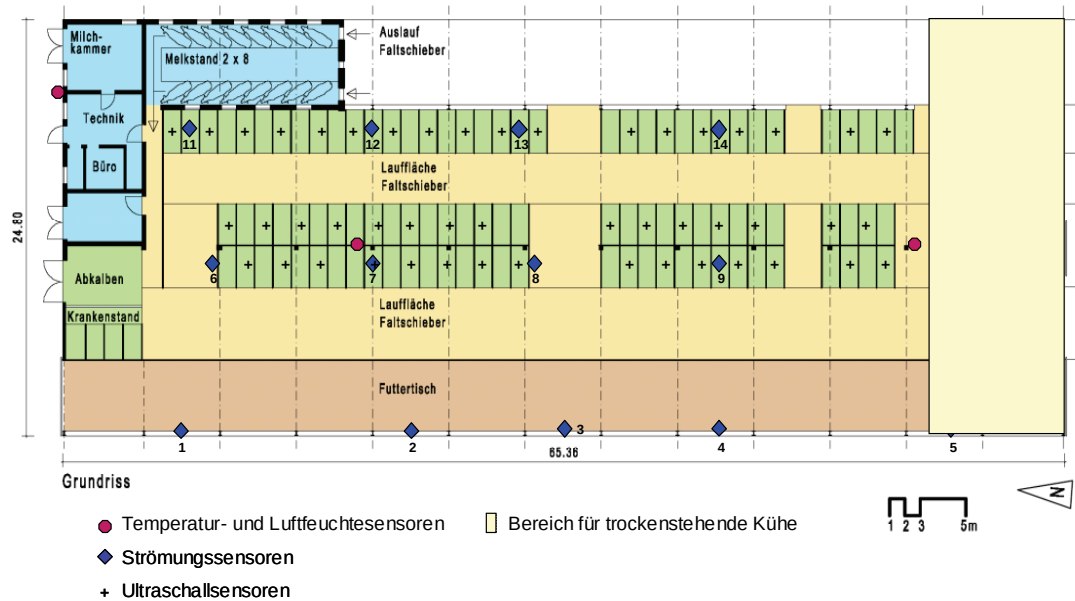


Abb. 4: Grundriss des Betriebes A und Verteilung der Sensoren

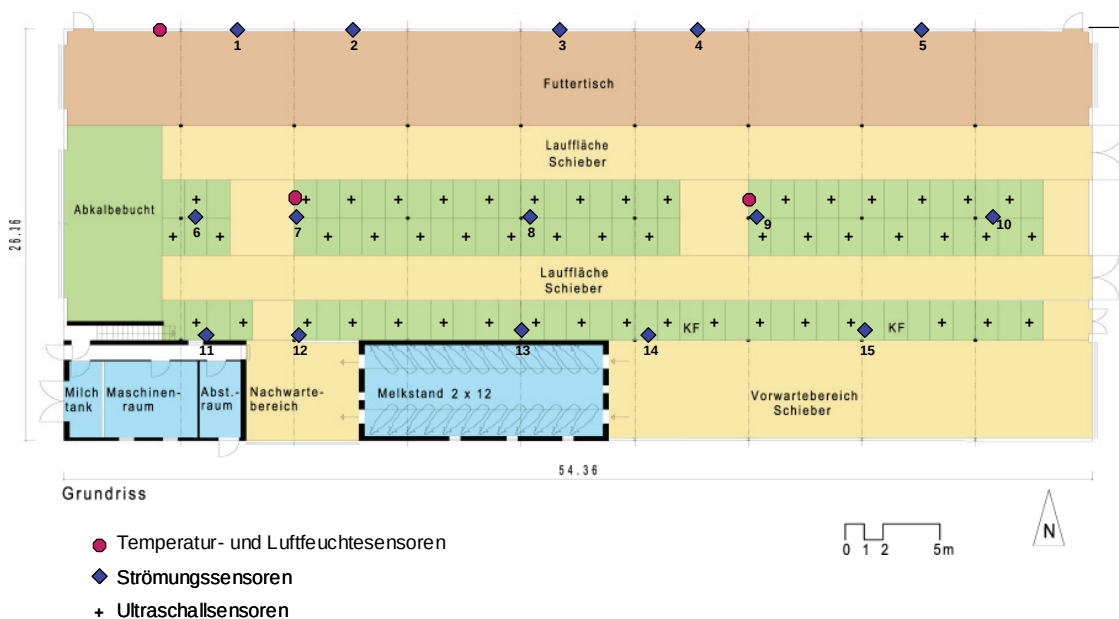


Abb. 5: Grundriss des Betriebes B und Verteilung der Sensoren

4.4 Erfassung des Öffnungsgrades des Wandverschlusssystems

Im Betrieb A war ein zweigeteilter Curtain entlang des Futtertisches eingebaut. Die Abmessungen des Curtains sind in Abb. 6 dargestellt. Beide Curtainteile sind automatisch gesteuert. Der untere Curtainteil beginnt bereits bei 15 °C zu schließen und bleibt bei Temperaturen unter 10 °C ganz geschlossen. Er schließt sich ebenfalls bei Windgeschwindigkeiten über 8 m/s. Der obere Curtainteil beginnt bei Temperaturen unter 10 °C mit der Schließung und ist bei Temperaturen unter 5 °C völlig geschlossen. Ebenso schließt sich dieser Curtainteil auch bei Windgeschwindigkeiten über 10 m/s.

Im Betrieb B sind zwei Curtains eingebaut. Einer entlang des Futtertischs und ein weiterer, zweigeteilter an der Melkstandseite. Genaue Abmessungen der Curtains sind in Abb. 7 dargestellt. Der Curtain am Futtertisch und der obere Curtainteil an der Melkstandseite sind automatisch gesteuert, während der untere Curtainteil nur manuell bedient wird. Alle Curtains waren bei Temperaturen unter 10 °C geschlossen. Dies trifft ebenfalls ab einer Windgeschwindigkeit über 6 m/s zu.

Für die Regulation des Öffnungsgrades der Curtains wurden zwei Temperatursensoren im Stall und ein Windgeschwindigkeitsensor am Dach installiert.

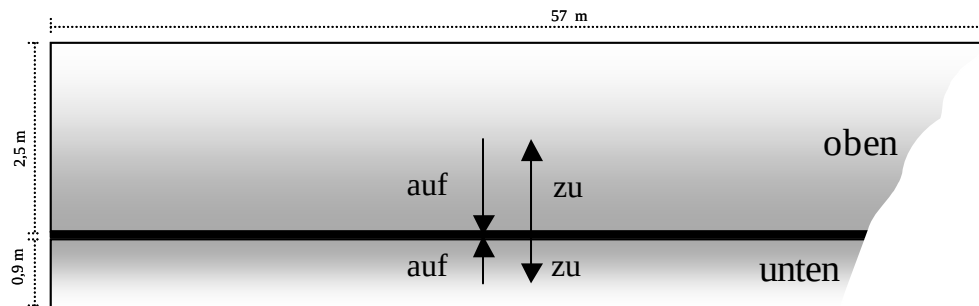
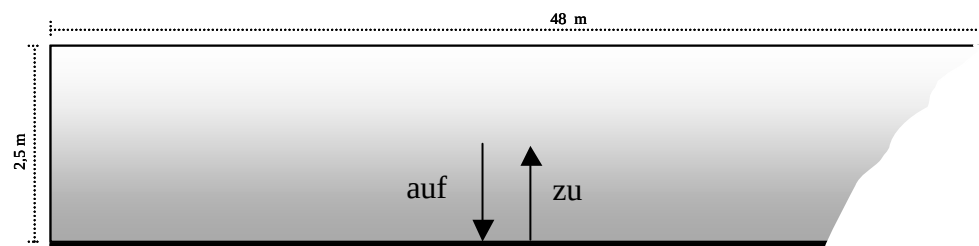
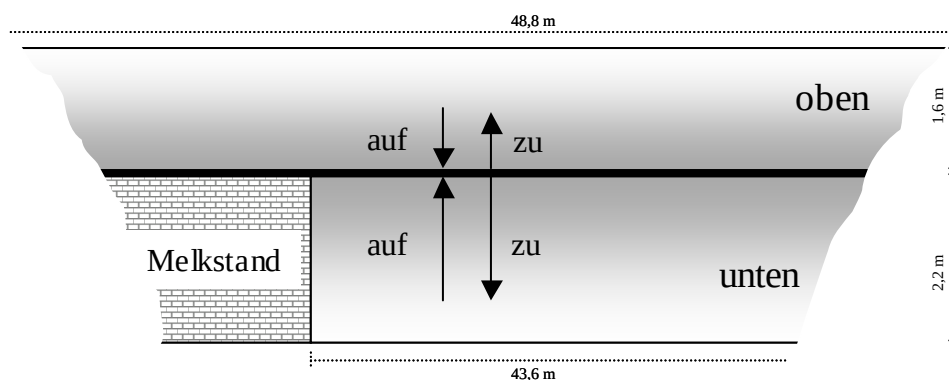


Abb. 6: Abmessungen der Curtains im Betrieb A



Curtain am Futtertisch



Curtain bei der Melkstandseite

Abb. 7: Abmessungen der Curtains im Betrieb B

Die Einstellung der automatischen Steuerung der Wickellüftung (LSR 10, Fa. Lock Antriebstechnik) und die Stellung des Curtains wurde auf Betrieb A mit einem von der Fa. Lock Antriebstechnik entwickelten Datalogger aufgezeichnet. Die vorhandenen Daten konnten jedoch nicht ausgewertet werden, da es auf Grund von technischen Problemen zu

großen Lücken im Datensatz kam. Aus diesem Grund wurde am Betrieb B die Stellung des Curtains mit Hilfe von mehreren Näherungsschaltern aufgezeichnet.

4.5 Erfassung des Tierverhaltens

Über die physiologischen Reaktionen und das Verhalten von Tieren können Rückschlüsse auf ihre Ansprüche an die Haltungsbedingungen gezogen werden. Klimafaktoren beeinflussen nicht nur die physiologischen Reaktionen der Kühe, sondern auch das Verhalten [81]. Diese Verhaltenreaktionen können zur Beantwortung von Versuchsfragen aufgezeichnet und anschließend ausgewertet werden, ohne dass die Tiere in ihrem eigentlichen Verhalten beeinflusst werden.

Da Milchkühe bis zu 14 Stunden am Tag ruhen, wurde das Liegeverhalten als ein Parameter des Tierverhaltens erfasst. Hierzu wurden Ultraschallsensoren (UM 30-14114 der Fa. Sick AG) über jeder zweiten Liegebox in ca. 2,5 m Höhe angebracht (Abb. 4 und Abb. 5). Diese messen den Abstand zwischen Sensor und Boden bzw. liegenden oder stehenden Tieren (Abb. 8). Aus den Abständen kann geschlossen werden, ob die Liegebox leer ist, eine Kuh darin liegt oder steht. Dieser Zustand wurde alle vier Sekunden von einem Computer abgefragt und gespeichert.



Abb. 8: Erkennung der Liegeboxenbelegung über Ultraschallsensoren

4.6 Datenanalyse und statistische Auswertung

Die ermittelten Rohdaten wurden im Datenbankprogramm MS-Access (Goldhofer und Ertl GbR) beziehungsweise MySQL (Grundhof GbR) gesammelt. Alle statistischen Auswertungen wurden mit Hilfe des Programmpakets SAS® (SAS Institute, Version 8.02) durchgeführt. Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) wurden mit der MEANS-Prozedur berechnet. Korrelationen und Regressionen wurden mit der CORR-Prozedur bzw. REG-Prozedur ermittelt. Varianzanalysen erfolgten mit der GLM-Prozedur.

Zur Darstellung der statistischen Signifikanz wurden in den Abbildungen bzw. Tabellen folgende Abkürzungen verwendet:

- *** höchst signifikant ($P \leq 0,001$)
- ** hoch signifikant ($P \leq 0,01$)
- * signifikant ($P \leq 0,05$)
- n.s. nicht signifikant ($P > 0,05$)

Als Grundlage für die Liegeboxenbelegung wurden 10 Minutenwerte für einzelne Boxen, Boxenreihen und für den gesamten Stall berechnet.

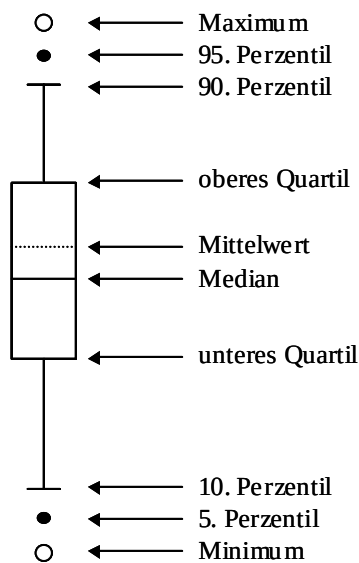
Der THI (Temperature-Humidity Index) wurde mit der folgenden Formel errechnet [70]:

$$\text{THI} = 0,8 \times \text{Temperatur} + \text{relative Luftfeuchtigkeit} \times (\text{Temperatur} - 14,4) + 46,4 \quad (1)$$

Graphische Darstellungen wurden mit MS-Excel® und dem graphischen Computerprogramm SigmaPlot® erstellt.

Zur übersichtlicheren Darstellung bestimmter Parameter wurden Box-Plot Grafiken mittels SigmaPlot® erstellt.

Beschreibung der Box-Plot Darstellungen:



5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Klimaverhältnisse

Bei Außenklimaställen ist zu erwarten, dass die klimatischen Faktoren einen größeren Einfluss auf das Stallklima und in Folge dessen auch auf das Tier ausüben als in Warmställen. Um den Einfluss des Stallmikroklimas auf das Tier zu untersuchen, ist es unerlässlich, genauere Zusammenhänge zwischen Außen- und Innenstallklima zu kennen.

5.1.1 Temperatur

In Abb. 9 sind die gemessenen durchschnittlichen Tagesaußentemperaturen (0:00-23:59 Uhr) mit dem Tagesminimum und dem Tagesmaximum während des Versuchszeitraums in beiden Betrieben dargestellt. Während des Untersuchungszeitraums herrschten in beiden Betrieben meist gemäßigte Temperaturen vor. Es gab in beiden Untersuchungszeiträumen nur einzelne sehr heiße Tage, und es wurden während des Untersuchungszeitraums nur im Betrieb B tiefere Temperaturen (unter -10 °C) gemessen. Es war jedoch trotzdem möglich, ein weites Temperaturspektrum während beider Perioden zu beobachten und die Zusammenhänge zwischen Außen- und Innentemperatur bei unterschiedlichen Außentemperaturen zu untersuchen.

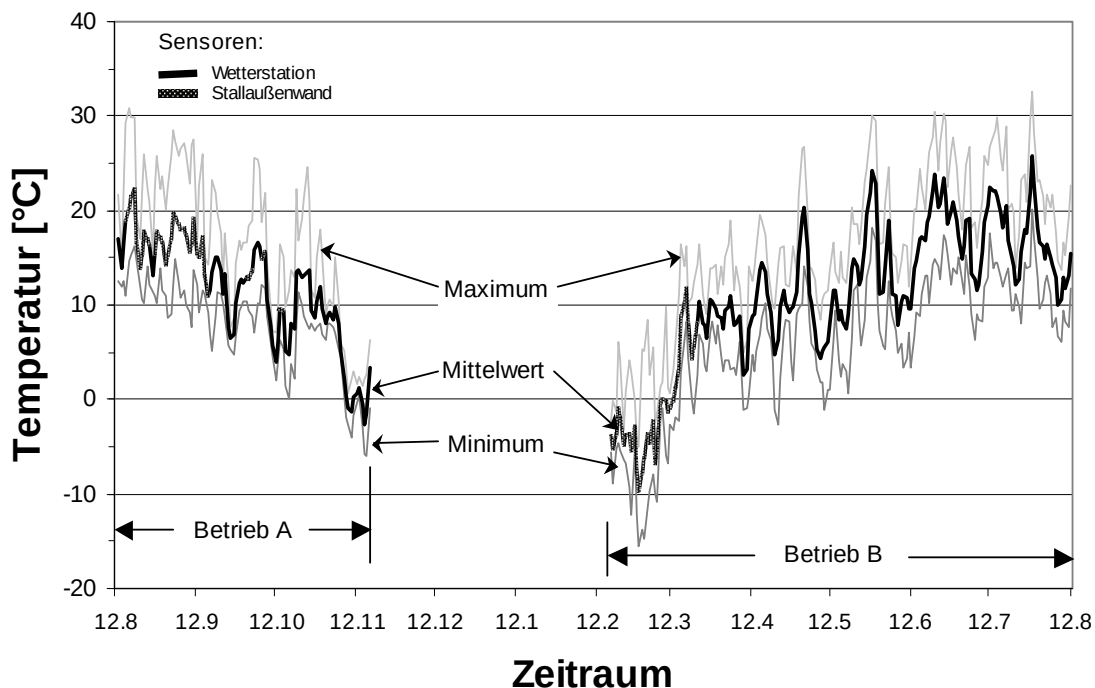


Abb. 9: Durchschnittliche Tagesaußentemperaturen auf den Untersuchungsbetrieben während des gesamten Untersuchungszeitraums

Im Betrieb A wurden während der gesamten Untersuchungsperiode nur fünf Tage mit der durchschnittlichen Tagesaußentemperatur unter 0 °C beobachtet. Die durchschnittliche Tagestemperatur während dieser Tage war außen $-1,4\text{ °C}$ und innen $1,1\text{ °C}$. Die tiefsten gemessenen Werte betrugen außen $-5,9\text{ °C}$ und im Stall $0,7\text{ °C}$. Tagesdurchschnittstemperaturen über 20 °C wurden nur an vier Tagen beobachtet. Die höchsten Temperaturen betrugen außen $30,9\text{ °C}$ und im Stall $32,1\text{ °C}$.

Während des Untersuchungszeitraums lag im Betrieb B die Außentemperatur kontinuierlich fast vier Wochen (25 Tage) unter 0 °C. Während dieser Tage wurde die Außentemperatur mit dem Sensor an der Stallaußenwand gemessen, da die Wetterstation noch nicht aufgebaut war. Die durchschnittliche Tagestemperatur während dieser Tage war außen -3,73 °C und innen 0,77 °C. Der kälteste Tag war am 28.02.05 mit Tagesdurchschnittstemperaturen von -9,74 °C außen und -4,23 °C innen. An diesem Tag wurden auch die niedrigsten Außen- und Innentemperaturen (-15,50 °C bzw. -10,22 °C) gemessen. Während des Untersuchungszeitraums lagen im Betrieb B an 20 Tagen die durchschnittlichen Tagestemperaturen über 20 °C. Die höchsten gemessenen Temperaturen betrugen außen 32,65 °C und im Stall 33,88 °C.

In Abb. 10 ist der Verlauf der durchschnittlichen Tagesaußen- (Wetterstation und Stallaußenwand) und Tagesinnentemperaturen in Betrieb A und B dargestellt. Erwartungsgemäß folgte in beiden Betrieben die Kurve der Stallinnentemperatur jener der Außentemperatur in geringem Abstand. Nur im Betrieb B war der Unterschied bei niedrigeren Temperaturen größer.

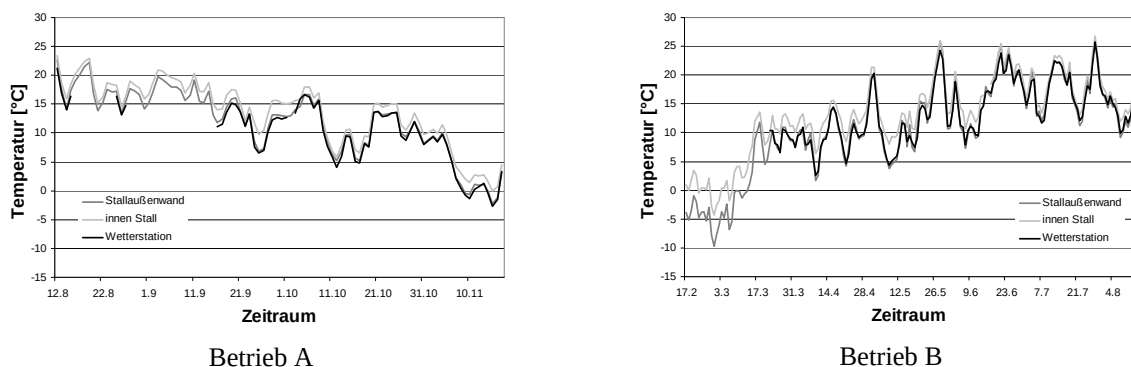


Abb. 10: Verlauf der durchschnittlichen Tagesaußen- und -innentemperaturen

Für Warmställe ist es typisch, dass die Stalltemperatur nach wärmeren Tagen langsamer abkühlt, sich aber auch nach längeren kalten Perioden langsamer erwärmt. Es ist interessant zu wissen, wie schnell und wie sehr sich die Stalltemperatur in Außenklimaställen mit wechselnder Außentemperatur ändert.

In Abb. 11 bis Abb. 13 sind Tagesverläufe der Außen- und Innentemperatur bei verschiedenen Tagesaußentemperaturen (unter 0 °C, von 10 bis 15 °C und über 20 °C) auf beiden Betrieben dargestellt. Die großen Abbildungen zeigen jeweils Temperaturverläufe während einiger kontinuierlich erfasster Tage bei gegebener Tagesaußentemperatur. In den kleinen Abbildungen wird der durchschnittliche Tagesverlauf der Außen- und Innentemperatur während aller Tage mit gegebener Tagestemperatur aufgezeigt. Wie in diesen Abbildungen zu sehen ist, folgt die Stalltemperatur auf beiden Betrieben sehr schnell und sehr eng der Außentemperatur.

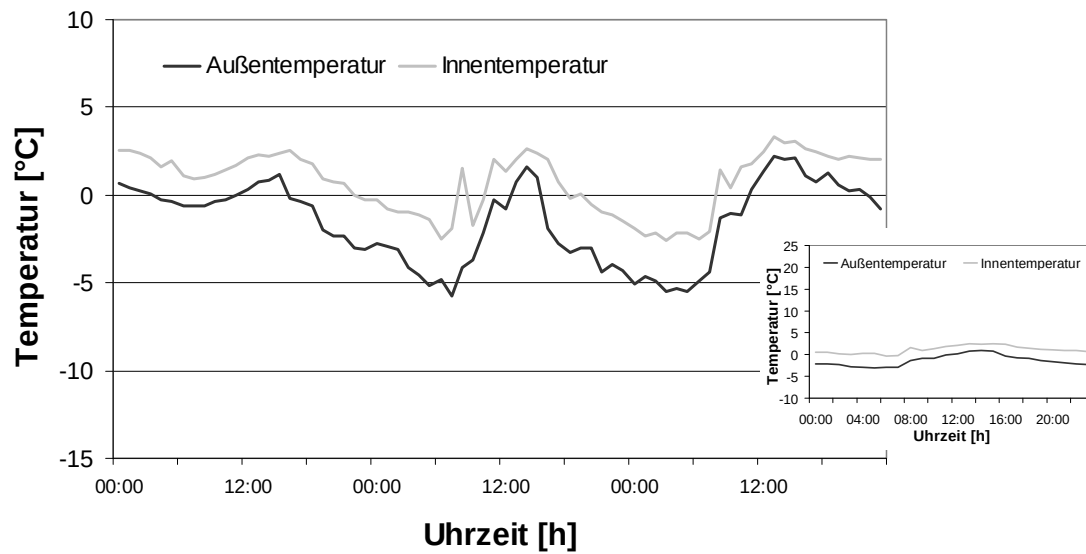
Die durchschnittliche Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur bei unterschiedlichen Tagestemperaturen ist in Tab. 3 abgebildet. Bei Temperaturen über 10 °C war der durchschnittliche Unterschied zwischen Außen- und Innentemperatur in beiden Betrieben ähnlich (Tab. 3). Die Tagesverläufe der Temperatur weichen hingegen deutlicher voneinander ab. Im Betrieb B scheint sich die Stallluft während des Tages stärker zu erwärmen, aber während der Nacht wieder abzukühlen. Bei Außenklimaställen ist es wichtig, dass die

Stallluft sich an warmen Tagen nicht zu stark erwärmt. Im Betrieb B scheint sich die Luft während heißer Tage doch mehr zu erwärmen als im Betrieb A.

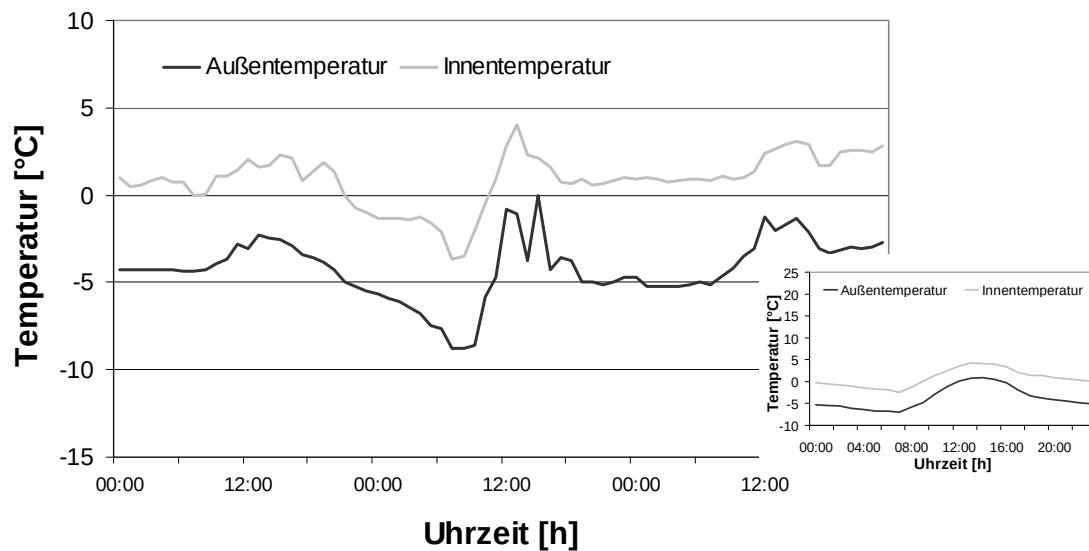
Bei niedrigen Außentemperaturen (unter 10 °C bis 0 °C) war der Unterschied im Tages-temperaturverlauf und die Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur zwischen beiden Betrieben deutlicher (Tab. 3). Während die Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur auf Betrieb A ähnlich blieb, stieg sie auf Betrieb B an. Dies kann eventuell unterschiedlichen Grenzwerten für die Schließung der Curtains zugeschrieben werden. Auf Betrieb B sind bei Stalltemperaturen unter 10 °C bereits alle Curtains geschlossen. Auf Betrieb A ist der Curtain hingegen nur bei Stalltemperaturen unter 5 °C ganz geschlossen, offen bleiben First, Wanddurchgänge zum Laufhof und der obere Teil der Ostfassade (insgesamt eine Fläche von ca. 153 m²). Auf Betrieb B bleibt bei geschlossenen Curtains nur der First offen.

Noch deutlicher war der Unterschied zwischen Außen- und Innentemperatur auf Betrieb B an sehr kalten Tagen. Bei Tagestemperaturen unter 0 °C war die Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innentemperatur im Durchschnitt auf Betrieb A 2,5 K, auf Betrieb B war es um 2 K mehr (4,5 K). Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass auf Betrieb A nicht so viele kalte Tage (unter 0 °C) und keine sehr kalten Tage (unter -10 °C) während des Untersuchungszeitraums beobachtet wurden. Darum bleibt unklar, ob der Unterschied zwischen Außen- und Innentemperatur auch bei niedrigeren Temperaturen in beiden Betrieben gleich bleiben würde. In der Winterperiode wird eine um 3-5 K von der Außentemperatur abweichende Stalltemperatur empfohlen [2]. Auf Betrieb B lag die durchschnittliche Differenz bereits an der oberen Grenze, was bedeutet, dass manche Werte diese Grenze überschritten. Problematisch ist allerdings, dass es in der kalten Jahreszeit bei einer nicht isolierten Bauhülle schon bei einer relativ geringen Temperaturdifferenz und einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit im Stall zu Kondenswasserbildung („Stallregen“) kommen kann [73], das Phänomen der Kondenswasserbildung konnte im Betrieb B beobachtet werden. Oft wird versucht die Stalltemperatur höher zu halten, damit der Flüssigmist im Stall nicht gefriert, wobei die Problematik der Kondenswasserbildung vernachlässigt wird. Dabei sollte die Entmistung im Winter in Außenklimaställen bis -10 °C bei entsprechenden technischen und organisatorischen Vorkehrungen kein Problem [61, 81] darstellen.

Bei Kondensatbildung kann es während kalter und bewölkter Tage zu Bauschäden kommen. Diese lassen sich an sonnigen Tagen vermeiden, wenn über Nacht feucht gewordene Wände, Dach und Decke jeweils tagsüber durch die Sonneneinstrahlung und eine gute Lüftung abtrocknen können [72]. An kalten Tagen ohne Sonnenstrahlung hilft nur eine ausreichende Belüftung. Ein Beispiel für drei kalte bewölkte und drei kalte sonnige Tage auf Betrieb B ist in Abb. 14 dargestellt. Während dieser beiden Perioden lag die durchschnittliche Tagestemperatur unter 0 °C. An den ersten drei abgebildeten Tagen lag die Außentemperatur den ganzen Tag unter 0 °C, während an den folgenden drei Tagen sehr kalte Nächte mit Temperaturen weit unter 0 °C sowie Tagestemperaturen von 5 bis 8 °C beobachtet wurden. Es ist deutlich zu sehen, wie groß der Unterschied zwischen Außen- und Innentemperatur an sehr kalten Tagen sein kann und wie wichtig trotzdem eine ausreichende Lüftung ist. Auf Betrieb B waren jedoch gerade an kalten Tagen die Curtains immer geschlossen.



Betrieb A (Zeitraum 14.-16.11.2004)



Betrieb B (Zeitraum 17.-19.02.2005)

Abb. 11: Außen- und Innentemperaturverlauf bei Tagesaußentemperaturen unter 0 °C (große Abbildung - der Tagesverlauf während einiger kontinuierlich erfasster Tage, kleine Abbildung - der durchschnittliche Tagesverlauf während aller Tage mit gegebener Tagestemperatur)

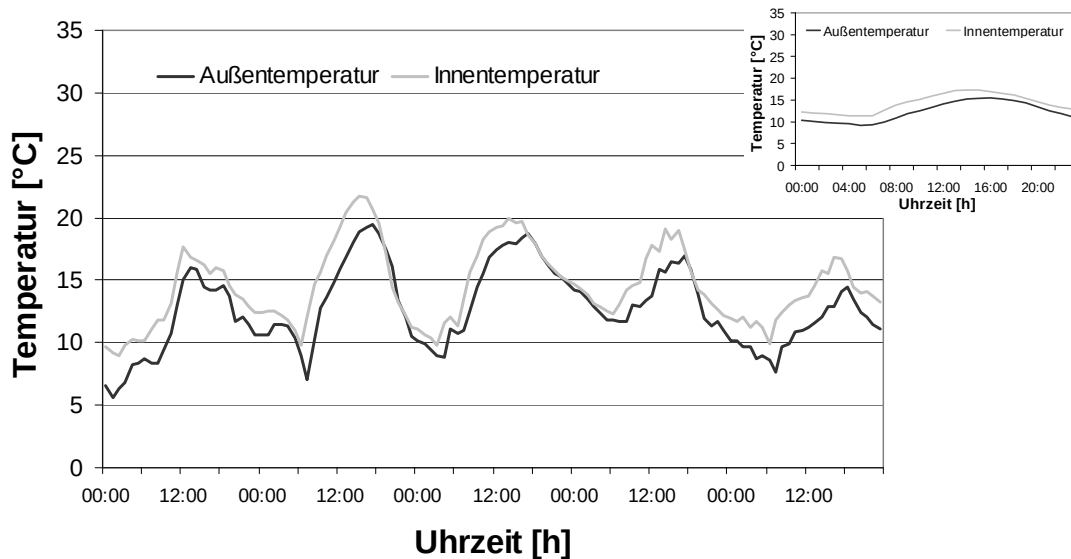
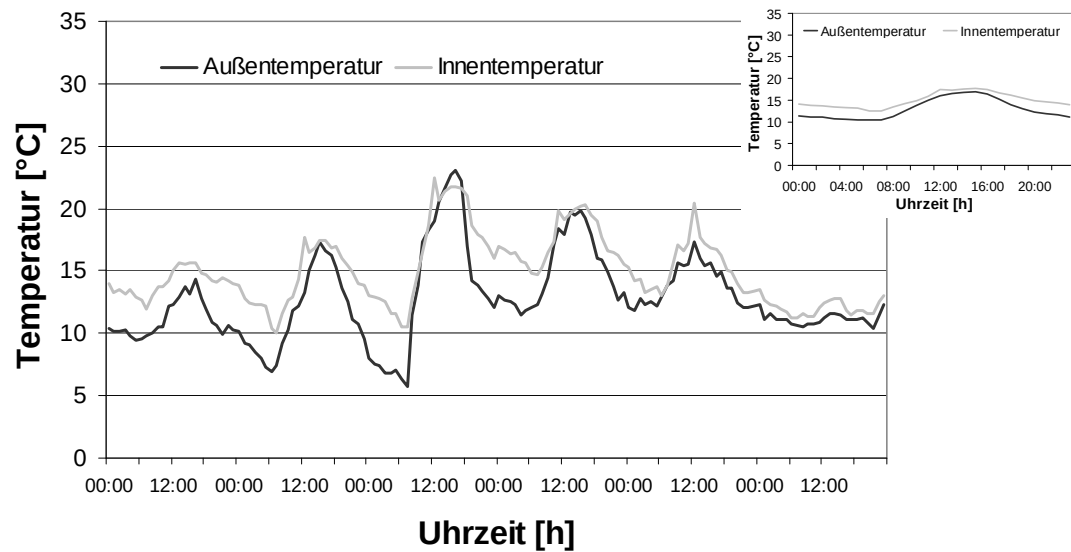
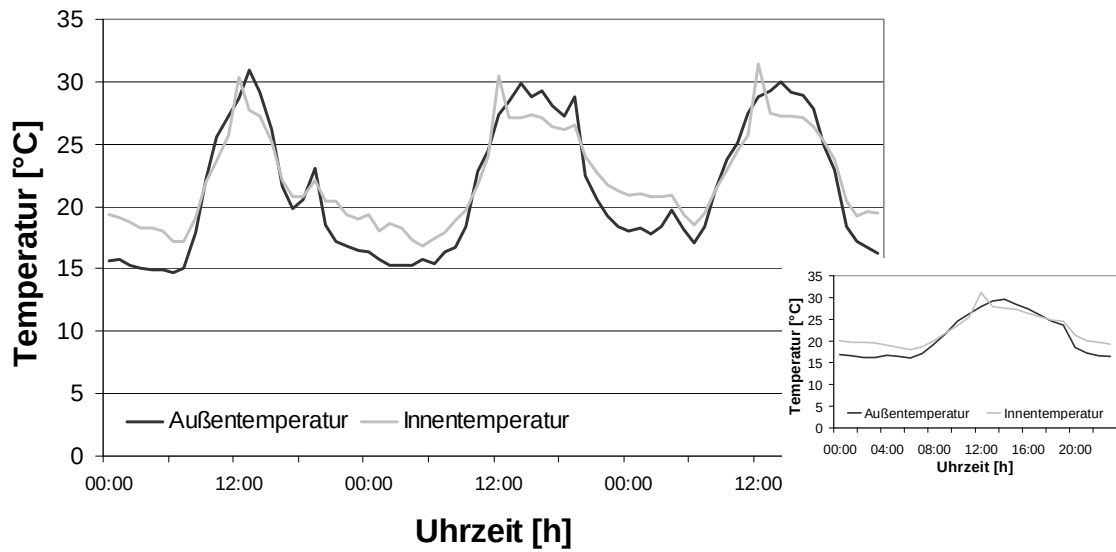
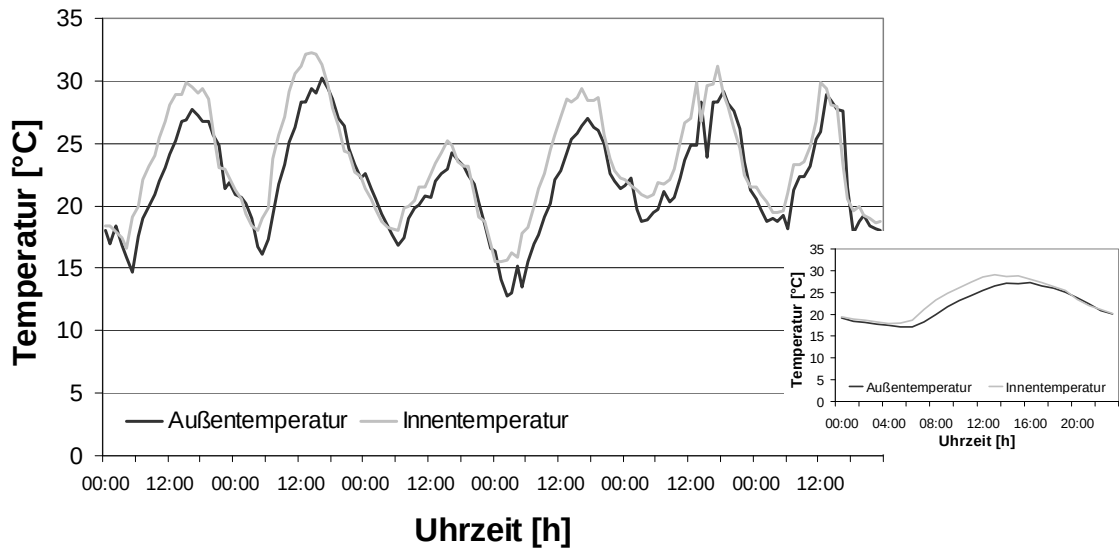


Abb. 12: Außen- und Innentemperaturverlauf bei Tagesaußentemperaturen von 10 bis 15 °C (große Abbildung - der Tagesverlauf während einiger kontinuierlich erfasster Tage, kleine Abbildung - der durchschnittliche Tagesverlauf während aller Tage mit gegebener Tagestemperatur)

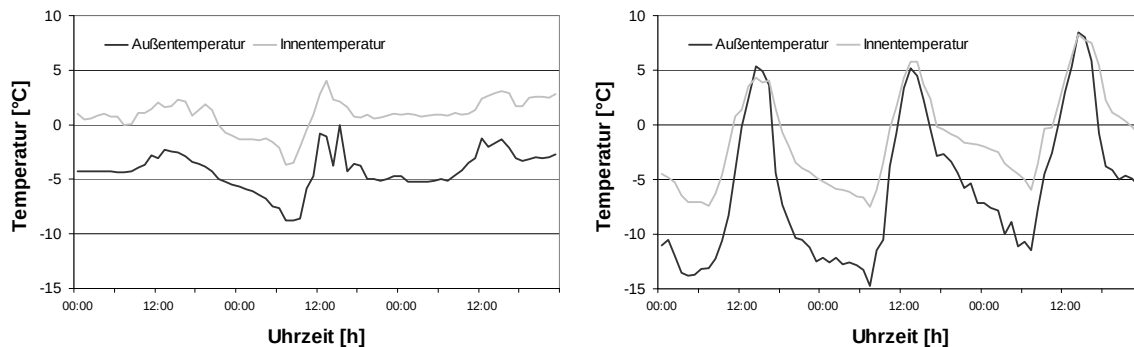


Betrieb A (Zeitraum 17.-19.08.2004)



Betrieb B (Zeitraum 20.-25.06.2005)

Abb. 13: Außen- und Innentemperaturverlauf bei Tagesaußentemperaturen über 20 °C (große Abbildung - der Tagesverlauf während einiger kontinuierlich erfasster Tage, kleine Abbildung - der durchschnittliche Tagesverlauf während aller Tage mit gegebener Tagestemperatur)



gesamter Tag Temperaturen unter 0 °C
(Zeitraum 17.-19.02.2005)

Temperaturen auch über 0 °C
(Zeitraum 01.-03.03.2005)

Abb. 14: Außen- und Innentemperaturverlauf während drei kontinuierlicher Tage bei Tagesaußentemperaturen unter 0 °C auf Betrieb B (A - mit Temperaturen unter 0 °C während des gesamten Tages, B - mit Temperaturen auch über 0 °C während des Tages)

Tab. 3: Vergleich der Außen- und Innentemperatur bei verschiedenen Tagesaußentemperaturen

Tagesaußen- temperatur [°C]	Temperatur im Betrieb A				Temperatur im Betrieb B			
	außen [°C]	innen [°C]	r	Differenz [K]	außen [°C]	innen [°C]	r	Differenz [K]
≤ 0	-1,4	1,1	0,92 ***	-2,5	-3,7 ¹	0,8	0,95 ***	-4,5
0-5	2,1	4,0	0,95 ***	-1,9	3,4	7,4	0,90 ***	-4,0
5-10	7,9	9,7	0,90 ***	-1,9	8,1	11,1	0,93 ***	-3,0
10-15	12,9	14,9	0,92 ***	-2,0	12,3	14,3	0,91 ***	-2,0
15-20	17,0	18,5	0,95 ***	-1,6	17,5	18,9	0,93 ***	-1,4
> 20	21,3	22,5	0,94 ***	-1,2	22,1	23,4	0,93 ***	-1,3
alle	11,7	13,6	0,98 ***	-1,9	10,8	13,2	0,98 ***	-2,5

¹ Sensor an Stallaußenwand

*** Die Korrelationen zwischen Außen- und Innentemperatur waren höchst signifikant ($P \leq 0,001$).
Die Tagestemperatur wurde als Durchschnitt von 0:00 bis 23:59 Uhr berechnet.

Tab. 4: Vergleich der Außen- und Innentemperatur bei verschiedenen aktuellen Temperaturen

Außentempera- tur [°C]	Temperatur im Betrieb A				Temperatur im Betrieb B			
	außen [°C]	innen [°C]	r	Differenz [K]	außen [°C]	innen [°C]	r	Differenz [K]
≤ 0	-1,7	1,0	0,90 ***	-2,7	-4,6 ¹	0,3	0,95 ***	-4,9
0-5	2,0	4,3	0,91 ***	-2,0	2,9	6,7	0,72 ***	-3,8
5-11	8,5	10,8	0,83 ***	-2,2	8,5	11,1	0,77 ***	-2,7
11-17	13,7	15,9	0,78 ***	-2,2	13,8	15,6	0,75 ***	-1,8
17-23	19,7	20,2	0,61 ***	-0,6	19,6	20,8	0,72 ***	-1,2
> 23	25,8	24,9	0,74 ***	0,9	25,7	27,1	0,72 ***	-1,4
alle	11,7	13,6	0,98 ***	-1,9	10,8	13,2	0,98 ***	-2,5

¹ Sensor an Stallaußenwand

*** Die Korrelationen zwischen Außen- und Innentemperatur waren höchst signifikant ($P \leq 0,001$).

Diese Ergebnisse zeigen deutlich, wie eng Innen- und Außentemperatur in Außenklimaställen zusammenhängen. Bei niedrigen Temperaturen kann es jedoch zu großen Differen-

zen zwischen Innen- und Außentemperatur kommen. Setzt noch gleichzeitig eine Kondenswasserbildung ein, können sowohl Bauschäden als auch negative Einflüsse auf das Wohlbefinden der Tiere die Folge sein. Darum ist es wichtig, auch an kalten Tagen eine gute Durchlüftung sicherzustellen. Auf Betrieb A scheint dies nicht so problematisch als auf Betrieb B zu sein.

Während des Untersuchungszeitraums wurden die Curtains auf Betrieb B schon bei Temperaturen unter 10 °C ganz geschlossen. Dies scheint für die Erhaltung eines guten Stallklimas während des Winters respektive kalter Tage nicht ausreichend zu sein. Daher ist fraglich, warum die Curtains gerade bei Temperaturen unter 10 °C (wie auf Betrieb B) oder 5 °C (wie auf Betrieb A) immer geschlossen bleiben sollten? Zumal Kühe sehr niedrige Temperaturen sogar besser als hohe Temperaturen ertragen. Da sie im Temperaturbereich von ca. +5 bis −15 °C ihren Wärmehaushalt allein über die Hautdurchblutung steuern, sind sie weitgehend thermoneutral [26]. Während bereits bei +24 °C die Milchleistung abnimmt, reagiert die Kuh erst ab −27 °C mit sinkender Milchproduktion [26]. Wenn es weder technisch noch für den im Stall arbeitenden Menschen notwendig ist, sollten die Curtains bei diesen Temperaturen nicht immer geschlossen bleiben. Außerdem scheint die Steuerung des Öffnungsgrades der Curtains ausschließlich aufgrund der Stalltemperatur nicht ausreichen zu sein (was gerade an kalten Tagen auf Betrieb B zu beobachten war). Wichtig scheint auch die Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur zu sein. Deshalb sollte nicht nur der Innensensor für die Steuerung der Curtains herangezogen werden, sondern zusätzlich auch ein Außensensor und damit die Temperaturdifferenz.

Abgesehen von der optimalen Temperatureinstellung der Curtainsteuerung sollte der Aspekt der Frischluftzufuhr nicht außer Acht gelassen werden. Nach der derzeitigen temperaturabhängigen Curtainsteuerung kann es in Wintermonaten dazu kommen, dass die Curtains mehrere Wochen geschlossen bleiben, wie es während des Untersuchungszeitraums auf Betrieb B beobachtet wurde. Es sollte aus diesem Grund angedacht werden, die Curtains unabhängig von der Innentemperatur regelmäßig zu öffnen, um somit einen besseren Luftaustausch sicherzustellen.

Aus Sicht des Tieres ist eine Steuerung des Öffnungsgrades des Curtains (auf Betrieb A zwischen 5 und 10 °C des ersten und zwischen 10 und 15 °C des zweiten Curtainteils und auf Betrieb B zwischen 10 und 15 °C) innerhalb des Bereichs der thermoneutralen Zone nicht erforderlich. Deshalb müssten Steuerungen nach Temperatur im Temperaturbereich > 5°C nicht einsetzen werden.

5.1.2 Luftfeuchtigkeit

Als Maßstab für die Lüftungsrate dient die Differenz der absoluten Luftfeuchtigkeit zwischen der Innen- und der Außenluft. Je größer diese Differenz ist, desto mehr Wasserdampf kann pro m³ Luft abgeführt werden und desto geringer ist folglich die erforderliche Lüftungsrate für den Abtransport der Feuchtigkeit [73].

Ähnlich wie die Temperatur, wurde die relative Luftfeuchtigkeit an der Wetterstation, an der Stallaußenwand und im Stall gemessen. Allerdings sind aufgrund technischer Probleme mit dem Feuchtesensor der Wetterstation nur wenige komplette Tage mit allen Messwerten auf beiden Betrieben vorhanden.

Der Tagesdurchschnitt der relativen Luftfeuchtigkeit im Stall folgt auf beiden Betrieben sehr eng dem Verlauf der Außenluftfeuchtigkeit, die an der Wetterstation (bei verfügbaren Daten) und auf Betrieb B auch an der Stallaußenwand gemessen wurde (Abb. 15). Unklar

ist der Unterschied (im Durchschnitt um 8 %) zwischen Außenluftfeuchtigkeit, die an der Wetterstation und an der Stallaußenwand auf Betrieb A gemessen wurde. Dies lag vermutlich an technischen Problemen am Messgerät.

Auf beiden Betrieben folgte die Luftfeuchtigkeit im Stall sehr eng und unverzüglich der Außenluftfeuchtigkeit (Abb. 16). Dabei war die durchschnittliche Differenz zwischen Außen- (Wetterstation) und Innenluftfeuchtigkeit sehr klein (-0,3 Prozentpunkte auf Betrieb A und 0,4 Prozentpunkte auf Betrieb B. Die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit im Stall lag dabei bei 88 % und bewegte sich zwischen 35 und 100 % auf Betrieb A (Tab. 5). Die relative Luftfeuchtigkeit im Stall des Betriebes B hatte eine Spannweite von 25 bis 100 % mit einem Durchschnitt von 74 %. Damit wurde auf Betrieb A eine im Durchschnitt um 14 Prozentpunkte höhere Luftfeuchtigkeit als im Betrieb B gemessen. Wie jedoch bereits die durchschnittliche Differenz zwischen Außen- (Wetterstation) und Innenluftfeuchtigkeit zeigt, liegt dies nicht am Stall, sondern an den unterschiedlichen Witterungsbedingungen auf beiden Betrieben. Die relative Außenluftfeuchtigkeit war während des Untersuchungszeitraums auf Betrieb A deutlich höher als während des Untersuchungszeitraums auf Betrieb B. Der höchste Unterschied in der Außenluftfeuchtigkeit wurde zwischen beiden Betrieben bei niedrigeren Temperaturen (Tab. 6) beobachtet.

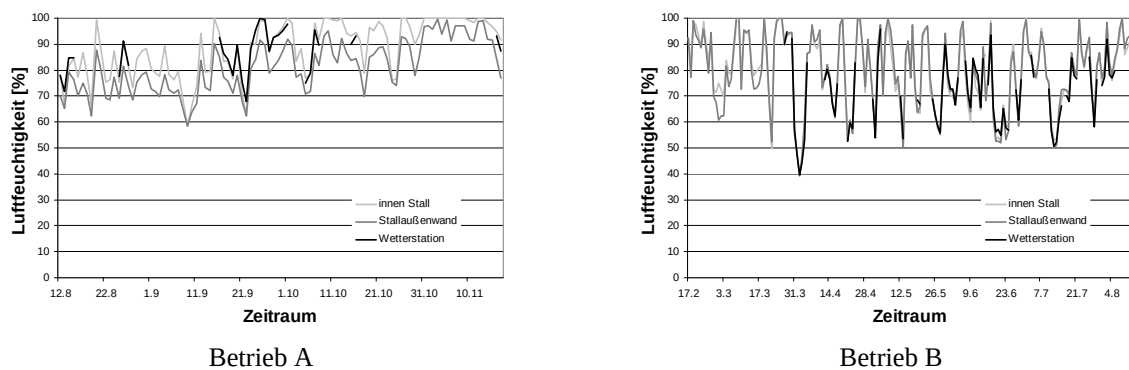


Abb. 15: Durchschnittliche Tagesaußen- und Tagesinnenluftfeuchtigkeit während des Untersuchungszeitraums

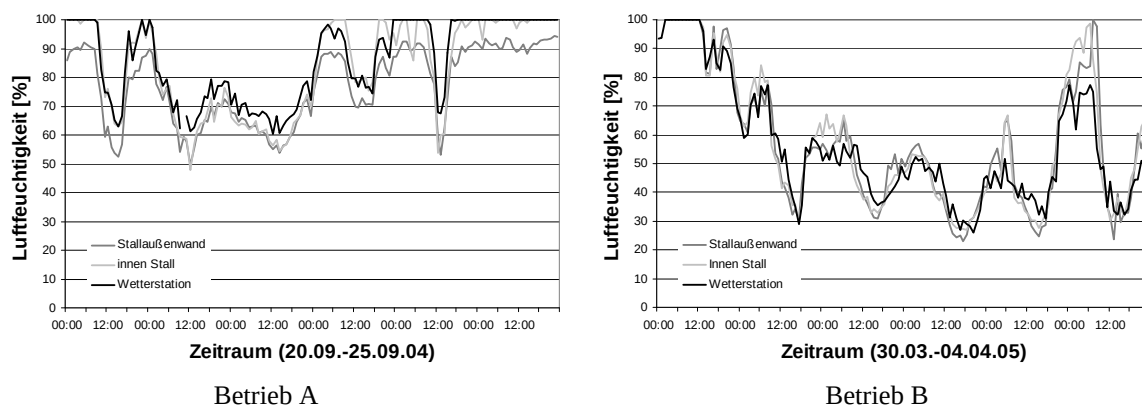


Abb. 16: Verlauf der Luftfeuchtigkeit während ausgewählter Tage

Die relative Innenluftfeuchtigkeit bei verschiedenen Außentemperaturen ist in Tab. 5 dargestellt. Wie aufgrund der physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu erwarten war, wurden mit

höheren Temperaturen niedrigere Luftfeuchtigkeiten auf beiden Betrieben gemessen. An warmen Tagen bedeutet eine niedrige Luftfeuchtigkeit für die Tiere weniger Belastung als eine hohe. Andererseits war auf beiden Betrieben bei niedrigen Temperaturen die Luftfeuchtigkeit höher (so genannte nasse Kälte). Ähnliche Ergebnisse wurden auch in einer anderen Studie beobachtet [40].

Tab. 5: Relative Innenluftfeuchtigkeit bei verschiedenen Außentemperaturen (alle Daten)

Außentemperatur [°C]	Stallluftfeuchtigkeit [%] auf Betrieb A			Stallluftfeuchtigkeit [%] auf Betrieb B		
	Mittelwert±SD	Minimum	Maximum	Mittelwert±SD	Minimum	Maximum
≤ 0 ¹	99±4	74	100	89±14	40	100
0-5	98±4	83	100	88±16	43	100
5-11	97±8	58	100	86±19	25	100
11-17	89±13	49	100	79±23	27	100
17-23	71±16	39	100	69±20	27	100
> 23	53±8	35	89	46±13	27	100
alle	89±16	35	100	79±20	25	100

¹ Auf Betrieb B Sensor an Stallaußenwand

Tab. 6: Vergleich der relativen Außen- und Innenluftfeuchtigkeit bei verschiedenen Außentemperaturen (paarweise verfügbare Daten)

Außentemperatur [°C]	Luftfeuchtigkeit auf Betrieb A				Luftfeuchtigkeit auf Betrieb B			
	außen [%]	innen [%]	r	Differenz [K]	außen [%]	innen [%]	r	Differenz [K]
≤ 5 ¹	97±5	97±5	0,79 ***	0,2±3,3	88±16	89±14	0,69 ***	-1,2±9,2
5-11	96±8	96±9	0,89 ***	-0,2±4,0	83±18	82±20	0,88 ***	0,9±9,4
11-17	87±12	87±14	0,90 ***	0,0±6,2	78±19	77±23	0,90 ***	0,7±9,9
17-23	64±12	66±14	0,88 ***	-1,2±6,8	67±15	69±20	0,83 ***	-1,4±11,0
> 23	47±6	49±7	0,71 ***	-2,2±5,4	48±9	46±13	0,67 ***	2,2±9,7
alle	88±15	88±16	0,94 ***	-0,3±5,3	75±20	74±23	0,90 ***	0,4±10,0

¹ Auf Betrieb B Sensor an Stallaußenwand

Die Daten für Außenluftfeuchtigkeit waren auf beiden Betrieben nicht für den gesamten Untersuchungszeitraum vorhanden, daher erklären sich bestimmte Differenzen zwischen Tab. 5 und aktuelle Tabelle.

*** Die Korrelationen zwischen Außen- und Innentemperatur waren höchst signifikant ($P \leq 0,001$).

5.1.3 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Es sind immer noch aktuelle Studien zu finden, die zur Ermittlung des Hitzestresses eines Tieres nur den Temperatureinfluss betrachten. Jedoch hat nicht nur die Temperatur, sondern auch die Luftfeuchtigkeit einen sehr hohen Einfluss auf die Wärmeabgabe. Während die Kühe bei einer niedrigen Luftfeuchtigkeit hohe oder niedrige Temperaturen besser ertragen, kann eine hohe Luftfeuchtigkeit bei hohen Temperaturen Hitzestress auslösen. So wurde z.B. ein großer Unterschied bezüglich der Abnahme der Milchleistung bei jeweils 32 °C aber unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit (einmal 20 % und in einem zweiten Fall 45 %) beobachtet [41]. Dieser Unterschied von 25 Prozentpunkten der relativen Luftfeuchtigkeit ist verantwortlich, dass Atmungs- und Oberflächenverdunstung der

Kuh gehemmt werden, ein Anstieg in der rektalen Temperatur resultiert, die Futteraufnahme reduziert wird und infolgedessen die Milchleistung sinkt [41].

Darum wurde ein weiterer Parameter eingeführt [70], der den Effekt der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit zusammen betrachtet. Der Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index (THI, temperature humidity index) kombiniert den Effekt beider Faktoren und wird häufig in Gebieten mit hohen Temperaturen verwendet, um die Auswirkung des Hitzstresses auf Milchkühe festzustellen.

5.1.3.1 THI und Milchvieh

Die Auswirkungen des THI auf Milchvieh werden in Tab. 7 beschrieben. Wie zu sehen ist, sind bei THI-Werten von 72 bis 79 die negativen Effekte auf das Tier noch relativ gering, die Kühe können dies noch gut kompensieren, so dass der Einfluss auf die Milchproduktion ebenfalls noch gering ist. Übersteigt der THI jedoch den Wert 98, können Todesfälle auftreten. Bei jungen und kranken Tieren können die Grenzwerte auch niedriger sein.

Tab. 7: Auswirkung des Temperatur-Feuchtigkeits-Indexes (THI) auf Milchvieh (nach Chase, [19])

THI	Stressniveau	Symptome
unter 72	kein Stress	
72-79	milder Stress	Kühe beginnen Hitzestress zu fühlen. Anpassung: Milchkühe suchen Schatten auf. Atmungsrate erhöht sich und die Blutgefäße erweitern sich. Der Effekt auf die Milchproduktion ist minimal.
80-89	Hitzestress	Speichelproduktion, Atmungsrate und Körpertemperatur erhöhen sich. Futteraufnahme kann sich verringern und der Wasserverbrauch erhöht sich. Milchproduktion und Fruchtbarkeit werden verringert.
90-98	starker Hitzestress	Die Kühe fühlen sich wegen zu hoher Körpertemperatur, zu schneller Atmung (Keuchen) und übermäßiger Speichelproduktion sehr unwohl. Milchproduktion und Fruchtbarkeit werden deutlich verringert.
über 98	Gefahr	Todesfälle können auftreten.

Um einen Überblick zu bekommen, bei welchen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten diese Werte entstehen, werden in Tab. 8 THI-Werte für Milchkühe bei Temperaturen mit jeweils unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten dargestellt. Es wird deutlich, dass Kühe bei einer niedrigen Luftfeuchtigkeit hohe Temperaturen besser ertragen als bei einer hohen Luftfeuchtigkeit.

Tab. 8: THI für Milchkühe (nach Formel 1 berechnet)

Temperatur [°C]	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	67	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	78	78	79
27	70	71	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	79	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	79	80	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

5.1.3.2 THI in den untersuchten Betrieben

Der durchschnittliche THI-Tageswert (0:00-23:59 Uhr) mit dem Tagesminimum und Tagesmaximum auf beiden Betrieben ist in Abb. 17 dargestellt. Die Verteilung der THI-Werte errechnet aus den gemessenen Temperatur- und Luftfeuchtwerten in den Stallgebäuden der untersuchten Betriebe ist in Abb. 18 zu sehen. Als Tagesdurchschnitt konnte während der Untersuchungsperiode auf Betrieb A $55,9 \pm 10,0$ und auf Betrieb B $55,2 \pm 11,4$ festgestellt werden. Der minimale THI-Wert lag auf Betrieb A bei 27,4 und auf Betrieb B bei 15,6. Das Maximum der Tagesdurchschnitte betrug auf Betrieb A 71,2. Der maximale THI-Wert von 79,8 wurde dabei am 12.08.2004 berechnet. Auf Betrieb B war das Maximum der Tagesdurchschnitte 74,5. Der maximale THI-Wert von 80,5 wurde auf diesem Betrieb am 28.05.2005 berechnet.

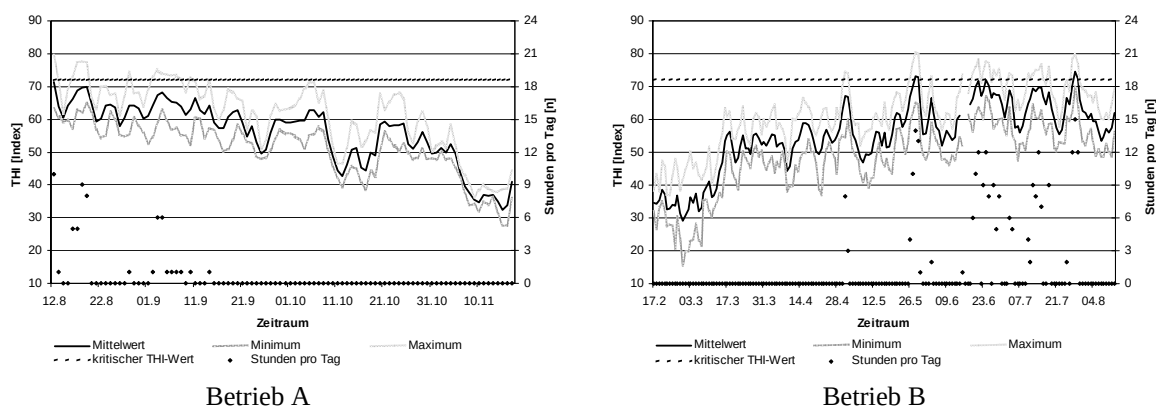


Abb. 17: THI-Tagesmittelwert, Tagesminimum, Tagesmaximum und Anzahl der Stunden pro Tag mit einem THI über 72

Nach Preez et al. [25] dürfte die Milchproduktion nicht beeinflusst werden, wenn die THI Tagesmittelwerte zwischen 35 und 72 liegen. Igono et al. [39] fanden ähnliche Ergebnisse heraus. Wenn Tagesminimum, Tagesmittelwert und Tagesmaximum als Umgebungstemperatur verwendet werden, sind 21, 27 bzw. 32 °C die oberen kritischen Temperaturen für die Milchproduktion. Bei Verwendung des THI als Kenngröße für das Auftreten von Hitzestress liegen die kritischen THI-Werte für das Minimum, den Mittelwert und das Maximum bei 64, 72, bzw. 76 [39]. Die direkte Sonnenstrahlung modifiziert jedoch die Hitze-

belastung bei den Kühen. Übersteigt der THI-Wert 72, sinkt die Milchleistung bei Kühen ohne Beschattung. Erreicht oder übersteigt der THI-Wert 78, sinkt auch mit Beschattung die Milchleistung der Kühe [42].

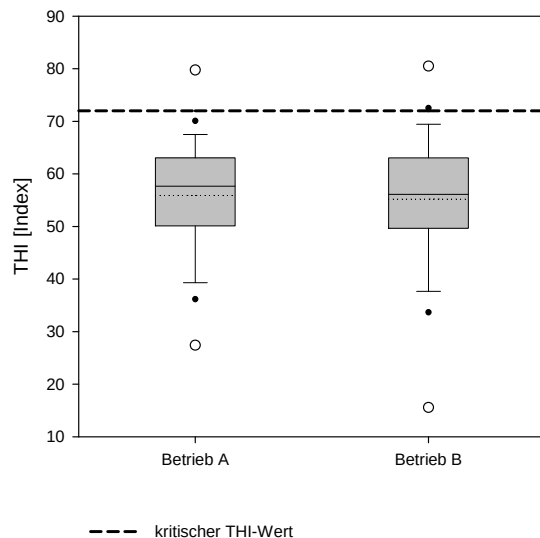


Abb. 18: Verteilung der THI-Werte (innen)

In den Untersuchungszeiträumen wurde auf beiden Betrieben der kritische THI-Tagesmittelwert für die Milchproduktion (72 ohne Schatten und 78 mit Schatten, der auch bei Kühen im Stall gelten sollte) nicht oder nur an einigen Tagen überschritten. Dies bedeutet, dass die Hitzebelastung der Kühe im Untersuchungszeitraum nur gering war. Die Milchleistung sollte dadurch kaum beeinflusst worden sein. Auf Betrieb A hatte der THI-Tagesdurchschnitt den Wert von 72 nie überschritten und auf Betrieb B wurden während des Untersuchungszeitraums nur vier Tage mit THI-Tagesdurchschnitten über 72 beobachtet. Der Wert von 78 (kritischer THI-Tagesmittelwert für die Milchproduktion bei Kühen mit Beschattung) wurde auf diesem Betrieb jedoch nie überschritten.

Es existieren jedoch auch Studien, wie z.B. eine australische, in der die Tage mit einem THI unter 74 anstatt 72 als thermoneutrale Tage definiert wurden [65]. Nur Tage mit THI-Werten von 77 bis 80 wurden als heiße Tage und über 80 als extrem heiße Tage eingestuft [65]. Demnach kann im Untersuchungszeitraum für die Kühe auf den beiden Betrieben kaum von einer Hitzebelastung gesprochen werden.

Die Intensität des Hitzestresses ist nicht nur von der Höhe des THI, sondern auch von der Dauer des erhöhten THI-Wertes pro Tag abhängig [39, 53]. Ohne Erholungsphase, d.h. ohne niedrigere Temperaturen wenigstens während der Nacht, ist der negative Effekt hoher Temperaturen größer. Andererseits scheint die Fähigkeit der Rinder, sich Nachts wieder abzukühlen, für eine Minderung der Hitzebelastung und der Erhaltung des normalen Verhaltens und die Futteraufnahme wichtig zu sein [38, 50, 64]. Trotz der hohen Temperaturen während des Tages wird durch eine kühle Periode von weniger als 21 °C für 3 bis 6 Stunden die Abnahme der Milchleistung minimiert [39].

Die Anzahl der Stunden pro Tag mit einem THI-Wert über 72 auf beiden Betrieben ist ebenfalls in Abb. 17 dargestellt. Die maximale Anzahl der Stunden pro Tag mit THI über 72 betrug auf Betrieb A 10 Stunden und im Betrieb B 15 Stunden. Der höchste minimale Tages-THI-Wert während des Untersuchungszeitraums betrug auf Betrieb A 64,7 und im

Betrieb B 70,1. Als höchste minimale Tagestemperatur wurden auf Betrieb A 18,5 °C und auf Betrieb B 21,75 °C gemessen. Die minimale Anzahl der Stunden mit einer Temperatur unter 21 °C während des Tages betrug auf Betrieb A 10 Stunden. Auf Betrieb B wurde ein Tag mit minimaler Tagestemperatur über 21 °C beobachtet. Im restlichen Untersuchungszeitraum wurden immer mindestens 3 Stunden lang Temperaturen unter 21°C gemessen, in dieser Zeit konnten sich die Kühe von den hohen Temperaturen erholen.

5.1.3.3 THI während der letzten 15 Jahre in den Regionen um die untersuchten Betriebe

Über das bayerische Agrarmeteorologische Messnetz werden an über 100 Standorten in Bayern Wetterdaten der jeweiligen Region erfasst. Dieses Messnetz wurde in den Jahren 1989 bis 1991 errichtet, so dass bereits über viele Jahre Witterungsdaten vorliegen.

Die für die Erfassung des Regionalklimas im Bereich der Untersuchungsbetriebe zuständigen Wetterstationen liegen 21 bzw. 25 km von diesen entfernt. Durch die Auswertung dieser Wetterdaten sollte ein Überblick über das Klima der Region gewonnen werden, in der sich die Untersuchungsbetriebe befinden.

In Tab. 9 und Tab. 10 sind die Wetterdaten der letzten 15 Jahre dargestellt. Betrieb A liegt in einer Region mit eher niedrigeren Temperaturen im Sommer und mit weniger heißen Tagen als in der Region des Betriebes B.

Beispielweise waren im Jahr 2003 (ein Jahr mit sehr heißem Sommer) an der Wetterstation Rotenfeld (bei Betrieb A) 46 Tage mit einem THI-Maximum über 72. Die maximale Anzahl der Stunden pro Tag mit einem THI über 72 lag bei 15. An der Station Rohenroth (bei Betrieb B) wurde das THI-Maximum von 72 dagegen an 61 Tagen überschritten und im Maximum waren 17 Stunden pro Tag mit einem THI über 72. Diese Werte waren auch die höchsten, die während der letzten 15 Jahre beobachtet wurden (bei vollständigen Jahresdaten). Das würde bedeuten, dass trotz hoher Temperaturen während des Tages, während der Nacht immer mindestens 9 bzw. 7 Stunden pro Tag mit THI-Wert kleiner als 72 vorkamen.

Das höchste THI-Tagesmaximum (82,9) während der letzten 15 Jahre wurde an der Station in der Region von Betrieb A bei einer Temperatur von 32,3 °C ermittelt. Die höchste gemessene Temperatur war 34,2 °C (der THI-Wert war dabei nur 79,1). In der Region von Betrieb B war das THI-Tagesmaximum 86,7 (bei einer Temperatur von 30,3 °C). Die höchste Temperatur betrug 36,5 °C (der THI-Wert war dabei 83,2). Das höchste gemessene THI-Tagesminimum in der Region von Betrieb A war 66,5 (bei einer Temperatur von 19,4 °C), das höchste gemessene Tagestemperaturminimum war 19,5 °C. In der Region von Betrieb B war das höchste THI-Tagesminimum 68,8. Gleichzeitig wurde auch das höchste Tagestemperaturminimum (20,7 °C) beobachtet.

Tab. 9: Wetterdaten von der Wetterstation Rotenfeld (21 km von Betrieb A entfernt)

Jahr	Temperatur [°C]			Luftfeuchtigkeit [%]			THI						
	Jahresdurchschnitt	Minimum	Maximum	Jahresdurchschnitt	Minimum	Maximum	Jahresdurchschnitt	Minimum	Maximum	maximaler Tagesmittelwert	THI über 72		
											Anzahl ²	Anzahl ³	Anzahl ⁴
1991	7,1±8,6	-16,7	31,2	83±18	27	99	45,2±14,3	4,1	76,7	71,1	0	16	12
1992	8,4±8,3	-11,8	31,8	82±19	27	99	47,2±13,5	12,6	78,0	71,5	0	28	14
1993	7,8±8,3	-15,1	29,7	84±18	25	100	46,3±13,9	6,6	76,3	68,3	0	19	10
1994 ¹	6,4±6,2	-14,7	28,0	87±16	30	100	44,0±10,6	6,1	75,5	65,3*	0	1	6
1995 ¹	7,4±8,1	-13,7	32,3	86±17	27	100	45,7±13,7	7,9	79,2	72,5*	2	19	15
1996	5,8±8,2	-18,3	27,7	87±18	26	100	42,8±13,9	2,5	73,0	66,3	0	5	7
1997	7,4±7,5	-12,9	25,9	85±18	29	100	45,7±12,7	10,7	72,0	65,4	0	0	0
1998	7,6±7,8	-13,9	30,1	83±19	16	100	46,1±13,0	8,7	76,0	70,4	0	15	12
1999	7,6±7,6	-16,1	29,7	86±18	26	100	45,9±12,8	4,5	75,4	70,7	0	6	11
2000	8,4±7,3	-18,3	29,3	85±19	19	100	47,2±12,2	1,2	74,7	69,2	0	13	10
2001	8,0±8,2	-18,1	30,7	86±18	26	100	46,5±13,6	1,8	77,9	70,2	0	21	12
2002	8,7±7,5	-16,1	32,3	85±19	17	100	47,8±12,6	3,3	78,5	71,8	0	20	12
2003	8,4±9,6	-16,3	34,2	81±22	20	100	47,1±15,7	3,9	79,1	72,2	1	46	15
2004	7,7±8,2	-14,4	32,3	84±20	20	100	46,1±13,7	6,5	82,9	68,2	0	19	9
2005	7,5±8,8	-19,7	31,1	85±19	22	100	45,6±14,7	-3,1	77,7	71,7	0	22	12

¹ Daten während dieser Jahre sind nicht vollständig (1994 nur 75 % und 1995 nur 93,1 % Daten vorhanden). Restliche Jahre mehr als 99 % oder alle Daten vorhanden.

² Anzahl der Tage im Jahr mit THI-Tagesmittelwert über 72

³ Anzahl der Tage im Jahr mit THI-Wert während des Tages über 72

⁴ Maximale Anzahl der Stunden pro Tag mit THI-Werten über 72

* Mehrere Sommertage nicht vorhanden.

Tab. 10: Wetterdaten von der Wetterstation Rohenroth (25 km von Betrieb B entfernt)

Jahr	A ¹	Temperatur [°C]			Luftfeuchtigkeit [%]			THI						
		Jahresdurchschnitt	Minimum	Maximum	Jahresdurchschnitt	Minimum	Maximum	Jahresdurchschnitt	Minimum	Maximum	maximaler Tagesmittelwert	THI über 72		
												Anzahl ²	Anzahl ³	Anzahl ⁴
1991	95,5	8,1±8,5	-15,3	34,0	80±18	26	100	47,1±13,7	9,6	80,7	71,5	0	31	12
1992	98,3	9,0±7,9	-10,3	34,8	84±17	30	100	48,3±12,9	14,4	82,8	74,5	2	34	14
1993	96,0	8,3±8,3	-13,7	32,9	83±18	27	100	47,1±13,6	8,9	79,9	69,0	0	27	10
1994	95,0	9,5±8,0	-11,9	35,3	83±18	29	100	49,1±12,6	11,1	81,3	75,3*	8	37	17
1995	99,1	8,6±8,3	-13,1	33,7	84±18	27	100	47,7±13,4	9,2	79,7	72,2	1	40	14
1996	96,9	6,9±8,4	-16,1	30,9	84±17	27	100	45,0±13,6	4,9	77,4	70,0	0	15	11
1997	100	8,7±8,3	-15,9	30,6	80±20	22	100	47,8±13,4	6,4	76,5	69,6	0	28	10
1998	87,4	7,6±7,1	-14,5	33,8	83±18	23	100	46,3±11,7	7,8	78,3	69,9*	0	10	10
1999	96,6	9,0±7,9	-13,7	32,3	82±20	20	100	48,3±12,7	10,5	77,4	71,0	0	27	11
2000	99,7	9,4±7,5	-15,7	34,2	84±20	20	100	48,8±12,1	4,7	78,2	69,4	0	23	12
2001	94,1	8,2±7,8	-19,9	33,6	84±20	22	100	46,7±12,5	-0,5	77,8	70,1*	0	15	11
2002	100	9,3±7,9	-20,1	33,6	80±19	18	100	49,1±12,6	-0,6	81,4	72,6	1	29	14
2003	99,9	9,3±9,6	-15,8	36,5	77±20	20	100	48,7±14,7	7,12	83,9	75,5	10	61	17
2004	98,1	8,7±7,8	-11,4	30,8	85±17	31	100	47,9±12,8	12,1	77,7	70,4	0	28	11
2005	78,9	9,8±7,8	-14,9	34,1	82±19	15	100	49,5±13,0	6,2	86,7	72,0*	1	34	13

A¹ Prozentuale Datenverfügbarkeit

² Anzahl der Tage im Jahr mit THI-Tagesmittelwert über 72

³ Anzahl der Tage im Jahr mit THI-Wert während des Tages über 72

⁴ Maximale Anzahl der Stunden pro Tag mit THI-Werten über 72

* Mehrere Sommertage nicht vorhanden.

Die Anzahl der Tage pro Jahr mit THI-Tagesmittelwerten über 72 war jedoch in beiden Regionen sehr gering (es waren nur einzelne Tage oder gar keine Tage pro Jahr während der letzten 15 Jahre). Das THI-Tagesmittelwertmaximum war in der Region von Betrieb A 72,5 und im Region beim Betrieb B 75,5.

Für die Kühe bedeuten diese Ergebnisse, dass sie in diesen zwei Regionen während des Sommers nur mildem Stress oder einsetzendem Hitzestress ausgesetzt sind. Da die erhöhten Werte nur während des Tages beobachtet wurden, sollten sie die Tiere jedoch gut vertragen. Während der Nacht hatten die Tiere die Möglichkeit sich zu erholen. Bei diesen Bedingungen sind nur minimale (oder keine) negative Einflüsse der erhöhten Temperatur auf Milchleistung, Futteraufnahme oder Fruchtbarkeit zu erwartet, vorausgesetzt, dass auch die anderen Haltungsbedingungen stimmen (wie z.B. genügend Wasser, Schattenplätze auf der Weide, gut durchgelüftetes Stallgebäude, gesunde Tiere). Für kranke und junge Tiere können jedoch auch diese Temperaturen lebensbedrohlich werden, wenn Managementfehler noch hinzukommen (wie z.B. Kälber im Iglu, die in der direkten Sonne stehen. Die Hitze kann sich dort akkumulieren und die Kälber haben keine Möglichkeit dieser Hitze zu entkommen).

Wenn die Wetterdaten für mehrere Jahre für eine bestimmte Region vorhanden sind, könnte der THI schon beim Stallbau berücksichtigt werden (gerade bei Außenklimaställen in der die Stalltemperatur und auch die Luftfeuchtigkeit eng der Außentemperatur und der Außenluftfeuchtigkeit folgen). Wenn Stallgebäude in einer Region gebaut werden sollten, in der langjährig höhere THI-Werte während des Sommers beobachtet wurden und so negative Einflüsse der Hitze auf die Produktion oder die Tiergesundheit zu erwarten sind, sollte schon beim Stallbau über Kühlmöglichkeiten für die Kühe nachgedacht werden (Vorheriger geplanter Einbau von Ventilatoren oder andere Kühlungssysteme, anstatt einer nachträglichen Notlösung im Sommer).

An dieser Stelle ist auch zu berücksichtigen, dass bei hohen Temperaturen die Stalltemperatur über der Außentemperatur liegen kann. Dies war im Betrieb B auch der Fall. In diesem Betrieb lag in der Temperaturklasse über 23 °C die Stalltemperatur im Durchschnitt 1,4 K über der Außentemperatur (siehe Tab. 4). Die Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf den THI-Wert im Stall sind nur gering. So erhöht sich der Wert bei gleicher Luftfeuchtigkeit mit jedem zusätzlichen Grad Celsius um 0,95. Das bedeutet für den untersuchten Betrieb eine durchschnittliche Erhöhung des THI-Werte um 1,33. Hinsichtlich der Luftfeuchtigkeit führt jeder Prozentpunkt über/unter dem Außenniveau bei gleicher Temperatur zu einer Abweichung des THI-Wertes von 0,06.

5.1.4 Wind und Luftströmung im Stall

Nicht nur die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit haben einen Einfluss auf die tatsächlich vom Tier empfundene Temperatur [1]. Ebenso gehören dazu auch Luftbewegungen und die Sonnenstrahlung, die die thermische Balance des Tieres aus dem Gleichgewicht bringen können [11, 51]. Dabei beeinflusst die Windgeschwindigkeit die „konvektive“ Kühlung und modifiziert so die Wärmeabgabe der Tiere [52].

5.1.4.1 Windgeschwindigkeiten während des Untersuchungszeitraums

In Abb. 19 sind die durchschnittlichen Tageswindgeschwindigkeiten während des Untersuchungszeitraums in beiden Betrieben dargestellt. Leider stehen nicht für alle Tage Werte bzw. nur unvollständige Werte zu Verfügung.

Wurden nur Tage mit vorhandenen Daten verglichen, konnten deutlich unterschiedliche Tageswindgeschwindigkeiten zwischen beiden Betrieben beobachtet werden. Dieser deutliche Unterschied ist auch bei der Verteilung der einzelnen Werte zu erkennen (Abb. 20).

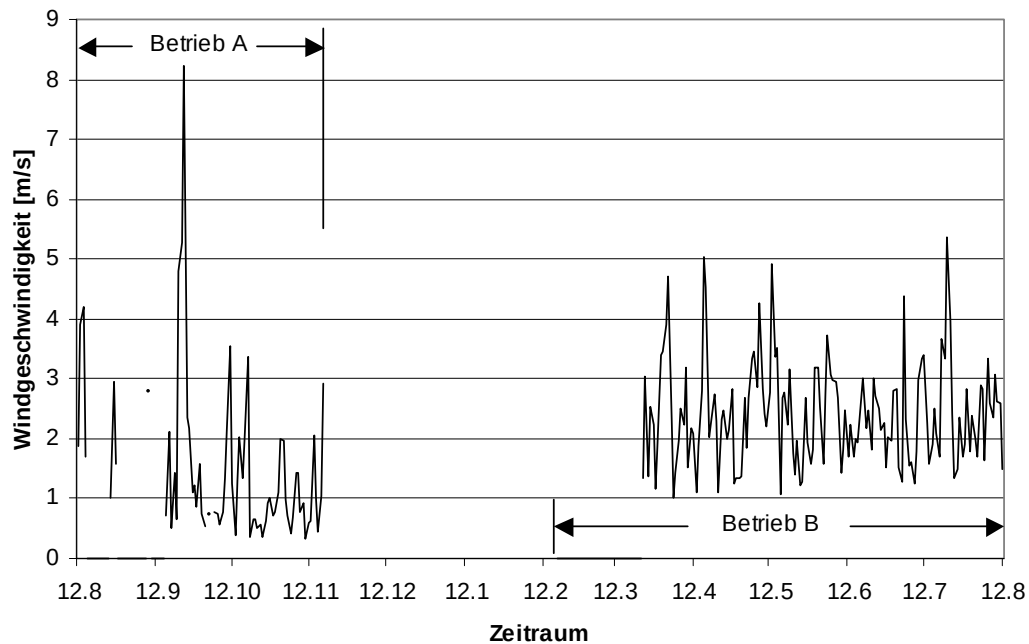


Abb. 19: Durchschnittliche Tageswindgeschwindigkeit während des Untersuchungszeitraums

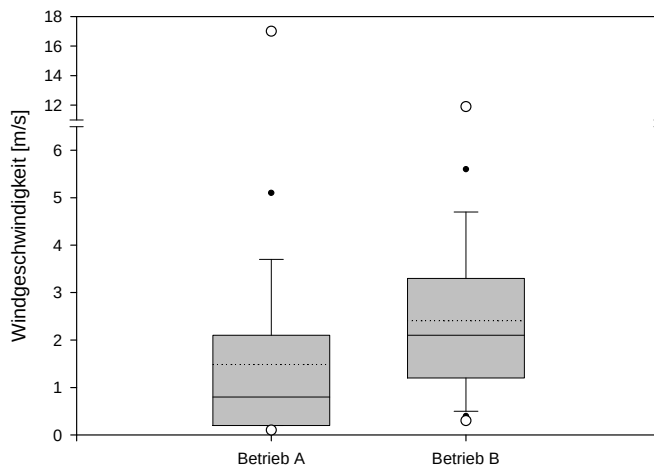


Abb. 20: Verteilung der Windgeschwindigkeiten (zehn Minuten Durchschnittswerte)

Die höchste Windgeschwindigkeit (17 m/s) wurde zwar am Betrieb A gemessen, jedoch zeigt die Verteilung der Windgeschwindigkeiten, dass während der Untersuchungsperiode am Betrieb B häufiger höhere Windgeschwindigkeiten (bis 6 m/s), aber keine extrem hohen Windgeschwindigkeiten wie am Betrieb A herrschten. Deutlich wird dieser Zusammenhang darin, dass der Abstand zwischen der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit am Betrieb A mit $1,48 \pm 1,80$ m/s und dem Medianwert mit 0,8 m/s auf niedrigerem Niveau erheblich höher war als am Betrieb B. Auf diesem war die durchschnittliche Windge-

schwindigkeit wesentlich höher ($2,40 \pm 1,65$ m/s) und auch der Median (2.1 m/s) lag sehr nah.

Welche Bedeutung haben diese Ergebnisse der Windgeschwindigkeiten für die Kühe? Nach der Beaufort-Skala handelt es sich bei Windgeschwindigkeiten unter 0,28 m/s um Windstille (keine Luftbewegung, Rauch steigt senkrecht auf) und bei Windgeschwindigkeiten bis 1,5 m/s um einen schwachen Wind (leiser Zug). Bei leisem Zug ist die Windrichtung nur am ziehenden Rauch erkennbar. Am Betrieb A lagen schon 66 % der Messwerte unter diesem Level, was bedeutet, dass meist Windstille bis leiser Zug herrschte. Am Betrieb B lagen dagegen nur 36 % der Messwerte unter 1,5 m/s. Bei Windgeschwindigkeiten bis 3,3 m/s handelt es sich um einen leichten Wind, der die Blätter und Wimpel bewegt und der im Gesicht fühlbar wird. In diesem Bereich lagen am Betrieb B fast doppelt so viel Messwerte (38 %) als am Betrieb A (20 %). Bei der nächsten Windstärkenklasse (Windgeschwindigkeiten bis 5,4 m/s) wurde ein ähnliches Verhältnis zwischen den Betrieben beobachtet, jedoch sind die Häufigkeiten auf knapp die Hälfte gesunken (20 % der Messwerte am Betrieb B vs. 9 % der Messwerte am Betrieb A). Bei diesen Windgeschwindigkeiten handelt es sich um einen schwachen Wind, welcher kleine Zweige und Fahnen bewegt. Die Mehrheit der Messwerte lag bei beiden Betrieben (Betrieb A 96 % und Betrieb B 95 %) bis zu dieser Windstärkenklasse (d.h. bis 5,4 m/s).

Was die maximal gemessenen Werte betrifft, lag der höchste gemessene Wert am Betrieb B bei 11,9 m/s. Bei dieser Windgeschwindigkeit handelt es sich um einen starken Wind, der schon große Zweige bewegt, Fahnen knattern lässt und in den Stromleitungen pfeift. Am Betrieb A wurden noch höhere Windgeschwindigkeiten (bis 17 m/s) beobachtet. Diese gehören schon zum steifen Wind. Bei diesen Windgeschwindigkeiten werden schwächere Bäume geschüttelt und die Fahnen peitschen. Der Mensch hat eine fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind. Die Windgeschwindigkeiten, die auf den untersuchten Betrieben gemessen wurden, sind jedoch 10 Minutenmittelwerte, was bedeutet, dass einzelne Werte auch noch höher sein konnten. Bei höheren Windgeschwindigkeiten (von 17,1 bis 20,7 m/s) handelt es sich um einen stürmischen Wind (Gale-Wind). Bei diesem Wind werden große Bäume bewegt und Zweige abgebrochen. Der Mensch fühlt beim Gehen erhebliche Behinderungen. Die Luftströmung im Stall betrug bei dieser Windgeschwindigkeit (17,0 m/s) jedoch nicht mehr als 2 m/s. Aufgrund der automatischen Steuerung ist anzunehmen, dass bei diesen Windgeschwindigkeiten die Curtains im Stall geschlossen waren und so guten Schutz boten.

Es ist zu erwarten, dass die Luftbewegung in den Außenklimaställen nicht nur von der Windgeschwindigkeit sondern auch von der Windrichtung abhängig ist. Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen bei beiden Betrieben ist in Abb. 21 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die Stallgebäude bei beiden Betrieben, wie es empfohlen wird, quer zur Hauptwindrichtung ausgerichtet sind (d.h. quer zur Windrichtung aus der der Wind am häufigsten kommt). Dies ist für eine gute natürliche Ventilation der Stallgebäude wichtig. Der Hauptwind kam am Betrieb A aus Westen und am Betrieb B aus Nordwesten.

Die Verteilung der Windgeschwindigkeiten während des Untersuchungszeitraums ist nach Windrichtung sortiert in Abb. 22 dargestellt. Am Betrieb A wurden deutliche Unterschiede in der Windgeschwindigkeitsverteilung bei den verschiedenen Windrichtungen beobachtet. Der westliche Wind war am Betrieb A nicht nur der Hauptwind, sondern er wehte aus dieser Richtung auch häufiger mit höheren Windgeschwindigkeiten als aus den anderen Richtungen. Der eindeutig schwächste Wind wehte aus Süd, Nord (parallelere Winde zur Längsachse der Stallgebäude) und aus Südost. Einzeln betrachtet wehte der Wind aus die-

sen Richtungen am seltensten, jedoch in der Gesamtheit waren das bereits 18 % der Messwerte.

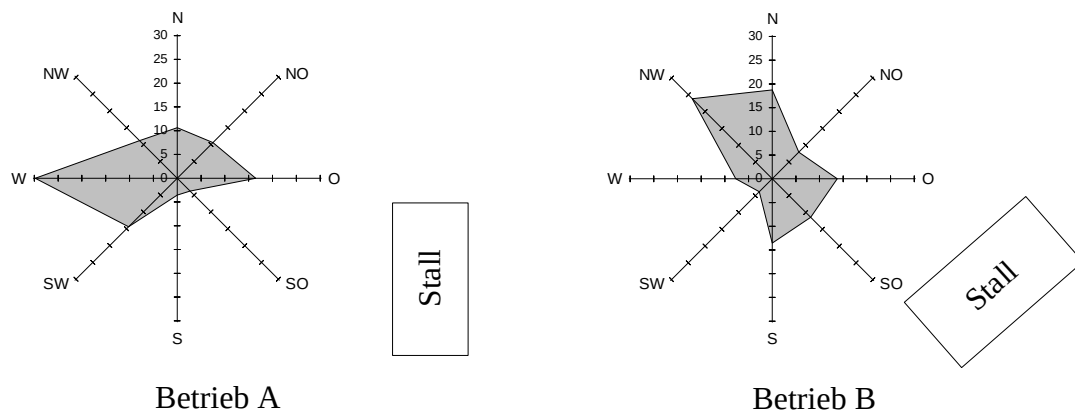


Abb. 21: Windrichtungsverteilung

Am Betrieb B waren die Unterschiede in der Windgeschwindigkeitsverteilung zwischen den einzelnen Windrichtungen nicht so deutlich wie am Betrieb A. Allerdings, war auch hier der Hauptwind (in diesem Fall Nordwestwind) der stärkste Wind (Abb. 22). Ebenfalls, jedoch seltener (Abb. 21) wehte stärkerer Wind aus Südost und West (Abb. 22). Eine deutlich unterschiedliche Windgeschwindigkeitsverteilung wurde bei Südwestwind im Vergleich zu den anderen Windrichtungen beobachtet. Der Wind aus dieser Richtung wehte jedoch am seltensten (3,7 %) und darum konnte dieser Wind nur einen geringen Einfluss auf die Luftströmung im Stall ausüben. Allerdings wehte auch der Südwestwind am Betrieb B meist stärker als aus den meisten Richtungen am Betrieb A. Während am Betrieb A bei allen Windrichtungen das untere Quartil (25 % der Messwerte liegen unter diesem Wert) sehr niedrig war (0,2-0,3 m/s), lag am Betrieb B das untere Quartil bei 0,7 m/s. In dieser Größenordnung lagen am Betrieb A für bestimmte Windrichtungen schon das obere Quartil (75. % Perzentil). Unabhängig von der Windrichtung konnten am Betrieb B häufiger höhere Windgeschwindigkeiten als am Betrieb A beobachtet werden. Dies erklärt die höhere durchschnittliche Tageswindgeschwindigkeit im Betrieb B im Vergleich zu Betrieb A (Abb. 19).

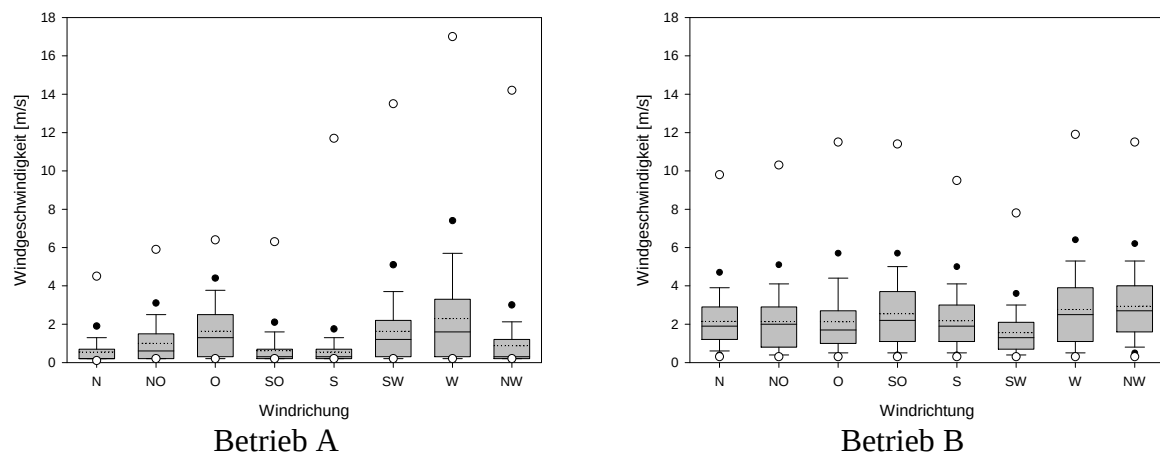


Abb. 22: Windgeschwindigkeitsverteilung nach Windrichtung

Eine gute Durchlüftung der Stallgebäude ist während warmer Tage besonderes wichtig, um die erforderliche Wärmeabfuhr der Tiere bei höheren Temperaturen zu gewährleisten. Darum wurde die Verteilung der Windgeschwindigkeiten bei verschiedenen Temperaturklassen untersucht. Die Verteilung der Windgeschwindigkeiten sortiert nach durchschnittlicher Tagesdurchschnitttemperatur oder nach aktueller Temperatur ist in Abb. 23 bzw. in Abb. 24 dargestellt. Deutlich abweichende Windgeschwindigkeiten wurden nur bei den Temperaturen (aktuelle oder Tagesmittelwert) unter 0 °C beobachtet. Für diese Temperaturen sind jedoch nur sehr wenig Daten (Betrieb A) oder keine Daten (Betrieb B bei Tagesdurchschnitttemperatur) vorhanden. Wie schon oben erwähnt, wurden im Betrieb A nur sehr wenige kalte Tage während des Untersuchungszeitraums (12.08. bis 17.11.2004) beobachtet und im Betrieb B wurde die Wetterstation erst am 22.03.2005 eingebaut. Darum sind für Tage mit Tagesdurchschnitttemperatur unter 0 °C keine Daten vorhanden.

An Tagen mit einer Tagesdurchschnitttemperatur über 0 °C war beim Betrieb B die Häufigkeit höherer Windgeschwindigkeiten mit steigender Tagesdurchschnitttemperatur niedriger. Wenn jedoch die aktuelle Temperatur betrachtet wird, war die Häufigkeit höherer Windgeschwindigkeiten bei Temperaturen ≥ 23 °C ähnlich wie bei niedrigeren Temperaturen. An warmen Tagen ist es wichtig, dass die Luftströmung im Stall gerade während wärmerer Tagesstunden höher ist. Beim Betrieb A wurde der umgekehrte Effekt beobachtet. An Tagen mit Tagesdurchschnittstemperaturen ≥ 20 °C waren die Windgeschwindigkeiten ähnlich wie auch während kälterer Tage (Tagesdurchschnitttemperatur unter 20 °C). Bei aktuellen Temperaturen ≥ 23 °C waren jedoch die Windgeschwindigkeiten häufiger niedriger (zumindest im Vergleich zu Temperaturen von 11-23 °C).

Im Vergleich beider Betriebe wurden deutliche Unterschiede während warmer Tage oder höheren Temperaturen beobachtet. An warmen Tagen (Tagesdurchschnitttemperatur ≥ 20 °C) traten häufiger höhere Windgeschwindigkeiten am Betrieb B als am Betrieb A auf (Abb. 24). Höhere Windgeschwindigkeiten wurden auch bei aktuellen Temperaturen ≥ 23 °C (Mittelwert $2,7 \pm 1,6$ m/s, Median 2,4 m/s) am Betrieb B beobachtet. Dadurch konnte das Stallklima in diesem Betrieb an warmen Tagen für die Tiere erträglicher sein als im Betrieb A, in dem die durchschnittliche Windgeschwindigkeit bei Temperaturen ≥ 23 °C bei $1,5 \pm 0,9$ m/s und der Median bei 1,3 m/s lag (Abb. 23).

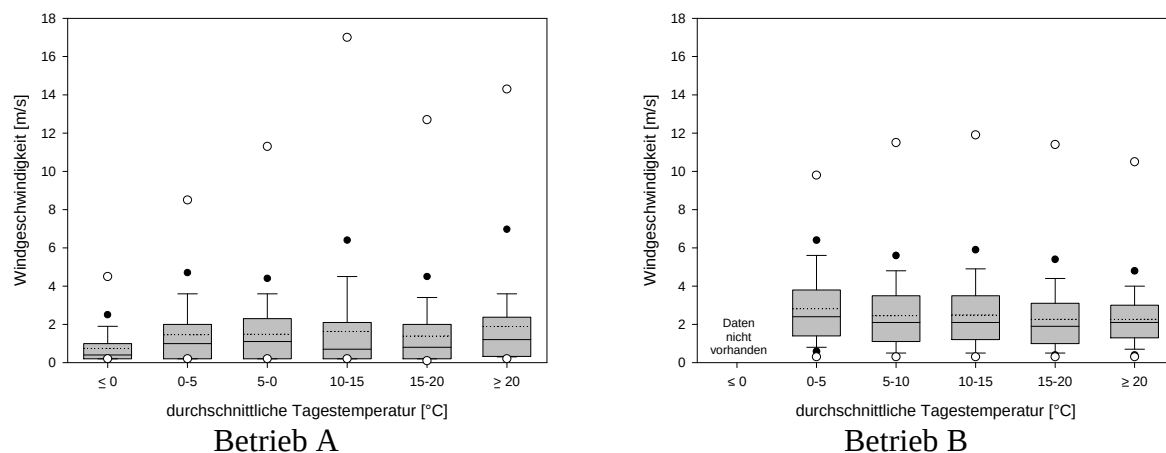


Abb. 23: Windgeschwindigkeitsverteilung sortiert nach durchschnittlicher Tagestemperatur

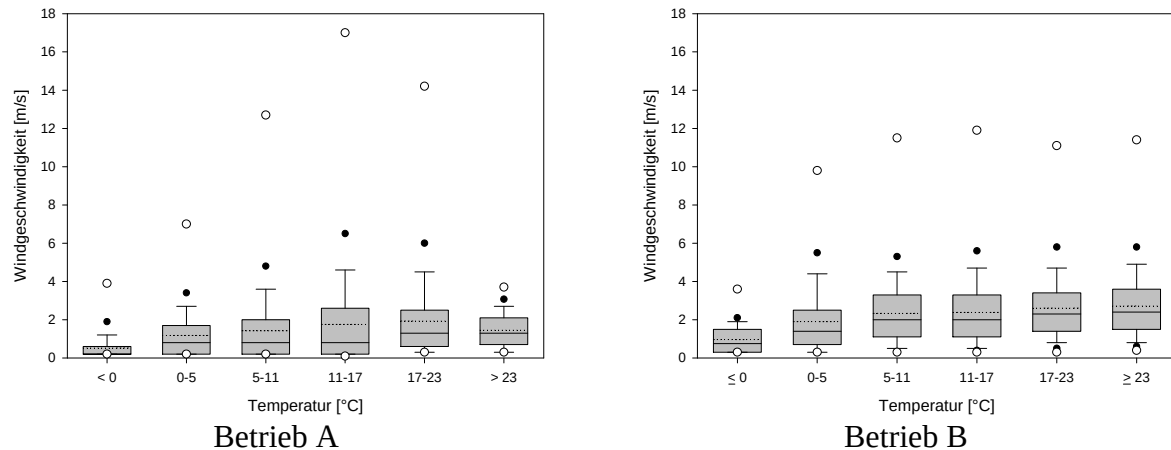


Abb. 24: Windgeschwindigkeitsverteilung nach Temperaturklassen (10-Minutenwerte)

5.1.4.2 Luftbewegung im Stall

Wie bereits erwähnt, hat die Luftbewegung in Kombination mit der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit einen entscheidenden Einfluss darauf, wie gut die Tiere bei Hitze die Wärme abgeben und bei Kälte eine Unterkühlung vermeiden können. Aus diesem Grund ist es besser, wenn bei hohen Lufttemperaturen eine höhere Luftströmung im Stall vorhanden ist als bei tieferen Lufttemperaturen, bei denen wiederum, zugfreie Rückzugsmöglichkeiten angeboten werden sollten.

Die Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeiten ist in Abb. 25 dargestellt. Die genaue Position der Strömungssensoren im Stall ist in Abb. 4 (Betrieb A), bzw. in Abb. 5 (Betrieb B) zu finden. Durch Ausfälle der Strömungssensoren im Stall (einzelne oder ganze Messreihen der Sensoren) oder des Windgeschwindigkeitssensors an der Wetterstation sind jedoch die Daten während des Untersuchungszeitraums nicht für alle Sensoren während gleicher Zeiträume komplett vorhanden. Die verfügbaren Daten sind aber ausreichend, um einen Überblick über die Luftströmung im Stall zu bekommen.

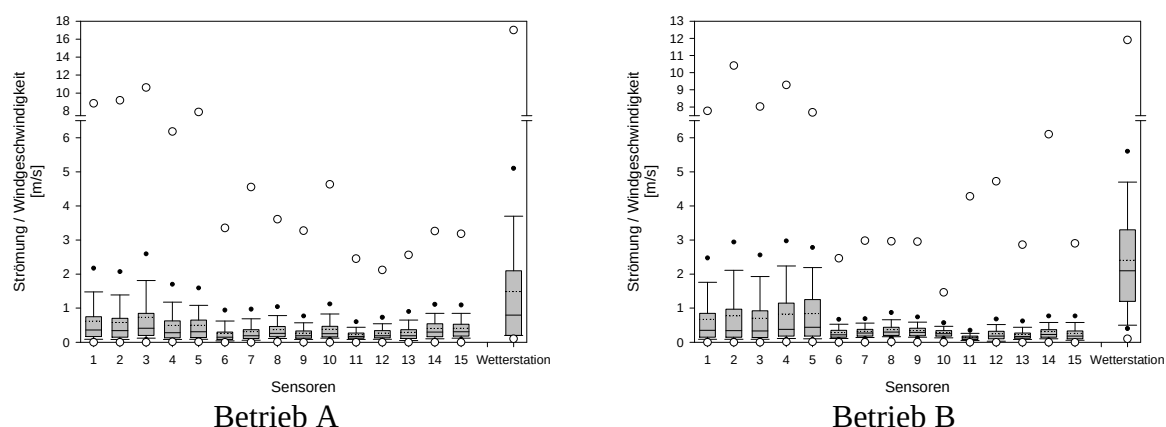


Abb. 25: Verteilung von Luftströmung im Stall und Windgeschwindigkeiten (alle Daten)

Wie zu erwarten war, wurde die höchste Luftströmung in beiden Betrieben direkt hinter dem Curtain (am Futtertisch) beobachtet. Entlang der mittleren Boxenreihe und der Melkstandreihe war die Luftströmung deutlich niedriger als am Futtertisch und die Mehrheit

der Luftströmungsmesswerte im Liegeboxenbereich lag in beiden Betrieben deutlich unter 1 m/s (Abb. 25). Erwartungsgemäß wurde die niedrigste Luftströmung in der Stallecke beim Melkstand (Sensor 11) beobachtet.

Die Regressionsgleichungen, die den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Luftströmung im Stall abschätzen, sind in Tab. 11 für Betrieb A und Tab. 12 für Betrieb B zusammengestellt. Eine graphische Darstellung der Regressionen ist für ausgewählte Sensoren (eine für jede Reihe) in Abb. 26 (Betrieb A) und in Abb. 27 (Betrieb B) zu sehen.

Tab. 11: Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb A abschätzen (alle Daten)

Sensor	$y=a+bx$	R^2	P für a	P für b
1	$0,38+0,14x$	0,12	<0,0001	<0,0001
2	$0,39+0,10x$	0,07	<0,0001	<0,0001
3	$0,49+0,10x$	0,05	<0,0001	<0,0001
4	$0,35+0,10x$	0,08	<0,0001	<0,0001
5	$0,30+0,16x$	0,14	<0,0001	<0,0001
6	$0,13+0,08x$	0,22	<0,0001	<0,0001
7	$0,17+0,09x$	0,25	<0,0001	<0,0001
8	$0,23+0,09x$	0,26	<0,0001	<0,0001
9	$0,15+0,08x$	0,30	<0,0001	<0,0001
10	$0,22+0,11x$	0,29	<0,0001	<0,0001
11	$0,14+0,06x$	0,33	<0,0001	<0,0001
12	$0,17+0,07x$	0,31	<0,0001	<0,0001
13	$0,14+0,09x$	0,34	<0,0001	<0,0001
14	$0,24+0,11x$	0,31	<0,0001	<0,0001
15	$0,26+0,09x$	0,28	<0,0001	<0,0001

Sensor 1bis 5 - Futtertisch

Sensor 6 bis 10 - mittlere Liegeboxenreihe

Sensor 11 bis 15 - Liegeboxenreihe am Melkstand

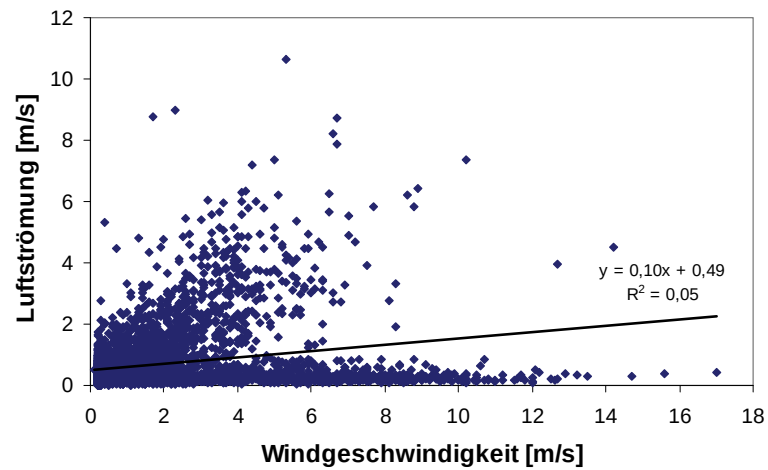
Tab. 12: Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B abschätzen (alle Daten)

Sensor	$y=a+bx$	R^2	P für a	P für b
1	$0,21+0,21x$	0,15	<0,0001	<0,0001
2	$0,16+0,28x$	0,19	<0,0001	<0,0001
3	$0,19+0,24x$	0,19	<0,0001	<0,0001
4	$0,24+0,28x$	0,19	<0,0001	<0,0001
5	$0,28+0,26x$	0,21	<0,0001	<0,0001
6	$0,17+0,05x$	0,17	<0,0001	<0,0001
7	$0,22+0,04x$	0,12	<0,0001	<0,0001
8	$0,26+0,05x$	0,11	<0,0001	<0,0001
9	$0,25+0,04x$	0,09	<0,0001	<0,0001
10	$0,24+0,02x$	0,06	<0,0001	<0,0001
11	$0,10+0,02x$	0,07	<0,0001	<0,0001
12	$0,15+0,04x$	0,09	<0,0001	<0,0001
13	$0,13+0,05x$	0,12	<0,0001	<0,0001
14	$0,18+0,06x$	0,08	<0,0001	<0,0001
15	$0,14+0,06x$	0,11	<0,0001	<0,0001

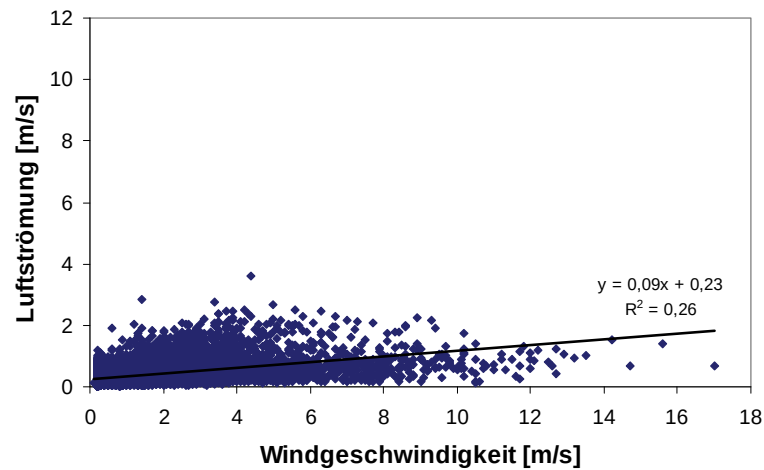
Sensor 1bis 5 - Futtertisch

Sensor 6 bis 10 - mittlere Liegeboxenreihe

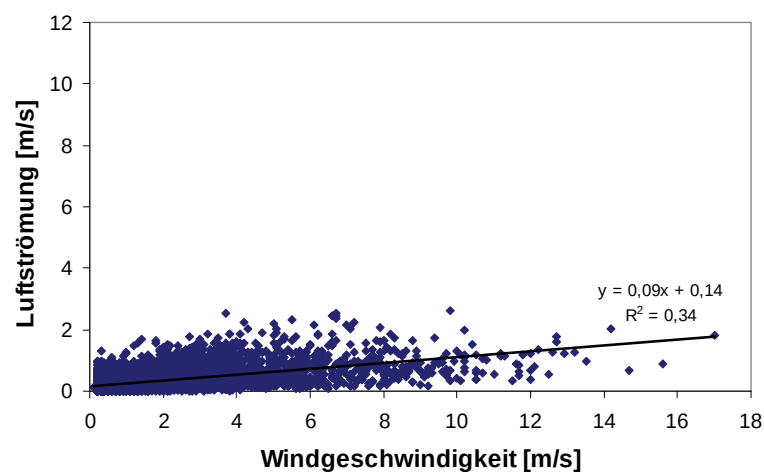
Sensor 11 bis 15 - Liegeboxenreihe am Melkstand



Sensor 3 (Futtertisch)

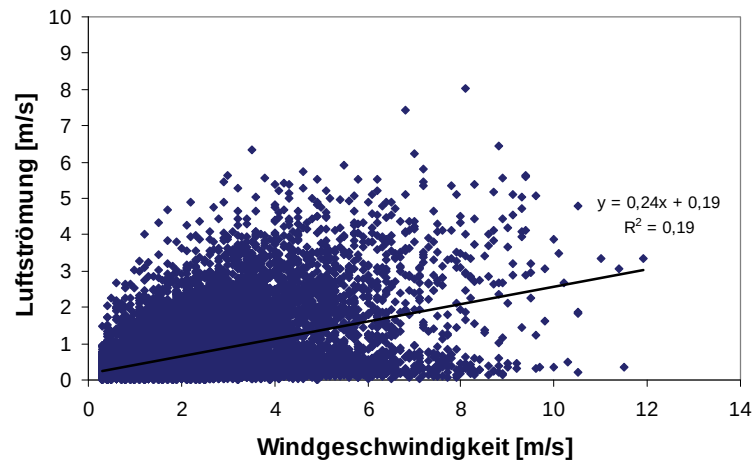


Sensor 8 (mittlere Liegeboxenreihe)

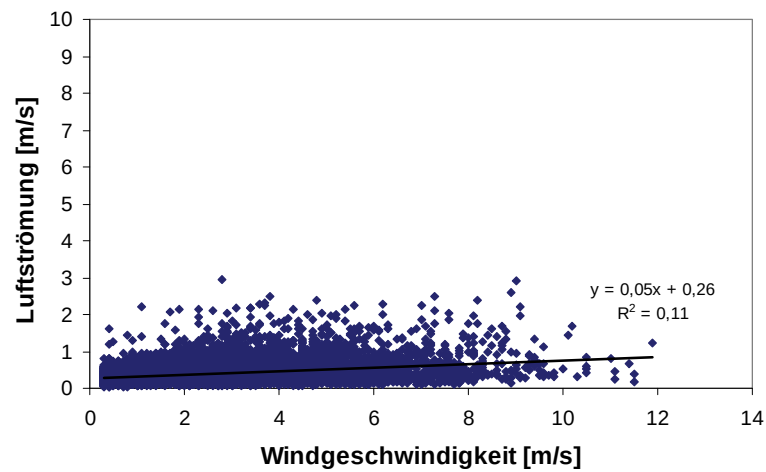


Sensor 13 (Liegeboxenreihe am Melkstand)

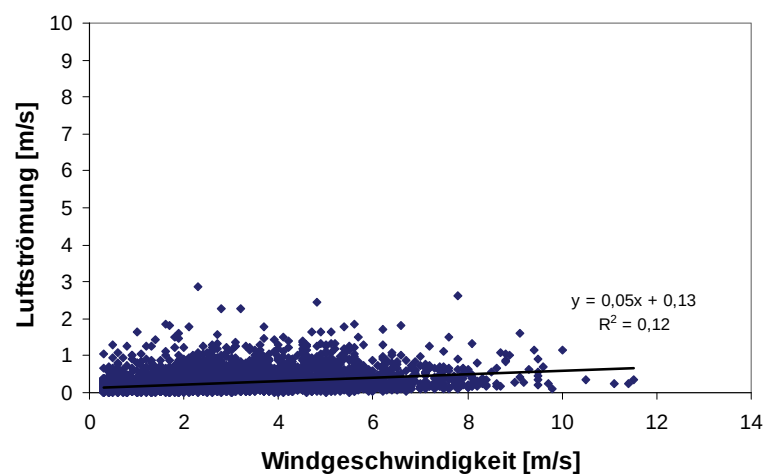
Abb. 26: Regressionen für ausgewählte Sensoren (einer je Reihe), die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb A abschätzen (alle Daten)



Sensor 3 (Futtertisch)



Sensor 8 (mittlere Liegeboxenreihe)



Sensor 13 (Liegeboxenreihe am Melkstand)

Abb. 27: Regressionen für ausgewählte Sensoren (einer je Reihe), die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B abschätzen (alle Daten)

Die Regressionskoeffizienten lagen beim Betrieb A zwischen 0,06 (Sensor 11) und 0,16 (Sensor 5) und beim Betrieb B zwischen 0,02 (Sensoren 10 und 11) und 0,28 (Sensoren 2 und 4). Wie zu sehen ist, wurde beim Betrieb B der Unterschied zwischen den Regressionskoeffizienten am Futtertisch und im Liegebereich deutlich. Dies bestätigt, dass bei diesem Betrieb direkt hinter den Curtains (am Futtertisch) die Luftströmung noch deutlich mit der an der Wetterstation gemessenen Windgeschwindigkeit zusammenhängt. Beim Betrieb A wurde jedoch dieser Unterschied nicht so deutlich. Im Betrieb A war der Regressionskoeffizient an einzelnen Sensoren im Liegebereich höher als am Futtertisch, die Achsenabschnitte lagen dagegen bei den Sensoren am Futtertisch höher als bei denen im Liegebereich. Somit wird die Strömung am Futtertisch für die Mehrheit der gemessenen Windgeschwindigkeitwerte (bis 10 ms^{-1}) als höher geschätzt. Das bedeutet, dass im Betrieb A nicht nur die Luftströmung sehr wenig von der Windgeschwindigkeit abhängig war (darauf weist auch das geringe Bestimmtheitsmaß der Sensoren am Futtertisch hin), sondern dass auch kein deutlicher Unterschied zwischen einzelnen Sensoren vorhanden war. An dieser Stelle muss jedoch noch einmal betont werden, dass zur selben Zeit nicht immer von allen Sensoren Daten gleichzeitig vorlagen, d.h. sie konnten bei verschiedenen Wetterbedingungen sowie Öffnungsgrad der Curtains gewonnen worden sein. Ferner ist zu berücksichtigen, dass gerade bei hoher Windgeschwindigkeit die Curtains geschlossen sind und so der Wind nur wenig Einfluss auf die Luftströmung im Stallgebäude ausüben kann. Außerdem können die Anordnung von Curtains nur an einer Seite, die ständig offene Wand an der gegenüberliegenden sowie die deutlich niedrigeren Windgeschwindigkeitswerte einen erheblichen Einfluss ausüben. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die an der Wetterstation gemessene Windgeschwindigkeit nicht mit der am Stallrand übereinstimmen muss, da die Windgeschwindigkeiten an der Wetterstation in einer Höhe von 10 m und in einer Entfernung von 200 m zum Stallgebäude gemessen wurden. Zusätzlich kann auch noch die Topographie die Windgeschwindigkeit beeinflussen.

Bedeutung der Wandverschlüsse für die Luftströmung im Stall

Die Luftbewegung im Außenklimastall ist nicht nur vom Wind und der Lage des Stalles im Gelände, sondern auch von Art und Größe der Wandöffnungen abhängig. Deshalb soll der Öffnungsgrad des Wandverschlusses (z.B. Curtains) die Luftströmung durch das Stallgebäude regulieren.

Wie angesprochen, ist im Betrieb A entlang der ganzen Futtertischseite (Westseite) ein Curtain (horizontal zweigeteilt, mit automatischer Steuerung) installiert (Abb. 6). An der Ostseite bleiben die Wanddurchgänge zum Laufhof und der obere Teil der Ostfassade ganz offen. Im Betrieb B sind zwei Curtains eingebaut (einer entlang des Futtertisches und einer zweigeteilt an der Melkstandseite (Abb. 7). Der Curtain am Futtertisch und der obere Curtainteil an der Melkstandseite sind automatisch gesteuert, der untere Curtainteil wird nur manuell bedient.

Auswertbare Daten für die Curtainposition waren nur auf Betrieb B vorhanden. Erschwerend kam hinzu, dass die gleichzeitige Auswertung der Luftströmungsdaten wegen häufiger Ausfälle der Strömungssensoren für den gesamten Stall nicht möglich war. Eine teilweise Auswertung und meist nur für einzelne Messreihen der Strömungssensoren konnte jedoch vorgenommen werden.

Trotz fehlender Daten, ermöglichen die erzielten Ergebnisse einen Überblick über die Luftbewegung bei einem ganz geschlossenen oder offenen Stall.

Geschlossene Curtains

Obwohl der Öffnungsgrad der Curtains nur im Betrieb B ermittelt werden konnte, wurden im Betrieb A die Daten für die geschlossenen Curtains aufgrund der Temperaturregelung im Stall (da die Curtains bei Innentemperaturen unter 5 °C immer geschlossen sind) ausgewertet. Um sicher zu gehen, wurden nur die Daten bei Innentemperaturen unter 4 °C für die Auswertung verwendet. Die Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeiten bei geschlossenen Curtains ist in Abb. 28 dargestellt. Diese Grafiken stellen alle vorhandenen Daten dar, was bedeutet, dass Daten der unterschiedlichen Sensoren in unterschiedlichen Zeiträumen enthalten sind. In Abb. 29 und Abb. 30 sind alle vorhandenen Daten von Messreihen der Strömungssensoren und der Wetterstation dargestellt.

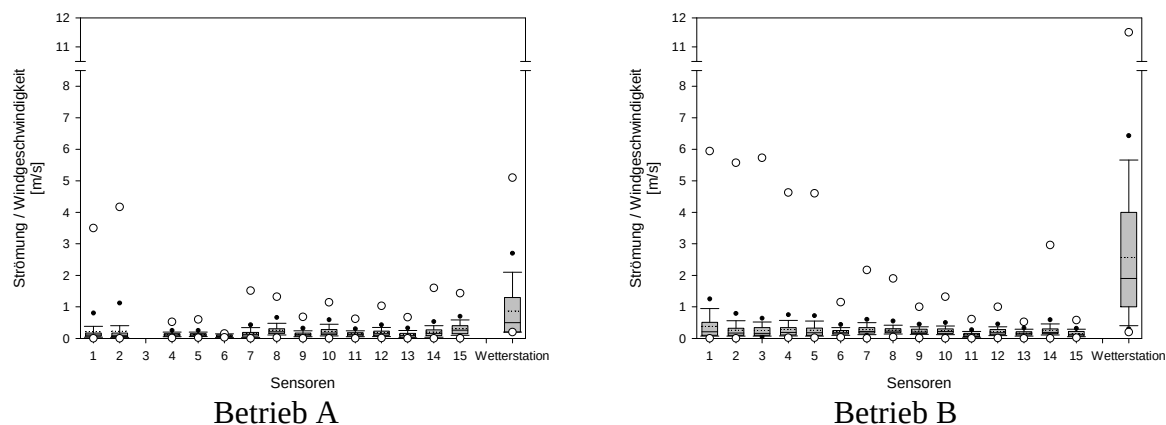


Abb. 28: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Außenwindgeschwindigkeiten bei geschlossenen Curtains (alle vorhandenen Daten)

Bei geschlossenen Curtains lag die Mehrheit der Messwerte, nicht nur bei den Strömungssensoren im Liegebereich sondern auch am Futtertisch, in beiden Betrieben unter 1 m/s. Während des gesamten Untersuchungszeitraums wurden nur einzelne höhere Luftströmungswerte und das nur unmittelbar hinter dem Curtain am Futtertisch beobachtet. Dabei wurde die maximale Luftströmung im Betrieb A an den Strömungssensoren 1 und 2 gemessen (3,5 bzw. 4,17 m/s). An den anderen Sensoren am Futtertisch (Sensoren 4 und 5, für Sensor 3 sind keine Daten vorhanden) und im Liegebereich (Sensoren 7 bis 15, für Sensor 6 sind keine Daten vorhanden) war die Luftströmung deutlich geringer. Die maximale Luftströmung im Liegebereich (1,6 m/s) wurde an Sensor 14 gemessen.

Im Betrieb B wurde die maximale Luftströmung bei geschlossenen Curtains, am Futtertisch (Sensoren 1 bis 5) gemessen. Die Werte bewegten sich zwischen 4,63 bis 5,94 m/s. Bei der mittleren Liegeboxenreihe (Sensoren 6 bis 10) war der Maximalwert nur 2,17 m/s (Sensor 7) und bei der Melkstandboxenreihe (Sensoren 11 bis 15) 2,96 m/s (Sensor 14), also deutlich niedriger. Leider wurden diese Luftströmungsdaten vor Aufbau der Wetterstation gemessen. Deshalb ist nicht bekannt, bei welchen Windgeschwindigkeiten oder Windrichtungen überhaupt diese Werte entstanden sind. Darüber hinaus waren dies nur Einzellwerte, die an einem Märztag gemessen wurden. Diese Luftströmung ist zwar für arbeitende Menschen im Stall unangenehm, Gesundheit und Leistung der Kühe wird jedoch noch nicht negativ beeinflusst. Zumal diese Werte bei einer niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit (um 50 %) und hoher Temperatur (um 17 °C) im Stall gemessen wurde. Diese

Ergebnisse weisen darauf hin, dass geschlossene Curtains einen guten Windschutz im Stall bieten.

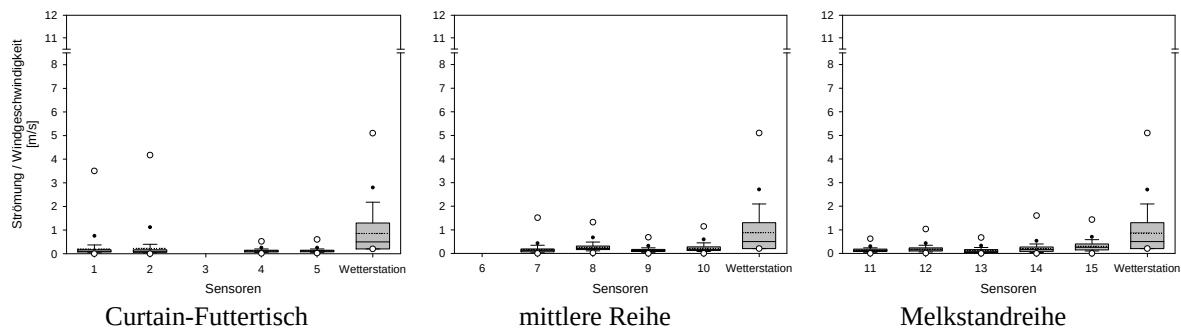


Abb. 29: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeiten bei geschlossenen Curtains reihenweise im Betrieb A (nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

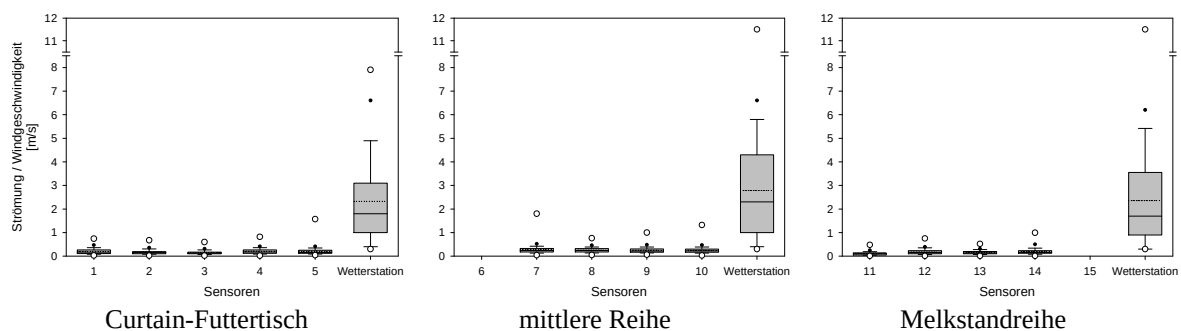


Abb. 30: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeiten bei geschlossenen Curtains reihenweise im Betrieb B (nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

Offene Curtains

Die Auswertung der Curtainpositionen im Betrieb B ergab, dass beide Curtains während des Untersuchungszeitraums nie ganz geöffnet waren, da der untere manuell zu öffnende Curtainteil (an der Melkstandseite) während des gesamten Untersuchungszeitraums maximal nur bis 75 % der Fläche geöffnet wurde. Auch der automatisch gesteuerte Curtain am Futtertisch und der obere automatisch gesteuerte Curtainteil an der Melkstandseite wurden nur selten gleichzeitig ganz geöffnet (nur in 5,2 % des gesamten Untersuchungszeitraums).

Um die Zusammenhänge zwischen Öffnungsgrad der Curtains und der Luftströmung im Stall zu untersuchen, wurden deshalb für „Curtains ganz offen“ auch die Daten des nächsten Öffnungsgrades der Curtains verwendet (unterer Curtainteil bis 75 % der Curtainsfläche, oberer Curtainteil an der Melkstandseite bis 80 % der Curtainsfläche und der Curtain am Futtertisch bis 89 % der Curtainsfläche).

In Abb. 31 ist die Verteilung der Luftströmung im Stall und der Außenwindgeschwindigkeiten (alle Daten) dargestellt. Zuerst wenn zumindest ein Curtain nicht ganz geschlossen

wurde, jedoch die Curtains nicht ganz offen waren und dann, wenn alle Curtains ganz offen waren. In Abb. 32 und Abb. 33 sind nur komplette Daten für alle Strömungssensoren per Messreihe und dazu gehörige Windgeschwindigkeiten dargestellt, um genauer zu analysieren, bei welchen Windgeschwindigkeiten die Luftströmungsdaten per Messreihe entstanden sind.

Die Verteilung der Luftströmung im Stall zeigt, dass der Öffnungsgrad der Curtains die Luftströmung im Stall beeinflusst. Eindeutig ist dies jedoch nur unmittelbar hinter den Curtains am Futtertisch. Die niedrigste Luftströmung und der niedrigste Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung am Futtertisch wurde dabei bei ganz geschlossenen Curtains beobachtet (Abb. 28 und Abb. 30).

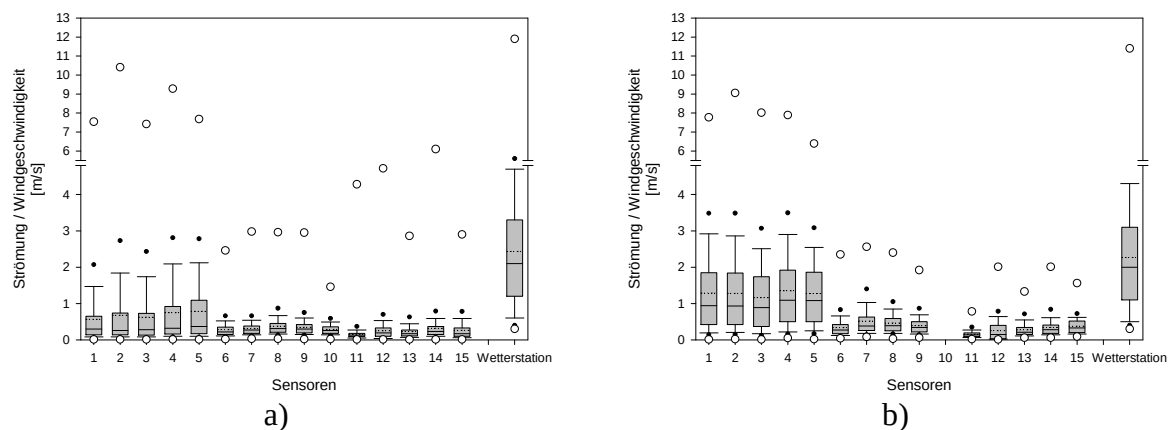


Abb. 31: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B (alle Daten)

- a) wenn zumindest ein Curtain nicht ganz geschlossen wurde, jedoch die Curtains nicht ganz offen waren
- b) wenn alle „Curtains ganz offen“ waren

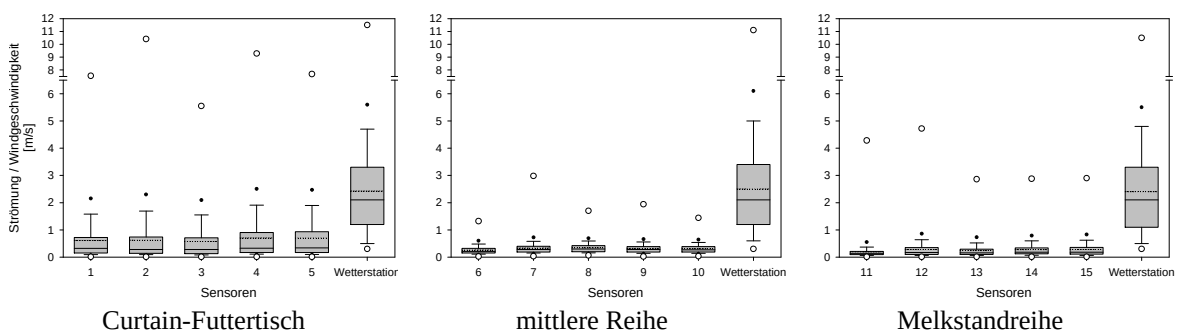


Abb. 32: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B, wenn zumindest ein Curtain nicht ganz geschlossen war, jedoch die Curtains nicht ganz offen waren (nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

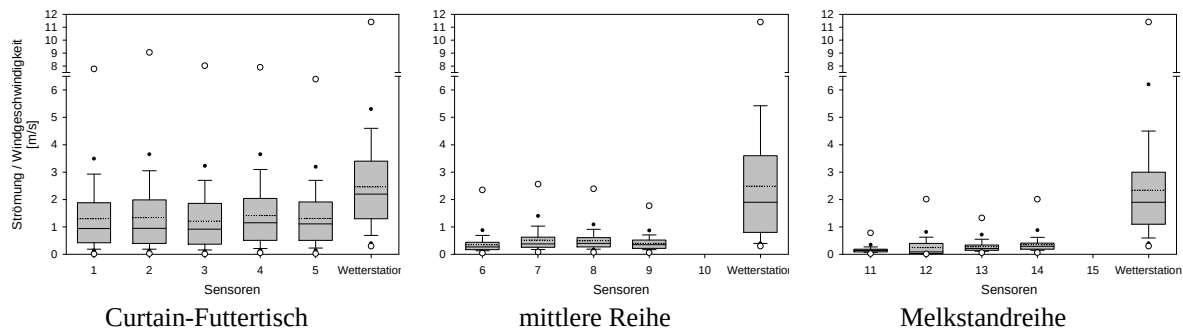


Abb. 33: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B, wenn alle Curtains ganz offen waren (nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

Die höchste Luftströmungsgeschwindigkeit und der höchste Einfluss der Windgeschwindigkeit war bei höherem Öffnungsgrad der Curtains zu verzeichnen (wenn die Strömungssensoren am Futtermisch nicht mehr mit Curtains geschützt waren) (Abb. 33). Im Liegebereich war jedoch der Einfluss des Öffnungsgrades der Curtains auf die Luftströmung nicht mehr so eindeutig. In der Tendenz ist zu beobachten, dass bei höherem Öffnungsgrad der Curtains leicht höhere Luftströmung im Liegebereich auftrat. Jedoch lag auch bei ganz offenen Curtains die Mehrheit der Messwerte unter 1 m/s.

Die Regressionskoeffizienten für die Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B bei geschlossen und offenen Curtains abschätzen, sind in Tab. 13 zusammengestellt. Eine graphische Darstellung der Regressionen ist für ausgewählte Sensoren (eine für jede Reihe) bei geschlossenen und ganz offenen Curtains in Abb. 34 zu sehen.

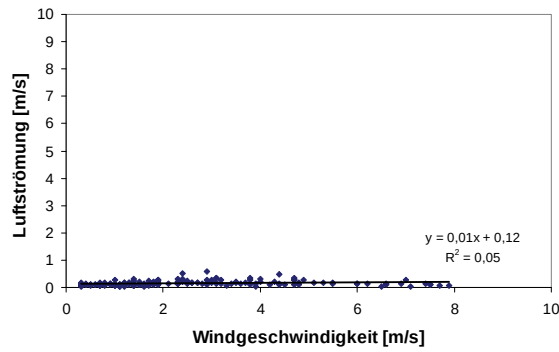
Tab. 13: Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B bei geschlossenen und ganz offenen Curtains abschätzen (alle Daten)

Sensor	geschlossene Curtains				ganz offene Curtains			
	$y=a+bx$	R^2	P für a	P für b	$y=a+bx$	R^2	P für a	P für b
1	$0,21+0,00001x$	$0,01 \times 10^{-3}$	<0,0001	0,9890	$0,24+0,43x$	0,37	<0,0001	<0,0001
2	$0,16+0,005x$	0,01	<0,0001	0,1865	$0,25+0,45x$	0,38	<0,0001	<0,0001
3	$0,12+0,01x$	0,05	<0,0001	0,0029	$0,29+0,39x$	0,35	<0,0001	<0,0001
4	$0,15+0,03x$	0,15	<0,0001	<0,0001	$0,38+0,43x$	0,37	<0,0001	<0,0001
5	$0,13+0,03x$	0,11	<0,0001	<0,0001	$0,40+0,39x$	0,39	<0,0001	<0,0001
6	$0,15+0,02x$	0,16	<0,0001	<0,0001	$0,19+0,06x$	0,23	<0,0001	<0,0001
7	$0,18+0,03x$	0,19	<0,0001	<0,0001	$0,26+0,10x$	0,27	<0,0001	<0,0001
8	$0,22+0,01x$	0,07	<0,0001	<0,0001	$0,31+0,07x$	0,17	<0,0001	<0,0001
9	$0,20+0,02x$	0,09	<0,0001	<0,0001	$0,29+0,04x$	0,10	<0,0001	<0,0001
10	$0,21+0,01x$	0,05	<0,0001	<0,0001				
11	$0,06+0,02x$	0,29	<0,0001	<0,0001	$0,10+0,02x$	0,17	<0,0001	<0,0001
12	$0,13+0,02x$	0,16	<0,0001	<0,0001	$0,07+0,08x$	0,23	<0,0001	<0,0001
13	$0,14+0,01x$	0,03	<0,0001	0,0003	$0,16+0,05x$	0,22	<0,0001	<0,0001
14	$0,20+0,01x$	0,004	<0,0001	0,1471	$0,15+0,09x$	0,38	<0,0001	<0,0001
15	$0,08+0,02x$	0,20	<0,0001	<0,0001	$0,29+0,04x$	0,09	<0,0001	0,0003

Sensor 1 bis 5 - Futtermisch

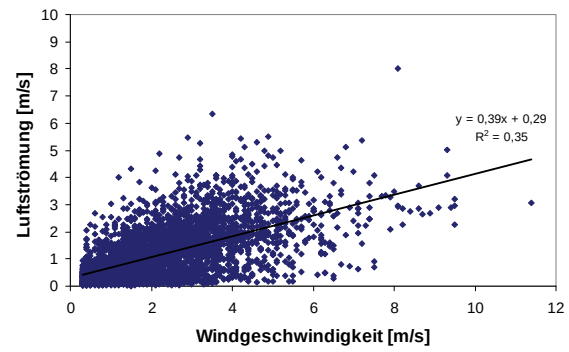
Sensor 6 bis 10 - mittlere Liegeboxenreihe

Sensor 11 bis 15 - Liegeboxenreihe am Melkstand

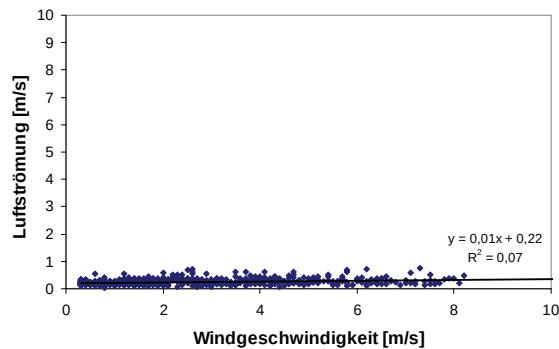


geschlossene Curtains

Sensor 3 (Futtertisch)

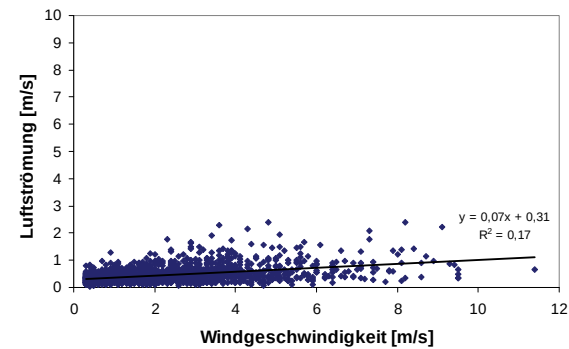


ganz offene Curtains

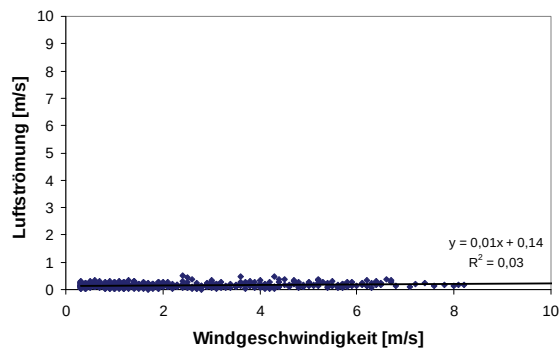


geschlossene Curtains

Sensor 8 (mittlere Liegeboxenreihe)

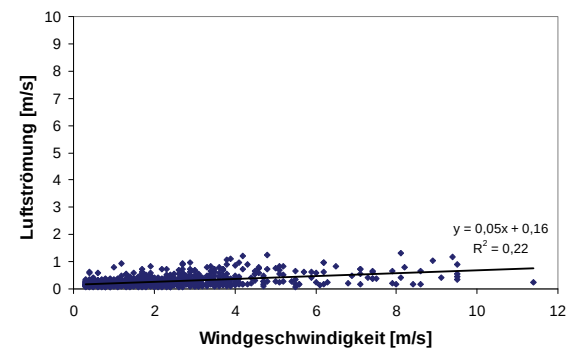


ganz offene Curtain



geschlossene Curtains

Sensor 13 (Liegeboxenreihe am Melkstand)



ganz offene Curtain

Abb. 34: Regressionen für Beispielsensoren (ein für jede Reihe), die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung bei geschlossenen und ganz offenen Curtains im Betrieb B abschätzen

Bei geschlossenen Curtains lagen die Regressionskoeffizienten sehr niedrig (unter 0,03) und nicht immer waren sie auch signifikant. Dies bestätigt, was auch schon die graphischen Darstellungen der Verteilung der Luftströmung und Windgeschwindigkeit bei geschlossenen Curtains (Abb. 28 und Abb. 30) zeigten, dass bei geschlossenen Curtains nur ein sehr geringer oder gar kein Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Luftströmung im Stall vorhanden ist.

Etwas anders stellt sich die Situation bei ganz offenen Curtains dar. Hier war ein deutlicher Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Luftströmung am Futtertisch vorhanden. Die Regressionskoeffizienten für die Sensoren am Futtertisch lagen zwischen 0,39 und 0,45. Für Sensoren im Liegebereich lagen sie jedoch deutlich niedriger (zwischen 0,02 und 0,1), was bestätigt, dass nur ein geringer Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Liegebereich bestand.

Es ist auffallend, dass der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Stall auch bei offenen Curtains nur unmittelbar hinter dem Curtain am Futtertisch deutlich beobachtet wurde. Die geschlossenen Curtains bieten sehr guten Windschutz am Futtertisch. Aber andererseits, wirkten sich die Windgeschwindigkeiten auf die Luftströmung im Liegebereich auch bei ganz offenen Curtains nur sehr wenig aus.

Windrichtung und Luftströmung im Stall

In zahlreichen Publikationen wird empfohlen, dass für eine gute Durchlüftung der Stallgebäude die Gebäude mit ihrer Längsachse quer zur Hauptwindrichtung gebaut werden sollten. Bei beiden Betrieben war dies der Fall. Es konnte jedoch beobachtet werden (aber ohne die Windrichtung zu betrachten), dass sich die Windgeschwindigkeit nur sehr wenig auf die Luftströmung im Liegebereich auswirkte.

Von weiterem Interesse ist, wie stark sich die Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Stall bei unterschiedlichen Windrichtungen auswirkt. Deshalb wurde auch der Zusammenhang zwischen der Windrichtung und der Luftströmung im Stall untersucht.

Zu diesem Zweck wurde in beiden Betrieben der Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Stall bei zwei verschiedenen Windrichtungen untersucht. Dafür wurde die Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit sowohl bei Windrichtung quer zur Längsachse der Stallgebäude (in beiden Betrieben war dies auch die Hauptwindrichtung) als auch bei Windrichtung parallel zur Längsachse der Stallgebäude (seitlicher Wind) bei jedem Betrieb dargestellt. Die Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit bei der Hauptwindrichtung ($\pm 22,5^\circ$) ist in Abb. 35 für Betrieb A und in Abb. 37 für Betrieb B dargestellt und bei seitlichem Wind ($\pm 22,5^\circ$) in Abb. 36 bzw. in Abb. 38. Da nicht für alle Messreihen die Daten gleichzeitig vorlagen, wurden für jede Messreihe der Strömungssensoren die zugehörigen Windgeschwindigkeiten separat dargestellt.

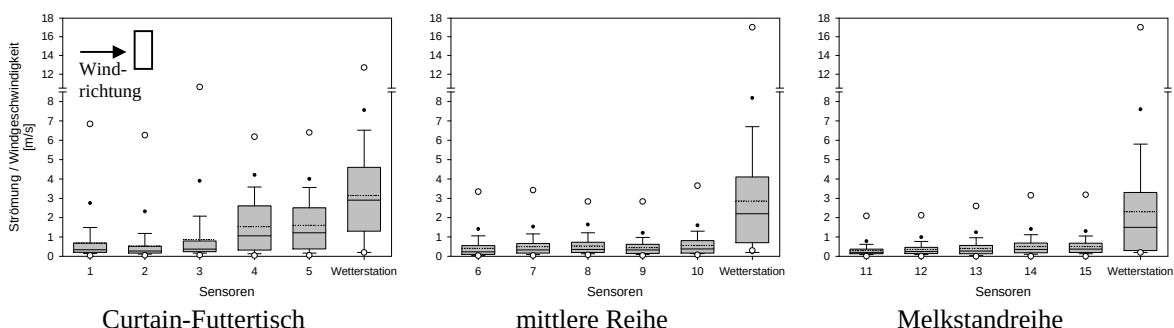


Abb. 35: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb A bei Wind aus der Hauptwindrichtung (Westwind)
(Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

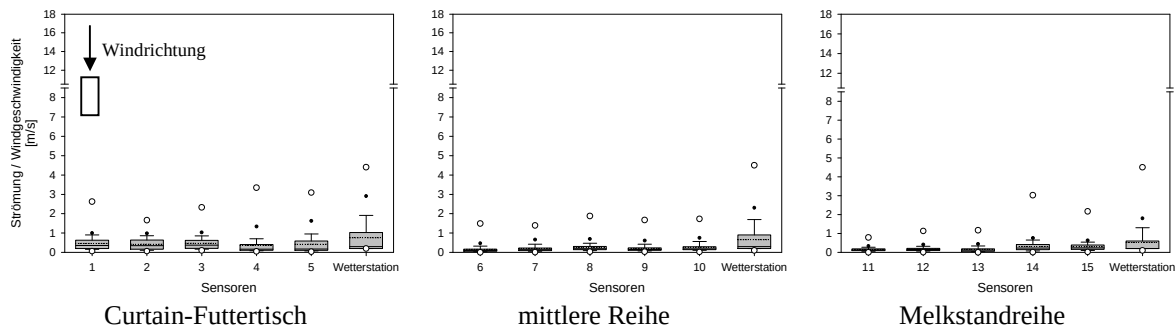


Abb. 36: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb A bei seitlichem Wind (Nordwind)
(Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

Es ist auffallend, dass die Windrichtung nicht in allen Bereichen des Stalles einen eindeutigen Einfluss auf die Luftströmung hat. Am Futtermisch scheint er vorhanden zu sein. Bei seitlichem Wind wurden jedoch im Betrieb A generell keine höheren Windgeschwindigkeiten gemessen und darum konnte auch keine höhere Luftströmung am Futtermisch beobachtet werden. Im Betrieb B traten dagegen höhere Windgeschwindigkeiten auch bei seitlichem Wind auf, jedoch nicht so häufig wie beim Wind aus der Hauptwindrichtung. Darum sind auf Grund der unterschiedlichen Windstärken die Ergebnisse der beiden Windrichtungen schwer vergleichbar.

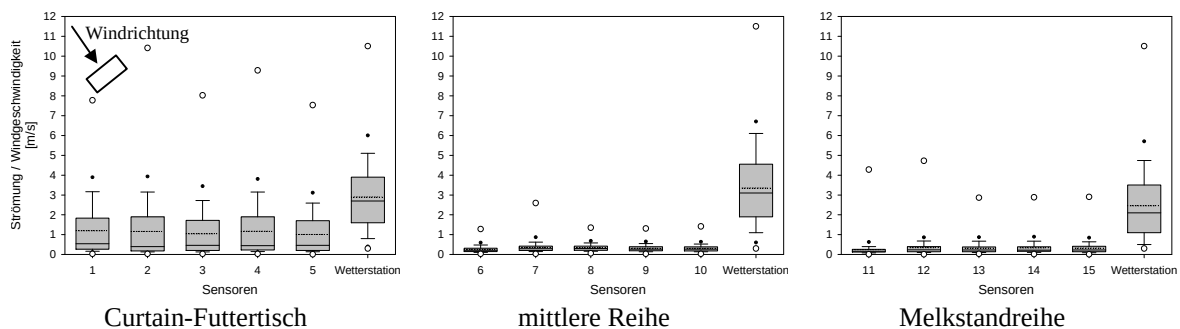


Abb. 37: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B bei Wind aus der Hauptwindrichtung (Nordwestwind)
(Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

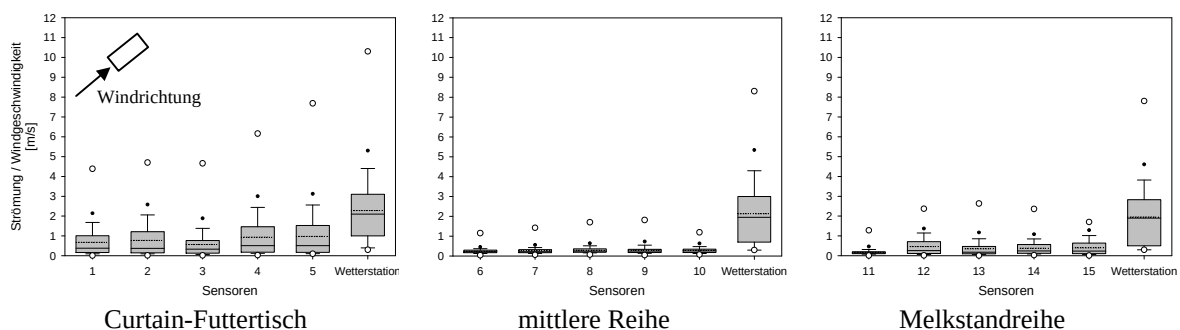


Abb. 38: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B bei seitlichem Wind (Nordostwind)
(Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

Im Liegeboxenbereich (mittlere Boxenreihe und Melkstandboxenreihe) war die Luftströmung nicht nur bei seitlichem Wind sondern auch bei Wind aus der Hauptwindrichtung in beiden Betrieben stark gedämpft (Abb. 35 und Abb. 37). Im Betrieb A war die Luftströmung im Liegebereich bei Wind aus der Hauptwindrichtung höher als bei seitlichem Wind. Allerdings wurden, wie bereits erwähnt, bei seitlichem Wind im Betrieb A generell keine höheren Windgeschwindigkeiten beobachtet. Im Gegensatz zu Betrieb A traten im Betrieb B auch bei seitlichem Wind höhere Windgeschwindigkeiten auf, so dass dann im Liegebereich vergleichbare (Mitte der Stallgebäude) oder im Einzelfall sogar höhere Luftströmungsgeschwindigkeiten (Melkstandreihe, Sensoren 12 bis 15) als beim Wind aus der Hauptwindrichtung beobachtet werden konnten.

Die Regressionskoeffizienten für die Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung einmal bei Hauptwindrichtung und einmal bei seitlicher abschätzen sind in Tab. 14 (Betrieb A) bzw. in Tab. 15 (Betrieb B) dargestellt. Da im Betrieb B die Position der Curtains bestimmt werden konnte, wurde die Auswertung auch zusätzlich bei ganz offenen Curtains vorgenommen (Tab. 16). Bei Betrieb A waren die Regressionskoeffizienten bei allen Sensoren und bei beiden Windrichtungen niedrig und keine großen Unterschied zwischen Sensoren war vorhanden. Bei der Hauptwindrichtung wurden nur höhere Koeffizienten für den Achsenabschnitt berechnet.

Tab. 14: Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb A in Abhängigkeit von der Windrichtung abschätzen (alle Daten)

Sensor	Hauptwindrichtung (Westwind)				Seitlicher Wind (Nordwind)			
	$y=a+bx$	R^2	P für a	P für b	$y=a+bx$	R^2	P für a	P für b
1	0,62+0,10x	0,05	<0,0001	<0,0001	0,29+0,18x	0,08	<0,0001	<0,0001
2	0,57+0,06x	0,02	<0,0001	<0,0001	0,31+0,09x	0,03	<0,0001	<0,0001
3	0,61+0,07x	0,02	<0,0001	<0,0001	0,37+0,23x	0,12	<0,0001	<0,0001
4	0,48+0,07x	0,04	<0,0001	<0,0001	0,28+0,16x	0,07	<0,0001	<0,0001
5	0,38+0,18x	0,14	<0,0001	<0,0001	0,36+0,13x	0,04	<0,0001	<0,0001
6	0,21+0,07x	0,16	<0,0001	<0,0001	0,08+0,11x	0,20	<0,0001	<0,0001
7	0,26+0,08x	0,17	<0,0001	<0,0001	0,12+0,09x	0,13	<0,0001	<0,0001
8	0,33+0,08x	0,19	<0,0001	<0,0001	0,18+0,10x	0,11	<0,0001	<0,0001
9	0,21+0,07x	0,27	<0,0001	<0,0001	0,12+0,09x	0,17	<0,0001	<0,0001
10	0,29+0,10x	0,26	<0,0001	<0,0001	0,20+0,12x	0,13	<0,0001	<0,0001
11	0,16+0,06x	0,32	<0,0001	<0,0001	0,12+0,06x	0,12	<0,0001	<0,0001
12	0,19+0,07x	0,31	<0,0001	<0,0001	0,14+0,08x	0,14	<0,0001	<0,0001
13	0,18+0,09x	0,34	<0,0001	<0,0001	0,10+0,10x	0,16	<0,0001	<0,0001
14	0,25+0,11x	0,37	<0,0001	<0,0001	0,25+0,13x	0,08	<0,0001	<0,0001
15	0,28+0,09x	0,32	<0,0001	<0,0001	0,24+0,09x	0,08	<0,0001	<0,0001

Sensor 1 bis 5 - Futtertisch

Sensor 6 bis 10 - mittlere Liegeboxenreihe

Sensor 11 bis 15 - Liegeboxenreihe am Melkstand

Tab. 15: Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B in Abhängigkeit von der Windrichtung abschätzen (alle Daten)

Sensor	Hauptwindrichtung (Nordwestwind)				Seitlicher Wind (Nordostwind)			
	y=a+bx	R ²	P für a	P für b	y=a+bx	R ²	P für a	P für b
1	0,35+0,25x	0,11	<0,0001	<0,0001	0,25+0,19x	0,17	<0,0001	<0,0001
2	0,20+0,36x	0,18	<0,0001	<0,0001	0,28+0,21x	0,15	<0,0001	<0,0001
3	0,27+0,29x	0,18	<0,0001	<0,0001	0,26+0,14x	0,11	<0,0001	<0,0001
4	0,32+0,31x	0,16	<0,0001	<0,0001	0,39+0,24x	0,15	<0,0001	<0,0001
5	0,41+0,26x	0,16	<0,0001	<0,0001	0,43+0,27x	0,16	<0,0001	<0,0001
6	0,18+0,04x	0,11	<0,0001	<0,0001	0,22+0,02x	0,05	<0,0001	<0,0001
7	0,24+0,05x	0,08	<0,0001	<0,0001	0,24+0,02x	0,03	<0,0001	<0,0001
8	0,31+0,05x	0,09	<0,0001	<0,0001	0,28+0,03x	0,05	<0,0001	<0,0001
9	0,26+0,05x	0,10	<0,0001	<0,0001	0,26+0,03x	0,07	<0,0001	<0,0001
10	0,25+0,02x	0,04	<0,0001	<0,0001	0,23+0,02x	0,08	<0,0001	<0,0001
11	0,12+0,02x	0,03	<0,0001	<0,0001	0,10+0,03x	0,13	<0,0001	<0,0001
12	0,17+0,03x	0,04	<0,0001	<0,0001	0,12+0,09x	0,20	<0,0001	<0,0001
13	0,15+0,04x	0,11	<0,0001	<0,0001	0,10+0,09x	0,21	<0,0001	<0,0001
14	0,19+0,07x	0,06	<0,0001	<0,0001	0,15+0,09x	0,24	<0,0001	<0,0001
15	0,17+0,06x	0,11	<0,0001	<0,0001	0,14+0,10x	0,19	<0,0001	<0,0001

Sensor 1bis 5 - Futtertisch

Sensor 6 bis 10 - mittlere Liegeboxenreihe

Sensor 11 bis 15 - Liegeboxenreihe am Melkstand

Tab. 16: Regressionskoeffizienten für Modelle, die den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Luftströmung im Betrieb B bei ganz offenen Curtains in Abhängigkeit von der Windrichtung abschätzen (alle Daten)

Sensor	Hauptwindrichtung (Nordwestwind)				Seitliche Wind (Nordostwind)			
	y=a+bx	R ²	P für a	P für b	y=a+bx	R ²	P für a	P für b
1	0,61+0,50x	0,36	<0,0001	<0,0001	0,18+0,33x	0,34	<0,0001	<0,0001
2	0,56+0,51x	0,37	<0,0001	<0,0001	0,31+0,34x	0,29	<0,0001	<0,0001
3	0,56+0,42x	0,37	<0,0001	<0,0001	0,30+0,23x	0,14	<0,0001	<0,0001
4	0,68+0,46x	0,36	<0,0001	<0,0001	0,45+0,36x	0,22	<0,0001	<0,0001
5	0,69+0,37x	0,35	<0,0001	<0,0001	0,47+0,34x	0,18	<0,0001	<0,0001
6	0,24+0,04x	0,07	<0,0001	<0,0001	0,28-0,01x	0,001	<0,0001	0,7574
7	0,35+0,11x	0,15	<0,0001	<0,0001	0,33+0,11x	0,14	<0,0001	0,0443
8	0,36+0,07x	0,12	<0,0001	<0,0001	0,31+0,08x	0,07	<0,0001	0,0395
9	0,29+0,06x	0,11	<0,0001	<0,0001	0,34+0,02x	0,003	<0,0001	0,6454
10								
11	0,13+0,02x	0,07	<0,0001	0,0011	0,15+0,02x	0,05	<0,0001	0,2517
12	0,26+0,02x	0,02	<0,0001	0,0652	0,16+0,02x	0,01	<0,0001	0,5389
13	0,14+0,07x	0,25	<0,0001	<0,0001	0,13+0,10x	0,32	0,0003	0,0004
14	0,18+0,06x	0,24	<0,0001	<0,0001	0,14+0,16x	0,50	0,0004	<0,0001
15	0,29+0,04x	0,07	<0,0001	0,0447				

Sensor 1bis 5 - Futtertisch

Sensor 6 bis 10 - mittlere Liegeboxenreihe

Sensor 11 bis 15 - Liegeboxenreihe am Melkstand

Beim Betrieb B wurden bei beiden Windrichtungen am Futtertisch höhere Regressionskoeffizienten als im Liegebereich beobachtet, unabhängig, ob alle Daten oder nur die Daten bei ganz offenen Curtains benutzt wurden. Deutliche Unterschiede zwischen den Koeffi-

zienten bei Hauptwindrichtung und seitlichem Wind wurden jedoch bei ganz offenen Curtains beobachtet. Dies würde zeigen, dass beim Betrieb B bei offenen Curtains die Luftströmung am Futtertisch bei der Hauptwindrichtung mehr von der Windgeschwindigkeit beeinflusst wird als bei seitlichem Wind. Im Liegebereich war dieser Unterschied nicht mehr vorhanden, unabhängig, ob alle Daten oder nur die Daten bei ganz offenen Curtains benutzt wurden. Auch bei Hauptwindrichtung und ganz offenen Curtains waren die Regressionskoeffizienten im Liegebereich sehr niedrig (zwischen 0,02 und 0,11). Bei seitlichem Wind und offenen Curtains lagen sie zwischen -0,01 und 0,16, jedoch waren sie nicht immer signifikant (dies lag auch an der kleinen Anzahl der Beobachtungen). Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass selbst bei Wind aus der Hauptwindrichtung und ganz offenen Curtains die Windgeschwindigkeit nur einen kleinen Einfluss auf die Luftströmung im Liegebereich ausübt.

Die vorgestellten Ergebnisse haben gezeigt, dass die Luftströmung im Stall (im Liegebereich) deutlich geringer war als am Stallrand und dass bereits die Luftströmung am Stallrand erheblich niedriger war als die Windgeschwindigkeit. Beides war unabhängig davon, ob der Wind parallel oder senkrecht auf das Stallgebäude anströmte.

5.1.4.3 Einfluss der Luftströmung auf das Tier

Es ist bekannt, dass bei kühlen Umgebungstemperaturen viel Wärme direkt an die Umgebung abgegeben werden kann. Höhere Temperaturen vermindern jedoch die direkte Wärmeabgabe und mehr Wärme muss über die Wasserverdunstung (durch Schwitzen oder Atmen) abgeführt werden. Eine Hochleistungskuh (700 kg Lebendgewicht mit 40 Liter Tagesmilchleistung) produziert im Bereich der thermoneutralen Zone etwa zwischen 1650 (15 °C) und 1864 W (5 °C) Gesamtwärme [24]. Wärmeabgabe und Wasserdampfabgabe bei verschiedenen Stalltemperaturen sind in Tab. 17 dargestellt [24]. Während bei einer Stalltemperatur von 10 °C etwa 80 % (1316 W) als Wärme direkt an die Umgebung abgegeben werden kann, sind dies bei einer Stalltemperatur von 25 °C nur noch etwa 50 % [24].

Höhere Luftgeschwindigkeiten (1-3 m/s) über den Körper des Tieres erhöhen die Rate der Wärmeübertragung vom Körper auf die umgebende Luft. Während eine steigende Luftfeuchtigkeit die Temperaturgrenzwerte für Hitzestress senkt, erhöht eine steigende Luftgeschwindigkeit diese [6].

In den USA werden häufig die Werte in Tab. 18 benutzt, um die gefühlte Temperatur abzuschätzen [17]. In dieser Tabelle ist anschaulich zu sehen, dass mit steigenden Windgeschwindigkeiten die gefühlte Temperatur sinkt. So müsste z.B. bei einer Temperatur von 32,2 °C und einer Luftfeuchtigkeit von 50 % die Luftgeschwindigkeit 2,5 m/s betragen, um eine gefühlte Umgebungstemperatur von 21,1 °C für die Tiere erreichen zu können. Dieser Wert liegt jedoch immer noch an der oberen Grenze der thermoneutralen Zone von Milchkühen.

Tab. 17: Wärmeabgabe und Wasserdampfabgabe einer Hochleistungskuh (700 kg Lebengewicht, nicht trächtig, 40 kg Milch pro Tag) [24]

Stalltemperatur [°C]	Gesamtwärmeproduktion [W]	Direkte Wärmeabgabe [W]	Wasserdampfproduktion [g/h]
-10	3418	2734	1005
0	2168	1730	643
5	1864	1474	574
10	1708	1316	577
15	1650	1201	661
20	1642	1068	845
25	1634	854	1148
30	1576	515	1562
35	1420	59	2002

In den beiden untersuchten Betrieben lag jedoch die Luftströmung im Liegebereich während des gesamten Untersuchungszeitraums meist deutlich unter 1 m/s (Abb. 25). Ähnliches trifft auch für Zeiten mit höheren Temperaturen (≥ 23 °C) zu (Abb. 39, Abb. 40 und Abb. 41). Höhere Geschwindigkeiten der Luftströmung wurden bei diesen Temperaturen in beiden Betrieben nur in Einzelfällen beobachtet. In Abb. 39 ist die Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit aller Daten dargestellt. In Abb. 40 und Abb. 41 ist die Verteilung nur von vollständigen Datensätzen zu sehen, d.h. wenn alle Sensoren (per Messreihe und Wetterstation) vorhanden waren.

Tab. 18: Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf die gefühlte Temperatur [4]

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

Obwohl die Windgeschwindigkeit im Betrieb B häufig deutlich höher als im Betrieb A war, lag die Luftströmung im Liegebereich von Betrieb B nicht wesentlich über der von Betrieb A. Die höheren Windgeschwindigkeiten im Betrieb B haben sich nur an der Luftströmung am Stallrand (am Futtertisch) ausgewirkt. Die Luftbewegung am Stallrand hat jedoch keinen Einfluss auf das Tier. Im Liegebereich war die Luftströmung deutlich niedriger als am Stallrand und lag meist unter 1 m/s. Das wiederum bedeutet für die untersuchten Betriebe, dass durch natürliche Luftströmung nicht unbedingt eine Verbesserung des Stallklimas an warmen Tagen zu erwarten ist.

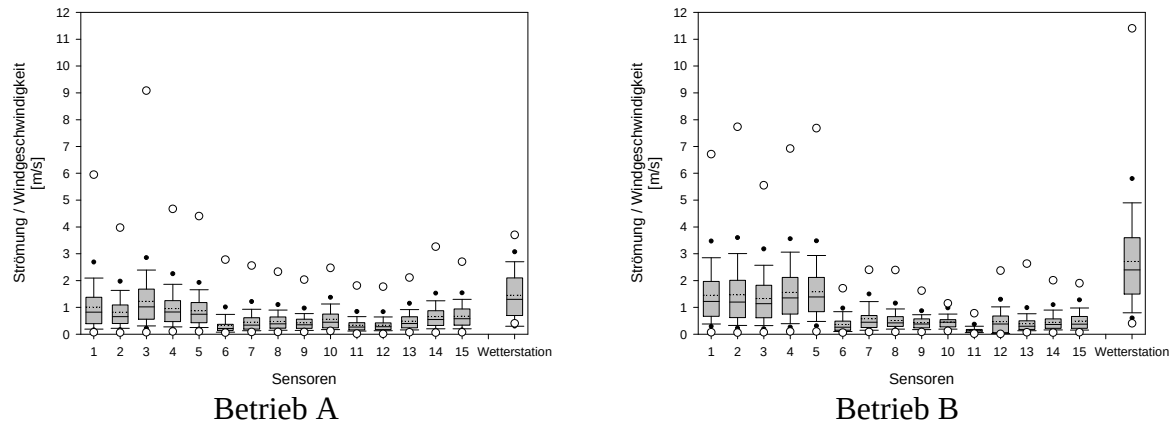


Abb. 39: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit bei Temperaturen über 23 °C (alle Daten)

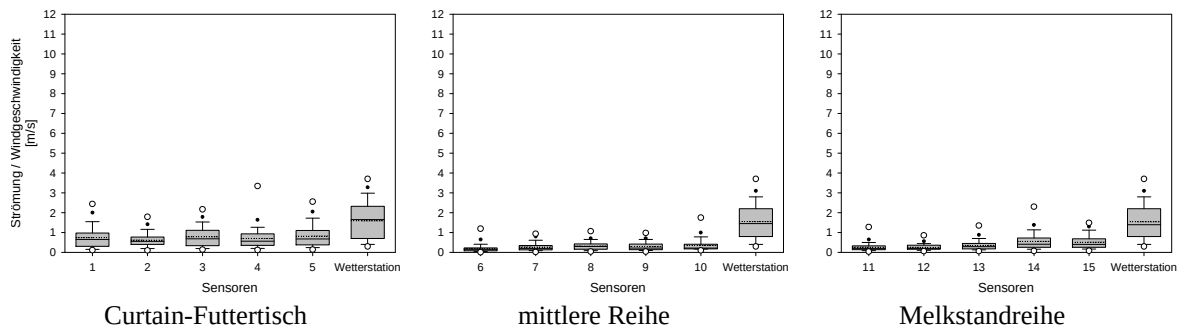


Abb. 40: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb A bei Temperaturen über 23 °C
(Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

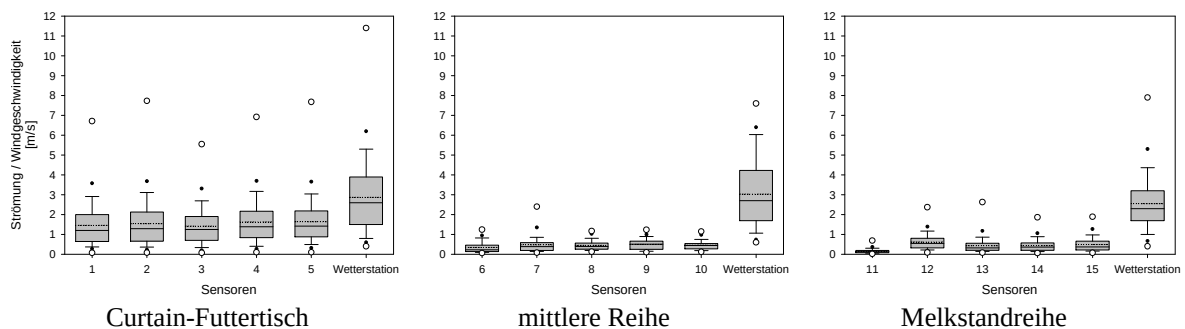


Abb. 41: Verteilung der Luftströmung im Stall und der Windgeschwindigkeit im Betrieb B bei Temperaturen über 23 °C
(Nur komplette Daten für alle Sensoren per Messreihe)

Der Einfluss der Luftströmung auf das Tier kann mit dem Parameter Abkühlungsgröße (AKG) berechnet werden [3]. Dabei wird für eine bestimmte Luftströmung die Wärmeabgabe bestimmt.

Berechnung der Abkühlungsgröße für Luftgeschwindigkeiten **unter** 1 m/s:

$$\text{AKG [W/m}^2\text{]} = (36,5 - \text{Temperatur}) \times (0,20 + 0,40 \times \sqrt{\text{Luftgeschwindigkeit}}). \quad (2)$$

Berechnung der Abkühlungsgröße für Luftgeschwindigkeiten **über** 1 m/s:

$$\text{AKG [W/m}^2\text{]} = (36,5 - \text{Temperatur}) \times (0,14 + 0,49 \times \sqrt{\text{Luftgeschwindigkeit}}). \quad (3)$$

In Tab. 19 ist die Abkühlungsgröße bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten und Temperaturen dargestellt. Diese Daten bestätigen die Vermutung, dass Luftströmung unter 1 m/s (wie es häufig während des Untersuchungszeitraums in den untersuchten Betrieben beobachtet wurde) bei hohen Temperaturen den Kühen nur eine geringe Wärmeabgabe durch Strömung ermöglicht. Darum sind bei hohen Temperaturen und niedrigen Windgeschwindigkeiten zusätzliche Kühlungs- bzw. Lüftungssysteme notwendig.

Tab. 19: Abkühlungsgröße [W/m²] bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten und Temperaturen (nach Formel 2 und 3 berechnet)

Temperatur [°C]	Luftgeschwindigkeit [m/s]																		
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-15	70,4	81,7	90,4	97,7	104,1	109,9	115,3	120,3	124,9	129,4	179,6	213,2	241,5	266,4	289,0	309,7	329,0	347,1	364,3
-10	63,6	73,8	81,6	88,2	94,0	99,3	104,1	108,6	112,8	116,8	162,2	192,5	218,0	240,6	260,9	279,7	297,1	313,4	328,9
-5	56,7	65,8	72,8	78,7	83,9	88,6	92,9	96,9	100,7	104,3	144,7	171,8	194,6	214,7	232,9	249,6	265,1	279,7	293,6
0	49,9	57,9	64,0	69,2	73,8	77,9	81,7	85,2	88,6	91,7	127,3	151,1	171,2	188,8	204,8	219,5	233,2	246,0	258,2
5	43,1	50,0	55,3	59,7	63,7	67,2	70,5	73,6	76,4	79,1	109,9	130,4	147,7	163,0	176,8	189,4	201,2	212,3	222,8
10	36,2	42,0	46,5	50,3	53,6	56,6	59,3	61,9	64,3	66,6	92,4	109,7	124,3	137,1	148,7	159,4	169,3	178,6	187,5
15	29,4	34,1	37,7	40,8	43,5	45,9	48,1	50,2	52,2	54,0	75,0	89,0	100,8	111,2	120,6	129,3	137,4	144,9	152,1
20	22,6	26,2	29,0	31,3	33,4	35,2	36,9	38,5	40,0	41,4	57,5	68,3	77,4	85,4	92,6	99,2	105,4	111,2	116,7
25	15,7	18,2	20,2	21,8	23,2	24,5	25,7	26,9	27,9	28,9	40,1	47,6	53,9	59,5	64,5	69,2	73,5	77,5	81,3
30	8,9	10,3	11,4	12,3	13,1	13,9	14,6	15,2	15,8	16,3	22,7	26,9	30,5	33,6	36,5	39,1	41,5	43,8	46,0
35	2,1	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,5	3,6	3,8	5,2	6,2	7,0	7,8	8,4	9,0	9,6	10,1	10,6

Die Wärmeabgabe ist jedoch nicht nur von der Windgeschwindigkeit, sondern auch von anderen Faktoren, wie z.B. der Feuchtigkeit des Felles der Tiere, abhängig. Bei nassem Fell ist die Wärmeabgabe höher als bei trockenem Fell. Darum verbessert an heißen Tagen Wassersprühung die Wärmeabgabe durch Verdunstung und in Kombination mit höherer Luftströmung (und so nicht nur durch Verdunstung, sondern auch durch Strömung) die Kühlung noch deutlicher.

5.1.5 Sonnenstrahlung

Die Sonnenstrahlung übt nicht nur auf der Weide einen Einfluss auf physiologische Anpassungsprozesse und Verhalten der Kühe aus, sondern kann dies auch im Stall tun. Dies erfolgt dabei nicht nur durch die Erwärmung des Stallinneren [31], sondern auch durch die direkte Strahlung auf das Tier.

Wenn Sonne direkt in den Stall scheinen kann, kann dies das Verhalten der Kühe beeinflussen. Bei hohen Temperaturen im Sommer suchen sie Schattenplätze auf, so dass durch die direkte Sonnenstrahlung die Nutzung von in der Sonne sich befindenden Liegeboxen verringert sein kann. Darum ist der Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung sehr wichtig, um die Hitzebelastung während des Sommers zu reduzieren. Andererseits ist die Sonneneinstrahlung an kalten Wintertagen bei Außenklimaställen für die Tiere angenehm und wird von diesen gesucht.

Die Sonneneinstrahlung in das Stallgebäude ist von der Exposition des Stallgebäudes zur Sonne [67], der Lage im Gelände, der Größe und der Position der Öffnungen sowie von der Tageszeit abhängig. Bei Nord-Süd ausgerichteten Stallgebäuden kann die Morgen- und Nachmittagssonne direkt in das Stallgebäude hineinscheinen. Im Betrieb A ist das der Fall. Die Nachmittagssonne ist dabei eher ungünstig. Das würde in diesem Betrieb dann die westliche Seite des Stallgebäudes betreffen, an der sich der Futtertisch befindet. In unserem Betrieb erreicht die Sonnenstrahlung jedoch die Fressplätze nur sehr spät am Nachmittag und die Liegeboxen noch später, wenn die Mittagshitzewelle schon vorbei ist. An dieser Seite des Stallgebäudes befindet sich jedoch auch der Curtain, mit dem es möglich ist, die Sonneneinstrahlung in den Stall zu regulieren.

Im Betrieb B liegt das Stallgebäude Nordost-Südwest orientiert. Darum kann während des Sommers direkte Sonnenstrahlung nur sehr spät am Nachmittag (wenn die Sonne tief genug steht) in den Stall gelangen.

In beiden Betrieben sind zusätzlich Dachlichtplatten eingebaut. Im Betrieb A sind diese an der Ostseite (1,5 m breit entlang des ganzen Stalls) angeordnet und im Betrieb B auf beiden Dachseiten (24 Stück (1 x 1,5 m) in zwei Reihen entlang des ganzen Stalls). Die Dachlichtplatten bringen zwar viel Licht (sie haben 85 % Lichtdurchlässigkeit) und damit auch Wärme in den Stall, aber das Sonnenlicht wird gestreut und kann nicht direkt auf die Tiere einwirken. Darum ist in beiden Betrieben ein größerer Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Tiere nicht zu erwarten.

5.2 Liegeboxenbelegung

Optimale Haltungsbedingungen sind eine wesentliche Voraussetzung für die Leistungsfähigkeit und Gesundheit der Tiere. Nur ein Tier, das sich in seiner Umgebung wohlfühlt, kann der vorzeitigen Merzung erfolgreich entgehen [54]. Liegeboxen und Laufflächen sind dabei die wichtigsten Funktionsbereiche.

Normalerweise liegen Kühe in Laufställen durchschnittlich zwischen 8 und 16 Stunden pro Tag [81] und sie teilen diese Zeit in 8,2 bis 14,1 Liegeperioden mit einer durchschnittlichen Dauer von 0,9 bis 1,4 Stunden je Liegeperiode ein [71]. Die restliche Zeit verbringen sie stehend oder laufend (vor dem Melkstand, am Futtertisch, in den Laufgängen oder im Laufhof). Wenn jedoch bei Haltungssystemen Teilbereiche, wie die Lauf-, Liegeflächen oder das Stallklima, fehlerhaft und deshalb ungünstig für die Rinder gestaltet sind, kann es zu Abweichungen vom Normalverhalten kommen. In der Folge verändert sich die Liegezeit auf Kosten anderer Verhaltenskreise (z.B. der Fresszeit) [55]. Zusätzlich sind mit verringerten Liegezeiten einige physiologische Änderungen verbunden, wie z.B. die Abnahme des Plasmaspiegels des Wachstumshormons [58], eine kurzfristige Zunahme des Kortisolplasmaspiegels und die Verbreitung von Lahmheit [49].

Um mögliche Einflüsse des Stallklimas in Außenklimaställen auf das Tierverhalten zu prüfen, wurde während des Untersuchungszeitraums in beiden Betrieben die Liegeboxenbelegung mit liegenden Tieren erfasst. Leider sind, wie bei den Strömungssensoren, auch bei den Ultraschallsensoren wegen technischer Probleme nicht alle Daten für den gesamten Untersuchungszeitraum vorhanden. Teilweise fehlen nicht nur Tagesabschnitte, sondern die Daten des gesamten Tages. Im Betrieb B sind bezogen auf den gesamten Untersuchungszeitraum nur etwa die Hälfte der beobachteten Tage komplett vorhanden. Im Betrieb A war die Aufzeichnung der Liegeboxenbelegung besser. Bei ungefähr 89 % der untersuchten Tage sind die Daten vollständig vorhanden.

5.2.1 Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung

Der Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung während des Untersuchungszeitraums ist für beide Betriebe in Abb. 42 dargestellt. Der Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung hat selbstverständlich viel mit dem natürlichen Rhythmus der Kühe (nach dem Fressen in Ruhe im Liegen wiederkauen) und den Haltungsbedingungen (z.B. Melkzeiten, Häufigkeit und Zeit der Futtervorlage) zu tun.

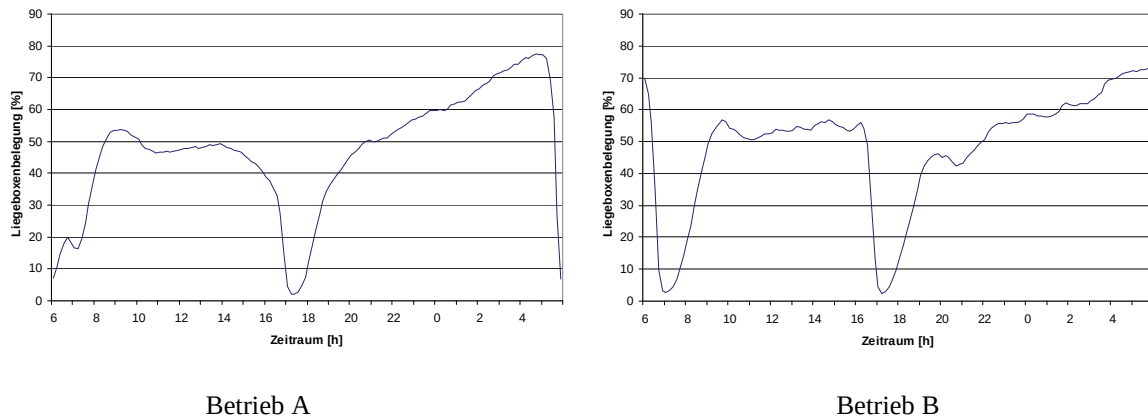


Abb. 42: Durchschnittliche Liegeboxenbelegung im Tagesverlauf

Die höchste Liegeboxenbelegung konnte in beiden Betrieben eindeutig in den späten Nachtstunden (vor dem Morgenmelken) beobachtet werden. Im Betrieb A waren jedoch während des Tages weniger Kühe in den Boxen als im Betrieb B. Nach dem Abendmelken und in den Nachtstunden war es umgekehrt (Tab. 20). Dies bestätigt auch die Relation der Liegeboxenbelegung während des Tages zu der während der Nacht. Während im Betrieb A die Liegeboxenbelegung während des Tages nur 68 % derjenigen in der Nacht war, wurden im Betrieb B 77 % erreicht.

Dieses unterschiedliche Muster im Liegeverhalten zwischen diesen zwei Betrieben kann mehrere Gründe haben. In beiden Betrieben wurden die Kühe zweimal pro Tag und etwa zur selben Zeit gemolken. Allerdings bekamen die Kühe im Betrieb A frisches Futter nur einmal täglich nach dem Morgenmelken, während es im Betrieb B zweimal täglich nach/oder während der Melkzeiten gegeben wurde. Darum kann es sein, dass die Kühe im Betrieb A länger oder in mehreren Fressphasen nach dem Morgenmelken fressen als die Kühe im Betrieb B, die das frische Futter auch am Abend bekommen. Außerdem haben sie im Betrieb A die Möglichkeit, den ganzen Tag einen Laufhof zu nutzen. Der Laufhof ist in diesem Betrieb gleichzeitig auch der Wartebereich vor dem Melkstand. Es ist bekannt, dass einzelne Kühe schon zeitig vor dem Melken den Wartebereich betreten. Dies würde den langsamen Abfall der Boxenbelegung vor dem Abendmelken in diesem Betrieb erklären. Außerdem ist zu erwarten, dass die Kühe den Laufhof auch während des Tages nutzen. Darauf weist die niedrigere Liegeboxenbelegung zwischen dem Morgen- und Abendmelken im Betrieb A hin. Im Gegensatz dazu hat Betrieb B keinen Laufhof und außerdem können die Kühe den Vorwartebereich vor dem Melkstand erst zu den Melkzeiten betreten.

Der Hauptgrund für das unterschiedliche Liegeverhalten der Kühe dieser zwei Betriebe scheint jedoch die unterschiedliche Futtervorlage zu sein. Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass eine einmal täglich frische Futtervorlage die Kühe veranlasst, anschließend (in diesem Fall nach dem Morgenmelken) aktiver zu sein, um größere Mengen fri-

sches Futter zu bekommen als bei einer täglich zweimaligen Fütterung, bei der die Futtermenge natürlich jeweils kleiner aber zweimal frisch vorgelegt wird. Ein Anzeichen hierfür mag sein, dass die Liegeboxenbelegung nach dem Abendmelken im Betrieb A mit täglich einmaliger Fütterung sehr schnell und höher ansteigt als im Betrieb B mit einer täglich zweimaligen Futtervorlage.

5.2.2 Tägliche Liegeboxenbelegung

Die Ergebnisse für die tägliche Liegeboxenbelegung sind als Mittelwerte pro 24 Stunden (6:00 Uhr bis 5:59 Uhr des nächsten Morgens) in Tab. 20 dargestellt.

Tab. 20: Liegeboxenbelegung während des Tages und in der Nacht

	Betrieb A (81 Tage)	Betrieb B (89 Tage)
Tägliche Liegeboxenbelegung [%]	47,1±2,4	48,3±3,7
Tag (6:00-17:59 Uhr) [%]	38,1±3,2	41,9±4,8
Abend und Nacht (18:00-5:59 Uhr) [%]	56,0±3,0	54,7±4,7
Relation Tag/Nacht	0,68	0,77
Kuhzahl [n]	86,9±2,7	93,7±7,6
Belegung des Stalls (Kuhzahl/Boxenzahl) [%]	88,7±2,8	92,7±7,5

Die Werte sind Mittelwerte ± SE.

Insgesamt lag die durchschnittliche tägliche Liegeboxenbelegung an den untersuchten Tagen im Betrieb A bei 47,1 % und im Betrieb B bei 48,3 % (Tab. 20). Der Maximalwert war 52,9 % im Betrieb A und 58,4 % im Betrieb B. Die Minimalwerte lagen bei 42,2 % im Betrieb A und bei 40,2 % im Betrieb B.

Auch wenn die durchschnittliche tägliche Liegeboxenbelegung im Betrieb B höher als im Betrieb A war (Tab. 20), bedeutet dies nicht unbedingt, dass die Kühe im Betrieb A tatsächlich weniger liegen. Natürlich muss noch die aktuelle Kuhzahl im Stall (d.h. die Belegung des Stalls) betrachtet werden. Im Betrieb A war der Stall während des gesamten Untersuchungszeitraums unterbelegt. Die durchschnittliche Belegung des Stalls (Tier – Liegeboxenverhältnis) betrug während der ausgewerteten untersuchten Tage 89 %. Dagegen war im Betrieb B der Stall zeitweise voll belegt, sogar überbelegt und zeitweise unterbelegt (die durchschnittliche Belegung des Stalls während der untersuchten Tage war 93 %). Das bedeutet, dass das Tier – Liegeboxenverhältnis im Betrieb B im Durchschnitt um 4 % höher lag, jedoch die durchschnittliche tägliche Liegeboxenbelegung nur um 1,2 % höher war.

Tägliche Liegeboxenbelegung der einzelnen Reihen

Die tägliche Liegeboxenbelegung der einzelnen Reihen ist in Tab. 21 und die der einzelnen Boxen in Abb. 45 (Betrieb A) und in Abb. 46 (Betrieb B) dargestellt. Die am meisten belegte Reihe war mit 50,1 % im Betrieb A bzw. 52,2 % im Betrieb B jeweils die Liegeboxenreihe am Futtertisch. Die Belegung dieser Reihe änderte sich im Betrieb B auch bei deutlich niedrigerer Kuhzahl im Stall nicht. Zusätzlich ist in Tab. 21 die durchschnittliche tägliche Liegeboxenbelegung in diesem Betrieb für zwei Perioden (bis 16.06. und ab 24.06.) dargestellt. Während dieser zwei Perioden wurde eine sehr unterschiedliche Kuhzahl im Stall beobachtet. Während die tägliche Liegeboxenbelegung in der mittleren Reihe

und der Reihe am Melkstand bei kleinerer Kuhzahl niedriger war, ist sie in der Reihe am Futtertisch ähnlich geblieben.

Die Liegeboxenreihe am Futtertisch gehörte außerdem auch zur schneller belegten Reihe nach dem Morgen- und Abendmelken. Außerdem war sie zwischen dem Morgen- und Abendmelken höher belegt als die zwei übrigen Reihen im Betrieb A (Abb. 43). Eine höhere Belegung der Futtertischreihe im Vergleich zu den übrigen Reihen wurde zwischen dem Morgen- und Abendmelken auch im Betrieb B beobachtet (Abb. 43). Dies traf für diese Reihe im Betrieb B auch während der ersten Stunden nach dem Abendmelken zu.

Tab. 21: Durchschnittliche tägliche Liegeboxenbelegung (%) der einzelnen Reihen

	Anzahl Tage	Kuhzahl			tägliche Liegeboxenbelegung		
		Mittelwert	Min	Max	Futtertischreihe	mittlere Reihe	Melkstandreihe
Betrieb A	81	86,9±2,7	82	92	50,1±4,0 ^a	44,6±4,1 ^b	46,5±5,0 ^c
Betrieb B							
gesamte Periode	89	93,7±7,6	80	102	52,2±4,7 ^a	49,7±4,1 ^b	42,9±5,4 ^c
bis 16.06.	56	99,3±1,6	96	102	52,7±4,8 ^{aA}	51,4±3,4 ^{aA}	44,8±5,4 ^{bA}
ab 24.06.	33	83,7±1,3	80	85	51,3±4,3 ^{aA}	46,9±3,6 ^{bB}	39,5±3,5 ^{cB}

Die Werte sind Mittelwerte ± SE.

^{a,b,c} Die Mittelwerte im Betrieb ohne gleiche Buchstaben waren signifikant unterschiedlich ($P \leq 0,05$).

^{A,B} Die Mittelwerte im Betrieb B zwischen Perioden ohne gleiche Buchstaben waren signifikant unterschiedlich ($P \leq 0,05$).

Die zweithäufigst belegte Liegeboxenreihe war im Betrieb A die Reihe am Melkstand und im Betrieb B die mittlere Reihe. Im Betrieb A zeigte die Melkstandreihe schon zwischen dem Morgen- und Abendmelken eine höhere Boxenbelegung als die mittlere Reihe und während der Abend- und Nachtstunden (nach 20 Uhr bis zum Morgenmelken) wurde die Melkstandreihe sogar höher als die am Futtertisch belegt (Abb. 43).

Im Betrieb B hatte die Melkstandreihe zwischen dem Morgen- und Abendmelken deutlich niedrigere Boxenbelegungen als die restlichen zwei Reihen. Auch nach dem Abendmelken blieb sie in dieser Reihe im Vergleich zu den anderen Reihen länger niedriger. Erst später (nach 21 Uhr) stieg die Liegeboxenbelegung der Melkstandreihe deutlich an und erreichte nach 23 Uhr eine ähnliche Boxenbelegung wie die mittlere Reihe und die Futtertischreihe. Vor dem Morgenmelken lag sie sogar über den anderen Reihen.

Die ausgewerteten Daten zeigen, dass in den Zeiten, in denen die Kühe besonders aktiv waren (nach der Futtervorlage zwischen dem Morgen- und Abendmelken), sie die Reihen nahe am Futtertisch bevorzugten. Während der Nachtstunden war kein Unterschied in der Liegeboxenbelegung einzelner Reihen zu erkennen (Betrieb B) oder die Liegeboxen der Reihe, die am weitesten vom Futtertisch entfernt war (die Melkstandreihe (Betrieb A)), wurde sogar stärker belegt.

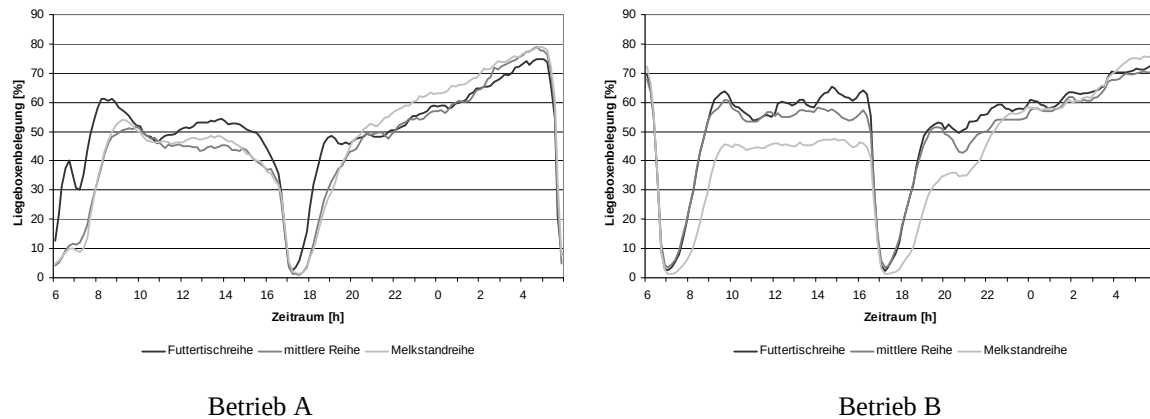
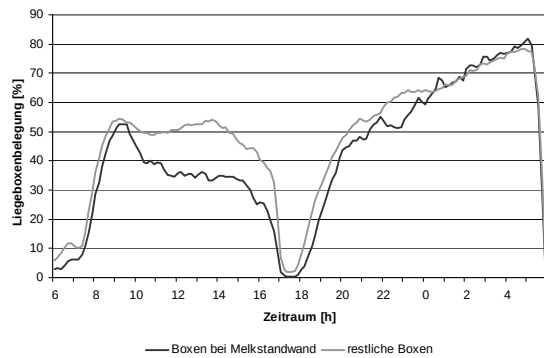


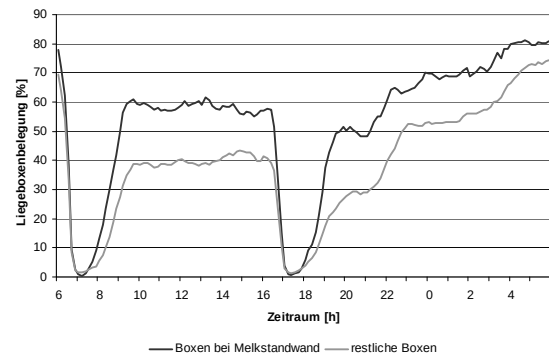
Abb. 43: Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung nach Reihen

Was die Boxen in der Melkstandreihe betrifft, sind im Betrieb A alle Boxen zur Wand hin ausgerichtet (die Wand ist im Melkstandbereich höher und am Laufhof niedriger). Im Betrieb B liegen jedoch die Liegeboxen teilweise zur Wand (Melkstandwand und Wand zum Gang) oder zum Vorwartebereich und zum Nachwartebereich (hier können die liegenden Kühe mit noch wartenden oder gerade gemolkenen Kühen Kontakt haben). Dies mag ein Grund sein, warum gerade im Betrieb B ein größerer Unterschied zwischen der täglichen Belegung der Boxen direkt bei der Melkstandwand ($52,8 \pm 7,1 \%$) und den restlichen Boxen ($38,4 \pm 5,8 \%$) beobachtet wurde. Der Tagesverlauf der Belegung der Boxen bei der Melkstandwand und den restlichen Boxen in der Melkstandreihe ist in Abb. 44 dargestellt. Dagegen waren es im Betrieb A gerade die Boxen bei der Melkstandwand, die eine niedrigere tägliche Boxenbelegung hatten ($41,7 \pm 9,7 \%$) als die restlichen Boxen in der gleichen Reihe ($48,4 \pm 4,4 \%$). Dieser Unterschied im Betrieb A war jedoch nicht so hoch ($6,7 \%$) wie im Betrieb B ($14,4 \%$). Auch wurde im Betrieb A dieser größere Unterschied zwischen den Liegeboxen bei der Melkstandwand und den restlichen Boxen überwiegend nur zwischen dem Morgen- und Abendmelken beobachtet. Vermutlich hat es mit der Lage diesen Boxen zu tun (sie liegen am Stallrand, weit weg von einem Durchgang zum Laufhof oder einem mittleren Durchgang zwischen Futtertisch und mittlerer Reihe). Zwischen dem Morgen- und Abendmelken wurde ohnehin eine niedrigere Liegeboxenbelegung beobachtet und wenn die Kühe vom Futtertisch oder vom Laufhof zum Liegen gehen, haben sie die Möglichkeit nähere leere Boxen zu nutzen.

Verwunderlich ist aber, warum im Betrieb B gerade die „restlichen Boxen“ in der Melkstandreihe (d.h. die, welche nicht zu Melkstandwand liegen) eine so deutlich niedrigere Liegeboxenbelegung als die Boxen direkt bei der Melkstandwand hatten. Ein Grund kann die Position der Kraftfutterstationen sein. Diese befinden sich im Betrieb B in der Melkstandreihe bei den „restlichen Boxen“ und gerade diese Boxen zeigten auch eine niedrigere Liegeboxenbelegung. Außerdem liegt die Mehrheit der „restlichen Boxen“ Richtung Vorwartebereich zum Melkstand.



Betrieb A



Betrieb B

Abb. 44: Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung für die Melkstandreihe getrennt für Boxen direkt an der Melkstandwand und die restlichen Boxen

Es kann auch sein, dass diese Boxen für die Kühe weniger attraktiv sind, weil sie während der Melkzeiten direkten Kontakt mit noch wartenden Tieren haben können und sie darum nach dem Melken zuerst freie Boxen in der Reihe am Futtertisch, in der mittleren Reihe oder an der Melkstandwand aufsuchen. Diesen Ablauf bestätigt Abb. 44. Die Boxen bei der Melkstandwand sind schneller und höher belegt (und das auch schon während des Melkens) als die „restlichen Boxen“ in dieser Reihe. Allerdings, sind im Betrieb B die „restlichen Boxen“ während des gesamten Tages unbeliebter als die bei der Melkstandwand.

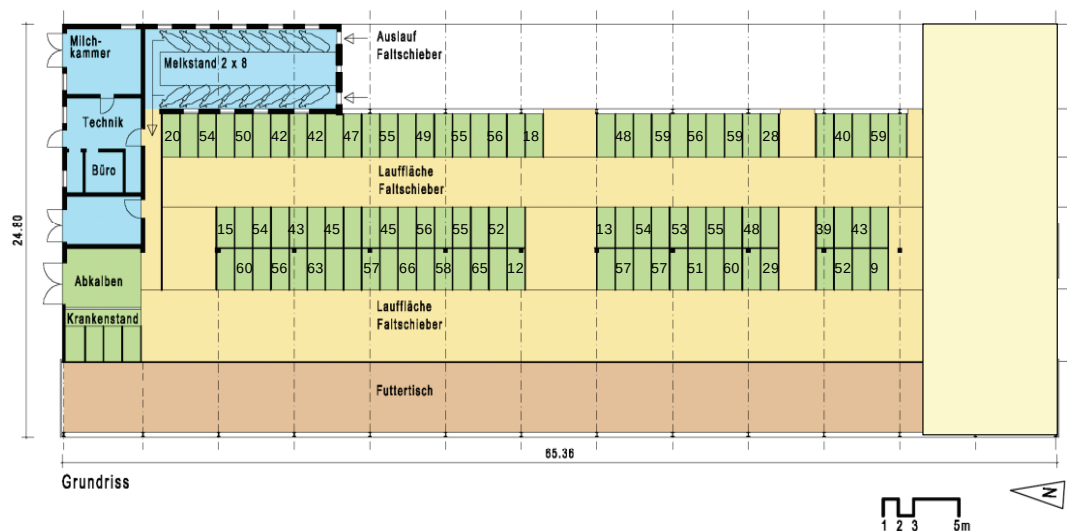


Abb. 45: Mittlere tägliche Liegeboxenbelegung für einzelne Boxen im Betrieb A

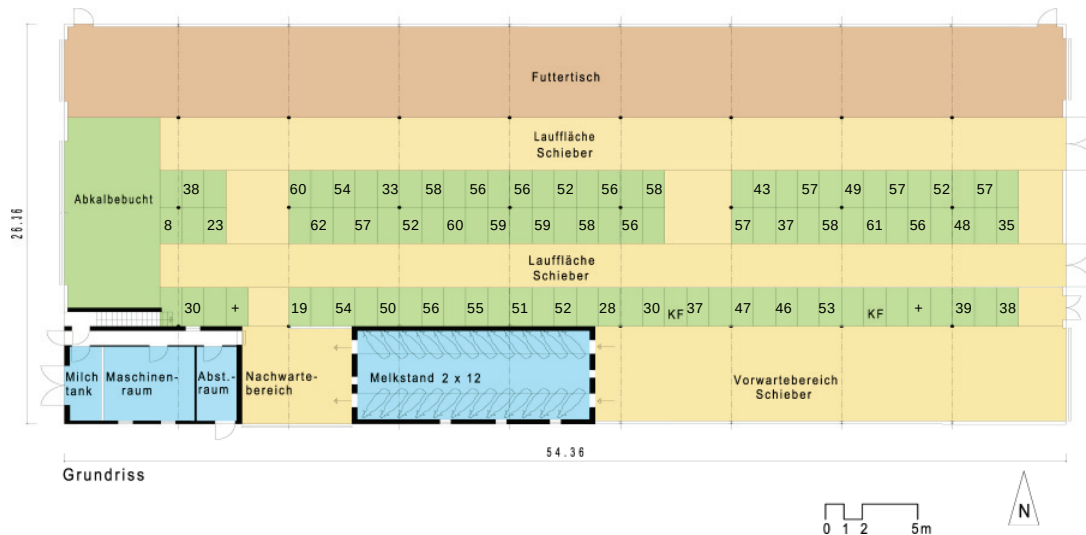


Abb. 46: Mittlere tägliche Liegeboxenbelegung für einzelne Boxen im Betrieb B

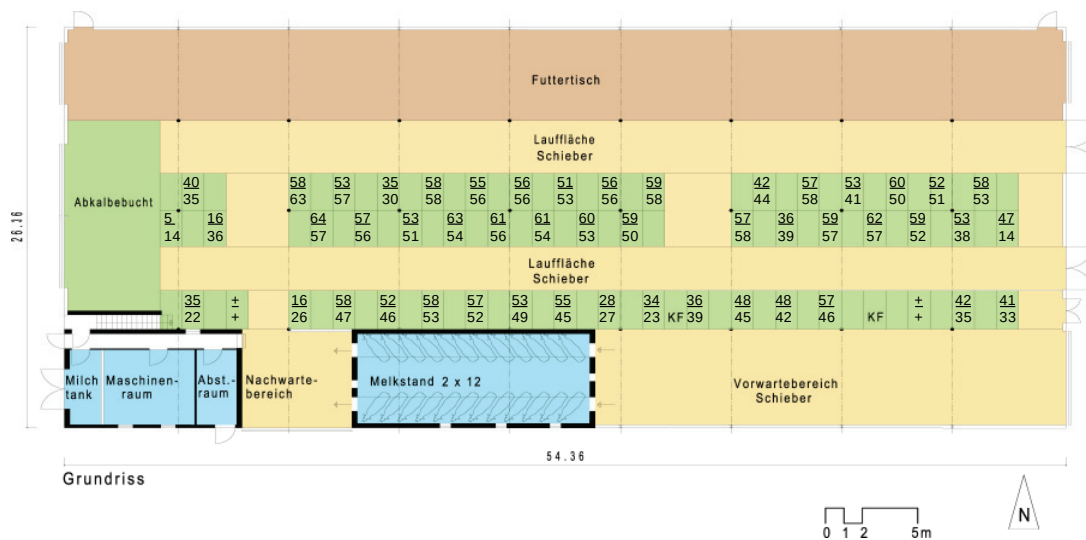


Abb. 47: Mittlere tägliche Liegeboxenbelegung für einzelne Boxen im Betrieb B (oberer Wert bis 16.06., unterer Wert ab 24.06.)

Randboxen, die zu den Durchgängen hin mit einer Bretterwand abgetrennt sind und damit weniger seitlichen Freiraum bieten, weisen meist eine niedrigere tägliche Liegeboxenbelegung auf. Dies trifft insbesondere für Betrieb A zu. Im Betrieb B ist dies differenzierter zu betrachten. Die niedrigste Liegeboxenbelegung konnte bei jenen Boxen in Nähe der Abkalbebuchte (Sackgasse) sowie am Melkstandaustrieb ermittelt werden. Die restlichen Randboxen in der mittleren Reihe und am Futtertisch wurden jedoch normal belegt

5.2.3 Liegeboxenbelegung und THI Einfluss

Hochleistungskühe fangen bereits an einem durchschnittlichen Sommertag ab Temperaturen von ungefähr 24 °C im Schatten und mit rund 70 % Luftfeuchte an, unter Hitzestress zu leiden [44]. Besonders belastend sind für die Kühe schwüle Sommertage. Die Tiere versuchen dann mit allen Mitteln, die Abgabe der Körperwärme zu verbessern und weniger Körperwärme zu erzeugen. Gelingt dies nicht, wird der Hitzestress immer größer und irgendwann kann (bei großer Hitze und hoher Luftfeuchtigkeit) der Tod infolge Überhitzung eintreten.

Die Kühe reagieren bei extremen Temperaturen (sehr tiefen oder sehr hohen) durch physiologische Anpassungsprozesse. Um die Wärmeproduktion zu reduzieren, verringern sie bei Hitzestress die Futteraufnahme (DMI) und in der Folge sinkt auch die Milchleistung. Auch die Zusammensetzung der Milch kann beeinflusst werden. Die Kühe reagieren jedoch nicht sofort mit allen physiologischen Reaktionen auf die Hitzebelastung. So sind Änderungen in der Milchleistung, in der Zusammensetzung der Milch, der somatischen Zellzahl in der Milch oder der Trockenmasseaufnahme (DMI) mit einer Verzögerung von 2 bis 3 Tagen zu beobachten [10, 79].

Mit Veränderungen im Verhalten reagieren die Kühe jedoch schnell. Bei extremer Hitze liegen sie weniger [30] und suchen Bereiche mit Schatten und mit hoher Luftbewegung (Laufgänge) auf. Andererseits versuchen die Kühe bei sehr niedrigeren Temperaturen durch längere Liegezeiten [29] ihre Körperoberfläche zu verringern und meiden hohe Luftbewegungen. Darum wurde das Liegeverhalten der Kühe in unserer Studie untersucht.

5.2.3.1 Einfluss des THI und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung

Die Tagesmittelwerte für Liegeboxenbelegung und THI innen und sowie aktuelle Kuhzahl während der Untersuchungszeiträume sind in beiden Betrieben in Abb. 48 dargestellt. Um den Einfluss des THI auf die Liegeboxenbelegung bestimmen zu können, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Dabei wurde der Effekt des THI als THI-Tagesmittelwert, THI-Tagesmaximum und THI-Tagesminimum getestet. Der THI-Tagesmittelwert wurde ebenso wie bei der täglichen Liegeboxenbelegung als Mittelwert eines 24 Stunden Tages (6:00 Uhr bis 5:59 Uhr des nächsten Tages) berechnet.

Es ist zu erwarten, dass die Liegeboxenbelegung im Stall auch von der Kuhzahl abhängig ist. Im Betrieb A schwankte die Kuhzahl während des Untersuchungszeitraums nur um etwa 10 Kühe (von 82 bis 92 (Abb. 48)). Im Durchschnitt waren während der für die tägliche Liegeboxenbelegung ausgewerteten Tage $86,9 \pm 2,7$ Kühe im Stall (Tab. 20). Im Betrieb B schwankte die Kuhzahl jedoch während des Untersuchungszeitraums deutlicher (Abb. 48). Während in den ersten vier Monaten (Februar bis Mai) mit nur leichten Schwankungen um 100 (± 2) Kühe und auch Anfang Juni noch beinahe 100 Kühe im Stall standen, fiel danach die Kuhzahl sehr deutlich ab, so dass in der letzten Juniwoche und im Juli die maximale Kuhzahl nur 85 betrug.

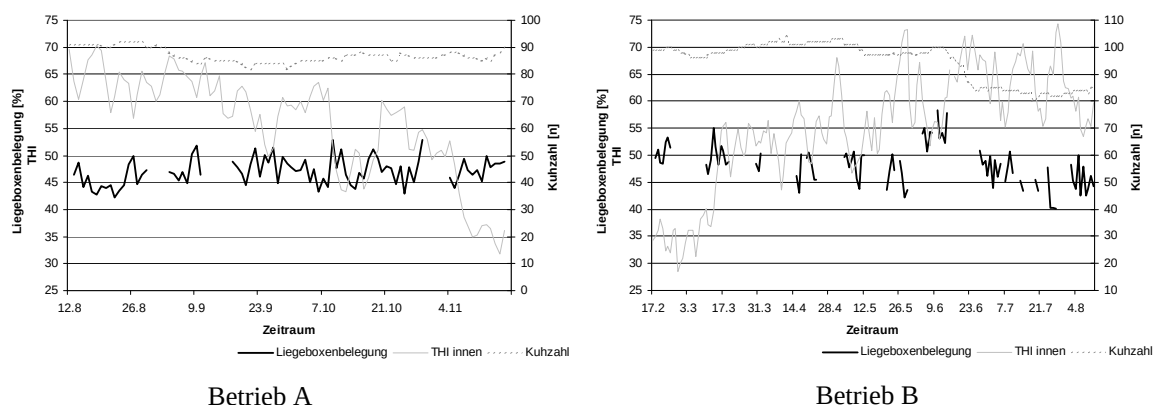


Abb. 48: Tagesmittelwerte für Liegeboxenbelegung und THI innen sowie aktuelle Kuhzahl während der Untersuchungszeiträume

Da die Kuhzahl während des Untersuchungszeitraums in beiden Betrieben schwankte, wurde sie bei der Bestimmung des Stallklimaeinflusses auf die Liegeboxenbelegung in beiden Betrieben zusammen mit dem THI innen in das Regressionsmodell aufgenommen. Die Regressionskoeffizienten für die getesteten Modelle sind in Tab. 22 dargestellt.

Tab. 22: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung im Betrieb A und B abschätzen

	THI innen					
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum	
Betrieb A (81 Tage*)		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>
R ²	0,18	0,0004	0,19	0,0003	0,17	0,0007
Achsenabschnitt	74,15 $\pm$ 8,12	< 0,0001	74,21 $\pm$ 8,10	< 0,0001	74,30 $\pm$ 8,18	< 0,0001
THI	-0,06 $\pm$ 0,03	0,0159	-0,06 $\pm$ 0,02	0,0122	-0,06 $\pm$ 0,03	0,0318
Kuhzahl	-0,27 $\pm$ 0,10	0,0057	-0,27 $\pm$ 0,09	0,0053	-0,28 $\pm$ 0,10	0,0050
Betrieb B (88 Tage*)						
R ²	0,26	0,0001	0,27	0,0001	0,25	< 0,0001
Achsenabschnitt	33,44 $\pm$ 6,59	< 0,0001	35,21 $\pm$ 6,81	< 0,0001	30,69 $\pm$ 6,39	< 0,0001
THI	-0,06 $\pm$ 0,04	0,1217	-0,07 $\pm$ 0,04	0,0741	-0,04 $\pm$ 0,04	0,2869
Kuhzahl	0,20 $\pm$ 0,05	0,0006	0,19 $\pm$ 0,05	0,0008	0,21 $\pm$ 0,05	0,0002

* Nur Tage mit kompletten Daten. Durchschnittliche Kuhzahl war während dieser Tage im Betrieb A 86,9 $\pm$ 2,7 (82-92) und im Betrieb B 93,7 $\pm$ 7,6 (81-102).

Der Effekt war signifikant, wenn $P\text{-Wert} \leq 0,05$ war.

Die tägliche Liegeboxenbelegung wurde in beiden Betrieben signifikant von der Kuhzahl beeinflusst (Tab. 22). Während im Betrieb A dieser Effekt bei getesteter Kuhzahl negativ war, war er im Betrieb B positiv. Der THI innen (Tagesmittelwert, Tagesmaximum und auch Tagesminimum) hatte nur im Betrieb A einen signifikanten Effekt auf die tägliche Liegeboxenbelegung. Mit steigendem THI innen sank die tägliche Liegeboxenbelegung ab. Dabei ist der Anteil, der durch das Modell erklärt werden kann, beim THI-Tagesmaximum der Stallwerte mit $R^2=0,19$ am höchsten. Im Betrieb B hatte der THI innen keinen signifikanten Effekt auf die tägliche Liegeboxenbelegung. Nur beim THI-Tagesmaximum ($P = 0,0741$) war eine Tendenz zu beobachten.

Schon frühere Studien haben gezeigt, dass sich Kühe von unterschiedlichen Bauernhöfen in ihren physiologischen und ethologischen Antworten auf gegebene klimatische Verhältnisse unterscheiden [82]. Auch die Kuhzahl scheint einen Einfluss in den untersuchten Betrieben zu haben.

Da die Kuhzahl im Betrieb B sehr schwankte, wurde der THI Einfluss auf die tägliche Liegeboxenbelegung einzeln für zwei Perioden untersucht. Während der ersten Periode lag die Belegung des Stalls zwischen 0,95 und 1,01 und während der zweiten zwischen 0,80 und 0,84. Der THI hatte nur als Maximum einen signifikanten Einfluss auf die tägliche Liegeboxenbelegung und dies nur während der ersten Periode. Der Kuhzahl hatte während der ersten Periode (d.h. bei hoch belegtem Stall) keinen signifikanten Einfluss auf die tägliche Liegeboxenbelegung. Während der zweiten Periode (d.h. bei niedriger belegtem Stall) stieg jedoch die Liegeboxenbelegung mit der Kuhzahl deutlich an. Es scheint, dass bei unterschiedlicher Belegung des Stalls, die Kuhzahl ebenfalls einen unterschiedlichen Einfluss auf die Liegeboxenbelegung ausüben kann.

Tab. 23: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE nach Perioden getrennt für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung im Betrieb B abschätzen

	THI innen					
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum	
bis 14.06. (56 Tage*)		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>
R ²	0,05	0,2505	0,08	0,1225	0,02	0,5247
Achsenabschnitt	63,94 $\pm$ 29,95	0,0374	67,93 $\pm$ 29,73	0,0264	61,17 $\pm$ 30,36	0,0490
THI	-0,08 $\pm$ 0,05	0,1000	-0,10 $\pm$ 0,05	0,0423	-0,05 $\pm$ 0,05	0,2653
Kuhzahl	-0,10 $\pm$ 0,30	0,7278	-0,13 $\pm$ 0,30	0,6665	-0,09 $\pm$ 0,30	0,7588
nur THI im Model						
R ²	0,05		0,08		0,02	
Achsenabschnitt	53,50 $\pm$ 2,39	< 0,0001	55,09 $\pm$ 2,70	< 0,0001	51,83 $\pm$ 2,06	< 0,0001
THI	-0,08 $\pm$ 0,05	0,1022	-0,10 $\pm$ 0,05	0,0442	-0,05 $\pm$ 0,05	0,2721
ab 24.06. (32 Tage*)						
R ²	0,30	0,0054	0,31	0,0051	0,31	0,0053
Achsenabschnitt	-76,68 $\pm$ 35,25	0,0379	-78,57 $\pm$ 35,07	0,0329	-78,31 $\pm$ 35,94	0,0376
THI	0,01 $\pm$ 0,09	0,9431	0,03 $\pm$ 0,09	0,7361	0,02 $\pm$ 0,09	0,8366
Kuhzahl	1,48 $\pm$ 0,41	0,0014	1,46 $\pm$ 0,41	0,0013	1,47 $\pm$ 0,42	0,0014

* Nur Tage mit kompletten Daten. Die durchschnittliche Kuhzahl bis 14.06. war 99,3 $\pm$ 1,6 (96-102) und von 24.06. 83,8 $\pm$ 1,1 (81-85).

Der Effekt war signifikant, wenn $P\text{-Wert} \leq 0,05$ war.

Der Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung für die zwei untersuchten Perioden im Betrieb B ist in Abb. 49 dargestellt. Die durchschnittliche tägliche Liegeboxenbelegung betrug während der ersten Periode 49,6 $\pm$ 3,4 % und während der zweiten Periode 46,0 $\pm$ 3,0 %. Dieser Unterschied zwischen den beiden Perioden ist mit 3,6 Prozentpunkten relativ gering, obwohl die Kuhzahl fast um 16 Tiere bzw. etwa 16 Prozentpunkten geringer war. Werden die 49,6 % durchschnittliche tägliche Liegeboxenbelegung auf eine Boxe bzw. Kuh bezogen, bedeutet dies, dass im Durchschnitt jede Boxe 11,9 Stunden pro Tag belegt wurde. Bei 101 Boxen und im Durchschnitt 99,3 Kühe im Stall betrug die Liegezeit pro Kuh und Tag ungefähr 12,1 Stunden. Bei 46,0 % täglicher Liegeboxenbelegung und einer Kuhzahl von 83,8 steigt die Liegezeit auf 13,3 Stunden pro Kuh und Tag an. Das bedeutet, dass bei niedrigerer Stallbelegung die Liegezeit pro Kuh und Tag ungefähr um 1,2 Stunden länger war.

Der Unterschied zwischen diesen zwei Perioden war in den frühen Morgenstunden (von 2 bis 4:59 Uhr, d.h. während der höchsten Boxenbelegung) kleiner (4 Prozentpunkten). Während der ersten Periode betrug die durchschnittliche Liegeboxenbelegung in den frühen Morgenstunden 67,5 % ($\pm$ 5,7 %). Das bedeutet, dass im Durchschnitt 69 % ($\pm$ 6 %) der Kühe gleichzeitig lagen. In der zweiten Periode waren 63,1 % ($\pm$ 7,0 %) der Boxen belegt. Daraus errechnet sich, dass im Durchschnitt 76 % ($\pm$ 8 %) der Kühe bzw. um 8 %-Punkte mehr Kühe als in der ersten Periode gleichzeitig während dieser drei frühen Morgenstunden lagen.

Das Liegeverhalten der Kühe erfolgt meist synchron. Es ist bekannt, dass rangniedere Tiere erst dann normale (keine gravierende Abweichungen zeigen) Liegezeiten haben, wenn mindestens 10 % mehr Boxen als Tiere vorhanden sind, da sie gewisse Mindestdistanzen zu ranghöheren Tieren einhalten und da diese Tiere im Allgemeinen von ranghöheren häufiger aufgescheucht werden, insbesondere wenn nur noch wenige oder keine Liegeplätze

mehr frei sind. Dies könnte die Ursache für den Unterschied in der Liegeboxenbelegung zwischen den zwei Perioden mit unterschiedlicher Kuhzahl erklären. Die Ergebnisse bestätigen, dass bei höherem Tier-Liegeboxen Verhältnis weniger Kühe und bei niedrigerem Verhältnis mehr Kühe lagen. Für den Tierverkehr im Stall bedeutet dies, dass bei fixer Anzahl an Liegeboxen und niedrigerer Kuhzahl mehr Platz und eine größere Boxenauswahl für einzelne Tiere vorhanden ist und deshalb weniger Konflikte und Rangkämpfe zwischen den Tieren zu erwarten sind.

Hinzu kommt, dass bei niedrigerem Tier-Liegeboxen-Verhältnis (in diesem Fall 0,80-0,84:1 während zweiter Periode) nicht nur jede Kuh ungehindert eine Liegebox zum Hinlegen fand, sondern auch die Kuhzahl während dieser Periode innerhalb einer Spannweite lag, in der die Anzahl der Melkgänge gleich war (d.h. keine oder nur kleine Verlängerung der Melkzeiten und so auch Wartezeit für die Kühe). In der Folge steigt während dieser Periode bei angegebener Stallbelegung mit zunehmender Kuhzahl auch die Liegeboxenbelegung.

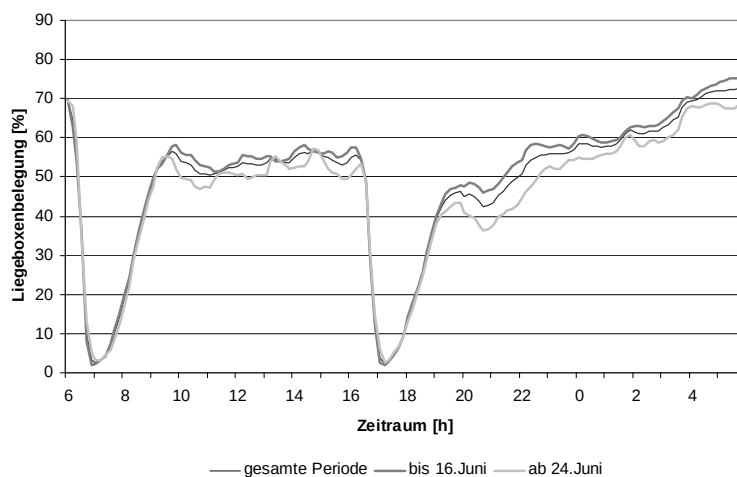


Abb. 49: Tagesverlauf der Liegeboxenbelegung im Betrieb B während der gesamten Untersuchungsperiode sowie in den Perioden bis 16. Juni und ab 24. Juni

5.2.3.2 Einfluss des THI auf die Liegeboxenbelegung während des Tages und in der Nacht

Da sich das Stallklima im Tagesverlauf ändert, stellt sich die Frage, ob die Liegeboxenbelegung nur zu bestimmten Tageszeiten durch den THI beeinflusst wurde. Darum wurde der Einfluss des THI auf die Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) und in der Nacht (21:00-04:59 Uhr) getestet.

Liegeboxenbelegung während des Tages

Die Liegeboxenbelegung wurde während des Tages (11:00-14:59 Uhr) nur im Betrieb A durch den Tages-THI (Mittelwert, Maximum, Minimum und auch THI-Mittelwert von 11:00-14:59) beeinflusst. Die Kuhzahl hatte dabei keinen signifikanten Einfluss auf die Liegeboxenbelegung.

Im Betrieb B hatten beide Faktoren während des Tages keinen Einfluss auf die Liegeboxenbelegung (Tab. 25). Wenn die beiden Perioden (bis 16.06 und ab 24.06) des Untersuchungszeitraums im Betrieb B betrachtet werden, hatte nur die Kuhzahl einen Einfluss auf die Liegeboxenbelegung während des Tages und dies auch nur während der zweiten Periode.

Das bedeutet, dass der THI nur im Betrieb A einen Einfluss auf das Liegeverhalten der Kühe während des Tages hatte. Dabei sank mit steigendem THI die Liegeboxenbelegung. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in einer anderen Studie beobachtet, bei der sich die Liegedauer während des Tages mit einem ansteigenden THI erheblich verringerte [82]. Es ist auch bekannt, dass an heißen Tagen die Kühe einen Aufenthalt im schattigen Außenbereich bevorzugen oder Ställe mit niedrigeren Temperaturen aufsuchen [13]. Im Betrieb A hatten die Kühe die Möglichkeit einen Laufhof zu nutzen, der an der Ostseite des Stallgebäudes angeordnet ist. Dieser Laufhof liegt am Nachmittag (heißeste Stunden) im Schatten und weil er sich außerhalb des Stallgebäudes befindet und deshalb dort auch eine höhere Luftströmung als im Stallgebäude anzutreffen ist, verschafft er den Tieren eine zusätzliche Abkühlung. Darum wird vermutet, dass die Kühe den schattigen Laufhof bei hohen Temperaturen intensiv genutzt haben und in Folge dessen eine niedrigere Boxenbelegung festgestellt werden konnte. Möglicherweise nutzten die Kühe im Betrieb A bei schönem Wetter den Laufhof generell mehr, so dass auch darum eine niedrigere Boxenbelegung während des Tages zu beobachten war. Leider liegen keine Daten über die Laufhofnutzung in Abhängigkeit von der Witterung vor.

Es ist erstaunlich, warum gerade im Betrieb B kein Zusammenhang zwischen dem THI und dem Liegeverhalten der Kühe während des Tages festgestellt werden konnte. Zumal gerade in diesem Betrieb mehr extreme Klimaverhältnisse (sehr tiefe und hohe Temperaturen) beobachtet wurden. Hierfür können mehrere Gründe angeführt werden. Zunächst ist es notwendig, das Haltungssystem in seiner Gesamtheit mit den vielen Einflussfaktoren zu betrachten. Dazu kommen noch andere Klimafaktoren, wie z.B. Luftströmung und Sonneneinstrahlung in das Stallgebäude, physiologische Faktoren, wie z.B. Milchleistung, hinzu. Die Luftströmung ist für die Wärmeabgabe sehr wichtig. Während des Untersuchungszeitraums wurde die Luftströmung im Stall zwar erfasst. Leider konnte der Einfluss der Luftströmung auf die Liegeboxenbelegung wegen häufiger Ausfälle der Strömungssensoren nicht exakt ermittelt werden. Allerdings lag, wie die ausgewerteten Daten zeigen, die Luftströmung im Stall meist unter 1 m/s. In Folge dessen ist eine deutliche und dauerhafte Verbesserung des Stallklimas durch eine erhöhte Luftströmung ohne mechanische Ventilatoren nicht zu erwarten. Die direkte Sonneneinstrahlung in das Stallgebäude konnte die Nutzung der betroffenen Stallbereiche beeinflussen (dabei erhöht direkte Sonnenstrahlung an heißen Tagen den Hitzestress, ist jedoch an kalten Tagen für die Tiere angenehm). Um die Mittagszeit (11 bis 13 Uhr) ist jedoch in den Sommermonaten bei den untersuchten Betrieben nicht mit einer direkten Sonneneinstrahlung in den Stall zu rechnen.

Weitere zu berücksichtigende Faktoren sind die Milchleistung und der Zeitpunkt bzw. die Stallklimaverhältnisse während der Futteraufnahme. Erstere lag im Betrieb A höher als im Betrieb B, so dass die Wärmeproduktion der Kühe und damit auch der Hitzestress ebenfalls höher gewesen sein dürften. Es ist bekannt, dass sich die Wärmeproduktion während und nach der Futteraufnahme erhöht [11]. Auswirkungen einer einmaligen oder zweimaligen Futtervorlage auf die Gesamtwärmeproduktion und damit auf den Hitzestress sind uns nicht bekannt. Findet jedoch durch eine konsequente Aufteilung der Futtervorlage auf die Morgen- und Abendstunden auch die Futteraufnahme der Kühe überwiegend an diesen Zeiten statt, wie dies durch die zweimalige Futtervorlage im Betrieb B der Fall war, so konnte durch die niedrigere Futtervorlagemenge je Futterzeit ebenfalls eine niedrigere Futteraufnahme während der ersten Tageshälfte erfolgen. Damit verbunden ist eine niedrigere Wärmeproduktion, da weniger Futter während der heißen Stunden verdaut werden muss als bei einmaliger Morgenfuttervorlage. Die Futteraufnahme in den kälteren Stunden des Tages (z.B. in den Abend- und Nachtstunden) ermöglicht dann (z.B. durch Leitung oder Strahlung) eine bessere Wärmeabgabe vom Körper an die Umgebung als durch die

Verdunstung [11]. Auch konnte nachgewiesen werden, dass eine reduzierte Energiedichte des Futters und/oder die Vorlage des Futters erst spät am Nachmittag vorteilhaft sein kann, um eine Hitzebelastung an heißen Tagen bei Färsen und Bullen zu verringern [11, 21]. Eine Futtervorlage in den späten Abendstunden (nach 20 Uhr) hatte jedoch bei Kühen keinen signifikanten Einfluss auf Milchleistung, Wasser- oder Trockenmasseaufnahme gezeigt [59].

Was die Versuche über die Energiedichte betrifft, muss jedoch betont werden, dass es sich dabei um eine niedrige Futteraufnahme handelte. Rationen mit einem hohen Anteil an Ballaststoffen können dagegen die Wärmeproduktion erhöhen, wie es in der Arbeit von Coppock et al. [20] demonstriert wurde. Wenn die Kühe mit einer Ration gefüttert wurden, die 100, 75 bzw. 50 % Luzerne sowie Mais und Sojabohnenmehl als restliche Komponenten enthalten hatte, war die Effizienz der Umsetzung von ME zur Milch 54, 61 bzw. 65 %. Die Wärmeproduktion lag dabei bei 699, 647, bzw. 620 kcal pro Megakalorie ME für die Ration mit 100, 75 bzw. 50 % Luzerne. In einer anderen Studie [63] wurden wachsende Färsen mit einer Pellet-Ration, die 75 % oder 25 % Luzerne enthalten hatte, gefüttert. Dabei produzierten sie 48.8 bzw. 45.5 MJ/Tag Wärme. Bei niedriger und hoher Trockenmasseaufnahme (4.2 und 7.1 kg/Tag DMI) waren es 38.2 und 56.1 MJ Wärme pro Tag. Folglich hat die Trockenmasseaufnahme einen erheblichen Effekt auf die Wärmeproduktion und muss deshalb bei der Ernährung von Milchkühen und bei der Klimatisierung von Milchviehställen berücksichtigt werden [78].

Tab. 24: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) abschätzen

	THI innen							
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum		Mittelwert 11:00-14:59	
Betrieb A*		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>
R ²	0,10	0,0190	0,11	0,0112	0,08	0,0352	0,10	0,0144
Achsenabschnitt	76,81 $\pm$ 17,15	< 0,0001	76,90 $\pm$ 17,03	< 0,0001	77,13 $\pm$ 17,28	< 0,0001	75,17 $\pm$ 17,19	< 0,0001
THI	-0,13 $\pm$ 0,05	0,0243	-0,12 $\pm$ 0,05	0,0133	-0,12 $\pm$ 0,06	0,0498	-0,10 $\pm$ 0,05	0,0177
Kuhzahl	-0,25 $\pm$ 0,20	0,2088	-0,25 $\pm$ 0,20	0,2105	-0,27 $\pm$ 0,20	0,1890	-0,24 $\pm$ 0,20	0,1960
Betrieb B*								
R ²	0,04	0,1570	0,05	0,1266	0,04	0,1931	0,05	0,0756
Achsenabschnitt	44,56 $\pm$ 15,44	0,0049	48,13 $\pm$ 15,98	0,0034	40,16 $\pm$ 14,89	0,0084	47,04 $\pm$ 15,5	0,0084
THI	-0,07 $\pm$ 0,09	0,4443	-0,10 $\pm$ 0,09	0,3143	-0,04 $\pm$ 0,09	0,6775	-0,09 $\pm$ 0,09	0,3358
Kuhzahl	0,14 $\pm$ 0,13	0,2734	0,12 $\pm$ 0,13	0,3327	0,16 $\pm$ 0,13	0,2002	0,13 $\pm$ 0,13	0,3076

* Nur Tage mit kompletten Daten (Betrieb A 81 Tage und Betrieb B 88 Tage). Durchschnittliche Kuhzahl während dieser Tage war im Betrieb A 86,9 $\pm$ 2,7 (82-92) und im Betrieb B 93,7 $\pm$ 7,6 (81-102).

Der Effekt war signifikant, wenn P-Wert $\leq$ 0,05 war.

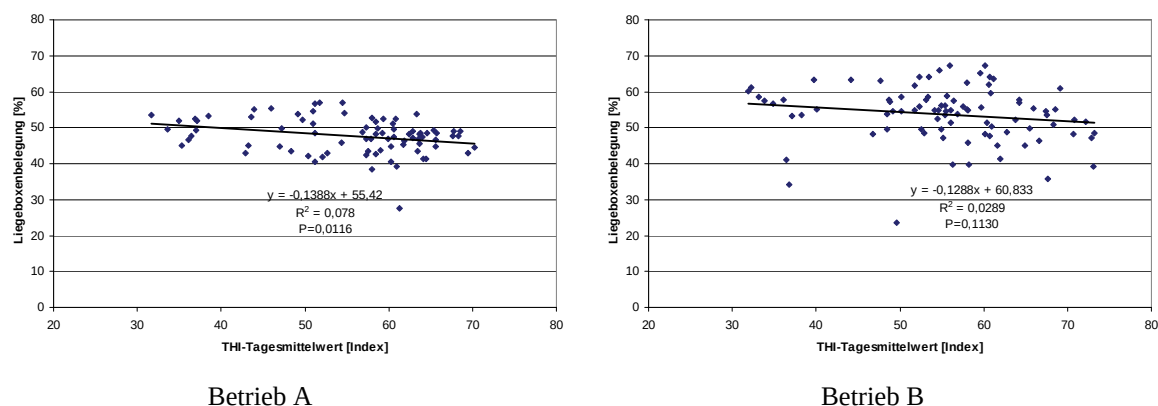


Abb. 50: Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) in Abhängigkeit vom THI-Tagesmittelwert

Tab. 25: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) im Betrieb B abschätzen

	THI innen							
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum		Mittelwert 11:00-14:59	
bis 16.06.*		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>
R ²	0,01	0,8745	0,01	0,7583	0,0008	0,9787	0,01	0,7685
Achsenabschnitt	52,68 $\pm$ 72,72	0,4720	52,29 $\pm$ 72,97	0,4359	48,54 $\pm$ 72,85	0,5081	56,58 $\pm$ 72,87	0,4410
THI	-0,06 $\pm$ 0,11	0,6153	-0,08 $\pm$ 0,11	0,4644	-0,02 $\pm$ 0,11	0,8636	-0,08 $\pm$ 0,11	0,4757
Kuhzahl	0,05 $\pm$ 0,72	0,9456	0,02 $\pm$ 0,72	0,9748	0,07 $\pm$ 0,73	0,9232	0,03 $\pm$ 0,72	0,9705
ab 24.06.*								
R ²	0,24	0,0187	0,23	0,0161	0,23	0,0236	0,23	0,0207
Achsenabschnitt	-147,30 $\pm$ 79,20	0,0731	-146,51 $\pm$ 78,56	0,0723	-146,17 $\pm$ 81,46	0,0832	-149,77 $\pm$ 79,33	0,0691
THI	-0,21 $\pm$ 0,19	0,2837	-0,24 $\pm$ 0,19	0,2301	-0,17 $\pm$ 0,20	0,4064	-0,18 $\pm$ 0,18	0,3314
Kuhzahl	2,53 $\pm$ 0,92	0,0104	2,56 $\pm$ 0,92	0,0092	2,47 $\pm$ 0,94	0,0136	2,55 $\pm$ 0,93	0,0102

* Nur Tage mit kompletten Daten (bis 16.06 waren es 56 und von 24.06 waren es 32 Tage). Durchschnittliche Kuhzahl während dieser Tage war im Betrieb A 86,9 $\pm$ 2,7 (82-92) und im Betrieb B 93,7 $\pm$ 7,6 (81-102).

Der Effekt war signifikant, wenn $P\text{-Wert} \leq 0,05$ war.

Liegeboxenbelegung während der Nacht

Im Betrieb A war die Liegeboxenbelegung während der Nacht nicht signifikant durch den THI oder durch die Kuhzahl beeinflusst (Tab. 26). Mit steigendem THI tendierte nur die Liegeboxenbelegung während der Nacht niedriger zu sein ($P < 0,1$).

Tab. 26: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-04:59 Uhr) abschätzen

	THI innen							
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum		Mittelwert 21:00-04:59	
Betrieb A*	<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>	
R ²	0,05	0,1546	0,05	0,1535	0,04	0,1930	0,04	0,2173
Achsenabschnitt	64,24 $\pm$ 13,31	< 0,0001	64,34 $\pm$ 13,31	< 0,0001	64,41 $\pm$ 13,34	< 0,0001	64,23 $\pm$ 13,38	< 0,0001
THI	-0,08 $\pm$ 0,04	0,0545	-0,07 $\pm$ 0,04	0,0540	-0,08 $\pm$ 0,05	0,0711	-0,08 $\pm$ 0,04	0,08895
Kuhzahl	0,04 $\pm$ 0,16	0,7867	0,04 $\pm$ 0,16	0,8021	0,04 $\pm$ 0,16	0,8121	0,04 $\pm$ 0,16	0,8175
Betrieb B*								
R ²	0,39	< 0,0001	0,38	< 0,0001	0,38	< 0,0001	0,41	< 0,0001
Achsenabschnitt	53,80 $\pm$ 8,38	< 0,0001	54,03 $\pm$ 8,79	< 0,0001	51,16 $\pm$ 8,12	< 0,0001	54,57 $\pm$ 8,34	< 0,0001
THI	-0,22 $\pm$ 0,05	< 0,0001	-0,22 $\pm$ 0,05	0,0001	-0,21 $\pm$ 0,05	< 0,0001	-0,24 $\pm$ 0,05	< 0,0001
Kuhzahl	0,19 $\pm$ 0,07	0,0079	0,20 $\pm$ 0,07	0,0062	0,19 $\pm$ 0,07	0,0063	0,18 $\pm$ 0,07	0,0117

* Nur Tage mit kompletten Daten (Betrieb A 81 Tage und Betrieb B 88 Tage). Durchschnittliche Kuhzahl während dieser Tage war im Betrieb A 86,9 $\pm$ 2,7 (82-92) und im Betrieb B 93,7 $\pm$ 7,6 (81-102). Der Effekt war signifikant, wenn P-Wert $\leq$ 0,05 war.

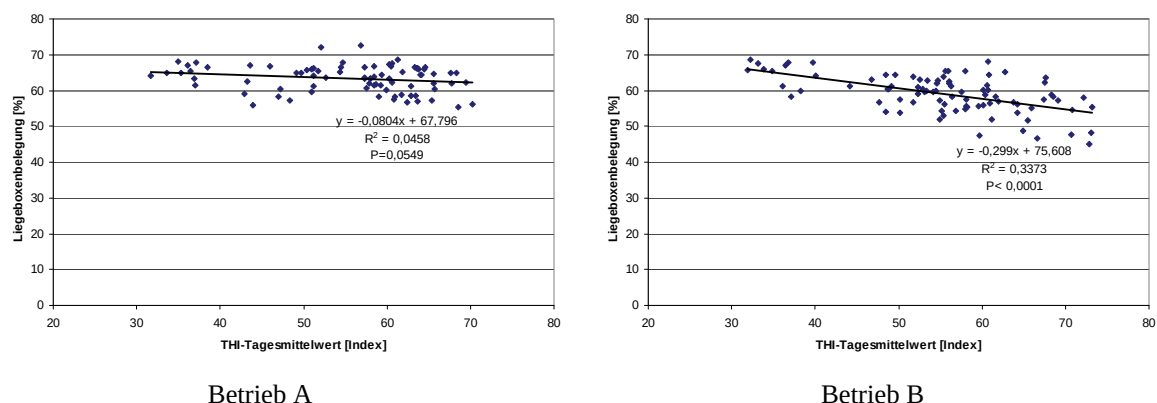


Abb. 51: Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-4:59 Uhr) in Abhängigkeit vom THI-Tagesmittelwert

Im Betrieb B war die Liegeboxenbelegung während der Nacht durch beide Parameter signifikant (sogar höchst signifikant) beeinflusst (Tab. 26). Mit steigendem THI sank die Boxenbelegung während der Nacht ab, dagegen erhöhte sie sich mit einer steigenden Kuhzahl. Wird jedoch der Untersuchungszeitraum im Betrieb B wieder für die zwei Perioden mit deutlich unterschiedlichen Kuhzahlen betrachtet, so war ein Effekt des THI nur während der ersten Periode zu beobachten (Tab. 27). Dabei hatte die Kuhzahl während der Nacht in beiden Perioden keinen signifikanten Einfluss mehr auf die Liegeboxenbelegung. Während der ersten Periode war jedoch ein größerer Unterschied zwischen minimalem und maximalem THI (Abb. 51) als während der zweiten, während der keine niedrigen THI Werte mehr auftraten (die THI Werte z.B. für THI-Mittelwert lagen alle über 50). Dabei ist die Liegeboxenbelegung gerade bei tiefen THI-Werten (negativer Regressionskoeffizient) während der Nacht am höchsten.

Tab. 27: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-04:59 Uhr) im Betrieb B abschätzen

	THI innen							
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum		Mittelwert 21:00-04:59	
bis 16.06.*	<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>	
R ²	0,31	< 0,0001	0,31	< 0,0001	0,30	< 0,0001	0,30	< 0,0001
Achsenabschnitt	95,47 $\pm$ 31,79	0,0041	100,39 $\pm$ 32,11	0,0029	94,70 $\pm$ 32,05	0,0047	96,49 $\pm$ 32,08	0,00403
THI	-0,24 $\pm$ 0,05	< 0,0001	-0,24 $\pm$ 0,05	< 0,0001	-0,23 $\pm$ 0,05	< 0,0001	-0,25 $\pm$ 0,05	< 0,0001
Kuhzahl	-0,22 $\pm$ 0,32	0,4856	-0,25 $\pm$ 0,32	0,4286	-0,24 $\pm$ 0,32	0,4636	-0,24 $\pm$ 0,32	0,4595
ab 24.06.*								
R ²	0,11	0,1853	0,10	0,2340	0,10	0,2219	0,14	0,1219
Achsenabschnitt	-40,27 $\pm$ 65,69	0,5446	-45,71 $\pm$ 66,02	0,4942	-40,68 $\pm$ 67,44	0,55102	-35,19 $\pm$ 64,40	0,5889
THI	-0,14 $\pm$ 0,16	0,3995	-0,08 $\pm$ 0,16	0,6164	-0,10 $\pm$ 0,16	0,5514	-0,20 $\pm$ 0,15	0,1974
Kuhzahl	1,24 $\pm$ 0,77	0,1151	1,28 $\pm$ 0,77	0,1088	1,21 $\pm$ 0,78	0,1303	1,22 $\pm$ 0,75	0,1159

* Nur Tage mit kompletten Daten (bis 16.06 waren es 56 und von 24.06 waren es 32 Tage). Durchschnittliche Kuhzahl während dieser Tage war im Betrieb A 86,9 $\pm$ 2,7 (82-92) und im Betrieb B 93,7 $\pm$ 7,6 (81-102).

Der Effekt war signifikant, wenn P-Wert $\leq$ 0,05 war.

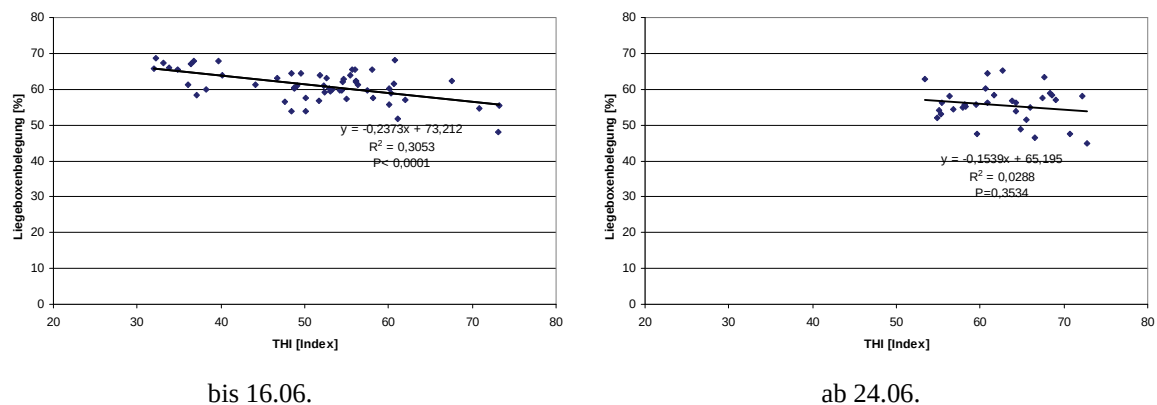


Abb. 52: Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-4:59 Uhr) im Betrieb B in Abhängigkeit vom THI-Tagesmittelwert

Als Schlussfolgerung ist festzuhalten, dass mehrere Faktoren Einfluss auf das Liegeverhalten der Kühe haben können. Das Stallklima (in dieser Studie durch den THI getestet) ist einer davon. Jedoch kann der Einfluss in verschiedenen Betrieben unterschiedlich ausgeprägt sein. Im Betrieb A wurde z.B. die Liegeboxenbelegung während des Tages durch den THI-Wert beeinflusst, im Betrieb B hingegen war dies während der Nacht der Fall.

Das Liegeverhalten der Kühe ändert sich jedoch auch in Folge weiterer Faktoren, wie z.B. das Tier-Liegeboxen Verhältnis. Auch die Luftströmung, physiologische (Milchleistung, Gesundheit) oder bauliche (Boxengestaltung und Position der Liegeboxen, Zustand der Laufflächen) Aspekte und natürlich auch das Management usw. spielen eine wichtige Rolle. Weiterhin können sich hohe Außentemperaturen oder auch die Temperatur des Trinkwassers auf das Tier auswirken bzw. Auswirkungen gegenseitig mildern. Z.B. erhöhte die

Aufnahme von Wasser mit 10 °C während des Sommers sowohl die Trockenmasseaufnahme als auch die Milchleistung im Vergleich zu 28 °C warmem Wasser [56] und reduzierte so den negativen Effekt der hohen Außentemperaturen.

5.2.4 Liegeboxenbelegung und Stalltemperatur

Um zu sehen, ob Unterschiede im Einfluss des THI und der Temperatur allein auf die Liegeboxenbelegung vorhanden sind, wurde ähnlich wie bei dem THI auch der Einfluss der Temperatur auf die Liegeboxenbelegung getestet.

5.2.4.1 Einfluss der Stalltemperatur auf die tägliche Liegeboxenbelegung

Der Einfluss der Stalltemperatur auf die tägliche Liegeboxenbelegung ist für beide Betriebe in Tab. 28 dargestellt. Im Betrieb A hatten beide getesteten Faktoren (Stalltemperatur und Kuhzahl) einen signifikanten Einfluss auf die tägliche Liegeboxenbelegung. Diese sank mit steigender Temperatur und auch mit steigender Kuhzahl. Dagegen hatte im Betrieb B die Temperatur (Tagesmittelwert, Tagesmaximum oder Tagesminimum) während der gesamten Periode keinen signifikanten Einfluss auf die tägliche Liegeboxenbelegung. Nur während der ersten Periode (bis 16.06.) hatte das Temperaturtagesmaximum einen signifikanten Effekt auf die Tagesliegeboxenbelegung.

Tab. 29 zeigt den Einfluss der Temperatur im Betrieb B unterteilt für die zwei Perioden. In den Ergebnissen waren keine wesentlichen Unterschiede zu denen des THI festzustellen.

Tab. 28: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Stalltemperatur und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung abschätzen

	Stalltemperatur					
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum	
Betrieb A (81 Tage*)	<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>	
R ²	0,19	0,0003	0,19	0,0002	0,17	0,0007
Achsenabschnitt	71,70 $\pm$ 8,18	< 0,0001	71,50 $\pm$ 8,15	< 0,0001	72,10 $\pm$ 8,26	< 0,0001
Temperatur	-0,11 $\pm$ 0,04	0,0129	-0,09 $\pm$ 0,03	0,0090	-0,11 $\pm$ 0,05	0,0320
Kuhzahl	-0,27 $\pm$ 0,10	0,0065	-0,26 $\pm$ 0,09	0,0069	-0,28 $\pm$ 0,10	0,0054
Betrieb B (88 Tage*)						
R ²	0,26	< 0,0001	0,27	< 0,0001	0,25	< 0,0001
Achsenabschnitt	31,52 $\pm$ 5,61	< 0,0001	32,37 $\pm$ 5,63	< 0,0001	29,06 $\pm$ 5,56	< 0,0001
Temperatur	-0,10 $\pm$ 0,06	0,1065	-0,10 $\pm$ 0,06	0,0692	-0,07 $\pm$ 0,07	0,3300
Kuhzahl	0,19 $\pm$ 0,05	0,0006	0,19 $\pm$ 0,05	0,0007	0,21 $\pm$ 0,06	0,0002

* Nur Tage mit kompletten Daten. Durchschnittliche Kuhzahl war während dieser Tage im Betrieb A 86,9 $\pm$ 2,7 (82-92) und im Betrieb B 93,7 $\pm$ 7,6 (81-102).

Der Effekt war signifikant, wenn P-Wert $\leq$ 0,05 war.

Tab. 29: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Stalltemperatur und der Kuhzahl auf die tägliche Liegeboxenbelegung im Betrieb B abschätzen

	Stalltemperatur					
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum	
bis 14.06. (56 Tage*)		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>
R ²	0,06	0,2080	0,08	0,0973	0,02	0,5657
Achsenabschnitt	62,69 $\pm$ 29,69	0,0394	65,04 $\pm$ 29,32	0,0308	59,97 $\pm$ 30,28	0,0528
Temperatur	-0,13 $\pm$ 0,07	0,0796	-0,14 $\pm$ 0,07	0,0324	-0,09 $\pm$ 0,08	0,2960
Kuhzahl	-0,12 $\pm$ 0,30	0,6949	-0,13 $\pm$ 0,29	0,6502	-0,10 $\pm$ 0,30	0,7469
nur Temperatur im Model						
R ²	0,05		0,08		0,02	
Achsenabschnitt	50,99 $\pm$ 0,91	< 0,0001	51,68 $\pm$ 1,06	< 0,0001	50,15 $\pm$ 0,71	< 0,0001
Temperatur	-0,12 $\pm$ 0,07	0,0826	-0,14 $\pm$ 0,06	0,0340	-0,08 $\pm$ 0,08	0,3068
ab 24.06. (32 Tage*)						
R ²	0,30	0,0054	0,30	0,0053	0,31	0,0053
Achsenabschnitt	-76,30 $\pm$ 34,66	0,0358	-76,54 $\pm$ 34,45	0,0342	-77,71 $\pm$ 35,22	0,0354
Temperatur	0,005 $\pm$ 0,12	0,9691	0,02 $\pm$ 0,10	0,8485	0,03 $\pm$ 0,16	0,8377
Kuhzahl	1,46 $\pm$ 0,41	0,0014	1,46 $\pm$ 0,41	0,0013	1,47 $\pm$ 0,42	0,0014

* Nur Tage mit kompletten Daten. Die durchschnittliche Kuhzahl bis 14.06. war 99,3 $\pm$ 1,6 (96-102) und von 24.06. 83,8 $\pm$ 1,1 (81-85).

Der Effekt war signifikant, wenn $P\text{-Wert} \leq 0,05$ war.

5.2.4.2 Einfluss der Stalltemperatur auf die Liegeboxenbelegung während des Tages und der Nacht

Liegeboxenbelegung während des Tages

Auch bei der Liegeboxenbelegung während des Tages ergaben sich im Betrieb A ähnliche Ergebnisse hinsichtlich des Temperatureinflusses (Tagesmittelwert, Tagesmaximum und Mittelwert 11:00-14:59) wie beim THI (Tab. 30). Nur beim Temperaturtagesminimum wurde kein signifikanter Effekt ($P = 0,0504$) beobachtet. Allerdings lag die Signifikanz schon beim THI an der oberen Grenze ($P = 0,0498$).

Im Betrieb B waren die Ergebnisse für alle Parameter denen des THI vergleichbar. Die Temperatur hatte ebenfalls wie beim THI keinen signifikanten Einfluss auf die Tagesliegeboxenbelegung (Tab. 31).

Tab. 30: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Innentemperatur und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) abschätzen

	Stalltemperatur							
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum		Mittelwert 11:00-14:59	
Betrieb A*	<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>	
R ²	0,10	0,0179	0,11	0,0110	0,08	0,0356	0,10	0,0148
Achsenabschnitt	72,12 $\pm$ 17,30	< 0,0001	71,50 $\pm$ 17,20	< 0,0001	72,91 $\pm$ 17,45	< 0,0001	72,53 $\pm$ 17,22	< 0,0001
Temperatur	-0,22 $\pm$ 0,09	0,0227	-0,18 $\pm$ 0,07	0,0130	-0,22 $\pm$ 0,11	0,0504	-0,18 $\pm$ 0,08	0,0183
Kuhzahl	-0,25 $\pm$ 0,20	0,2225	-0,24 $\pm$ 0,20	0,2379	-0,26 $\pm$ 0,20	0,1960	-0,25 $\pm$ 0,20	0,2124
Betrieb B*								
R ²	0,05	0,1336	0,05	0,0958	0,04	0,1991	0,05	0,0977
Achsenabschnitt	43,62 $\pm$ 13,13	0,0013	46,34 $\pm$ 13,19	0,0007	38,31 $\pm$ 12,95	0,0040	45,70 $\pm$ 12,94	0,0007
Temperatur	-0,14 $\pm$ 0,15	0,3411	-0,17 $\pm$ 0,13	0,2105	-0,06 $\pm$ 0,17	0,7370	-0,17 $\pm$ 0,13	0,2164
Kuhzahl	0,13 $\pm$ 0,13	0,3179	0,11 $\pm$ 0,13	0,3866	0,17 $\pm$ 0,13	0,1906	0,11 $\pm$ 0,12	0,3635

* Nur Tage mit kompletten Daten (Betrieb A 81 Tage und Betrieb B 88 Tage). Durchschnittliche Kuhzahl während dieser Tage war im Betrieb A 86,9 $\pm$ 2,7 (82-92) und im Betrieb B 93,7 $\pm$ 7,6 (81-102). Der Effekt war signifikant, wenn P-Wert $\leq$ 0,05 war.

Tab. 31: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt des THI innen und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während des Tages (11:00-14:59 Uhr) im Betrieb B abschätzen

	Stalltemperatur							
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum		Mittelwert 11:00-14:59	
bis 16.06.*	<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>	
R ²	0,01	0,8285	0,01	0,6845	0,0004	0,9882	0,02	0,6691
Achsenabschnitt	52,40 $\pm$ 72,27	0,4716	55,75 $\pm$ 72,14	0,4431	47,49 $\pm$ 72,57	0,5156	55,72 $\pm$ 72,06	0,4428
Temperatur	-0,11 $\pm$ 0,18	0,5487	-0,14 $\pm$ 0,16	0,3903	-0,02 $\pm$ 0,20	0,9185	-0,15 $\pm$ 0,16	0,3762
Kuhzahl	0,03 $\pm$ 0,73	0,9619	0,01 $\pm$ 0,72	0,9889	0,07 $\pm$ 0,72	0,9197	0,01 $\pm$ 0,72	0,9896
ab 24.06.*								
R ²	0,26	0,0140	0,27	0,0103	0,23	0,0236	0,25	0,0150
Achsenabschnitt	-153,47 $\pm$ 77,10	0,0560	-158,74 $\pm$ 75,87	0,0453	-151,56 $\pm$ 79,83	0,0676	-156,42 $\pm$ 77,09	0,0517
Temperatur	-0,37 $\pm$ 0,28	0,1895	-0,35 $\pm$ 0,22	0,1276	-0,30 $\pm$ 0,36	0,4064	-0,29 $\pm$ 0,22	0,2089
Kuhzahl	2,53 $\pm$ 0,91	0,0098	2,61 $\pm$ 0,90	0,0073	2,47 $\pm$ 0,94	0,0136	2,56 $\pm$ 0,92	0,0092

* Nur Tage mit kompletten Daten. Die durchschnittliche Kuhzahl bis 14.06. war 99,3 $\pm$ 1,6 (96-102) und von 24.06. 83,8 $\pm$ 1,1 (81-85).

Der Effekt war signifikant, wenn P-Wert $\leq$ 0,05 war.

Liegeboxenbelegung während der Nacht

In Tab. 32 ist für beide Betriebe der Einfluss der Stalltemperatur auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht über den gesamten Untersuchungszeitraum dargestellt. Tab. 33 zeigt diesen Effekt im Betrieb B wieder getrennt für die zwei Perioden.

Tab. 32: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Innentemperatur und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-04:59 Uhr) abschätzen

	Stalltemperatur							
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum		Mittelwert 21:00-04:59	
Betrieb A*	<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>	
R ²	0,05	0,1431	0,05	0,1420	0,04	0,1930	0,04	0,2169
Achsenabschnitt	61,11 $\pm$ 13,42	< 0,0001	61,02 $\pm$ 13,43	< 0,0001	61,41 $\pm$ 13,47	< 0,0001	61,53 $\pm$ 13,49	< 0,0001
Temperatur	-0,14 $\pm$ 0,07	0,0497	-0,11 $\pm$ 0,05	0,0493	-0,16 $\pm$ 0,09	0,0711	-0,14 $\pm$ 0,08	0,0820
Kuhzahl	0,05 $\pm$ 0,16	0,7615	0,05 $\pm$ 0,16	0,7578	0,04 $\pm$ 0,16	0,7989	0,04 $\pm$ 0,16	0,8008
Betrieb B*								
R ²	0,39	< 0,0001	0,37	< 0,0001	0,38	< 0,0001	0,40	< 0,0001
Achsenabschnitt	45,92 $\pm$ 7,16	< 0,0001	44,72 $\pm$ 7,34	< 0,0001	44,61 $\pm$ 7,05	< 0,0001	47,22 $\pm$ 7,18	< 0,0001
Temperatur	-0,35 $\pm$ 0,08	< 0,0001	-0,28 $\pm$ 0,07	0,0002	-0,38 $\pm$ 0,09	< 0,0001	-0,41 $\pm$ 0,09	< 0,0001
Kuhzahl	0,19 $\pm$ 0,07	0,0075	0,21 $\pm$ 0,07	0,0042	0,19 $\pm$ 0,07	0,0079	0,17 $\pm$ 0,07	0,0143

* Nur Tage mit kompletten Daten (Betrieb A 81 Tage und Betrieb B 88 Tage). Durchschnittliche Kuhzahl während dieser Tage war im Betrieb A 86,9 $\pm$ 2,7 (82-92) und im Betrieb B 93,7 $\pm$ 7,6 (81-102). Der Effekt war signifikant, wenn P-Wert $\leq$ 0,05 war.

Tab. 33: Regressionskoeffizienten $\pm$ SE für Modelle, die den Effekt der Innentemperatur und der Kuhzahl auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht (21:00-04:59 Uhr) im Betrieb B abschätzen

	Stalltemperatur							
	Tagesmittelwert		Tagesmaximum		Tagesminimum		Mittelwert 21:00-04:59	
bis 16.06.*	<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>		<i>P-Wert</i>	
R ²	0,33	< 0,0001	0,32	< 0,0001	0,30	< 0,0001	0,31	< 0,0001
Achsenabschnitt	90,69 $\pm$ 31,32	0,0055	92,39 $\pm$ 31,55	0,0050	90,82 $\pm$ 31,82	0,0061	92,42 $\pm$ 31,80	0,0053
Temperatur	-0,40 $\pm$ 0,08	< 0,0001	-0,35 $\pm$ 0,07	< 0,0001	-0,41 $\pm$ 0,09	< 0,0001	-0,43 $\pm$ 0,09	< 0,0001
Kuhzahl	-0,26 $\pm$ 0,31	0,4191	-0,26 $\pm$ 0,32	0,4081	-0,27 $\pm$ 0,32	0,3983	-0,28 $\pm$ 0,32	0,3875
ab 24.06.*								
R ²	0,10	0,2092	0,09	0,2539	0,10	0,2218	0,14	0,1176
Achsenabschnitt	-47,00 $\pm$ 64,87	0,4745	-51,30 $\pm$ 64,94	0,4359	-43,86 $\pm$ 66,09	0,5121	-40,34 $\pm$ 63,81	0,5322
Temperatur	-0,16 $\pm$ 0,23	0,4924	-0,06 $\pm$ 0,19	0,7639	-0,18 $\pm$ 0,30	0,5505	-0,32 $\pm$ 0,25	0,2055
Kuhzahl	1,26 $\pm$ 0,77	0,1128	1,29 $\pm$ 0,77	0,1058	1,21 $\pm$ 0,78	0,1302	1,20 $\pm$ 0,76	0,1221

* Nur Tage mit kompletten Daten. Die durchschnittliche Kuhzahl bis 14.06. war 99,3 $\pm$ 1,6 (96-102) und von 24.06. 83,8 $\pm$ 1,1 (81-85).

Der Effekt war signifikant, wenn P-Wert $\leq$ 0,05 war.

Ähnlich wie der THI hatte im Betrieb B auch die Temperatur einen signifikanten Einfluss auf die Liegeboxenbelegung während der Nacht. Im Betrieb A war jedoch der Effekt des Temperaturtagesmaximums und des Temperaturtagesminimums signifikant ($P = 0,0497$ resp. $P = 0,0493$), während beim THI nur eine Tendenz beobachtet wurde ($P = 0,0545$ resp. $P = 0,0540$). Allerdings liegen die P Werte für beide Faktoren an der Signifikanzgrenze und bestätigen damit nicht ausdrücklich, dass der eine oder andere Faktor für eine

Bewertung des Stallklimaeinflusses auf die Liegeboxenbelegung in den beiden Betrieben genauer sein würde.

5.2.5 Temperatur oder THI?

In beiden Betrieben wurden ähnliche Ergebnisse beim Testen des Einflusses von THI und Temperatur auf die Liegeboxenbelegung beobachtet. Um die Zusammenhänge zwischen dem THI und der Temperatur besser verstehen zu können, wurde der Verlauf der Stalltemperatur, -Luftfeuchtigkeit und -THI während drei ausgewählter warmer Tage in Abb. 53 und während drei ausgewählter kalter Tage in Abb. 54 dargestellt. Wie bereits erwähnt, ist der THI-Wert aus Temperatur, Luftfeuchtigkeit und einer Konstanten berechnet (siehe die Formel 1). Dabei entspricht der THI-Wert bei einer Temperatur von 0 °C und einer Luftfeuchtigkeit von 0 % mit 46,4 dem Wert der Konstanten. Deshalb wurde in Abb. 53 die Skalierung so gewählt, dass ein THI-Wert von 46,4 exakt einer Temperatur von 0 °C entspricht.

Aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten (die Sättigungskonzentration des Wasserdampfes nimmt mit steigender Temperatur exponentiell zu) und dass in Bayern ein eher kontinentales Klima herrscht, zeigte sich, dass gerade bei höheren Temperaturen die Luftfeuchtigkeit sehr niedrig war und in Folge dessen der THI ähnlich wie die Temperatur verläuft (Abb. 53). Z.B. würde der THI-Wert ohne Konstante bei einer Temperatur von 30 °C und einer Luftfeuchtigkeit von 39 % dem Temperaturwert entsprechen. Bei 25 °C würde dies bei 47 % Luftfeuchtigkeit und bei 20 °C bei einer Luftfeuchtigkeit von 71 % zutreffen. Das bedeutet, dass wenn bei höheren Temperaturen niedrigere Luftfeuchtigkeiten herrschen (wie es in Bayern meist der Fall ist, da die Sommer überwiegend warm und trocken sind), die Temperatur und der THI ähnlich verlaufen.

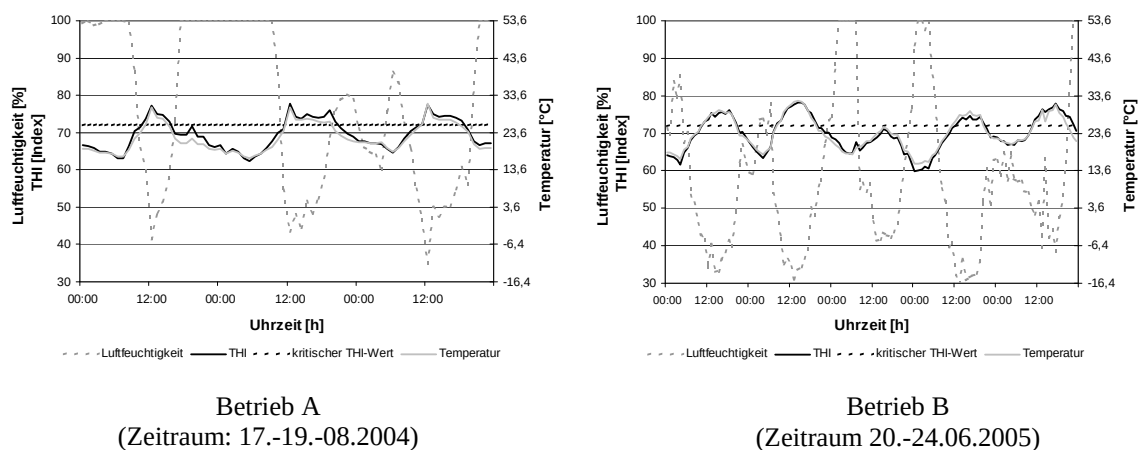


Abb. 53: Verlauf der Stalltemperatur, -Luftfeuchtigkeit und -THI während drei ausgewählter warmer Tage

An kalten Tagen wurden jedoch häufig höhere Luftfeuchtigkeiten (nasse Kälte) beobachtet. Aufgrund des besseren Wärmeübergangs vom Tier an die Umgebung bei hoher Luftfeuchte werden Temperaturen bei niedrigem Niveau als tiefer empfunden, während die gefühlte Temperatur bei hohem Niveau wegen der dann schlechteren Wärmeabgabe höher ausfällt. Der THI wurde entwickelt den Einfluss von Hitzestress bei gemäßigten bis heißen Bedingungen abzuschätzen, in mehreren Studien wurde er aber auch bei niedrigeren Temperaturen angewendet [82]. Der Verlauf des THI in den beiden untersuchten Betrieben an kalten Tagen ist in Abb. 54 und Abb. 55 zu sehen. Bei niedrigeren Temperaturen verläuft

der THI-Wert deutlich unter der Temperaturwerten. Nur wenn an kalten Tagen die Luftfeuchtigkeit sank (Abb. 55), nähten sich die THI-Werte und die Temperaturwerte, der Unterschied ist jedoch immer noch deutlich im Vergleich zu höheren Temperaturen geblieben. In Tab. 34 ist die Differenz zwischen dem Temperatur- und dem THI-Tagesmittelwert ohne Konstante nach Stalltemperaturtagesmittelwerten sortiert. Es kann beobachtet werden, dass mit steigender Temperatur der Unterschied zwischen Temperatur und THI ohne Konstante kleiner wurde. Bei höheren Temperaturen war der Unterschied nur minimal oder sogar negativ. Dieser Zusammenhang ist erklärbar, da mit steigender Temperatur die Luftfeuchtigkeit sank und deshalb dessen Bedeutung für den THI-Wert abnimmt (Tab. 5). Dies kann auch die sehr ähnlichen Ergebnisse über den Einflusses des THI und der Temperatur auf die Liegeboxenbelegung erklären.

Abschließend bleibt offen, ob der THI auch bei niedrigen Temperaturen den Effekt der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur korrekt abschätzt.

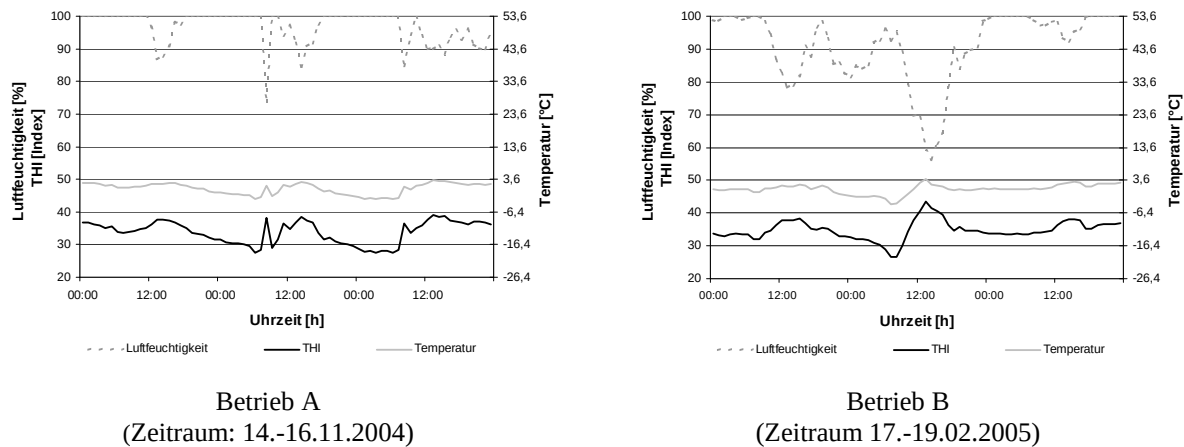


Abb. 54: Verlauf von Stalltemperatur, -luftfeuchtigkeit und -THI während drei ausgewählter kalter Tage in beiden Betrieben

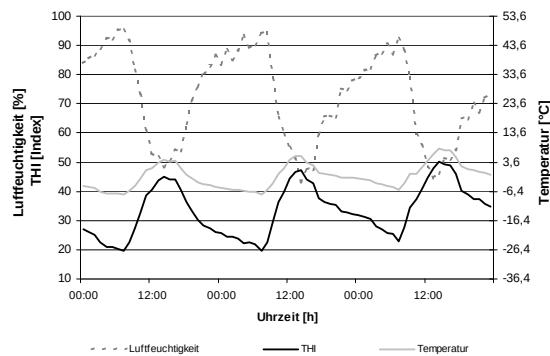


Abb. 55: Verlauf von Stalltemperatur, -luftfeuchtigkeit und -THI während drei ausgewählter kalter, jedoch sonniger Tage im Betrieb B (Zeitraum: 20.-24.06.2005)

Tab. 34: Differenz zwischen Stalltemperaturtagesmittelwert und THI-Tagesmittelwert ohne Konstante nach Stalltemperaturtagesmittelwert sortiert

Stalltemperatur Tagesmittelwert [°C]	Betrieb A	Betrieb B
≤ 5	12,6	12,1
5-10	8,0	6,7
10-15	4,3	4,1
15-20	1,5	1,6
> 20	-0,7	-0,4

Als Schlussfolgerung bleibt festzuhalten, dass der THI (während des trockenen warmen Sommers, aber auch die Temperatur) ein sehr wichtiger Faktor für die Einschätzung der Hitzebelastung bei Milchvieh während heißer Tage ist. Um die Aussagekraft dieses Wertes jedoch noch zu verbessern, wäre eine zusätzliche Berücksichtigung von Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung notwendig. Während steigende Windgeschwindigkeiten den Hitzestress und damit THI-Wert verringern, bewirkt die Globalstrahlung das Gegenteil [50].

6 Schlussfolgerungen (Verfahrenstechnische Einordnung)

Ziel dieser Untersuchungen war es, Zusammenhänge zwischen Außenklima und Stallklima sowie dem Stallklima und dem Wohlbefinden (am Beispiel des Liegeverhaltens) von Kühen in Außenklimaställen aufzuzeigen.

Folgende Schlussfolgerungen können gezogen werden:

- Das Stallklima, sofern es die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit betrifft, folgte sehr eng und unverzüglich dem Außenklima. Nur bei niedrigem Temperaturniveau konnte ein größerer Unterschied zwischen Außen- und Innentemperatur beobachtet werden.
- Die ausgewerteten Daten zeigen, dass aus Sicht der Kühe Wandverschlussysteme keinen engen und stetigen Regelbereich benötigen. Wichtig ist natürlich der Schutz bei Unwetter (Regen, Schnee, Gewitter).
- Das Schließen der Curtains bei Windgeschwindigkeiten über 6 oder 8 m/s hat mehr technische Gründe (bei höheren Windgeschwindigkeiten ist es nicht mehr möglich die Curtains zu schließen) als den Schutz der Tiere gegen hohe Luftströmung. Wie die Ergebnisse zeigen, war nur die Luftströmung direkt hinter den Curtains wesentlich von der äußeren Luftströmung beeinflusst. Im Liegebereich war jedoch die Luftbewegung sehr gedämpft und das auch bei ganz offenen Curtains, obwohl die Stallgebäude (wie empfohlen) mit ihrer Längsachse gegen die Hauptwindrichtung stehen und der Hauptwind auch häufiger mit höheren oder ähnlichen Windgeschwindigkeiten als von anderen Windrichtungen weht.
- Die in den beiden Untersuchungsbetrieben gewählten Innentemperaturen von unter 5 bzw. 10 °C für das Schließen der Curtains richtet sich nicht unbedingt nach den Erfordernissen der Kühe, sondern sicherlich auch nach den Bedürfnissen der arbeitenden Personen. Kühe ertragen auch noch niedrigere Temperaturen ohne gravierenden Einfluss auf die Milchproduktion oder Gesundheit gut.
- Ferner ist zu berücksichtigen, dass bei permanent unter 5 bzw. 10 °C geschlossenen Curtains größere Temperaturunterschiede zwischen außen und innen auftreten können und damit die Gefahr der Kondenswasserbildung ansteigt. Darum scheint die Regulierung der Curtains während kalter Tage nur nach Stalltemperatur, wie es bisher der Fall ist, nicht ausreichend zu sein, weil damit die Curtains Tage lang verschlossen und eine ausreichende Durchlüftung nicht immer gegeben sein kann.
- Der Rhythmus des Liegeverhaltens der Kühe im Tagesverlauf war, wie zu erwarten, sehr stark von Haltungsbedingungen (wie z.B. Melkzeiten) beeinflusst. Die Häufigkeit der Futtervorlage scheint sich ebenfalls auf das Liegeverhalten der Kühe im Tagesverlauf auszuwirken. Die höchste Liegeboxenbelegung wurde in beiden Betrieben in den späten Nachtstunden beobachtet.
- Die am meisten belegte Reihe pro Tag war in beiden Betrieben die Reihe am Futtertisch. Hauptsächlich wurde dies in den Zeiten, in denen die Kühe besonders aktiv waren (nach der Futtervorlage, zwischen dem Morgen- und Abendmelken) beobachtet. In den Nachtstunden trat jedoch kein Unterschied in der Liegeboxenbelegung zwischen den Reihen auf.

- Die Position der einzelnen Liegeboxe im Stall (sogar in der gleichen Reihe) kann ihre Belegung beeinflussen. Die niedrigste Liegeboxenbelegung zeigten die Randboxen (hauptsächlich war dies im Betrieb A der Fall) und die Boxen bei dem Wartebereich vor dem Melkstand (bei diesen Boxen sind auch Futterstationen platziert) sowie am Melkstandaustrieb (Betrieb B). In beiden Fällen scheint weniger Komfort dafür der Grund zu sein. Während in dem ersten Fall die Boxen weniger seitlichen Freiraum bieten, kann es in dem zweiten Fall größere Unruhe bei diesen Boxen sein. Deshalb sollten diese Aspekte bereit bei der Stallplanung berücksichtigt werden.
- Das Stallklima (in dieser Studie durch den THI getestet) kann Liegeverhalten der Kühe beeinflussen. Der Einfluss kann jedoch in unterschiedlichen Betrieben unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Während im Betrieb A der Effekt des THI auf die tägliche Liegeboxenbelegung sowie die Liegeboxenbelegung während des Tages beobachtet wurde, konnte er im Betrieb B nur während der Nacht nachgewiesen werden. War jedoch der Effekt vorhanden, sank die Liegeboxenbelegung mit steigendem THI. Wenn die Liegeboxenbelegung bei niedrigeren Temperaturen höher ist, was auf eine längere Liegezeit der Kühe hindeutet, so ist das für die Tiere unproblematisch. Sind jedoch in Folge höherer Temperaturen die Liegezeiten kürzer, so kann dies auf eine zusätzliche Belastung durch Hitzestress hindeuten.
- Das Liegeverhalten der Kühe kann jedoch in Folge vieler anderen Faktoren (wie z.B. das Tier-Liegeboxen Verhältnis, Milchleistung, Boxengestaltung, Position der Boxen und etc.) beeinflusst werden. Darum muss bei der Bewertung des Stallklimas immer das Haltungssystem in seiner Gesamtheit betrachtet werden.
- Für weitere Untersuchungen wäre notwendig, das Liegeverhalten der Einzeltiere über eine längere Zeitperiode bei extremen Stallklimabedingungen zu untersuchen. Da, wie unsere Ergebnisse im Ansatz gezeigt haben, zu erwarten ist, dass gerade bei extremen Stallklimabedingungen mit einem veränderten Liegeverhalten gerechnet werden muss. Dabei sollten auch die bereits früher erwähnten Faktoren, wie z.B. Milchleistung, Futteraufnahme, Rangposition des Tieres und etc., die das Stallklima und/oder das Liegeverhalten beeinflussen können, berücksichtigt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Armstrong, D.V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science* 77, 2044-2050
- [2] Author's collective (2004). Design Recommendations of Beef Cattle Housing. Report of the CIGR Section II, Working Group No. 14, Cattle Housing, Editor: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Wien, 2nd edition, September 2004
- [3] Bähr, H., Schröder, G. und Odin, H.-U. (1983). Bauhygienische Messmethoden. In: Kurweg, W. und Winkler, A., *Angewandte Tierhygiene*, Band 8, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 192
- [4] Barnwell, R. and Rossi, A. (2002). Maximizing performance during hot weather. Cobb-Vantress, Inc. Technical focus, 1-2002, Pittsburg, Texas
- [5] Baumgarten, W.:
<http://www.tierhaltung.rlp.de/internet/global/themen.nsf/e4a91a8af338816cc1257074003d4221/f2aaca7a5a1a1f96c12570ce003f0f64?OpenDocument>
- [6] Berman, A. (2005). Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science* 83, 1377-1384
- [7] Berman, A., Folman, Y., Kaim, M. Mamen, M., Herz, Z., Wolfenson, D., Arieli, A. and Graber, Y. (1985). Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *Journal of Dairy Science* 68, 1488-1495
- [8] Bianca, W. (1965). Review of the progress of dairy science. Section A. Physiology. Cattle in a hot environment. *Journal of Dairy Research* 32, 294-345
- [9] Blum, J. W. (2002).
http://www.vetmed.unibe.ch/studvet/download/year23/NOZ/Bioklimatologie_Unterlagen_2002_Studis_PPT.pdf, Ernährung und Haltung der Haustiere, Vet. med. Fakultät Bern, 31.05.2005
- [10] Bouraoui, R., Lahmar, M., Majdoub, A., Djemali, M. and Belyea, R. (2002). The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research* 51, 479-491
- [11] Brosh, A., Aharoni, Y., Degen, A.A., Wright, D. and Young, B.A. (1998). Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *Journal of Animal Science* 76, 2671-2677
- [12] Brouček, J. (1997). Effect of low temperatures on dairy cattle. *Agriculture* 43, 135-153
- [13] Brouček, J. (1997). The effect of high temperatures on dairy cattle. *Agriculture* 43, 522-542
- [14] Brouček, J., Letkovičová, M. and Kovalčuk, K. (1991). Estimation of cold stress effect on dairy cows. *International Journal of Biometeorology* 35, 29-32

-
- [15] Brouček, J., Uhrinčat', M., Kovalčíková, M. and Arave, C.W. (1997). Effects of heat environment on performance, behaviour, and physiological responses of dairy cows. Fourth International Dairy Housing Conference, Jan. 28-30, 1998, St. Louis. Conference proceedings, 217-222
- [16] Büscher, W. (2002): In erster Linie frische Luft. –In: Neue Landwirtschaft, Sonderheft Rind
- [17] Büscher, W. (2005). Wärmestress der Hochleistungskühe in der warmen Jahreszeit minimieren. Nutztierpraxis aktuell 1, 20-24,
http://www.ava1.de/pdf/artikel/rinder/2005_01_buescher.pdf, 20.02.2008
- [18] Büscher, W., Leuschner, P. und Niethammer, F. (1996). Lüftung von Schweineställen. AID-Heft 1067. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster
- [19] Chase, L.E. (2006). Climate change impacts on dairy cattle.
<http://www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.3Cattle.pdf>, III-17 – III-23, 26.06.2006
- [20] Coppock, C.E., Flatt, W.P. and Moore, L.A. (1964). Effect of hay to grain ratio on utilization of metabolizable energy for milk production by dairy cows. Journal of Dairy Science 47, 1330-1336
- [21] Davis, M.S., Mader, T.L., Holt, S.M. and Parkhurst, A.M. (2003). Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: Effects on tympanic temperature. Journal of Animal Science 81, 649-661
- [22] Dechamps, P., Nicks, B., Canart, B., Gielen, M. and Istasse, L. (1989). A note on resting behaviour of cows before and after calving in two different housing systems. Applied Animal Behaviour Science 23, 99-105
- [23] Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) (Hrsg.) (2004): Vermeidung von Wärmebelastungen für Milchkühe. Frankfurt a.M., 2004
- [24] DIN 18910-1 (2004). Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe. Berlin, 43 S.
- [25] Du Preez, J.H., Giesecke, W.H. and Hattingh, P.J. (1990). Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. I. Temperature-humidity index mean values during the four main seasons, The Onderstepoort Journal of veterinary research 57, 77-86
- [26] Epinatjeff, P. (1997): Außenklimaställe für Milchvieh. KTBL Arbeitsblatt Nr. 1105
- [27] Fischer, A.D., Verkerk, G.A., Morrow, C.J. and Matthews, L.R. (2002). The effects of feed restriction and lying deprivation on pituitary-adrenal axis regulation in lactating cows. Livestock Production Science 73, 255-263
- [28] Gebreselassie, M. (2000). Verfahrenstechnische Lösungen für die Milchproduktion bei standortferner Futterstroherzeugung. Dissertation, 148 S.

- [29] Gonyou, H.W., Christopherson, R.J. and Young, B.A. (1979). Effects of cold temperature and winter conditions on some aspects of behaviour of feedlot cattle. *Applied Animal Ethology* 5, 113-124
- [30] Gooch, C. and Stone, B. (2003). How comfortable are your dairy facilities? PRO-DAIRY, Northeast Dairy Business, April 2003, 22
- [31] Haake, K.-W. (2002): Erwärmung von Stallgebäuden durch Sonneneinstrahlung. *Landtechnik* 57 (5), 288 – 289
- [32] Hahn, G.L., Nienaber, J.A. and Eigenberg, R.A. (1997). Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. In: *Livestock environment V: Proceedings of the fifth international symposium of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, MI, Editor: Bottcher, R.W. and Hoff, S.J., 563-571
- [33] Heidenreich, T. (2001): Hitzestress vermeiden. ALB - Schriftenreihe: Bauen und Technik, 42-44
- [34] Heidenreich, T. (2002): Lüftungsprobleme in Offenställen. *Landtechnik* 57 (4), 228-229
- [35] Heidenreich, T., Mau, S., Wanka, U. und Jacob, J. (2003). Immissionsschutzrechtliche Regelung Rinderanlagen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/luft_laerm_klima/downloads/rinderregelung.pdf
- [36] Heinemann, E. und Möcklinghoff-Wicke, S. (2001). Große Milchviehställe praxisgerecht planen. <http://www.agrinet.de/page.cfm?PRID=12&CFID=1325575&CFTOKEN=49458649&PID=213>, 11.04.2006
- [37] Hemsworth, P.H., Barnett, J.L., Beveridge, L. and Matthews, L.R. (1995). The welfare of extensively managed dairy cattle: A review. *Applied Animal Behaviour Science* 42, 161-182
- [38] Holter, J.B., West, J.W., McGilliard, M.L. and Pell, A.N. (1996). Predicting ad libitum dry matter intake and yield of Jersey cows. *Journal of Dairy Science* 79, 912-921
- [39] Igono, M.O., Bjotvedt, G. and Sanford-Crane, H.T. (1992). Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *International Journal of Biometeorology* 36, 77-87
- [40] Janni, K.A. and Allen, D.M. (2001). Thermal environmental conditions in curtain sided naturally ventilated dairy freestall barns. In: *Livestock environment VI: Proceedings of the sixth international symposium of the American Society of Agricultural Engineers*, 21-23 May 2001, Louisville, Kentucky, USA, Editor: Stowell, R.R., Bucklin, R. and Bottcher, R.W., ASAE Publication Number 701P0201, 367-376
- [41] Johnson, H.D. and Vanjonack, W.J. (1976). Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. *Journal of Dairy Science* 59, 1603-1617

-
- [42] Jones, R.N. and Hennessy, K.J. (2000). Climate change impacts in the Hunter Valley. A risk assessment of heat stress affecting dairy cattle. Published by CSIRO Atmospheric Research, Aspendale, Victoria, Australia, http://www.cmar.csiro.au/e-print/open/jones_2000a.pdf, 28.08.2006
 - [43] Keck, M. und Zähler, M. (2004): Minimalställe für Milchkühe bewähren sich. Empfehlungen für die Planung und den Betrieb. FAT – Berichte, Nr. 620
 - [44] Keil, N. (2004): Hochleistungskühe kommen schnell ins Schwitzen. Überhitzte Kühe geben weniger Milch. BVET-INFO, 17. Juni 2004, http://www.bvet.admin.ch/tierschutz/00218/00223/index.html?lang=de&download=01800_de.pdf&PHPSESSID=516388833605cf027fe4befbff998bf5
 - [45] Lacetera, N., Bernabucci, U., Ronchi, B., Scalia, D. and Nardone, A. (2002). Moderate summer heat stress does not modify immunological parameters of Holstein dairy cows. *International Journal of Biometeorology* 46, 33-37
 - [46] Landwirtschaftszentrum Haus Düsse (2004): Milchvieh- und Mutterkuhhaltung. Stallklima. Landwirtschaftskammer NRW, <http://www.duesse.de/rinder/stallklima.htm>
 - [47] Lasson, E. (1976). Untersuchungen über die Anforderungen von Rindern an die Wärme- und Härteeigenschaften von Stand- und Liegeflächen. Dissertation, TU-München-Weihenstephan
 - [48] Legates, J.E., Farthing, B.R., Casady, R.B. and Barrada, M.S. (1991). Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. *Journal of Dairy Science* 74, 2491-2500
 - [49] Leonard, F.C., O'Connell, J.O. and O'Farrell, K. (1994). Effect of different housing conditions on behaviour and foot lesions in Friesian heifers. *The Veterinary Record* 134, 490-494
 - [50] Mader, T., Davis, S., Gaughan, J. and Brown-Brandl, T. (2004). Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. 16th Biometeorology and Aerobiology, 25. – 26. August 2004, Vancouver, BC, 6B. 3, http://ams.confex.com/ams/AFAPURBBIO/techprogram/programexpanded_223.htm, <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/77847.pdf>, 20.08.2006
 - [51] Mader, T.L. (2003). Environmental stress in confined beef cattle. *Journal of Animal Science* 81 (E. Suppl. 2), E110-E119
 - [52] Mader, T.L., Davis, M.S. and Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 84, 712-719
 - [53] Mader, T.L., Hu, Q.S. and Harrington, J.A. (2006). Evaluating models prediction livestock output due to climate change. http://nigec.ucdavis.edu/publications/ar/annual2004/gp/GP04_Mader.pdf, 30.06.2006
 - [54] Mainzer, A. (2005). Kuhkomfort sichert Leistungsfähigkeit und Gesundheit der Kühe. www.mku-uelzen.de/MilchWissen/Mainzer/Mainzer_21.htm, 22.06.06
 - [55] Metz, J.H.M. (1985). The reaction of cows to a short-term deprivation of lying. *Applied Animal Behaviour Science* 13, 301-307

- [56] Milam, K.Z., Coppock, C.E., West, J.W., Lanham, J.K., Nave, D.H., Labore, J.M., Stermer, R.A. and Brasington, C.F. (1985). Effect of drinking water temperature on production responses in lactating Holstein cows in summer. *Journal of Dairy Science* 69, 1013-1019
- [57] Möcklinghoff-Wicke, S. (2004): Stallbau. Sommerstalllüftung. I-Team Milch, 07/2004,
<http://www.agrinet.de/page.cfm?PRID=12&CFID=1325575&CFTOKEN=49458649&PID=213>, 11.04.2006
- [58] Munksgaard, L. and Løvendahl, P. (1993). Effects of social and physical stressors on growth hormone levels in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 73, 847-853
- [59] Ominski, K.H., Kennedy, A.D., Wittenberg, K.M. and Moshtaghi Nia, S.A. (2002). Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *Journal of Dairy Science* 85, 730-737
- [60] Pires, M.F.A., Verneque, R.S., Ferreira, A.M., Teodoro, R.L. und Saturnino, H.M. (1999): Behavior of Holstein Cows Housing in a Free Stall Barn, during Summer and Winter. In: XXXVI Reuniao Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Porto Alegre, 26. a 29. de julho de 1999
- [61] Pöllinger, A. (2001). Bewertung von Entmistungsverfahren in Rinderlaufställen. Gumpensteiner Bautagung 2001, „Stallbau – Stallklima – Verfahrenstechnik“, BAL Gumpenstein, 35-42
- [62] Purwanto, B.P., Abo, Y., Sakamoto, R., Furumoto, F. and Yamamoto, S. (1990). Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. *Journal of Agricultural Science (Camb.)* 114, 139-142
- [63] Reynolds, C.K., Tyrrell, H.F. and Reynolds, P.J. (1991). Effects of diet forage-to-concentrate ration and intake on energy metabolism in growing beef heifers: whole body energy and nitrogen balance and visceral heat production. *Journal of Nutrition* 121, 994-1003
- [64] Roseler, D.K., Fox, D.G., Chase, L.E. and Stone, W.C. (1993). Feed intake prediction and diagnosis in dairy cows. In: *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.*, Rochester, NY. Cornell Univ., Ithaca, NY, 216-226
- [65] Sakaguchi, Y. and Gaughan, J.B. (2004). Effect of genotype on performance and carcass characteristics of summer-induced feedlot cattle. *Animal production in Australia* 25, 152-155
- [66] Schirz, S.; Hornig J. und Wolfermann H.-F (1973).: Stallklima und Geruchsbelästigung. *KTBL-Schrift* 171, Darmstadt-Kranichstein
- [67] Smith, J.F., Brouk, M.J., Harner III, J.P. und Dhuyvetter, K.C. (2006). Issues with Dairy Facilities Located in the High Plains. High Plains Dairy Conference, 2006,
<http://www.agmanager.info/livestock/budgets/production/dairy/HPDC%20Proceedings%202006%20--%20Dairy%20Facilities.pdf>

-
- [68] Staiger, H. (2003): Gefühlte Temperatur, Schwüle und Wind Chill. <http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/Medizin/Leistungen/gtinfo.pdf>, 11.04.2006
 - [69] Stolpe, J. und Bresk, B. (1985). Stallklimagegestaltung: Tierphysiologische Grundlagen und Normative. In: Angewandte Tierhygiene, Band 9, Fischer, Jena
 - [70] Thom, E.C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-59
 - [71] Tucker, C.B. (2003). The effects of freestall surfaces and geometry on dairy cattle behavior. Thesis, The University of British Columbia
 - [72] Van Caenegem, L. und Anceau, J.-M. (2001). Kaltställe sind im Berggebiet möglich. *Bauernzeitung* 25, 16. November 2001
 - [73] Van Caenegem, L. und Anceau, J.-M. (2001). Rindviehställe im Berggebiet (Engadin). Kaltstall oder Warmstall optimieren. *FAT-Berichte* Nr. 572
 - [74] Van Caenegem, L. und Wechsler, B. (2000). Stallklimawerte und ihre Berechnung. *FAT-Schriftenreihe* Nr. 51, 2000, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon, Schweiz
 - [75] Venzlaff, F.-W. (2001). Viel Licht und Luft, Platz und Komfort. Aktuelle Trends bei Bau und Ausrüstung von Milchviehställen. *Neue Landwirtschaft* Nr. 9, 62-66
 - [76] von Borell, E. (1999): Ist Wohlbefinden ein Produktionsfaktor. *Züchtungskunde* 71 (6), 473-481
 - [77] Wassmuth, R., Wallbaum, F. and Langholz, H.-J. (1999). Outdoor wintering of suckler cows in low mountain ranges. *Livestock Production Science* 61, 193-200
 - [78] West, J.W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86, 2131-2144
 - [79] West, J.W., Mullinix, B.G. and Bernard, J.K. (2003). Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86, 232-242
 - [80] Zähner, M. (2001). Beurteilung von Minimalställen für Milchvieh anhand ethologischer und physiologischer Parameter. Dissertation ETH Nr. 14193, Zürich
 - [81] Zähner, M., Keck, M. und van Caenegem, L. (2005). Funktion von Außenklimaställen im Berggebiet. Gumpensteiner Bautagung 2005, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning
 - [82] Zähner, M., Schrader, L., Hauser, R., Keck, M., Langhans, W. and Wechsler, B. (2004). The influence of climatic conditions on physiological and behavioural parameters in dairy cows kept in open stables. *Animal Science* 78, 139-147